

UDRUŽENJE / UDRUGA GEOLOGA  
BOSNE I HERCEGOVINE

# ZBORNİK RADOVA

V

SAVJETOVANJE GEOLOGA  
BOSNE I HERCEGOVINE

SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM



PALE, 24. - 25. 10. 2013. godine

Izdavač:

**Udruženje/udruga geologa Bosne i Hercegovine**

Glavni i odgovorni urednik:

**Doc.dr.sc. Elvir Babajić**

Uredništvo:

**Prof.dr.sc. Neđo Đurić, Prof.dr. Hazim Hrvatović, Doc.dr.sc. Ferid Skopljak**

Priredio za štampu:

**Doc.dr.sc. Elvir Babajić**

Tehnički urednik:

**Mr.sc. Toni Nikolić, dipl.ing.geol.**

Štampa:

**„Štamparija fojnica d.o.o.“ Fojnica, BiH**

Tiraž:

**200 primjeraka**

Za podatke i način prezentiranja odgovorni su autori

**ZBORNİK RADOVA**

V SAVJETOVANJE GEOLOGA

BOSNE I HERCEGOVINE

**ISSN 1840-4073**

**POKROVITELJ:**

Geomarić d.o.o. Mostar

## SADRŽAJ

### *GEOLOGIJA – STRATIGRAFIJA – TEKTONIKA*

|   |    |
|---|----|
| DERVIŠEVIĆ, R., SIJERČIĆ I.<br><b>Contribution to knowledge of stratigraphy and tectonics of Tuzla surrounding area</b> .....   | 2  |
| ĐULOVIĆ I., VRABAC S., ALIĆ F.<br><b>Stratigrafija krede, paleogena i miocena u bušotini FA-1 kod Gračanice</b> .....   | 14 |
| ĐULOVIĆ I., VRABAC S., ČORIĆ S., ALIĆ F.<br><b>Facijalne i stratigrafske karakteristike miocena u profilu bušotine IHB-1 kod Gračanice</b> .....                                  | 23 |
| FERHATBEGOVIĆ Z., JAHIĆ A.<br><b>Rekonstrukcija uslova sedimentacije krovinskih sedimenata u profilu istražno-eksploatacionebušotine B-71 na ležištu kamene soli Tetima</b> ..... | 34 |
| HAJDAREVIĆ I., BRKIĆ E., DEMIR V.<br><b>Geološke i strukturne karakteristike paleocensko – eocenskih kalkarenita sa lokaliteta Grabež kod Bosanskog Petrovca</b> .....            | 39 |
| NIKOLIĆ T., HAMZABEGOVIĆ A.<br><b>Geneza tufova i tufita tuzlanskog bazena sa hemijskom analizom</b> .....  | 50 |
| OPERTA M., FORČAKOVIĆ DŽ, MIŠILO M.<br><b>Geološka građa i morfološko-tektonske karakteristike Uskopaljske kotline</b> .....  | 57 |
| SIJERČIĆ I., DERVIŠEVIĆ, R.<br><b>Klasifikacija diskontinuiteta u krečnjačkom masivu kamenoloma "Duboki potok-Bijela rijeka"</b> .....  | 72 |
| VRABAC S., ĐULOVIĆ I., TAHIROVIĆ I., ŠABANOVIĆ E., IMAMOVIĆ M.<br><b>Donji eocen i miocen u području Dognja kod Tuzle</b> .....   | 85 |

### *PALEONTOLOGIJA*

|   |     |
|---|-----|
| BOŠNJAK M., VRSALJKO D., SREMAC J.<br><b>Slatkovodni miocenski mekušci Dilj gore</b> .....  | 99  |
| FERHATBEGOVIĆ Z., JAHIĆ A.<br><b>Foraminiferske zone donjeg badena u središnjem dijelu Tuzlanskog bazena</b> .....                              | 111 |
| GLAMUZINA G.<br><b>Novi, jedinstveni i atraktivni makrofosili iz eocena zapadne Hercegovine – implikacija na paleookoliš i geoturizam</b> ..... | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| VRABAC S., ČORIĆ S., ĐULOVIĆ I., JEČMENICA Z.<br>Biostratigrafske zone donjeg badena u profilu bušotine Ui – 568/3 kod Ugljevika | 136 |
|--|-----|

**MINERALOGIJA – PETROLOGIJA – GEOHEMIJA**

|   |     |
|---|-----|
| BABAJIĆ A., SALKIĆ Z., BABAJIĆ E.<br>Petrografske odlike i nomenklatura stijena kamenoloma Ribnica kod Banovića | 147 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| BABAJIĆ E., LUGOVIĆ B†., SALKIĆ Z., BABAJIĆ A.<br>Geohemijska karakterizacija mafitnih stijena krivaja-konjuh ofiolitnog kompleksa | 160 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| LJUBOJEV V., KRSTIĆ S.<br>Mineralogical Characteristics of Smelting and Granulated Slag of Technogenic Deposit "Depo 1" Bor | 177 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| KURTANOVIĆ R., OMERHODŽIĆ N., JAGANJAC N.<br>Elektronsko ažuriranje geohemijskih podataka Srednjobosanskog rudogorja u funkciji izrade geohemijskog atlasa Bosne i Hercegovine | 184 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| SALKIĆ Z., LUGOVIĆ B†., BABAJIĆ E., BABAJIĆ A.<br>Mineraloško-petrografske karakteristike tercijarnih vulkanskih stijena okoline Srebrenice | 194 |
|---|-----|

**RUDNA LEŽIŠTA – EKONOMSKA GEOLOGIJA**

|  |     |
|--|-----|
| BEGIĆ H.<br>Ekonomski Aspekti Opravdanosti Koncesije Izvora „ Stari Djedovac - Podkonjsko“ Kladanj | 213 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| BEGIĆ H.<br>Uticaj eksploatacije uglja na površinu terena, u naselju Jagodići, Zenica | 225 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| BLAGOJEVIĆ T., MITROVIĆ, A.<br>Informacione tehnologije u geologiji i primena u „EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari“, d.o.o. | 235 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| DIVKOVIĆ-GOLIĆ E., GAJIĆ LJ.<br>Ležišta i pojave zeolita i tufova na prostoru Republike Srpske | 251 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| FORČAKOVIĆ DŽ., OPERTA M.<br>Geološke i kvalitativno-kvantitativne karakteristike uglja ležišta „Dimnjače“, Općina Gornji Vakuf-Uskoplje | 260 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| IVANOVSKI L., ILIOVSKI Z., RALEVA E., KOSTOVSKI I.<br>Rezultati najnovijih geoloških istraživanja ležišta uglja “Mariovo” | 279 |
|---|-----|

|  |       |     |
|--|-------|-----|
| KULAKOV LJ.<br><b>Architectural - construction stone in eastern Macedonia</b>  | ..... | 287 |
| MARIČIĆ A., TOMAŠIĆ I.<br><b>Neka svojstva <i>benkovačkog prirodnog kamena</i> važna pri određivanju mogućnosti upotrebe</b>                         | ..... | 307 |
| OSMANOVIĆ D., TALETTOVIĆ N., ISABEGOVIĆ J., GOLAC E.<br><b>Savremeni pristup definisanja geometrije ležišta sa osvrtom na tuzlansko sono ležište</b> | ..... | 314 |
| RALEVA E., ILIOVSKI Z., IVANOVSKI L., MARKO M.<br><b>Rezultati najnovijih geoloških istraživanja ležišta uglja “Živojno”</b>                         | ..... | 322 |
| RUNDIĆ LJ., KNEŽEVIĆ S., RAKIJAŠ M., KUKAVICA M.<br><b>Nova saznanja o geologiji Vrdničkog ugljenog basena (severna Srbija)</b>                      | ..... | 332 |
| ŠABOVIĆ A., ORUČ E.<br><b>Izbor lokacije za formiranje sanitarne deponije komunalnog otpada za potrebe općine Srebrenik</b>                          | ..... | 349 |

**HIDROGEOLOGIJA-INŽENJERSKA GEOLOGIJA- GEOFIZIKA-  
-GEOMEHANIKA- GEOTEHNIKA**

|  |       |     |
|--|-------|-----|
| AHMETSPAHIĆ S., DEMIR V.<br><b>Geološke i hidrogeološke karakteristike terena HE Janjici kod Zenice</b>                                      | ..... | 370 |
| ALIĆ E., SKOPLJAK F.<br><b>Hidrogeološke karakteristike izvorišta na području Prače</b>  | ..... | 381 |
| ALIJAGIĆ J., ŠAJN R.<br><b>Linear and Nonlinear Modelling in the Stavnja Valley, Bosnia and Herzegovina</b>                                  | ..... | 394 |
| ANTUNOVIĆ I.<br><b>Hidrogeološka istraživanja za zaštitu podzemnih voda špilje Vjetrenica u Popovom Polju</b>                                | ..... | 397 |
| BEGOVIĆ P., RAJAK S., SAVIĆ G., IVANKOVIĆ B., VUKIĆ S., VOŽNI Z.<br><b>Inženjerskogeološke karakteristike trase autoputa Banjaluka-Doboj</b> | ..... | 412 |
| ČIČKUŠIĆ A., HODŽIĆ A., HRVATOVIĆ H.<br><b>Metode mjerenja kod izrade dubokih bušotina na području Ilidže</b>                                | ..... | 417 |
| ČOMIĆ J., ŽIGIĆ I.<br><b>Hidrogeološki i antropogeni uslovi formiranja i stabilizacije klizišta na lokalitetima u</b>                        | ..... | 435 |

## Tuzli

|  |     |
|--|-----|
| <b>ĆERIMAGIĆ Đ.</b><br><b>Determinacija inženjerskogeoloških parametara u stijenskoj masi gabra, na brani Jablanica</b>  | 452 |
| <b>ĐURIĆ N., PERIŠIĆ M.</b><br><b>Karakteristike sedimenata na desnoj obali rijeke Drine, lokacija buduće poslovne zgrade HE na Drini Višegrad</b>                     | 466 |
| <b>ĐURIĆ N., ĐUJIĆ A., BABAJIĆ A., SRKALOVIĆ D., TADIĆ S., PERIŠIĆ M</b><br><b>Geološke karakteristike terena na lokaciji Termoelektrane Ugljevik 3 u Ugljevik</b>     | 473 |
| <b>FERHATBEGOVIĆ Z., ĐULOVIĆ I., JAHIĆ A.</b><br><b>Geološki sastav i inženjerskogeološke karakteristike terena u zoni slivnog područja Bistrička rijeka</b>           | 484 |
| <b>HUSEJNAGIĆ H., DERVIŠEVIĆ R., PADOVAN B., VIDOVIĆ N.</b><br><b>Inženjersko geofizičko-seizmološka istraživanja na lokalitetu Zgoni u Mostaru</b>                    | 494 |
| <b>IVANKOVIĆ B, BEGOVIĆ P.</b><br><b>Utvrdjivanje zona sanitarne zaštite izvorišta za potrebe vodosnabdijevanja Mokrog, opština Pale, Republika Srpska</b>             | 511 |
| <b>JAHIĆ A., PAŠIĆ-ŠKRIPIC D., ŽIGIĆ I.</b><br><b>Osnove za analizu i procjenu rizika od pojava klizišta na cestama Tuzlanskog kantona</b>                             | 522 |
| <b>JAHIĆ I., HALILAGIĆ D., DAJDŽIĆ E.</b><br><b>Obezbjedenje stabilnosti sjeverne završne kosine na PK „Šikulje“ metodom dreniranja vertikalnim bušenim bunarima</b>   | 526 |
| <b>KOLBAH S., ŠKRLEC M., GRIVIĆ F.</b><br><b>Mogućnosti istraživanja i korištenja ležišta geotermalne vode u BiH</b>   | 548 |
| <b>LAZIĆ M., KLJAJIĆ Ž., LAZIĆ B.</b><br><b>Hidrogeološka uloga sarmatskih krečnjaka područja Prnjavor - Srbac (Republika Srpska)</b>                                  | 562 |
| <b>MANDŽIĆ K., MANDŽIĆ E., IBRAHIMOVIĆ A., MANDŽIĆ E., SARAC I.</b><br><b>Istraživanje i sanacija klizišta u osulinskom materijalu na lokaciji „Kalovljakova luka“</b> | 581 |
| <b>MANDŽIĆ E., MANDŽIĆ K., BABAJIĆ E., IBRAHIMOVIĆ A., MANDŽIĆ E.</b><br><b>Veze geomehaničkih parametara peridotita-serpentinita</b>                                  | 589 |
| <b>MARIČIĆ A., TOMAŠIĆ I.</b><br><b>Neka svojstva benkovačkog prirodnog kamena važna pri određivanju mogućnosti upotrebe</b>   | 596 |

|   |     |
|---|-----|
| MITROVIĆ D., ROKIĆ LJ., LEKA K., SANDIĆ C.<br>Упутство за израду Основне инжењерскогеолошке карте<br>Републике Српске 1: 100.000 .....  | 604 |
| MULAĆ M., HAMZABEGOVIĆ A., STEVIĆ M.<br>Инженерскогеолошке и геомеханичке карактеристике терена и услови изградње<br>вјетропарка 36 MW на локацији Јеловача – Томиславград .....                          | 633 |
| NAKIĆ Z., MILEUSNIĆ M., POSAVEC K., RUŽIČIĆ S., PARLOV J., KOVAČ<br>Z., DURNG., BAČANI A.<br>Проект GENESIS: подземна вода и зависни екосустави .....   | 651 |
| OPERTA M., PAMUK S.<br>Геолошке и хидрогеолошке карактеристике сливног подручја горњег тока ријеке Босне .....  | 655 |
| PAŠIĆ-ŠKRIPIC D., ŽIGIĆ I., ALIĆ F.<br>Квалитет подземних вода подручја Грачанце .....  | 670 |
| SKOPLJAK F., HRVATOVIĆ H.<br>Прилог познавању генеде термалних вода у Фојници .....   | 677 |
| SKOPLJAK F., ŽIGIĆ I., PAŠIĆ-ŠKRIPIC D., ALIĆ E.<br>Методологија истраживања у циљу повећања експлоатационих резерви крашких врела на<br>примјеру „Студешнице“ и „Крабаšнице“ на Конјуху - Бановићи ..... | 695 |
| PARLOV J., NAKIĆ Z., POSAVEC K., RUŽIČIĆ S., DURNG., MILEUSNIĆ<br>M., KOVAČ Z., BAČANI A.<br>Загреб: Пут воде .....   | 712 |

#### **GEOMORFOLOGIJA – GEOTURIZAM - PALEOGEOGRAFIJA**

|  |     |
|--|-----|
| MUJKIĆ M., ŠARIĆ Ć.<br>Геолошка истраживања у циљу одређивања локације депозије отпада, санације<br>опћинских и неlegalних депозија отпада ..... | 714 |
| SUŠA I.<br>Европски пројекти у Босни и Херцеговини – SARMA и SNAP SEE .....  | 723 |



Cim, ul. Ante i Nikole Marića br. 7;  
Tel/fax: 036 341-591; Mob: 063 317-477  
e-mail: geo.marić@mocable.ba

## ISTRAŽNO BUŠENJE, ISTRAŽIVAČKE STUDIJE I PROJEKTIRANJE

### DJELATNOST

- Istraživanja ležišta mineralnih sirovina
- Inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja
- Hidrogeološka istraživanja i izrada bušotina i bunara
- Geotehnički radovi

### REFERENTNI RADovi:

Ležište lignita Kongora  
Rudnik ugljena Vihovići - Mostar (sanacija)  
Autoput na koridoru Vc Lot-7  
Autoput Zagreb - Dubrovnik (dionica Biško - Ploče)



**ISKUSTVO, ZNANJE I OPREMA  
GEO-MARIĆ MOSTAR d.o.o.**



# **GEOLOGIJA-STRATIGRAFIJA-TEKTONIKA**

## Contribution to knowledge of stratigraphy and tectonics of Tuzla surrounding area

REJHANA DERVIŠEVIĆ<sup>1</sup>, INDIRA SIJERČIĆ<sup>2</sup>

**Abstract:** For a better understanding of the tectonic structure of Tuzla and its near environment, of particular importance are transverse faults that Tuzla salt deposit divided into the blocks and lowered to the northwest. These faults are genetically younger structure occurred on the paleofaults directions, that initiated the basin's basement morpho structures. By its importance distinguished are faults along the valley of the river Solina and streams of Hukalo and Tušanj.

In the future study of these faults attention should be given to the field morphogenetic analysis and testing of physical and mechanical characteristics of sediments contained in its composition.

**Key words:** Miocene, fold and fault structures

### Geologic setting and characteristics

In lithofacial composition of terrain of wider Tuzla surrounding area, participation is taken by sediments of Neogene and Quaternary. Similar and same rocks also compose terrain in the north (Lopare basin) and the south of Tuzla (Đurđevik, Banovići). In their substratum are various carbonates and clastic rocks of Triassic, than ultramafic blocks and ophiolite melange – diabase-cherty formation, as well as various carbonates and flysch of Cretaceous and Palaeogene. Sediments of Miocene and Pliocene, and Neogene, are dominant in the urban terrain of Tuzla and represented in more details.

### Neogene

In the area that is at present known as Tuzla basin, continual sedimentation of lake, lake-lagoon and marine type sediments during Neogene has taken place. From Aegean to Pontian age, sediments in thickness of over 2.5 km were created and they have being preserved in present basin boundaries, in the area of over 600 km<sup>2</sup>, in a very complex conditions of geological localization, which are primarily conditioned by developments in Spreča's crust fracture.

Wider area of Tuzla city, in chrono-stratigraphic terms, belongs to Miocene, which is developed in the whole area of Tuzla basin. Its area becomes smaller in direction of northwest, what is in connection with tectogenetic processes in post Pontian age. Miocene is characterized with great variety of facies in all parts, and represented are creations of its all three parts: lower, middle and upper Miocene.

### Lower Miocene

Lower Miocene includes complicated complex of lagoon sediments of red, banded and multicoloured series. The subject are substrata sediments of lagoon and on top of that are layers with lenses of halite, inserted layers and lenses of tuffs, dolomitic micrite and dolomitic marls, and their lateral fruitless equivalents, localised in red and multicoloured series.

Lower Miocene is discovered only in the eastern part of Tuzla basin and at the crest of Jala-Požarnica anticline. They are lake, fresh water sediments, which are composed of stratified sandstones, differently coloured marls and clays, with inserted fine layers of sandstones. In the upper zone prevailing are marls with

---

<sup>1</sup> Dr.sc. Rejhana Dervišević, vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 2, 75 000 Tuzla, rdervisevic@gmail.com

<sup>2</sup> Dr.sc. Indira Sijerčić, vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 2, 75 000 Tuzla, indirasc@hotmail.com

shells that gradually transition into series of marl and limestone known as Slavinovići laminated limestone. They are developed on both sides of Jala river in Slavinovići area in facies of laminated marly limestone and limestone-like marls with poorly preserved shells of fresh water snails and ostracods. In the north of Jala river those layers decline in direction of N-NW; in their substrata is flysch like clayeous sandy, and in stratum is red series. In the south of Jala river those layers decline in direction of S-SW, entering into red series. Total thickness of older lower Miocene is up to 200 m. Those sediments in stratigraphic aspect correspond to Chattian-Aquitanian, more exactly Aegerian, according to new distribution of development of Neogene in Paratethys.

Stratum of red series ( $M_1^2$ ) is deposited concordantly on Aegerian sediments with gradual transition. The “Red series” is composed of red conglomerates, sandstones of different colours and grain size distribution and allevolites with tuff like cement, than tuffite, clays, marly limestone and gypsum. In composition of this series, significant is participation of terigenetic and pyroclastic materials. Dominant colour of the series is red with shades and transitions, especially with clays and sandstones. Significant participation also has a green colour, which together with green, yellow and numerous shades of basic colours. Red series is reliable substrata of salt bearing sediments in terrain in east and north of Tetima, while in north of Breške and Dokanj it lays under multicoloured series, which are lateral facies, equivalent of banded salt bearing series.

Sediments of red series have significant spread in the north side of Dokanj’s syncline, in Slavinovići, than in the north of Jala river in the area of Raslovica and greenery.

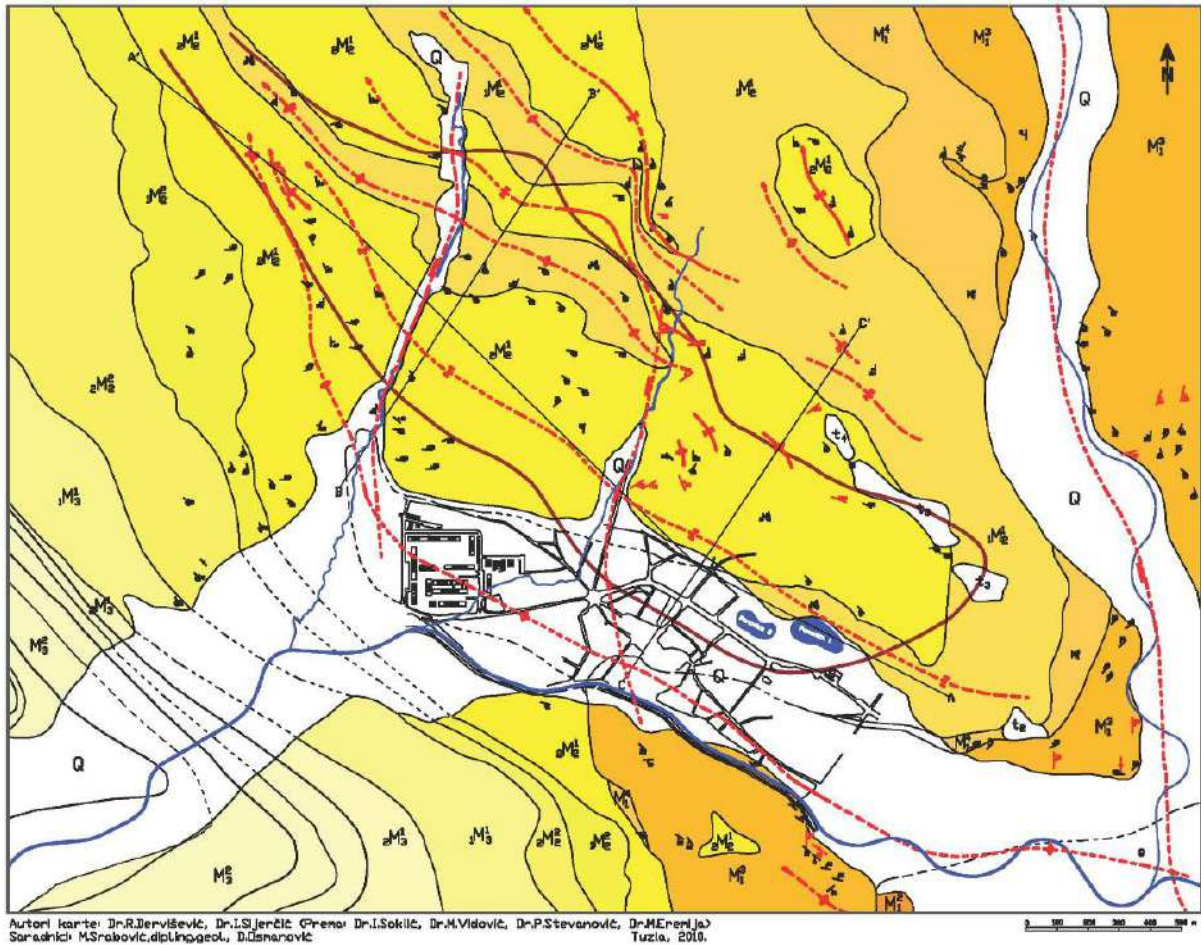


Fig.1. – Geological map of Tuzla and wider area

Red series is terrestrial formation created in lake-lagoon environment, what indicates to interaction of younger lacustrine limestone with fresh water fauna. Gradually, the changes in lake regime of sedimentation changes into lagoon and sedimentation process of banded and multicoloured series is caused. Transition from red into banded series is gradual.

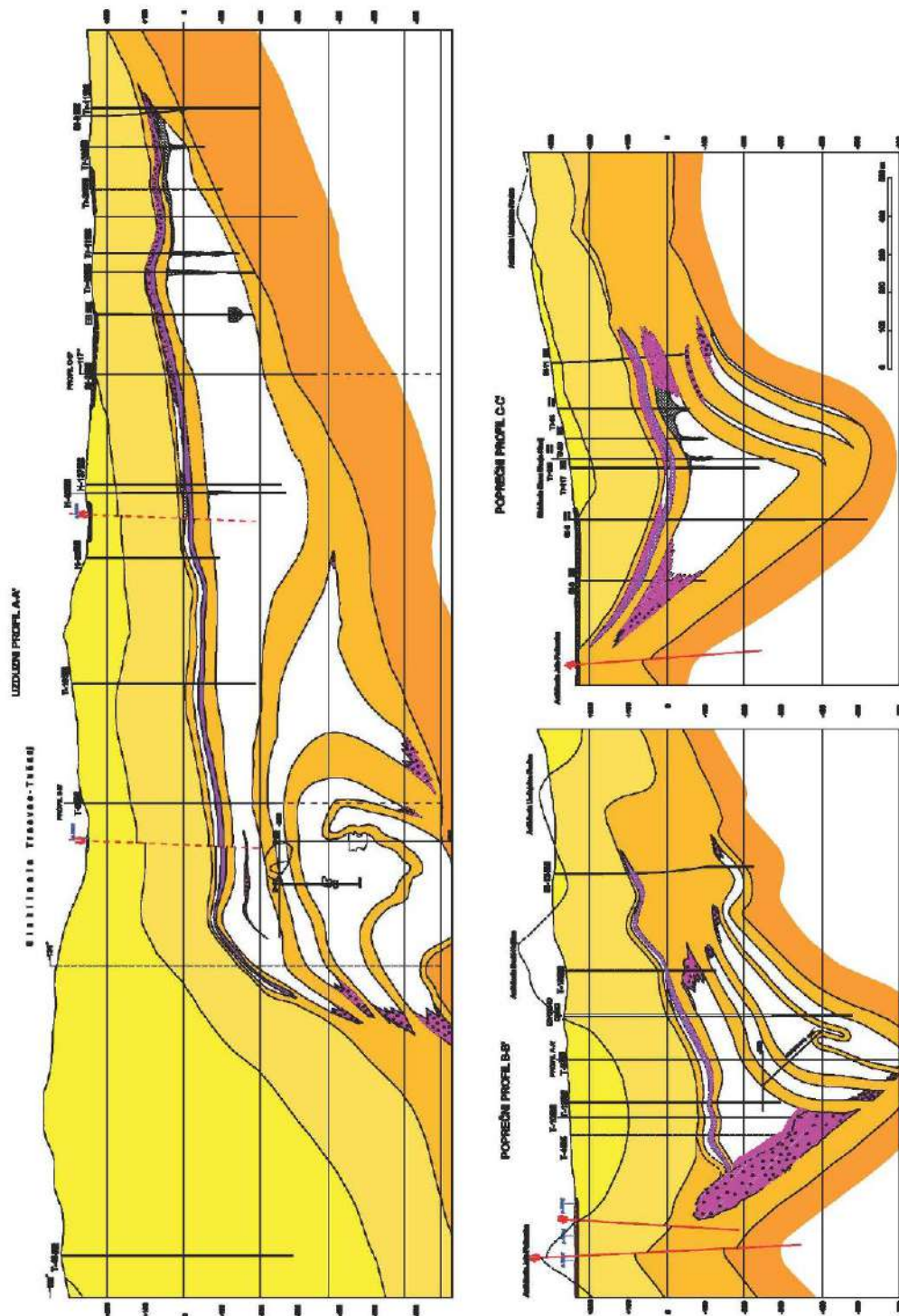
Thickness of the red series is up to 200 m. In the aspect of paleontological material it is sterile so its age is determined by super positioning placement in the column of older Miocene sediments.

Outcrops of the banded series (older Carpathian  $M_1^3$ ) occur as continual horizons between red series and Carpathian marine marls. In the banded series, both deposits of rocky salt found until present are located. This stratigraphic member is, in its main part, product of chemical sedimentation.

That is, in its bigger scope, related also to multicoloured series ( $M_1^3$ ), which is its lateral inshore facies equivalent. Those two groups of layers are different as in their place of creation as well as in the aspect of their facies composition; and based on that, they are distinguished as banded or salt series and multicoloured series. The first one includes homogeneous, salt bearing, and the other one terigenous and transitional facies.

Lithofacial composition of the banded series is characterised by presence of carbonate rocks of homogeneous origin, with which also occur a clay component of mechanical origin. In the upper levels of the banded series confirmed are evaporation lithological members: rock salt, Glauber's salt, anhydrite and thenardite, as well as occurrence of minerals of: northupite, nahcolite, probertite, bradleyite and celestite. In composition of banded series, besides to carbonate homogeneous sediments and typical evaporates, there are also marls, clayey marls, clays, marly alevrolites and alevrolites, created in more shallow parts of a lagoon.

Pyroclastites are also represented in composition of banded series, in thickness from 5 cm to 14 m, confirmed, mainly, in middle and upper parts of lithological stratigraphic column, as syncline orogenic product of Styrian tectonic genesis. Immediate roof of salt formation, at some places up to 150 m, is composed of marls and sandstones of lower Carpathian.



The largest extent, the banded series has in the north of Jala river, in the left and right bank of Solina. Very nice outcrops are placed at the foothills of Gradina, above the city brewery, where two levels can be distinguished: older – decayed clays and younger – banked marls with numerous imprints of march vegetation.

Thickness of salt bearing series, in the full development, is around 550 m.

Multicoloured series ( $M_1^3$ ) are composed, mainly, of clastic sediments: conglomerates, sandy and gravel rich clays, arenite, alevrolits, coarsely grained sandstones, tuffs and very rarely "bumpy" limestone. Colours are red, green and grey, with numerous transitions, according to what the series has been named. There is very often occurrence of horizontal change of coarsely and finely grained sediments, occurrence of inclined and gradual stratification, and poor sorting of material, what indicates to shorter transport distance and sedimentation in shallow water. For determination of exact stratigraphic position of multicoloured series, used were their relations with other stratigraphic members of older Miocene. In that way, near Gornja Tuzla, it is confirmed that multicoloured series are placed concordantly over red series and that laterally and in upper part it transitions gradually into sediments of banded salt bearing series. In layers of multicoloured series, in the area of Gornja Tuzla, at locality of Bilježak, were found remains (three teeth) of mammal *Mastodon angustidens*, on which basis Soklić & Malez (1969) indicated to Carpathian age of layers in which it was found.

Sediments of red and multicoloured series were settled in periphery parts of lagoon; in the middle part of lagoon settled was red, over it banded salt bearing series, and in the edge parts of lagoon, settled are layers and lenses of multicoloured series.

Stevanović and Eremija (1960) considered multicoloured series as lateral equivalent of salt bearing formation; Soklić (1978) determined multicoloured series as substrata of salt formation, while Vrabac and Čorić considered that "*red and multicoloured series should be justifiably merged in clastic – pyroclastic formation, which represents lower Miocene substrata of salt bearing formation*" (2008).

Horizon of banked limestone ( $M_1^4$ ), in syncline Gradina-Trnovac-Tušanj, previously called "Tuzla banked limestone" creates final level of salt formation. It is permanent and main lithofacial member, which separates lake-lagoon from marine sedimentation and it represents substrata to sediments of younger Carpathian. It is represented with finely stratified, banked marly limestone, whitish and yellowish in colour. In their roof are Baden marls, which are typical marine sediments in the south edge of Pannonian basin. Salt deposits and other homogene sediments were created in lagoon, which was connected with opened sea. Tinja canal could have had been ideal connection between sea and lagoon and in the bay, which was formed between initial Mesozoic ruff of the west Majeвица, and Konjuh and Ozren in the southwest side (Čičić 2002). Tuzla's limestone is the youngest sediments in the older Carpathian. Banked, homogene tuff limestone, in thickness of 5-50 m, is also known in literature as "*platenkalk*".

Total thickness of salt bearing sediments in Dokanj's syncline is up to 800 m, while in the area of Tuzla and Tušanj is a lot smaller.

### **Middle Miocene - Badenian ( $M_2^1$ )**

Sediments of Badenian age have a great spread in the water supply area of Jala, in the east and south of Tuzla city. Badenian sediments in their greater part of Tuzla basin laid concordantly over marine Carpathian, and in their smaller part over fresh water lower Miocene. In the eastern part of Tuzla basin, they settled over salt formation of Tuzla. They consist different marine fossils, based on which the age of those sediments was precisely determined. Their characteristics are great facies variety, and at relatively small area several lithofacial types are changed. In the area of Tuzla, on the basis of data of geological mapping and deep borehole drilling, it was confirmed that marls in vicinity of Tušanj reach thickness of even up to 400 m. On the basis of recorded lithostratigraphic columns and certain fossils those sediments are separated into lower and upper Badenian (Ferhatbegović & Vrabac 2006).

Lower Badenian starts with black non-stratified compact marls, and on top of them there are dark grey marls with micro fauna that indicates continuity of lake-marine sedimentation. In lithological composition of this series, besides to massive, leafy to banked sandy-clay marls, place also take, in smaller scope, conglomerates and silicate limestone. Thickness of this level varies in range of 50-120 m.

Upper Badenian is characterised with much greater variety of facies, and it is the best researched in terrain in north and northeast of Tuzla, as well as the city area. In anticline Dolovi and in Dokanj syncline the following litho types are represented: marl, clayeous alevrolite, fossiliferic shale, biomicrite, microsparite, calcilithite, chert arenite and breccias. Globally, in composition of upper Badenian of Tuzla basin prevailing are finely stratified marls, alevrolite and arenite in thickness of about 300 m. Series has characteristics of turbidity sedimentation with characteristic internal textures. Fossil bearing are only its certain parts so on the basis of characteristic types upper Badenian stage of those sediments was determined.

### **Middle Miocene - Sarmatian ( $M_2^2$ )**

Sediments of Sarmatian lay concordantly, with gradual transition, over youngest sediments of Badenian. Sarmatian sediments are in lithological aspect similar to those of Badenian, but at some areas they could be distinguished only according to fossils. In litho facial composition part is taken by marls, sandstones, marly sandstones, conglomerates, clayeous and sandy marls, banked limestone with ousters, coal bearing sandstones and clayeous coal with fresh water fossils, and in the final part, biogenic oolitic limestone. Most of those lithotypes are replacing each other laterally and vertically, with often changes in colour and grain size distribution, and conglomerates are found in upper parts, in the form of thicker lenses and banks.

The oldest Sarmatian, lower "Rissoa layers", occur in deeper parts of Tuzla basin, mainly in Kreka synclinorium. It is represented with dark grey, finely stratified marls with internal thin layers of marly sandstones. Internal layers of conglomerates occur in younger level of *Rissoa* layers. Younger part of lower Sarmatian corresponds to upper *Ervilia* layers and lower part of *Mactra* layers. Those sediments start with quartz sandstones, which in upper parts transition into coarsely grained chert-quartz poorly bonded conglomerates. Over them, placed are marly and coal bearing sandstones with fresh water snails, and on top of them are banked limestone. In lower parts of *Mactra* layers are limestone sandstones, which are replaced with poorly bonded sandstones and sandy or marly clays, and there also occur banks of oolitic limestone and layers of coal bearing clays.

Thickness of Sarmatian in Tuzla basin reaches up to 400 m.

### **Upper Miocene – Pannonian ( $M_3^1$ )**

Pannonian sediments have really great spread in the edge of north Kreka synclinorium; they are developed mainly in facies of clay or iron rich solidified sands, with smaller intercalations of grey clay and gravel. In facial composition of Pannonian compound are sandy clays, finely grained sands, marly clays, sands and sandstones. Over those sediments, there are clays, with local lenses of sands, while final part of Pannonian is represented, mainly, with coarsely grained quartz sands, and at some places with finely grained gravel, which represent immediate substrata of Kreka coal layer.

Total thickness of Pannonian sediments is about 400 m; it is significantly reduced in direction towards city of Tuzla due to erosion activity (200 m). In central part of Dokanj syncline, thickness of Pannonian sediments is estimated to about 120 m.

### **Upper Miocene - Pontian ( $M_3^2$ )**

Pontian sediments compose west and southwest area of the city, in vicinity of Kreka and Moluhe. Development of Pontian sediments in Kreka synclinorium is characterised with regular rhythmicity; in the biggest part of terrain, there could be distinguished four rhythms of sedimentation with four coal layers (floor, main, first and second roof). Thickness of rhythms – horizons varies in range from 200-250 m. Besides to sand, clay and coal, within Pontian series also occur their transitional creations: sandy and dusty clays, clayeous sand, and at some places also poorly bonded sandstone.

Presence of lower and upper Pontian is being confirmed. Lower Pontian ( $^1M_3^1$ ) starts with floor layer of lignite, on top of which follows clayey roof rocks and quartz sands from the floor of main lignite layer. Clays and sands consist also rich fauna of moluscoïdes, with significant caspi-brachia characteristics, based on what it was confirmed that it belongs to lower Pontian, new Siberian stage. Thickness of those sediments is about 100 m.

Over them there are clayey-sandy and sandy sediments of upper Pontian – Portaferrian stage, and there are rhythms with I and II roof coal layer, above which there are red burned (*brandt*), than sands and clays poor with fauna.

Pontian sediments in Tuzla basin reach thickness of up to 900 m.

## Quaternary (Q)

Quaternary sediments are developed as river terraces and deposits in valley of Jala and Solina and beds of some of their tributaries. Terrace river sediments are noted at the reef Gradina-Trnovac-Kicelj in rambling belt, at relative altitude of 55-85 m over Jala. They are represented with gravels and sands in yellow-amber colour, inserts of sandstones, clayey sands, clay and mud.

Recent river deposits have significantly bigger spread. They compose low terrace, at some places in width of 600-700 m, on both sides of river bed. Besides gravel, lithological structure is participated with sandy clays, sands, mud of sediments of flooding, gravel and sand of aits, as well as pebbles with different diameter, alluvial river beds of water streams of Solina and its tributaries.

Thickness of Quaternary sediments is about 15 m.

## Geotectonic regioning

Researched terrain is characterised with great facial variety. (Čičić & Dervišević 2002) in wider area of Tuzla distinguished are following structural-facial units:

1. Upper Permian and Triassic carbonates
2. Diabase-chert formation and ultrabasic massive
3. Cretaceous-Palaeogene carbonates and flysch
4. Miocene fresh water basins
5. Tuzla basin.

It is obvious that sedimentary, magmatic and metamorphic creations belong to different stages. They are described in more details in quoted paper, while at this occasion, attention is targeted to structures of northeast part of Tuzla basin, to which also belong researched terrain of Tuzla and its region.

## Structural-facial unit of Tuzla basin

Tuzla basin is special and specific structural-facial unit in this region. Its longer axes, between Doboj on NNW and Caparde on SSE, is about 75 km. Width of the basin with immediate rim varies from 12 to 35 km, and average width is about 20 km. Basin is in closer aim, placed on the right side of Spreca fault, more exactly between river Spreča and mountains Trebovac and Majeveca, to fault Turija-Tinja. Surface of basin in that frame is about 650 km<sup>2</sup>.

Geological structure of terrain in the edge of the basin is very complex. Similar situation is also at the bottom of the basin, which is also composed of different Mesozoic and Cainozoic formations. They are placed in four structural stages, which also represent main stages of Alps orogenesis cycles in zone of inner Dinarides. In geological structure of closer basin's terrain, participation in composition is taken by Miocene



and Pliocene-Quaternary, mainly sedimentary creations. Magmatic rocks were not recorded, and occurrence of tuffs is localized in lagoon and lymnic sediments of Aegerian, Egenburgian and Otnangian.

Tectonic structure of basin is quite well studied. This specially relates to its part in the east from Tinja and Šikulje in which there are deposits of halite and lignite, and occurrence of oil and mineral and thermal water. Part of the basin in the west of Tinja does not have any significant mineral raw materials, and it is represented with different litho facial composition, tectonic structure and geological evolution. Global structure of basin the basin is a product of complex tectonic processes in inner Dinarides, especially by emphasized subduction of African plate under Eurasian plate. Basic results of that global process in this part of inner Dinarides is creation of Spreča-Kozara crustal fault in which zone is formed a paleodepression of unstable bottom. In it, practically through the whole Tertiary, different sediments were disposed, from Cretaceous-Palaeogene and Eocene flysch to the youngest Plio-Quaternary molasses and alluvium. Basin's bottom was unstable and it was sinking along Spreča's fault. Because of that, only in Neocene, disposed were sediments that are thick over 2.5 km.

Because of strong post Pontian buoyancy, terrain is in the south part of Majeвица folded into complex synclinorium, in which there are Dokanj syncline, anticline Dolovi, syncline Gradina-Trnovac-Tušanj, Kreka syncline, anticline Ravna Trešnja and others. Jovanović has given in profile (figure 2) simplified, but exact representation of this structure:

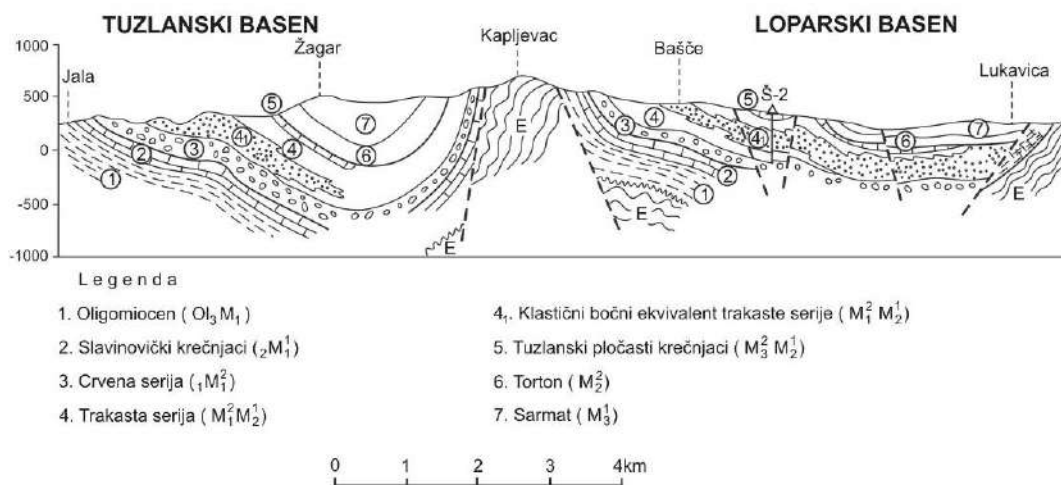


Figure 2 – Cross section profile through terrain between reef of Majeвица mountain and (Kapljevac, lev.467 m) and Jala river, according to **Č.Jovanović** (1977, page 117).

Visible is subvertical placement of its north side, as well as other noted structures, especially anticline Dolovi mildly waved terrain of syncline Trnovac, to fault of Jala and older sediments of Egenburgian, discovered at slopes of Ilinčica.

### Folding and fault structures in the northeast part of Tuzla basin

In Tuzla basin, there are numerous folds, which have same direction as well as reef of Majeвица and relatively steeper northeast sides of synclines, and southwest sides of anticlines.

Emphasized are folds or transitional type, as those box like and reef like, even though, most of the folds, especially in the eastern part, of holomorphic type. Expressive box like fold is represented in anticline Dolovi, which sides are represent disguised faults of older terrain, and anticline Ravna Trešnja and Jala-Požarnica. Longitudinal faults have staircase like disposition and they were created from one side by middle Majeвица crest uprising, and from the other side by Kreka basin sinking. During that process, ancillary

gravitation folds were created such as Blace in the south side of anticline, and faults Jala and Hukalo in the north (Soklić 1964).

On one line, perpendicular on Dinarides direction, "vanishing" are plicative structures and articulate folding of northeast side of Kreka syncline is being done. That is "*line of breaking*" of longitudinal tectonic movements, where from the radial separation of tectonic forces, caused by salt deposit of Tuzla (Stevanović & Eremija 1960).

In water basin of Jala and Solina, which partially, or in whole, belong to city area of Tuzla, the following tectonic structures are located:

#### a) Folding structures

##### – *Dokanj syncline*

Length of the syncline is 12.5 km, amplitude 1.4 and span is 1.4 km. Asymmetrical fold; northeast sides along the edge of basin is inclined even over 75%. It is located in southeast part of Tuzla basin, between Konjkovići in the east and Obodnica on the west. In its bottom is a rock salt deposit Tetima.

Neogene lagoon sediments and marine sediments of Dokanj syncline have got such form because they are in immediate contact with synchronal inclined older ophiolite and Cretaceous-Palaeogene sediments, on which they lay discordantly. Similar, sub vertical position also have Pontian lignite bearing layers in north part of Kreka syncline, which, due to strong vertical forces caused by Majevisa mountain reef lifting up and resistance on contacts with banded sediments and due to diapiric pressures in the zone of rock salt deposit.

##### – *Anticline Dolovi*

It is continuing from Dokanj syncline, with which it makes complete fold; length is about 9 km, width at line Tuzla-Svojtina is 5 km. Its core consist sediments of salt bearing banded series, and in the southwest folded side is deposit of salt Trnovac-Tušanj. It sinks towards NW, under younger sediments of Miocene (M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub>). Most probably that this structure is connected with occurrence of salt deposit in the north of Lipnica, towards the reef of Majevisa mountain. Anticline Dolovi is not a simple tectonic unit, it actually is an antyclinorium (Stojković 1978).

##### – *Syncline Trnovac-Tušanj*

It stretches from river Solina, over deposit Trnovac and Hukalo, to creek Tušanj. It is composed of layers of banded series in which rock salt deposit is placed, which was subject of exploitation in period from 1967 to 2004. Over banded sediments, on the sides of anticline Dolovi and in the area of Omerovo hill, Carpathian and Badenian sediments. The whole structure slowly sinks towards northwest, from fault of Solina river to creek Tušanj. Along this and creek Hukalo, banded and younger sediments are with faults with block sinking towards northwest. That sinking, from reservoir Trnovac, over Hukalo to Tušanj is about 400 m. Thankfully to that, on the right side of Solina, preserved are clay and tuff marls from upper parts of banded series and banded Tuzla limestone, which gradually sink and subdued under Carpathian and Badenian sediments what in reservoirs Trnovac and Hukalo is confirmed by drilling, and in salt mine also with mining operations.

Range of folding oblique on southwest side of anticline Dolovi represent part of synclinorium Trnovac, and syncline Trnovac-Tušanj its deepest part (Soklić 1986).

##### – *Syncline Kreka*

It represents complex folded shape in length of about 12 km. there are several plicative folds in it, because of what it is in use an expression of "north synclinorium of Kreka". In the area of Lukavac, this structure has elements of brachi syncline, with width of up to 5 km. NE side is characterized with torsion-bending of coal layers along the direction of stretching what is explained by reflex of counter resistance from the side of salt body. In the south of Jala, Pliocene sediments are syncline bending in direction o SW – perpendicular to Dinaride placement in the area where Jala anticline is ending.

In litho facial composition of Kreka basin, dominant are quartz sandstones, layers of lignite and clay in their roof which are changing rhythmically. In this structure are developed four rhythms, in total thickness of up to 1200 m, settled in Pontian stage. Folding of sediments was done between Portaferian to Holocene age.

–*Anticline Jala-Požarnica*

As this plicative structure is called in all published papers, is actually a part of south side of anticline Dolovi, revealed in the zone of fault Tuzla – Simin Han. That is relatively asymmetrical structure with mild vergence towards SI and the axe that in the eastern part curves in direction E-W, and then it turns along Dinarides direction. Around Slavinovići, there are older outcrops of Aegerian: marl, clayeous sandstones, banked limestone, for which it is presumed that are the top of this fold, according to which it was named. Those sediments were not discovered in the valley of Jala in the city area, where they have sank significantly deeper.

**b) Fault structures**

– *Spreča fault*

Is a crustal, deep fault, which predisposed Tuzla basin, from Dobož and Gračanica to Gornja Tuzla and Caparde. It belongs to the biggest fault structures in Dinarides. It is followed by systems of parallel faults in ultrabasic rocks and sediments of Mesozoic. Sinking of this fault, in the central part of the basin, between Tinja and Tojšići perpendicular fault, is up to 2.5 km, but with great variations. Route of faults is marked with occurrence of thermal (Toplice), mineral (Kiseljak) and thermal mineral water (Boljanići-Gračanica). Spreča fault prolongs towards NW to slopes of Kozara and Una.

To Spreča fault zone, Jala fault also belongs, with which the anticline Ravna Trešnja separated from Tuzla city area. This fault is not studied sufficiently even though it has significant role in morphological genetic evolution and structure of Tuzla salt deposit and, most probably, in limitation of its development towards south.

– *South Majeвица fault*

Is a deep fault structure, which is of primary importance for formation of reefs of Majeвица and Trebovac mountains. Creations of Mesozoic and Tertiary have sank with it in Tuzla basin for 1.5-2.0 km. According to that, it has very important role in formation of reef of Majeвица and Tuzla basin, and especially, of previously described folding and fault structure in Tuzla city and its closer vicinity.

**Perpendicular faults** have very important role in formation of tectonic structure of Tuzla basin, especially in its northeast part between Tinja in the west, Spreča and Jala in the south and Solina in northeast. In wider surrounding area of Tuzla, there are the following faults: **Tinja-Turija**, which sank eastern part of the basin; **Tojšići-selo Gračanica** and **Dubnica-Gojčin**, which, before Kalesija makes the end of the basin in direction of southeast. Besides to noted, in this part is known a higher number of intrabasin diagonal and longitudinal faults, out of which the one that is more important is the fault from Tinja to Moluhe and Paša Bunar, than there is already mentioned fault in the valley of Jala and many others, outside the city area.

For better understanding of tectonic structure of terrain of Tuzla and closer vicinity, perpendicular faults are of special importance, with which Tuzla salt deposit is divided into blocks and inclined down towards northwest. Those faults are in genetic aspect of younger structure, created in direction of paleo-faults, which initiated morphological structure of basin's bottom. With their importance, distinguished are faults along river Solina and creeks Hukalo and Tušanj.

**Fault Solina** is placed in direction SSW-NNE, from village Grabovica towards Tuzla, in the length of about 3.0 km. It is crossed with fault of Jala, and it vanished in the left side of this river. Surface of Solina fault is inclined downwards in direction of NNW, in other words in direction towards Tuzla, Hukalo, Tušanj

and Lipnica. It crosses anticline Dolovi and sank banded and younger Badenian-Sarmatian sediments, which are, together with Pannonian sediments preserved in the sides of this structure and in the basis of Pontian creations of Kreka. We would like to emphasize that better knowledge of faults of Solina and Dolovi anticline is of essential importance for understanding of geological and morphostructural characteristics of this terrain, and especially of known deposit of rock salt Tuzla and further to northwest in direction of Tušanj and Lipnica.

**Fault Hukalo** is placed along the valley of the creek with the same name. In the distance of 50-100 m from the city square, this creek turns to west-southwest where it discharges into Jala.

Valley of creek Hukalo is in the zone of the fault with the same name, which is placed between Omerovo brdo in the west and reservoir Trnovac in the east. Indications of presence of this fault are as follows: a) altitude difference of the same – level mark layers in boreholes, they are significantly lower – deeper salt bearing sediments in reservoir Hukalo in comparison to their hypsometric placement in reservoir Trnovac-Gradina; b) opposite inclination of layers in eastern and western sides of the creek Hukalo; c) preserved sediments of Badenian in the area of Omerovo brdo; d) springs of salt water at Soni trg (Salt Square), where even in the medieval age exploitation of salt water was done as well as production of edible salt.

Diversion of water flow of creek Hukalo towards southwest from city square is caused by creation of alluvial-diluvia flooding cone and upraised masses between the square and square in front of refurbished “Barok” building, what is checked with researched shafts and drilling to about 20 m (Čičić,1959). That means that they are not younger tectonic movements, even though they should not be completely excluded.

**Fault Tušanj creek** also belongs to important rupture structures of Tuzla city areas. It has expressive NW placement direction, and it starts from the lower part of the stream of Tušanj creek and it goes in direction of Piskavica and Mehmedovići. Downwards inclination of it west side has limited extension of salt bearing sediments in direction of northwest. Tušanj’s fault is marked as Tušanj’s zone of disturbances, genetically connected to diapyritic of rock salt, with many faults with Dinaride extension direction in the area that is 100-150 m wide, which is characterized with occurrences of fault’s breccias, tuffs and strong torsion of layers along their extension (Stevanović & Eremija 1960). However, we should emphasize that this rupture, as well as the zone of Hukalo fault, are not researched at satisfactory level using boreholes with closed, in other words 100% core sampling and/or mining works. This is specially related to terrain from Paša Bunar and in the area of Tušanj stadium, where were discovered younger sediments of Sarmatian and Pannonian, in the substrata of lignite bearing layers of Pontian – Porthapheric stage.

On the basis of terrain conditions we think that salt bearing sediments of older Miocene (Aegerian-Otnangian) sank towards northwest, what is indicated by their occurrence in the area of Lipnica (Delića creek). That is of wider geological importance, especially for work on future programmes of local and also regional researches in north part of Tuzla basin and city area of Tuzla.

Besides to mentioned discontinuity in extension of middle Miocene sediments between Omerovo brdo and right side of Tušanj creek, its existences is indicated by morphology of this creek, especially over the mine of rock salt with the same name, specially from the mine management building upstream in direction of Rasovac.

Hard terrain identification of Hukalo and Trnovac faults is connected also with prevailing clay components in litho facial composition of Miocene sediments, which are easily degraded in contact with water that flows to terrain and into the deposit. Because of that and noted diapyritic tensions, relatively fast closing of fault cracks occur, what is not the case with the right side of Solina, where banked Tuzla limestone (Stevanović & Eremija 1960) mark the zone of faults, we well as on the steep part of Gradina, where the same role have the shelly marls. All of that indicate that during future research of those geological phenomena, besides to other geological methods, great importance shall be given to morphogenetic analysis of terrain and research of physical-mechanical characteristics of sediments that are participating in its composition.

## REFERENCES

- Čičić,S.,Mojićević,M.,Miladinović,M.(1981.): Tektonski sklop Trebovca i zapadne Majevice. Geol.anali Balk.poluostrva, knj.XLV, Beograd.
- Čičić,S.,Jovanović,Č.(1987.): Prilog poznavanju geološke građe, geneze, evolucije i tektonike Tuzlanskog basena sa širim osvrtom na prilike u slivu Jale i Soline. Geološki glasnik br.30. Sarajevo.
- Čičić,S.,Jovanović,Č.,Mojićević,M.,Tokić,S.(1991.):Tumač za list "Tuzla" OGK SFRJ 1:100 000. Savezni geološki zavod Beograd.
- Čičić,S.,Jovanović,Č.,Mojićević,M.,Tokić,S., Dimitrov, P.(1991.): Osnovna geološka karta list Tuzla 1:100 000. Savezni geološki zavod Beograd.
- Čičić,S.(1991.): Tumač Geološke karte Bosne i Hercegovine 1:200 000. FSD ENERAGONAFTA - Energoinvest. Bosanski Brod.
- Čičić,S.(2002.): Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Monografija, str.1-350. Earth Science Institute. Sarajevo.
- Čičić,S.(2002.): Geološka karta Bosne i Hercegovine 1:300 000. Earth Science Institute. Sarajevo.
- Čičić,S.,Redžepović,R.(2003.): Prilog poznavanju geotektonike i geneze Tuzlanskog basena. Geološki glasnik br.35. Sarajevo.
- Ferhatbegović,Z.,Vrabac,S.(2006.): Paleontološke i biostratigrafske karakteristike badenskih sedimenata u središnjem dijelu Tuzlanskog basena. Geološki glasnik br.36. Sarajevo.
- Katzer,F.(1903.): Die Hauptzüge des geologischen Aufbaues des Majevice-gebirges und der Umgebung von Dolnja Tuzla in Bosnien. Centralblatt.f. Min.etc., p.217-221. Stuttgart.
- Jovanović,Č.(1977.): Sononosni miocenski sedimenti. Geologija Bosne i Hercegovine, knj.III; Kenozojske periode. Geoinženjering. Sarajevo.
- Pavlović,S.(1977.): Krekanski basen. Ležišta mineralnih sirovina BiH. Knjiga I, Ležišta ugljeva. Geoinženjering. Sarajevo.
- Redžepović,R.(2003.): Integracija podataka u ekspertskom sistemu ocjene nemetalnih mineralnih sirovina krečnjaka u širem obodu Tuzlanskog basena. Doktorska disertacija. RGGF. Tuzla.
- Soklić,I.(1964.): Postanak i struktura tuzlanskog basena. Geološki glasnik br.10. Sarajevo.
- Soklić,I.(1975.): Stratigrafija i facijelne karakteristike tuzlanskog oligomiocena. Znan. savjet za naftu. JAZU. Zagreb.
- Soklić,I.(1986.): Tektonsko-strukturni oblici tuzlanskog bazena i Majevice. Zbornik radova ANU. Sarajevo.
- Stevanović,P.,Eremija,M.(1960.): Miocen Donje Tuzle. Geol.anali Balk.poluostrva, knj.XXVII. Beograd.
- Stojković,J.(1978.): Novi pogledi na tektoniku ležišta kamene soli u Tuzli. Zbornik radova IX kongresa geologa Jugoslavije. Sarajevo.
- Vidović,M.,Soklić,I.,Stojković,J. at all (1979/80): Geologija i inženjerska geologija ležišta soli u Tuzli. Rudarsko-geološki Institut i Fakultet, OOUR Institut za rudarska istraživanja. Tuzla.
- Vrabac,S.,Čorić,S.(2008.): Revizija "karpata" tuzlanskog bazena sa osvrtom na stratigrafski položaj sone formacije. Geološki glasnik br.37. Sarajevo.

## Stratigrafija krede, paleogena i miocena u bušotini FA-1 kod Gračanice

IZUDIN ĐULOVIĆ<sup>3</sup>, SEJFUDIN VRABAC<sup>4</sup>

### SAŽETAK

Profil istražne hidrogeološke bušotine FA-1 izgrađen je od marinskih sedimentnih stijena. Stijene su predstavljene klastitima i krečnjacima. Klastiti su dominantno prđstavljeni laporcima.

Paleontološkim istraživanjem uzoraka iz bušotine određene su badenske foraminiferske zone: *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*, te *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*. U mikritskim krečnjacima paleogena nađen je *Nummulites* sp. U laporcima krede definisane su izuzetno rijetke foraminifere: *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globigerina* sp., *Cibicidoides* sp. i *Valvulineria* sp.

Gornjokredni i paleocen-eocenski sedimenti su taloženi, vjerovatno kontinuirano, u marinskim uslovima, a klastiti donjeg badena nalaze se diskordantno preko paleocen-eocenskih sedimenata.

Ključne riječi: gornja kreda, paleocen-eocen, donji baden, Gračanica.

### SUMMARY

Profile of investigate hydrogeological borehole FA-1 is built from the marine rock sediments. Sediments is represented by clastics and limestones. Clastics is dominantly represented by marls.

In the profile of borehole is determinated the Badenian foraminiferal zones: *Globigerinoides trilobus* and *Orbulina suturalis*, as well as *Ammonia viennensis* and *Nonion commune*. In the micrite limestones of the Paleogene is determinated *Nummulites* sp.. In the marls of the Cretaceous is determinated rarely foraminifera: *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti*, *Globigerina* sp., *Cibicidoides* sp. and *Valvulineria* sp..

Upper Cretaceous and Paleocene-Eocene sediments are probably deposited continously in the marine environmental conditions, while clastics of the lower Badenian is positioned discordantly over the Paleocene-Eocene sediments.

Key words: Upper Cretaceous, Paleocene-Eocene, lower Badenian, Gračanica.

---

<sup>3</sup> Dr. sc., docent, Univerzitet u Tuzli, RGGF, izudin.dulovic@untz.ba

<sup>4</sup> Dr. sc. red. prof., Univerzitet u Tuzli, RGGF, jvrabac@yahoo.com

## U V O D

Istražna hidrogeološka bušotina FA-1 locirana je sjeverno od Gračanice na udaljenosti oko 3 km (sl. 1). Njene koordinate su:  $y = 6,526.238$ ,  $x = 4,953.901$  i  $z$  oko 260 m. Bušotina je rađena bez jezgrovanja i dostigla je dubinu 379 m (januar 2013 god.). Uzorci za mikropaleontološka istraživanja nabušenih sedimenata uzimani su sa sita. Ukupno je uzeto 13 uzoraka u intervalu 43-379 m. Analiza sadržaja 12 mikropaleontoloških uzoraka vršena je na nadsitnoj frakciji granulacije preko 0,1 mm. Samo je uzorak krečnjaka u intervalu 165-212 m analiziran na frakciji krupnijoj od 2 mm.

Mikropaleontološka istraživanja rađena su s ciljem stratigrafskog raščlanjivanja sedimenata u profilu bušotine FA-1.

Oko 800 m jugozapadno od bušotine FA-1 tokom 1988 god. urađena je istražna hidrogeološka bušotina VK-2 koja je kontinuirano jezgrovana. U profilu ove bušotine izdvojeni su klastiti (konglomerati, pješčari i laporci) donjeg badena (0,0-229,5 m) i sivi masivni krečnjaci paleocena-eocena (229,5-257,5 m) (Vrabac et al., 2000).



**Slika 1.** Lokacija hidrogeološke bušotine FA-1 pored koje se vidi izdanak polimiktog, slabo vezanog, donjobadenskog konglomerata

### Opis mikropaleontoloških uzoraka iz bušotine FA-1 i njihov stratigrafski položaj

#### Uzorak 1. (43-44m)

Fragmenti laporaca, krečnjaka, pješčara, kvarca, ultrabazita, serpentinita, rožnjaca, pirita i dr.. Foraminifere rijetke, predstavljene dominantno planktonskim formama. Ljušturice foraminifera često su piritizirane. Rijetki su fragmenti bodlji ehinida. Određene su sljedeće foraminifere (sl.2): *Orbulina suturalis* BRÖNNIMANN, *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY, *Globigerinella regularis* (d'ORBIGNY), *Pappina parkeri* (KARRER), *Bulimina* sp., *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY), *Chilostomella ovoidea* REUSS, *Valvulineria complanata* (d'ORBIGNY).

Starost: **Donji baden** – zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*



Slika 2. Foraminifere donjeg badena u uzorku br. 1 (43-44 m)

**Uzorak 2. (72 m)**

Fragmenti krečnjaka, ultrabazita, serpentinita, kvarca, pirita i dr.. Foraminifere izuzetno rijetke. Vrlo rijetki fragmenti spikula spongijske. Na ljušturama foraminifera prisutne su skrame pirita. Određene su sljedeće foraminifere (sl.3): *Ammonia viennensis* (d'ORBIGNY), *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY, *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Bulimina* sp., *Cibicides ungerianus ungerianus* (d'ORBIGNY), *Bolivina dilatata dilatata* REUSS, *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY) i *Elphidium aculeatum* (d'ORBIGNY).

Starost: **Donji baden** – zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*



Slika 3. Foraminifere donjeg badena u uzorku br. 2 (72 m)

**Uzorak 3. (85-88 m)**

Fragmenti krečnjaka, ultrabazita, serpentinita, rožnjaka, kvarca i dr.. Foraminifere izuzetno rijetke predstavljene sljedećim vrstama (sl. 4): *Ammonia viennensis* (d'ORBIGNY), *Nonion commune* (d'ORBIGNY), *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY, *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Bolivina dilatata dilatata* REUSS, *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY), *Bulimina* sp., *Dentalina* sp. i *Bulimina buchiana* d'ORBIGNY.



Starost: **Donji baden** – zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*



**Slika 4.** Foraminifere donjeg badena u uzorku br. 3 (85-88 m)

**Uzorak 4. (113-115 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti bijeličastog krečnjaka, zastupljeni fragmenti ultrabazita, serpentinita, kvarca, pirita i dr.. Foraminifere izuzetno rijetke. Vrlo rijetki fragmenti bodlji ehinida. Određene su sljedeće foraminifere (sl. 5): *Globigerina* sp., *Praeglobobulimina pupoides* (d'ORBIGNY), *Bulimina* sp., *Cibicidoides ungerianus ungerianus* (d'ORBIGNY) i *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY).

Starost: **Donji baden** – zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*



**Slika 5.** Foraminifere donjeg badena u uzorku br. 4 (113-115 m)

**Uzorak 5. (138 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti bijelo-žučkastog krečnjaka. Prisutni fragmenti ultrabazita, serpentinita, rožnjaka, kvarca, pirita i drugo. Nađena je samo jedna foraminifera *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY) i dva fragmenta bodlji ehinida.

Starost: **Donji baden** – zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*

**Uzorak 6. (165-212 m)**

Fragmenti sivih, mikro-sparitskih krečnjaka sa forminiferama *Nummulites* sp.. U krečnjacima su mjestimično prisutni brojni ooidi.

Starost: **Paleocen-Eocen**

**Uzorak 7. (242-245 m)**

Fragmenti laporaca, kalcita, ultrabazita, serpentinita, kvarca, muskovita, pirita i dr.. Pirita ima i na pojedinim ljušturicama foraminifera. Foraminifere izuzetno rijetke. Nađeni su i kapci ostrakoda. Determinisane su sljedeće foraminifere (sl. 6): *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globigerina* sp., *Bulimina* sp., *Cibicidoides* sp. i *Valvulineria* sp..

Starost: **Gornja kreda**



**Slika 6.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 7 (242-245 m)

**Uzorak 8. (276 m)**

Dominantni fragmenti laporaca i kalcita, sa rijetkim fragmentima ultrabazita, serpentinita i drugo. Foraminifere izuzetno rijetke predstavljene sljedećim formama (sl. 7): *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana* sp. i *Bolivina* sp..

Starost: **Gornja kreda**

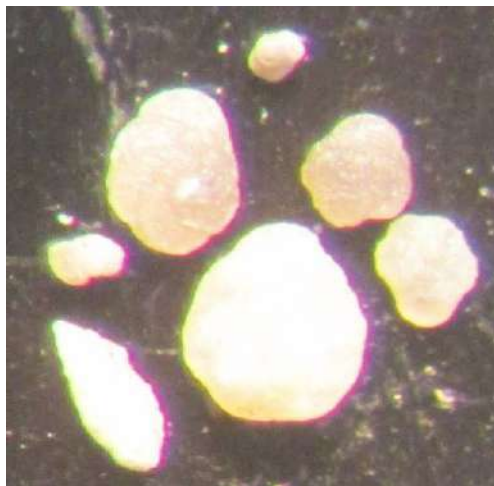


**Slika 7.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 8 (276 m)

**Uzorak 9. (288-291 m)**

Izrazito dominantni fragmenti laporaca i kalcita. Rijetki fragmenti pirita i dr.. Foraminifere izuzetno rijetke predstavljene sljedećim formama (sl. 8): *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana* sp. i *Bolivina* sp..

Starost: **Gornja kreda**



**Slika 8.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 9 (288-291 m)

**Uzorak 10. (308-311 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti sivih laporaca i bijelih zrna kalcita. Foraminifere izuzetno rijetke predstavljene sljedećim formama (sl. 9): *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana* sp. i *Globigerina* sp..

Starost: **Gornja kreda**

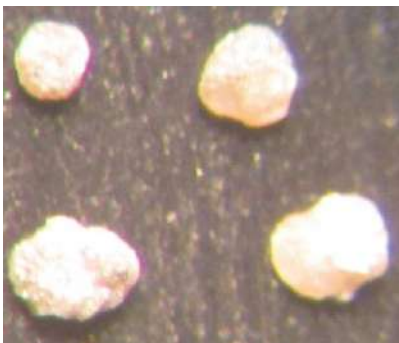


**Slika 9.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 10 (308-311 m)

**Uzorak 11. (320-323 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti laporaca i kalcita. Rijetki fragmenti crvenkastih, silikatnih pješčara. Foraminifere izuzetno rijetke predstavljene globotruncanama (sl.10): *Globotruncana cf. lapparenti lapparenti* BROTZEN i *Globotruncana sp.*.

Starost: **Gornja kreda**



**Slika 10.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 11 (320-323 m)

**Uzorak 12. (355-358 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti sivih laporaca i bijelog kalcita. Rijetki fragmenti crvenkastih, silikatnih pješčara, rožnjaca, dijabaza, serpentinita, pirita i dr.. Foraminifere izuzetno rijetke kao i fragmenti bodlji ehinida. Određene su sljedeće foraminifere (sl. 11): *Globotruncana cf. lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana sp.*, *Globigerina sp.* i *Dentalina sp.*.

Starost: **Gornja kreda**

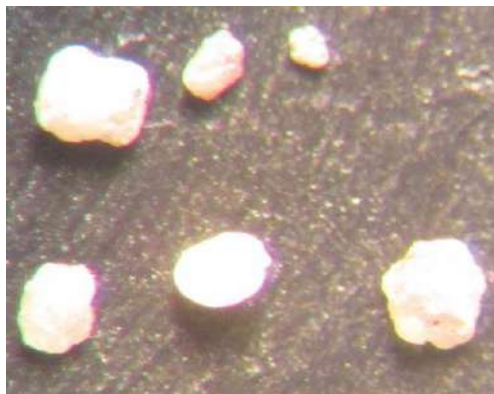


**Slika 11.** Foraminifere gornje krede u uzorku br. 12 (355-358 m)

**Uzorak 13. (379 m)**

Izrazito dominiraju fragmenti sivih laporaca i bijelog kalcita. Rijetki fragmenti serpentinita, rožnjaca, pješčara, pirita i drugo. Foraminifere izuzetno rijetke. Određene su sljedeće forme (sl. 12): *Globotruncana cf. lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana sp.*, *Globigerina sp.*, *Cibicidoides sp.* i *Dentalina sp.*

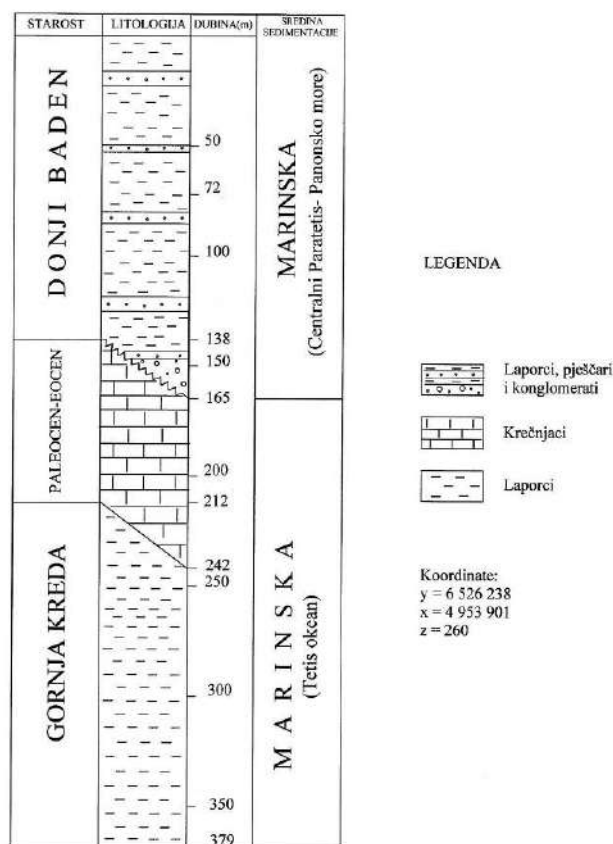
Starost: **Gornja kreda**



Slika 12. Foraminifere gornje krede u uzorku br. 13 (379 m)

### Stratigrafska klasifikacija marinskih sedimenata

Na osnovu paleontoloških analiza uzoraka stijena iz bušotine FA-1 utvrđeni su slijedeći stratigrafski odjeljci: gornja kreda, paleocen-eocen i donji baden. (sl. 13). Gornja kreda je dokumentovana izuzetno rijetkim foraminiferama: *Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN, *Globotruncana* sp., *Globigerina* sp., *Cibicidoides* sp. i *Bolivina* sp.. Neraščlanjeni paleocen-eocen je dokumentovan rijetkim foraminiferama *Nummulites* sp.. U donjem badenu su određene foraminiferske zone: *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*, te *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*.



Slika 13. Stratigrafski stub sedimenata u bušotini FA-1 (kod Gračanice)

## Z A K L J U Č A K

U trinaest analiziranih mikropaleontoloških uzoraka sedimenata iz istražne hidrogeološke bušotine FA-1 određene su foraminifere kao i drugi paleontološki ostaci (ostrakodi, ehinidi i spongije). Na osnovu foraminifera sedimentne stijene profila navedene bušotine raščlanjene su na: gornju kredu, paleocen-eocen i donji baden.

**Gornja kreda** je determinisana u uzorcima između 242-379 m na osnovu globotrunkana (*Globotruncana* cf. *lapparenti lapparenti* BROTZEN i *Globotruncana* sp.). U ovom stratigrafskom članu izrazito dominiraju laporci.

**Paleocensko-eocenski** krečnjaci izdvojeni su na dubini 165-212 m i karakterišu se prisustvom roda *Nummulites* sp..

**Donji baden** je konstatovan u intervalu 43-138 m. Predstavljen je klastitima i raščlanjen je na dvije zone. Starija zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* određena u intervalu 72-138 m i prvi put je definisana na području Gračanice. Mlađa zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* zastupljena je u intervalu 43-44 m.

S obzirom na mali broj mikropaleontoloških uzoraka, granice između izdvojenih stratigrafskih jedinica nisu mogle biti precizno određene.

### Literatura

Cicha I., Rögl F., Rupp C. & Ctyroka J., 1988: Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., 549, 1-325, Frankfurt.

Laušević M. & Jovanović Č., 1984: Tumač OGK list Dobož. Savezni geološki zavod SFRJ, 1-49, Beograd.

Soklić I., 2001: Fosilna flora i fauna Bosne i Hercegovine. ANU BiH, Knj. LXXIV, 1-585, Sarajevo.

Vrabac S., Ferhatbegović Z. & Alić F., 2000: Marinski paleogen i miocen u profilima istražnih bušotina kod Gračanice. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXII/1, 163-168, Tuzla.

Facijalne i stratigrafske karakteristike miocena  
u profilu bušotine IHB-1 kod Gračanice

Facial and stratigraphic characteristics of the Miocene  
in the profile borehole IHB-1 near Gračanica

IZUDIN ĐULOVIĆ<sup>5</sup>, SEJFUDIN VRABAC<sup>6</sup>, STJEPAN ČORIĆ<sup>7</sup> & FUAD ALIĆ<sup>8</sup>,

SAŽETAK

Profil istražne hidrogeološke bušotine IHB-1 je u cjelini izgrađen od klastičnih sedimentnih stijena, u kojima se na dubini 101,0-121,0 m nalazi ugljeni sloj lignita. Klastične sedimentne stijene su predstavljene glinama, alevrolitima, pijescima, pješćarima, laporcima i konglomeratima. U ugljenom sloju, pored uglja niskog stepena karbonifikacije, prisutan je ugljeviti škriljac i ugljevita glina.

Paleontološkim istraživanjem uzoraka iz bušotine utvrđena je lokalna foraminiferska zona *Globigerinoides trilobus* donjeg badena na dubini 99,0 m. Principom superpozicije, sedimenti istraživanog profila bušotine IHB-1 koji se nalaze ispod navedene zone svrstani su u donji miocen, a sedimenti koji se nalaze iznad zone *Globigerinoides trilobus* uvršteni su u srednji-gornji miocen.

Donjomiocenski sedimenti taloženi su u slatkovodnom jezeru, a marinski sedimenti srednjeg-gornjeg miocena taloženi su na južnom obodu Centralnog Paratetisa.

Ključne riječi: donji miocen, ugalj, donji baden, srednji-gornji miocen.

SUMMARY

Profile of investigate hydrogeological borehole IHB-1 is complete built from the clastic sediments rocks, who contains coal layer on deep 101,0-121,0 m. Clastic sediments rocks are built from clays, alevrolites, sands, sandstones, marls and conglomerates. In the coal layer, there are coal with low grade carbonification, coal shale and coal clay.

In the profile of borehole on the deep 99,0 m is determinated the local foraminiferal zone *Globigerinoides trilobus* of the lower Badenian. The sediments under the local zone are classified in the lower Miocene, and the sediments above the local zone are classified in the middle-upper Miocene.

The lower Miocene sediments are sedimented in dhe freshwater lake, while the marine sediments of the middle-upper Miocene are sedimented on the south margin of the Central Paratethis.

Key words: lower Miocene, coal, lower Badenian, middle-upper Miocene.

---

<sup>5</sup> Dr. sc., docent, Univerzitet u Tuzli, RGGF, izudin.dulovic@untz.ba

<sup>6</sup> Dr. sc., red. prof., Univerzitet u Tuzli, RGGF, jvrabac@yahoo.com

<sup>7</sup> Dr. sc., Geologische Bundesanstalt Wien, stjepan.coric@geologie.ac.at

<sup>8</sup> Mr. sc., JKP Vodovod i kanalizacija, Gračanica

## UVOD

Istražna hidrogeološka bušotina IHB-1 realizovana je 2010. godine na lokalitetu Pribava kod Gračanice. Bušotina je dostigla dubinu 326,5 m uz kontinuirano jezgrovanje. S ciljem istraživanja mineraloško-petroloških i paleontoloških karakteristika nabušenih sedimenata, iz jezgra istražne bušotine uzeta su 23 uzorka. Svi uzorci su prvo makroskopski analizirani i tretirani razblaženom hloridnom kiselinom. Nakon toga, od ovih uzoraka, odabrano je 12 koji su ispirani na sitima promjera 0,8 i 0,1 mm. Nadsitna frakcija iz sita promjera 0,1 mm analizirana je pomoću mikroskopa CARL ZEISS JENNA.

Sedimente područja Gračanice istraživali su: Atanacković (1977), Laušević i Jovanović (1984), Vrabac, Ferhatbegović i Alić (2000), i drugi geolozi.

### **Makroskopske karakteristike istraživanih uzoraka**

Iz bušotine IHB-1 makroskopske analize su urađene na 23 uzorka jezgra. Prvi uzorak je sa dubine 3-4 m, a posljednji sa dubine 326,5 m.

#### **Uzorak 1. (3,0-4,0 m)**

Sivi alevritično-glinoviti pijesak, slabo šljunkovit. Valutice polimiktnog šljunka, slabo zaobljene, veličine do 8 mm. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu što ukazuje na njen silikatni sastav. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 2. (10,0 m)**

Polimiktni konglomerat sa silikatnim cementom. Valutice slabo do dobro zaobljene, dominantno predstavljene rožnjacima i ultrabazitima. Dimenzije valutica su različite, a maksimalno su do 7 cm. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 3. (11,0 m)**

Sivo-smeđi, alevritični pijesak, mjestimično žućkasto prošaran usljed prisustva limonita. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 4. (13,0-14,0 m)**

Smeđi, alevritični pijesak, veličine zrna do 2 mm. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 5. (15,0-17,0 m)**

Smeđi, šljunkoviti pijesak. Valutice šljunka slabo do dobro zaobljene, dominantno predstavljene rožnjacima, ultrabazitima i serpentinitima. Veličina valutica je do 3 cm. Rijetko se mogu naći bijele, dobro zaobljene valutice kvarca, veličine do 1 cm. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 6. (18,0-19,0 m)**

Polimiktni konglomerat, slabo vezan silikatnim cementom. Valutice rožnjaka, ultrabazita i serpentinita, slabo do dobro zaobljene, veličine do 8 cm. Zastupljene su i žućkaste, limonitne geode, prečnika oko 5 cm. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 7. (21,0-22,0 m)**

Smeđe-žućkasti, alevritični pijesak. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu pa se može zaključiti da je silikatnog sastava. Makrofosili nisu nađeni.

#### **Uzorak 8. (58,0-60,0 m)**

Siva, alevritična glina. Sediment ne reaguje na hloridnu kiselinu što ukazuje da nema kalcijum karbonata. Makrofosili nisu nađeni.



**Uzorak 9. (72,0 m)**

Sivi, laporac, slabo reaguje na hloridnu kiselinu što ukazuje na nizak sadržaj kalcijum karbonata. Na jezgru dužine oko 20 cm nema površina slojevitosti. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 10. (86,0-87,0 m)**

Siva, alevritična, kalcitična glina koja veoma slabo reaguje na hloridnu kiselinu. Na jezgru dužine oko 20 cm nema slojnih površina. Zastupljena je jedna pukotina smicanja čiji je padni ugao 60 stepeni. Na zidu pukotine nalaze se strije sa pružanjem paralelno dužini jezgra. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 11. (99,0 m)**

Tamnosivi, pjeskovito-glinoviti alevrolit, u kome su zastupljene vrlo rijetke valutice kvarca, veličine do 1 cm (sl. 1). Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.



**Slika 1.** Pjeskovito-glinoviti alevrolit sa dvije valutice kvarca (veća je 0,7 cm) u uzorku jezgra bušotine IHB-1 sa dubine 99,0 m

**Uzorak 12. (101,0-107,0 m)**

Crni, mat ugalj, bez polusjanih i sjajnih litotipova. Česti su žućkasti proslojci u kojima je očuvana drvenasta struktura (sl. 2 i 3). Navedene karakteristike uglja ukazuju na nizak stepen njegove karbonifikacije, odnosno na njegovu pripadnost lignitu (lat. lignum-drvo), sa donjom toplotnom vrijednošću vjerovatno ispod 10.000 kJ/kg. Žućkasti proslojci imaju padne uglove oko 30 stepeni. Ugalj mjestimično sadrži dosta humusnog detritusa (sl. 4). Za ovu analizu korištena su dva uzorka jezgra dužine 20-40 cm. Makrofauna nije nađena.



**Slika 2.** Jezgro crnog lignita sa svijetlim slojem debljine oko 1,5 cm koji ima padni ugao oko 30 stepeni i sačuvanu drvenastu strukturu



**Slika 3.** Lignit sa očuvanom drvenastom strukturom i rezinitom (smolna tjelašca)



**Slika 4.** Svijetli humusni detritus u crnom lignitu

**Uzorak 13. (115,0 m)**

Ugljevita glina sa ugljevitim škriljcem. Makrofauna nije nađena.

**Uzorak 14. (121,0 m)**

Ugljevita glina na prelazu u ugljeviti škriljac (debljina 15 cm) sa slojem lignita debljine oko 10 cm. Makrofauna nije nađena.

**Uzorak 15. (122,0 m)**

Žučkasti, sitnozrni, silikatni pješčar, veoma slabo vezan silikatnim cementom. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 16. (181,0-182,0 m)**

Sivi, sitnozrni do alevritični, silikatni pješčar, veoma slabo vezan silikatnim cementom. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 17. (209,0-216,0 m)**

Siva glina sa ugljenificiranim fragmentima viših biljaka. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 18. (228,0-240,0 m)**

Siva, mjestimično zelenkasto prošarana, slabo pjeskovita glina. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 19. 240,0-241,0 m)**

Sivi, alevritični, sitnozrni pješčar, veoma slabo cementovan silikatnim vezivom. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 20. (300,0 m)**

Siva, pjeskovito-alevritična glina. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 21. (315,0 m)**

Sivi, alevritični, sitnozrni pješčar, veoma slabo vezan silikatnim cementom. Stijena ne reaguje na hloridnu kiselinu. Makrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 22. (325,0 m)**

Tamnosivi, srednjezrni do sitnozrni, silikatni pješčar, slabo vezan silikatnim cementom. Na dva uzorka jezgra, dužine oko 15 cm, nisu uočene površine slojevitosti. Međutim, indikator stratifikacije predstavlja lamina uglja debljine oko 2 mm (sl. 5). Makrofosili nisu nađeni.



**Slika 5.** Silikatni pješčar iz bušotine IHB-1 sa 325 m gdje se u gornjem dijelu vidi lamina uglja debljine oko 2 mm sa padnim uglom 12 stepeni (desno je centimetarsko mjerilo)

**Uzorak 23. (326,5 m)**

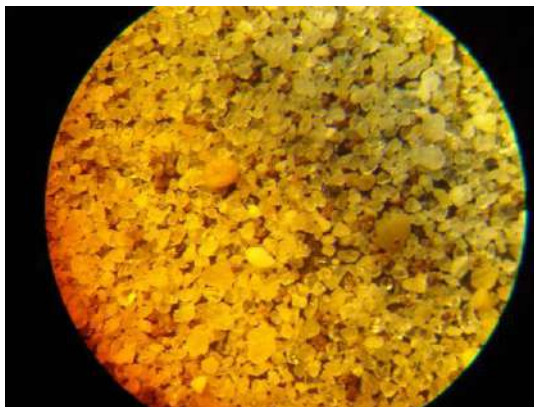
Sivi, alevritični, sitnozrni, silikatni pješčar, veoma slabo vezan silikatnim cementom. Makrofosili nisu nađeni.

### Mikroskopske karakteristike istraživanih uzoraka

Od navedena 23 uzorka mikroskopski je analizirano 12. Prvi uzorak je sa dubine 11,0 m, a posljednji sa dubine 325,0 m. Odabrani su sljedeći uzorci: 3, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 20 i 22.

**Uzorak 3. (11,0 m)**

Izrazito dominiraju bijela, uglasta zrna kvarca (sl. 6), mat i staklaste sjajnosti. Crna, smeđa, zelenkasta i žućkasta zrna su rijetka, a predstavljena su ultrabazitima, rožnjacima, serpentinitima i limonitom. Mikrofosili nisu nađeni.



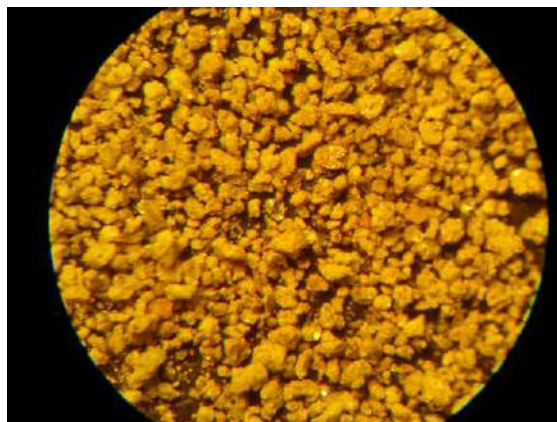
**Slika 6.** Izrazita dominacija bijelih uglastih zrna kvarca u uzorku br. 3 (11,0 m)

**Uzorak 7. (21,0-22,0 m)**

Dominiraju bijela, uglasta zrna kvarca, mat i staklaste sjajnosti. Crna, smeđa i zelenkasta zrna, predstavljaju fragmente ultrabazita, rožnjaka i serpentinita. Povećan je sadržaj žućkastih zrna limonita. Mikrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 8. (58,0-60,0 m)**

Fragmenti gline sa uglastim zrnima kvarca i rožnjaka, i čestim ljuspicama sericita (sl. 7). Mikrofosili nisu nađeni.



**Slika 7.** Fragmenti gline sa zrnima kvarca, rožnjaka i ljuspicama sericita u uzorku br. 8 (58,0-60,0 m)

**Uzorak 9. (72,0 m)**

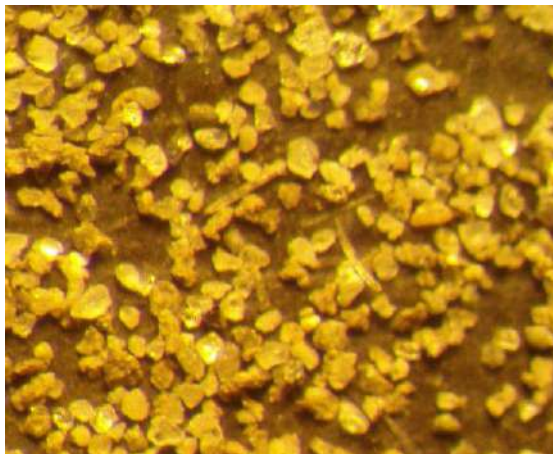
Fragmenti laporca, sa rijetkim uglastim zrnima kvarca staklaste sjajnosti, i ljuspicama sericita. Mikroforaminifere nisu nađene. U mikropaleontološkom uzorku određena je vrsta nanoplanktona *Coccolithus pelagicus* (WALLICH).

**Uzorak 10. (86,0-87,0 m)**

Fragmenti gline, sa uglastim prozirnim zrnima kvarca staklaste sjajnosti. Rijetka uglasta zrna rožnjaka i serpentinita. Veoma rijetki karbonificirani fragmenti kormofita. Mikrofauna nije nađena.

**Uzorak 11. (99,0 m)**

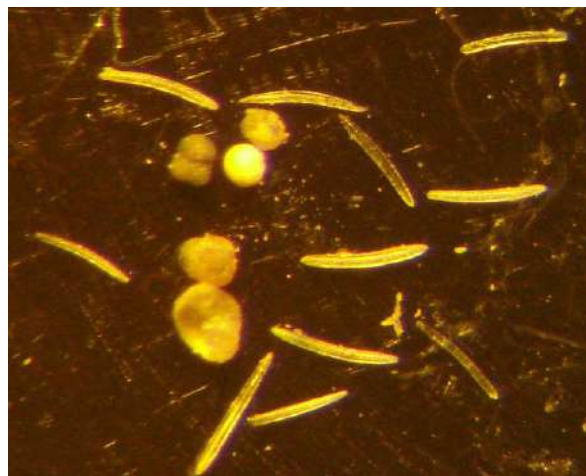
Uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca sa mikrofossilima (sl. 8).



**Slika 8.** Uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca sa mikrofossilima iz uzorka br. 11 (99,0 m)

Među mikrofossilima najčešće su jednoosne spikule silikatnih spongija, dužine oko 0,5 mm, dok su ljušturice planktonskih foraminifera izuzetno rijetke (sl. 9). U probi su određeni sljedeći fosili:

*Globigerinoides trilobus* (REUSS),  
*Globigerina bulloides* d'ORBIGNY,  
*Globigerina* sp.,  
*Globoquadrina altispira* (CUSHMAN & JARVIS),  
*Spongia* (jednoosne spikule silicispongija),

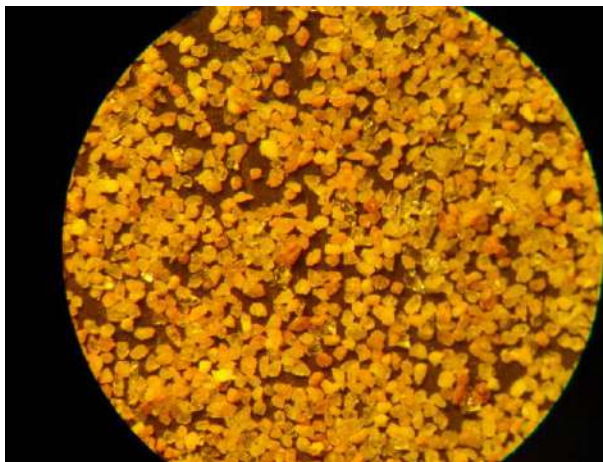


**Slika 9.** Mikrofosili nađeni u uzorku br. 11 (99,0 m)

U ovom uzorku nisu nađeni ostaci nanoplanktona.

**Uzorak 15. (122,0 m)**

Žućkasta, bijela i prozirno-staklasta, uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca (sl. 10). Mikrofosili nisu nađeni.



**Slika 10.** Uglasta i slabo zaobljena zrna kvarca u uzorku br. 15 (122,0 m)

**Uzorak 16. (181,0-182,0 m)**

Bijela i prozirno-staklasta, uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca. Mikrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 17. (209,0-216,0 m)**

Bijela i prozirno-staklasta, uglasta zrna kvarca. Vrlo rijetka zrna ultrabazita i rožnjaka. Rijetki karbonificirani fragmenti biljaka. Mikrofauna nije nađena. Nanoplanktonski ostaci, odnosno kokolitineje, nisu nađene.

**Uzorak 19. (240,0-241,0 m)**

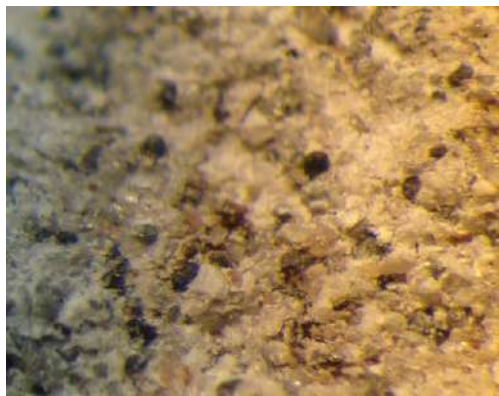
Izrazito dominiraju bijela i prozirno-staklasta, uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca. Vrlo rijetka zrna ultrabazita, rožnjaka i serpentinita. Mikrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 20. (300,0 m)**

Bijela i prozirno-staklasta, uglasta zrna kvarca. Izrazito rijetka zrna ultrabazita, serpentinita i rožnjaka. Mikrofosili nisu nađeni.

**Uzorak 22. (325,0 m)**

Izrazito dominiraju uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca. Podređeno su zastupljeni liskuni, i tamna zaobljena zrna rožnjaka i ultrabazita (sl. 11). Mikrofosili nisu nađeni.



**Slika 11.** Među svijetlim zrnima kvarca zastupljena su tamna, zaobljena zrna rožnjaka i ultrabazita (uzorak br. 22 sa 325,0 m)

### Stratigrafska klasifikacija istraživanih sedimenata

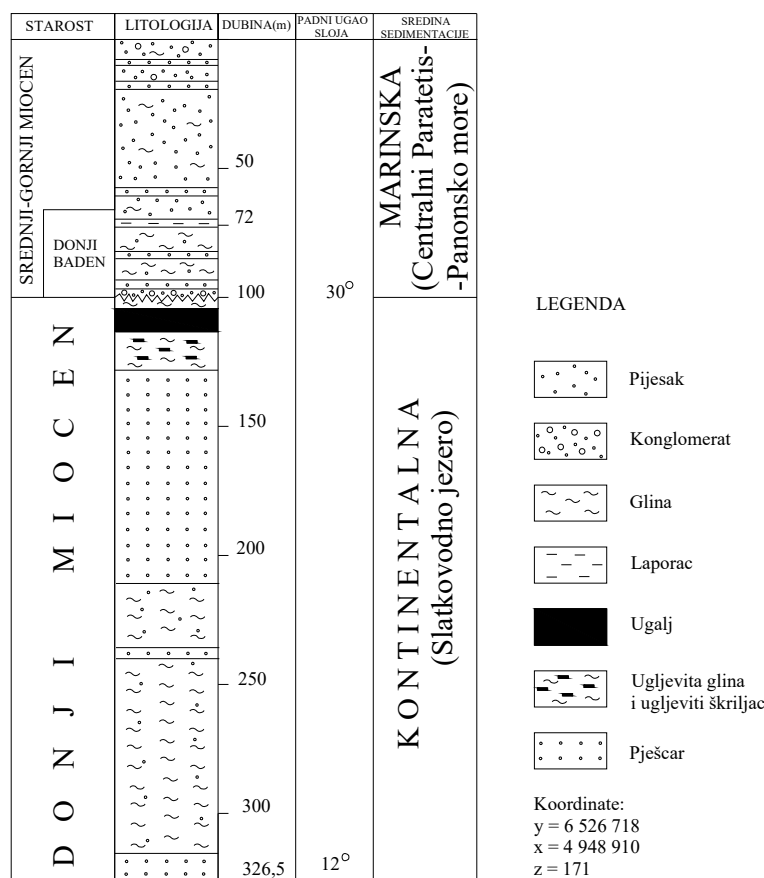
Paleontološkim analizama uzoraka iz jezgra bušotine IHB-1 konstatovani su mikrofosili u samo dva uzorka. U uzorku br. 9 uzetom na dubini 72,0 m nađena je vrsta kokolitineja *Coccolithus pelagicus* (WALLICH).

Uzorak br. 11 sa 99,0 m sadrži veoma rijetke foraminifere i relativno česte *jednoosne spikule silicispongia*. Među foraminiferama određene su samo planktonske forme: *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY, *Globigerina sp.* i *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN&JARVIS).

Asocijacija mikroforaminifera uzorka br. 11 pripada donjem badenu (sl. 12), odnosno zoni Globigerinides trilobus. S obzirom da iznad uzorka br. 11 nisu nađeni karakteristični fosili, sedimenti ovog dijela profila bušotine IHB-1 nisu biostratigrafski raščlanjeni pa su metodom superpozicije uvršteni u srednji-gornji miocen.

Uzorci br. 12 (101,0-107,0 m) do br. 23 (326,5 m) su definisani kao donji miocen. U ovim uzorcima nisu nađeni nikakvi fosili. Njihova pripadnost donjem miocenu određena je na osnovu superpozicije kao i činjenice da se u okolini Gračanice i u Banovičkom bazenu slojevi uglja nalaze u donjem miocenu.

Facijalne osobine sedimenata profila bušotine IHB-1 ukazuju da su sedimenti iznad ugljenog sloja taloženi u morskoj sredini, dok su ugljeni sloj i sedimenti ispod ugljenog sloja taloženi u slatkovodnom jezeru (sl. 12).



Slika 12. Stratigrafski stub sedimenata u bušotini IHB-1 (Pribava kod Gračanice)

## ZAKLJUČAK

Hidrogeološka bušotina IHB-1 realizovana je 2010 godine u Pribavi kod Gračanice. Bušotina je rađena sa jezgrovanjem od čega su pojedini intervali jezgra sačuvani i uzorkovani. Ukupno 23 uzorka je dostavljeno na mineraloško-petrološku i paleontološku analizu. Uzorci su determinisani makroskopski a potom je izdvojeno 12 uzoraka za mikroskopska istraživanja.

Na osnovu istraženih uzoraka konstatovano je da je profil bušotine IHB-1 u cjelosti izgrađen od klastičnih sedimenata u kojima se na dubini 101,0-121,0 m nalazi ugljeni sloj lignita. Klastični sedimenti su predstavljeni glinama, alevrolitima, pijeskovima, pješčarima, laporcima i konglomeratima. Od navedenih sedimenata najviše su zastupljeni pješčari, gline i pijesci, sa značajnim učešćem alevritske komponente. U ovim sedimentima silikatnog sastava izrazito dominiraju zrna kvarca koja su uglasta ili slabo zaobljena. Prisutna su i zrna rožnjaka, ultrabazita, serpentinita, limonita i ljuspice sericita. Konglomerati su polimiktni i uglavnom sadrže valutice rožnjaka, ultrabazita, serpentinita, sa rijetkim valuticama kvarca i geodama limonita.

U ugljenom sloju pored uglja zastupljen je ugljeviti škriljac i ugljevita glina. Ugalj je crn, mat bez polusjanih i sjajnih litotipova. U uglju su česti žućkasti proslojci u kojima je očuvana drvenasta struktura. Navedene karakteristike uglja ukazuju na nizak stepen njegove karbonifikacije, odnosno na njegovu pripadnost lignitu (lat. lignum-drvo), sa donjom toplotnom vrijednošću vjerovatno ispod 10.000 kJ/kg. Žućkasti proslojci imaju padne uglove oko 30 stepeni.



Paleontološkim istraživanjem je utvrđeno da su na dubini 99, 0 m zastupljene foraminifere donjeg badena odnosno lokalna zona *Globigerinoides trilobus*. Principom superpozicije sedimenti istraživanog profila bušotine IHB-1 koji su zastupljeni ispod navedene zone svrstani su u donji miocen. Sedimenti koji se nalaze iznad zone *Globigerinoides trilobus* definisani su kao srednji-gornji miocen.

Donjomiocenski sedimenti taloženi su u slatkovodnom jezeru, dok su sedimenti srednjeg-gornjeg miocena morski, odnosno nastali su na južnom obodu Centralnog Paratetisa (popularni naziv Panonsko more).

## LITERATURA

Atanacković M., 1977: Marinski tip miocena. Geologija BiH, knj. III Kenozojske periode, -143, Sarajevo.

Cicha I. et al., 1998: Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh.senckenberg. naturforsch. Ges., 549, 1-325, Frankfurt.

Laušević M. & Jovanović Č., 1984: Tumač za list Doboj. SGZ, 1-49, Beograd.

Vrabac S., 1999: Facijalne i biostratigrafske odlike badena i sarmata sjeverne Bosne. Univerzitet u Tuzli, 1-99, Tuzla.

Vrabac S. & Ferhatbegović Z., 1999: Izvještaj o biostratigrafskim analizama sedimenata iz istražne hidrogeološke bušotine VK-2 kod Gračanice. FSD RGGF-a, 1-14, Tuzla.

Vrabac S., Ferhatbegović Z. & Alić F., 2000: Marinski paleogen i miocen u profilima istražnih bušotina kod Gračanice. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXII/1, 163-168, Tuzla.

Vrabac S., 2010: Izvještaj o paleontološkom i petrografskom istraživanju uzoraka jezgra iz istražne bušotine IHB-1 (Pribava-Gračanica). FSD RGGF-a, 1-4, Tuzla.

## Rekonstrukcija uslova sedimentacije krovinskih sedimenata u profilu istražno-ekspoloatacione bušotine B-71 na ležištu kamene soli Tetima

ZIJAD FERHATBEGOVIĆ<sup>9</sup>, AZEMA JAHIC<sup>10</sup>,

### SAŽETAK

Za rekonstrukciju uslova sedimentacije krovinskih sedimenata u istražnoj bušotini B-71 uzeti su u obzir sve paleontološke i litološke karakteristike stijena. Analiziran je geološki stub istražne bušotine B-71 po izdvojenim stratigrafskim nivoima. Dokazana je donjobadenska starost sone formacije kao i njeno taloženje zahvaljujući postojanju lagunskih sedimentacionih uslova kao i aridne žarke klime. Za stratigrafski nivo - *Donji baden-zona Ammonia viennensis* i *Nonion commune* karakteristično je prisustvo bogate planktonske i bentoske mikrofosilne zajednice u sedimentima koji su nastali u sredini sa prisutnom hidrodinamikom. Prisustvo masivnih tamnosivih pjeskovitih laporaca ukazuje da su oni nastali od glinovito-pjeskovito-karbonatnog mulja u razdobljima slabijeg strujanja vode koja su trajala duže. Stratigrafski nivo - *Donji baden-zona Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* odlikuje se bogatom mikrofosilnom zajednicom sa dominacijom planktonskih formi u odnosu na bentoske. Za ovaj stratigrafski nivo karakterističan je normalan salinitet, toplo more i bazičan karakter sredine. Za stratigrafski nivo srednji baden-zona *Pappina parkeri* karakteristična je siromašna mikrofosilna zajednica, more normalnog saliniteta u odnosu na onu iz gornjeg badena. Prisustvo echinodermata ukazuje na more normalnog saliniteta dok je dubina vode odgovarala sublitoralu. *Gornji baden-zona Bolivina dilatata maxima* odlikuje se mikrofosilnom zajednicom gdje su rukovodeće forme bentoske, morem normalnog saliniteta, toplom klimom, povoljnim gasnim režimom i promjenljivim hidrodinamičkim režimom. Stratigrafski nivo *donji sarmat - zona Elphidium hauerinum* i *zona Porosonion granosum* odlikuju se siromašnom mikrofosilnom zajednicom, smanjenim salinitetom i temperaturom i promjenljivim hidrodinamičkim uslovima u bazenu.

**Ključne riječi: donji, srednji i gornji baden, donji sarmat**

### SUMMARY

To reconstruct the conditions of sedimentation overlying sediments in the investigative borehole B-71 were taken into account all the paleontological and lithological characteristics of rocks. It was analyzed the geological column of the investigative borehole B-71 in their separate stratigraphic levels. It was proven Lower Badenian age of the salt formation and its deposition due to the existence of sedimentary conditions of lagoon and hot arid climate. For stratigraphic level - Lower Badenian-zone of *Ammonia viennensis* and *Nonion commune* it is characteristic presence of rich planktonic and benthic microfossil communities in sediments which occurred in the area of the present hydrodynamics. The presence of massive dark gray sandy marls suggests that they originated from the clayey-sandy carbonate mud during periods of lower water flow that lasted longer. The stratigraphic level, Lower Badenian-zone *Globigerinoides trilobus* and *Orbulina suturalis*, is characterised with a rich microfossil community dominated by planktonic forms in relation to benthic. For this stratigraphic level is characteristic of normal salinity, warm sea and alkaline nature of the environment. For the stratigraphic level of the middle Badenian-zone *Pappina parkeri* is characteristic poor microfossil communities, sea with normal salinity in relation to that of the Upper Badenian. The presence of echinoderms (echinodermata) indicate a sea of normal salinity and the water depth corresponded sublittoral. The Upper Badenian-zone *Bolivina dilatata maxima* is characterized by microfossil community where principal forms are benthic, normal salinity of the sea, warm climate, favorable gas regime and variable hydrodynamic regime. Stratigraphic level: Lower Sarmatian -zone *Elphidium hauerinum*

---

<sup>9</sup> Dr.sc., vanr.prof. Univerzitet u Tuzli, RGGF, [fzijad@yahoo.com](mailto:fzijad@yahoo.com)

<sup>10</sup> Mr.sc., PAPAGO d.o.o. Lukavac, [www.papago.bistrik.com](http://www.papago.bistrik.com)

and zone *Porosonion granosum* is characterized by poor microfossil community, reduced salinity and temperature and variable hydrodynamic conditions in the basin.

**Key words:** lower, middle and upper Badenian, lower Sarmatian.

## UVOD

Fosilni ostaci ( mikrofosili-foraminifere ) predstavljaju najznačajnije dokumente geološke prošlosti za određivanje starosti stijena, sredine u kojoj je nastao sediment i životnih uslova koji su vladali u toj sredini. Pojedine grupe organizama vezane su za tačno određene okolišne uslove a koji su uslovljeni različitim ekološkim faktorima kao što je svjetlost, dubina mora, temperatura, salinitet, čistoća mora itd..

Postoje organizmi za čiji opstanak je potrebna manje više konstantna temperatura (stenotermni ) dok drugi podnose znatna kolebanja temperature ( evritermni ). Neki organizmi ne podnose veća kolebanja saliniteta ( stenohalinski ) dok drugi to uspješno podnose ( evrihalinski ). Čistoća mora predstavlja važan ekološki faktor. Neki organizmi su izuzetno osjetljivi na čistoću mora i ne mogu opstati u uslovima zamuljenja ili bilo kakvog drugog onečišćenja.

Organizmi mogu živjeti pričvršćeni na morskom dnu (sesilni bentos ), mogu se kretati po morskom dnu ( vagilni bentos ), mogu plivati ( nekton ) ili mogu lebdjeti nošeni morskim strujama ( plankton ). Upravo, organizmi koji su osjetljivi na prilike životnog okoliša, mogu poslužiti kao najbolji pokazatelji mjesta i uslova taloženja nekog sedimenta. Uzimajući u obzir da je najveći broj sedimentnih stijena taložen u moru za analizu okolišnih uslova najvažniji su organizmi morskih prostranstava. Svaka skupina organizama jasno svjedoči o prilikama u vremenu svog postojanja. Pored fosilnih ostataka i litološka svojstva stijena ukazuju na mjesto i prilike njihovog nastajanja.

## REKONSTRUKCIJA USLOVA SEDIMENTACIJE KROVINSKIH SEDIMENATA

Za rekonstrukciju uslova sedimentacije krovinskih sedimenata u istražnoj bušotini B-71 uzete su u obzir raspoložive paleontološke i litološke karakteristike stijena.

Ako se analizira geološki stub istražne bušotine B-71( Sl.1.) po izdvojenim stratigrafskim nivoima može se zaključiti slijedeće:

### Stratigrafski nivo- *Donji baden-sona formacija*

Sona formacija je taložena na prostoru Tuzlanskog bazena početkom donjeg badena. U okviru sone formacije zastupljeni su : kamena so gips, anhidrit, tuf, trakasti dolomikriti i laporci.

Taloženje sone formacije je omogućeno zahvaljujući postojanju lagunskih sedimentacionih uslova kao i aridne žarke klime koja je ubrzavala proces taloženja soli. U vrijeme stvaranja soli temperatura vode je bila oko 30 ili više stepeni dok je salinitet bio 10 puta veći od normalnog.

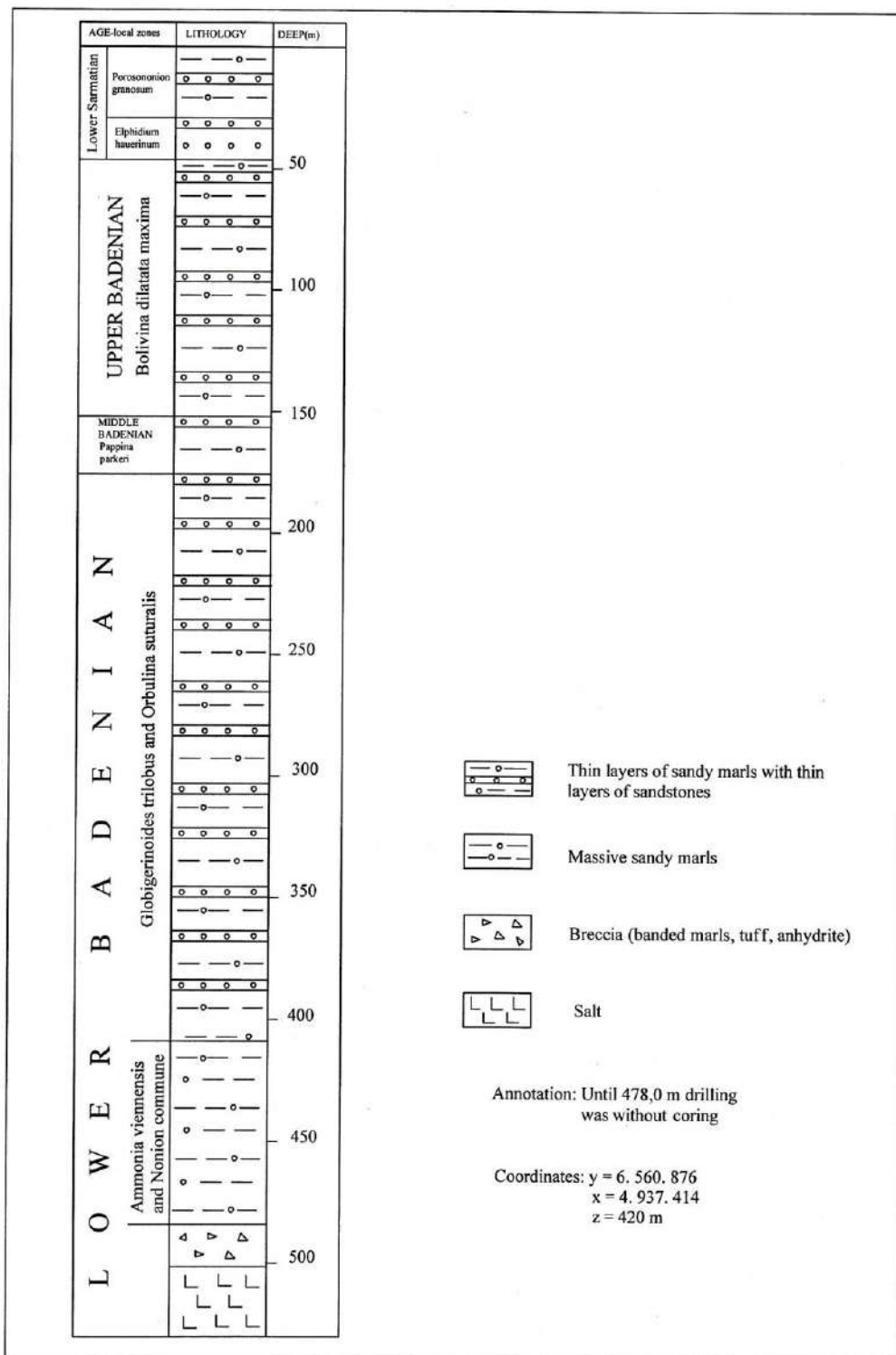
### Stratigrafski nivo - *Donji baden-zona Ammonia viennensis i Nonion commune*

Odlikuje se izrazito bogatom mikrofosilnom zajednicom predstavljenom planktonskim i bentoskim organizmima. Široka distribucija ljušturica planktonskih organizama upućuje na prisustvo pokreta vode. Bogata asocijacija fosila u sedimentima ukazuje da su ti sedimenti nastali u sredini sa prisutnom hidrodinamikom koja je dovela do oksidacionih uslova sedimentacije. Prisustvo *Echinodermata*-bodlji ježeva ukazuje da su tokom donjeg badena u ovoj zoni vladali pravi morski uslovi sa vodenom sredinom koja je imala normalni salinitet.

Takođe može se izvesti zaključak da je dubina vode bila relativno mala, gornji dio sublitorala (ističe sa *Ammonia viennensis* ), da je vladala povoljna temperatura vode,što znači da se sedimentacioni bazen nalazio u tropskoj ili subtropskoj klimatskoj zoni.

U donjem dijelu donjeg badena (najvećim dijelom zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*) preovladavaju masivni, tamnosivi pjeskoviti laporci, koji su nastali od glinovito-karbonatno-pjeskovitog materijala. Sa hidrodinamičkog aspekta to znači da taloženje glinovito karbonatnog mulja od koga su nastali

laporci vršeno u razdobljima slabijeg strujanja vode koja su trajala duže. U ovom stratigrafskom nivou determinisano je 23 vrste foraminifera iz proba.



Sl. 1. Profil istražno-eksploatacione bušotine B-71 sa biostratigrafski raščlanjenim krovinskim sedimentima sone formacije na ležištu kamene soli Tetima.

**Stratigrafski nivo: Donji baden-zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis***

Ova zona se odlikuje takođe bogatom mikrofossilnom zajednicom u kojoj planktonske forme (*Globigerinoides trilobus*, *Orbulina suturalis* i *Globigerina bulloides*) predstavljaju rukovodeće i dominantne fosile dok su bentoske forme zastupljene u manjoj mjeri.

Bogata i raznovrsna mikrofossilna zajednica ukazuje na temperaturu koja je bila topla i na povoljan gasni režim oksidacionog tipa. Planktonske forme (*Globigerinoides*, *Orbulina*) su indikatori tople vode i normalnog saliniteta.

Ako se uzme u obzir brojnost planktonskih formi čije su ljušturice uglavnom karbonatne kao i bogatstvo kiseonika onda se može govoriti o bazičnom karakteru sredine. Na normalan salinitet ukazuju stenohalinski organizmi kao što su bodljokošci (*Echinodermata*-bodlje ježeva).

U gornjem dijelu donjeg badena preovladavaju pločasti do tankoslojeviti laporci sa proslojcima pješčara. Može se zaključiti da je u vrijeme taloženja pijeska bilo jače strujanje vode dok je taloženje glinovito glinovito-karbonatnog mulja od koga su nastali laporci vezano za razdoblja sa slabijim i dužim strujanjima vode. Iz proba u ovom stratigrafskom nivou determinisano je 25 vrsta foraminifera.

**Stratigrafski nivo: Srednji baden-zona *Pappina parkeri***

Iz proba u ovom stratigrafskom nivou određeno je 8 vrsta foraminifera. Rukovodeće forme su planktonske dok su bentoske zastupljene u nešto manjem broju. U ovom stratigrafskom nivou mikrofossilna zajednica je siromašnija u pogledu brojnosti i vrsta u odnosu na mikrofossilnu zajednicu Gornjeg badena. Na more normalnog saliniteta ukazuje prisustvo bodljokožaca (*Echinodermata*-bodlje ježeva). Može se izvesti zaključak da je dubina vode odgovarala sublitoralu budući da se ovdje zastupljeni bentoski organizmi *Bulimina* koja se javljaju na dubinama između 175 i 200 metara a neke vrste i do 350 m.

**Stratigrafski nivo: Gornji baden-zona *Bolivina dilatata maxima***

Za ovaj stratigrafski nivo karakteristično je prisustvo mikrofossilne zajednice koja je nešto siromašnija u odnosu na donjobadensku. Rukovodeće forme su bentoske predstavljene *Bolivina dilatata maximom*, *Uvigerinom*, *Buliminom* itd. dok u u manjoj mjeri se javljaju planktonske forme. Iz proba u ovom stratigrafskom nivou je determinisano 22 vrsta foraminifera. Prisustvo bodljokožaca (*Echinodermata*-bodlje ježeva) ukazuje na more normalnog saliniteta. Bogata i raznovrsna mikrofossilna zajednica ukazuje na toplu klimu i povoljan gasni režim. Litološke karakteristike stijene u ovoj zoni (pločasti do tankoslojeviti laporci sa proslojcima pješčara) ukazuju na promjenljivost hidrodinamičkog režima. U vrijeme taloženja pijeska bila su jača strujanja vode dok u vrijeme taloženja glinovito-karbonatnog mulja slabija i vremenski duža.

**Stratigrafski nivo: Donji sarmat (zona *Elphidium hauerinum* i zona *Porosonion granosum*)**

Ove zone odlikuju se izrazito siromašnom mikrofossilnom zajednicom predstavljene sa *Elphidium hauerinum* i *Porosonion granosum* (d'ORBIGNY). Smanjen broj vrsta zastupljenih organizama ukazuje na oslađivanje (smanjenje saliniteta, (<25 ‰)) što je izazvalo promjene u sistematskom sastavu zajednice organizama. Može se izvesti zaključak da je more ili dio mora u kojem su taloženi sedimenti imao smanjen salinitet (došlo je do oslađivanja) što je izazvalo promjene u sastavu organskog svijeta. Takođe analizom prve četiri probe (od 13 do 40 metara) zapaža se prisustvo samo **dvije vrste mikrofosila** (*Elphidium hauerinum* ili *Porosonion granosum* (d'ORBIGNY)), dok prisustvo drugih mikrofosila se jedva zapaža ili ne postoji, ukazuje da su uslovi bili povoljni samo za dominantne vrste dok su za ostale bili nepovoljni i nisu im omogućili egzistenciju. Siromašan sistematski sastav fosilnih organizama daje zaključak da su **hidrodinamički uslovi** u jednom dijelu bazena bili povoljni samo za neke vrste budući da nekima odgovara pokretljiva a drugima mirna voda. Jednolična zajednica organizama upućuje na zaključak da je **temperatura mora** bila znatno niža od one koja vlada u subtropskim morima. Ovo je posljedica brze sedimentacije i velikog priliva klastita sa kopna. Za ovaj stratigrafski nivo determinisane su samo dvije vrste foraminifera.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu litoloških i paleontoloških karakteristika sedimenata izvršena je rekonstrukcija uslova sedimentacije krovinskih sedimenata iz istražno eksploatacione bušotine B-71.

Tom prilikom analizirani su temperatura, gasni režim, dubina, klima, bogastvo i osiromašenje mikrofosilne zajednice u vrijeme stvaranje sone formacije.

Na osnovu geološkog stuba istražne bušotine B-71 izvršena je rekonstrukcija uslova sedimentacije po svim izdvojenim stratigrafskim nivoima (donji, srednji i gornji baden i donji sarmat).

Dokazana je donjobadenska starost sone formacije kao i njeno taloženje zahvaljujući postojanju lagunskih sedimentacionih uslova kao i aridne žarke klime.

## LITERATURA

**Petrović, M., 1979/80 :** Biostratigrafski značaj srednjemiocenskih foraminifera iz bušotina Tuzlanskog bazena. Geol. anali Balk. pol., 1979/80; 43/44: 155-203

**Vrabac S., 1986:** Paleogeografija sjeverne Bosne u badenskom vijeku. Magistarski rad.

**Vrabac S., 1989 :** Paleogeografija južnog oboda Panonskog basena u badenu i sarmatu. Doktorska disertacija.

**Vrabac, S. 1991:** „Šlir“ Tuzlanskog basena. Zbornik radova RGF-a Univerziteta u Tuzli, 1991; 19: 23-30.

**Cicha, I., Rógl, F., Rupp, C. & Ctyroka, J.** Oligocene – Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. senck. naturforsch. Ges., 1998; 549: 1-325.

**Vrabac S., 1999:** Facijalne i biostratigrafske odlike badena i sarmata sjeverne Bosne. Rud.geol.građ.fakultet, Tuzla.

**Vrabac S., 2005:** Istorijaska geologija. Univerzitet u Tuzli, Tuzla.

**Vrabac, S., Ćorić, S., Ferhatbegović, Z., Đulović, I. & Jašarević, E. 2006 :** Foraminiferske i nanoplanktonske zone u profilu istražno-eksploatacione bušotine B-77 na ležištu kamene soli Tetima. Zbornik sa II savjetovanja geologa Bosne i Hercegovine održanog u Tesliću, 2006.

**Vrabac S., 2007:** Paleogeografija. Univerzitet u Tuzli, Tuzla.

**Ćorić S., Vrabac S., Ferhatbegović Z. & Đulović I., 2007:** Biostratigraphy of Middle Miocene Sediments from the Tuzla Basin (North-eastern Bosnia) Based on Foraminifera and Calcareous Nannoplankton. Neogene of Central and South-Eastern Europe, 2, International Workshop, Joannea-Geologie und Paläontologie, 9, 21-23, Graz.

**Vrabac S. & Ćorić S., 2008:** Revizija „karpata“ Tuzlanskog bazena sa osvrtom na stratigrafski položaj sone formacije. Geološki glasnik, 37, 71-81, Sarajevo.

**Vrabac S., Ferhatbegović Z., Đulović I. & Bijedić Dž., 2008:** Nalazak morskih fosila u sonej formaciji ležišta kamene soli Tetima kod Tuzle. III savjetovanje geologa BiH sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, 53-60, Neum.

**Vrabac S., Đulović I. & Ferhatbegović Z., 2011:** Elaborat o biostratigrafskim karakteristikama sedimenata u profilu istražno-eksploatacione bušotine B-71 na ležištu kamene soli Tetima. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, Tuzla.

## Geološke i strukturne karakteristike paleocensko – eocenskih kalkarenita sa lokaliteta Grabež kod Bosanskog Petrovca

### Geological and structural characteristics of Paleocene-Eocene Calcarenites, locality Grabež near Bosansko Petrovac, Bosnia and Herzegovina

ISMIR HAJDAREVIĆ, EMINA BRKIĆ, VEDAD DEMIR

*Federalni zavod za geologiju, Ustanička 11, 71210 Ilidža, Bosna i Hercegovina*

**Ključne riječi:** kalkarenit, arhitektonsko – građevinski kamen, pukotine, strukturna analiza, stereografska projekcija

#### **Sažetak**

U radu su predstavljene osnovne geološke i strukturne karakteristike kalkarenita paleocensko – eocenske starosti sa lokaliteta Grabež kod Bosanskog Petrovca. Ove klastične naslage sa ritmičkom sedimentacijom su sačuvane u jezgri sinklinalne strukture Grmeča, a leže transgresivno na rudistnim krečnjacima senona. Sekvenca počinje sa konglomeratima i sedimentnim brečama, nastavlja se kalkarenitima, a završava laporcima. Prva sekvenca je najdeblji, dok naviše slijedi sve češća izmjena. Obradeni lokalitet je sastavni dio prve sekvence. Kalkareniti nađeni na području Grabeža su tvrde i jedre stijene sivosmeđe boje. Klastična frakcija im je sastavljena od fragmenata krečnjaka, fosilne faune i sasvim rijetko zrna rožnjaka. Matriks je kalcijumkarbonatnog sastava. Dobre fizičko – mehaničke osobine uz ujednačenu boju i debljinu slojeva od nekoliko decimetara do 1,2 metra, te uz relativno mali stepen ispucalosti daju mogućnost dobivanja komercijalnih blokova arhitektonsko – građevinskog kamena. Na osnovu strukturnih mjerenja na izdancima izvršena je analiza podataka u stereografskoj projekciji pomoću računskog programa Fabric 8.

**Key words:** calcarenites, architectural-building stone, fissures, structural analysis, stereographic projection

#### **Abstract**

In this paper are presented basic geological and structural characteristic of Paleocene and Eocene calcarenites from locality Grabež near Bosanski Petrovac. These classical layers with rhythmic sedimentation are preserved in core of Grmeč synclinal structure and they lay transgressively on Senonian rudist limestones. Sequence begins with conglomerates and breccias, continued by calcarenites ends with marls. First sequence is the thickest while follows more exchange. Investigated site is integral part of first sequence. Calcarenites in Grabež area solid and firm rocks of grey-brown color. Clastic fraction is composed of fragments of limestones, fossil fauna and quite a little chert. Matrix is of calcium carbonate composition. Good physical- mechanical properties and uniform color and thickness of layers from a few decimeters to 1,2 meters as relatively low degree of fissures give the possibility of use commercial blocks architectural-building stone. On the bases of structural measurements in outcrops of rocks is performed analysis of data in stereographic projection with the help computing programs Fabric 8.

## Uvod

Kalkareniti lokaliteta Grabež kod Bosanskog Petrovca su dio flišnih tvorevina koje se u pojasu širokom nekoliko kilometara protežu uzduž Grmeča dinarskim pravcem sjeverozapad – jugoistok. Bankoviti su, rjeđe slojeviti. Tvrdi su i jedri, a boja im je smeđesiva i ujednačena. Sredinom sedamdesetih godina prošlog vijeka je u sklopu regionalnih istraživanja ukrasnog kamena prvi put istraživano i šire područje lokaliteta Grabež. Tada je cijela zona sa kalkarenitima proglašena perspektivnom i predložena za detaljno istraživanje s ciljem pronalazaženja najpovoljnijeg lokaliteta za otvaranje kamenoloma ukrasnog kamena. Obzirom na stalno rastuće potrebe tržišta za kvalitetnim arhitektonsko – građevinskim kamenom, ovo ležište kalkarenitra zbog kvaliteta sirovine zavrjeđuje punu pažnju. U radu su obrađene geološke i strukturne karakteristike ovog ležišta.

## Geografski položaj i komunikacije

Lokalitet Grabež se nalazi na južnim obroncima Grmeča. Od Bosanskog Petrovca je udaljen oko 7 kilometara u smjeru sjeveroistoka. Najbliža naseljena mjesta su Smoljana i Krnja Jela koja su smještene južnije od istraživanog lokaliteta. Nadmorska visina područja obuhvaćenog istraživanjem je između 850 i 920 metara. Teren blago pada ka sjeverozapadu, a obrastao je šibljem i mjestimično niskom šumom. Neposredno uz lokalitet prolazi dobar makadamski put koji je povezan sa asfaltnim putem koji vodi do Bosanskog Petrovca. Lokalni strujni vod se takođe nalazi u neposrednoj blizini.

## Geološki uslovi nastanka flišnih sedimenata lokaliteta Grabež

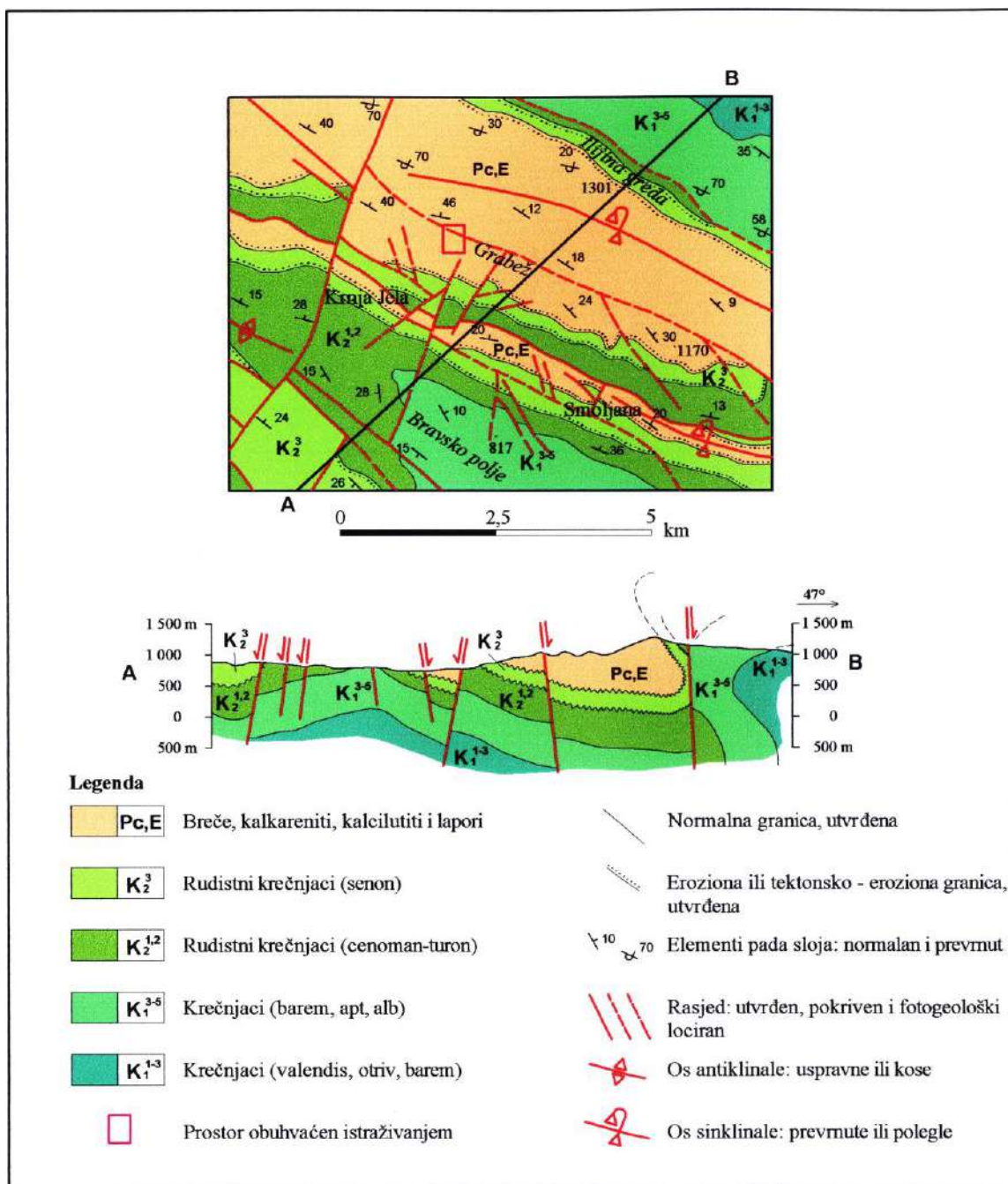
Tokom gornje krede dolazi do približavanja Jadransko – dinarske karbonatne platforme Tisiji kao najisturenijem dijelu Eurazije. Uslijed toga dolazi do kolapsa platformske margine i formiranja dubokovodnih jaraka. U njima su se počeli taložiti dubokovodni sedimenti flišnog karaktera. Dubokovodna sedimentacija u ovim jarcima mjestimično seže u paleogen. Upravo ove naslage koje leže transgresivno na rudistnim krečnjacima senona su sačuvane u jezgri sinklinalne strukture Grmeča (Sl. 1).

Klastične, flišne naslage Grmeča karakteriše ritmička sedimentacija karbonatnih klastita – breča, kalkarenita i lapora. Debljina prvog ritma mjestimično doseže i do 250 metara. Naviše slijedi sve češća izmjena ritmova debljine od 20 do 40 metara.

Mikrofosilna zajednica nađena u ovim sedimentima (*Globorotalia aragonensis*, *Discocyclina* sp., *Ethelia alba*, *Archaeolithothamnium* sp., *Eporides* sp., *Planulina* sp., *Numuliti*, *Melobazije*) ukazuje na njihovu paleocensko – eocensku starost. Pored ovih mikrofosila koji su nađeni u matriksu, u fragmentima breča je utvrđeno postojanje senonskih makrofosila, kao što su: *Hippurites (Orbignya) castroi*, *Hippurites (Hipuritella) variabilis*, *Hippurites (Vaccinites) cf. sulcatus*. U fragmentima krečnjaka su nađeni i senonski mikrofosili: *Siderolites calcitrapoides*, *Orbitoides media*, *Accordiella conica*, *Cuneolina pavonia parva*, *Moncharmontia apeninica compressa*, *Globotrunkane*.

Klastična frakcija, koja je skoro u potpunosti karbonatnog sastava, kao i fosilni ostaci nađeni u fragmentima kalkarenita i breča su dokazi da je ishodišni materijal za stvaranje ovih flišnih sedimenata potekao sa karbonatne platforme Dinarida.





Sl. 1 Geološka karta i geološki profil područja Grabeža i okoline (prema OGK – list Drvar)

### Geološka građa i strukturne karakteristike kalkarenita lokaliteta Grabež

Teren obuhvaćen istraživanjem je u potpunosti izgrađen od karbonatnih klastita – kalkarenita. Po Dunhamovoj klasifikaciji krečnjaka prema taložnoj strukturi radi se o pekstonima. Dio su ritmične sedimentacije flišnog karaktera. Taloženi su u dubokovodnom jarku uz rub Dinarske karbonatne platforme. Leže diskordantno preko senonskih krečnjaka. Ritam počinje sa konglomeratima i sedimentnim brečama, nastavlja se kalkarenitima, a završava laporcima. Prva sekvenca je najdeblji, dok navise slijedi sve češća izmjena. Obrađeni lokalitet je sastavni dio prve sekvence.



SI. 2 Debelouslojeni i bankoviti kalkareniti na lokalitetu Grabež

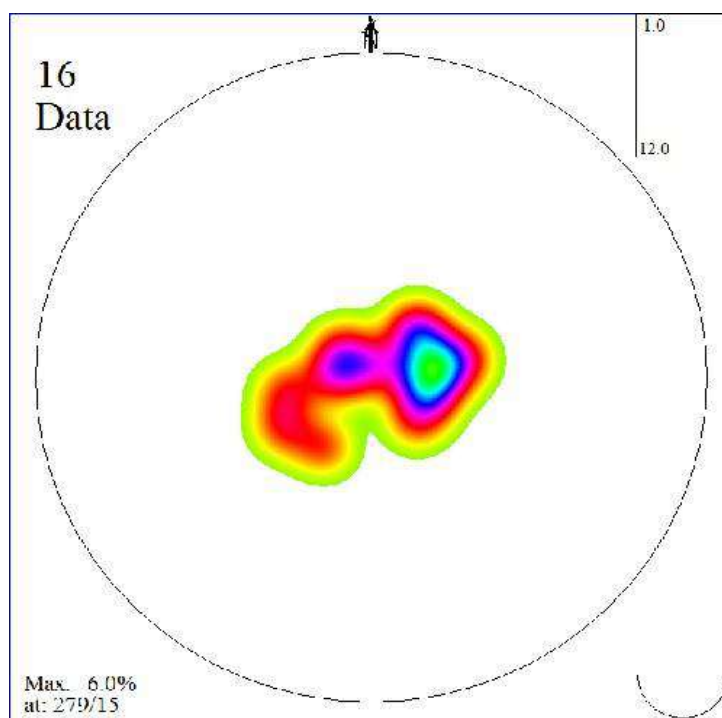
Kalkareniti nađeni na području Grabeža su tvrde i jedre stijene sivosmeđe boje. Klastična frakcija im je sastavljena od fragmenata krečnjaka, fosilne faune i sasvim rijetko zrna rožnjaka. Matriks je kalcijumkarbonatnog sastava. Bankoviti su, rjeđe slojeviti (SI. 2). Moćnost slojeva nije ujednačena, ali se zapažaju određeni nivoi u kojima preovladavaju debelouslojeni i bankoviti oblici. Debljina slojeva je od nekoliko decimetara do preko jednog metra. Zaliježu pod malim uglovima u više smjerova (SI. 3).

Površina ovih kalkarenita je zahvaćena procesom karstifikacije. Zapaža se prisustvo škrapa, sitnih kaverni, manjih vrtača, uvala i pećina (jama). Jasno se uočava da stepen karstifikacione degradacije stijenske mase opada prema dubini. Prisustvo karstifikacije je naglašeno do dubine od oko 1 – 2 metra, rijetko dublje. Na sjevernom dijelu terena se nalazi manja jama koja je nastala prodorom površinskih voda između rasjednih površi u dubinu (SI. 6). Pojedini dijelovi površine su samo neznatno karstifikovani. To su dijelovi najkompaktnije stijenske mase koja je najmanje ispucala i degradirana, jer je karstifikacija uglavnom predisponirana ispucalošću karbonatnih tvorevina. Na površini stijenske mase se zapaža malo pukotina. To su uglavnom tenzione pukotine, od kojih su neke zapunjene kristalnim kalcitom, koji umanjuje defektnost stijenske mase i poboljšava njenu kompaktnost. Oko dvije trećine pukotina su vertikalne ili subvertikalne.

Na terenu je izmjereno ukupno 30 setova tenzionih pukotina, koje se mogu svrstati u 5 zasebnih grupa.

Prva grupa pukotina ima pravac pružanja NNE – SSW, što ukazuje da os tenzionog napona kojim su stijenske mase bile izložene ima pravac WNW – ESE. Najvjerovatnije da su ove pukotine nastale u recentnoj deformacijskoj fazi koja traje od kraja miocena do danas.

Kod druge grupe preovladava pravac pružanja E – W, što znači da je os tenzionog napona imala pravac djelovanja N – S. I treća grupa pukotina, koja ima pravac pružanja ENE – WSW, odnosno pravac tenzione osi NNW – SSE, kao i druga grupa su vjerovatno nastale u deformacijskoj fazi sa kraja eocena, tj. neposredno nakon izdizanja ovih prostora iznad morske razine.

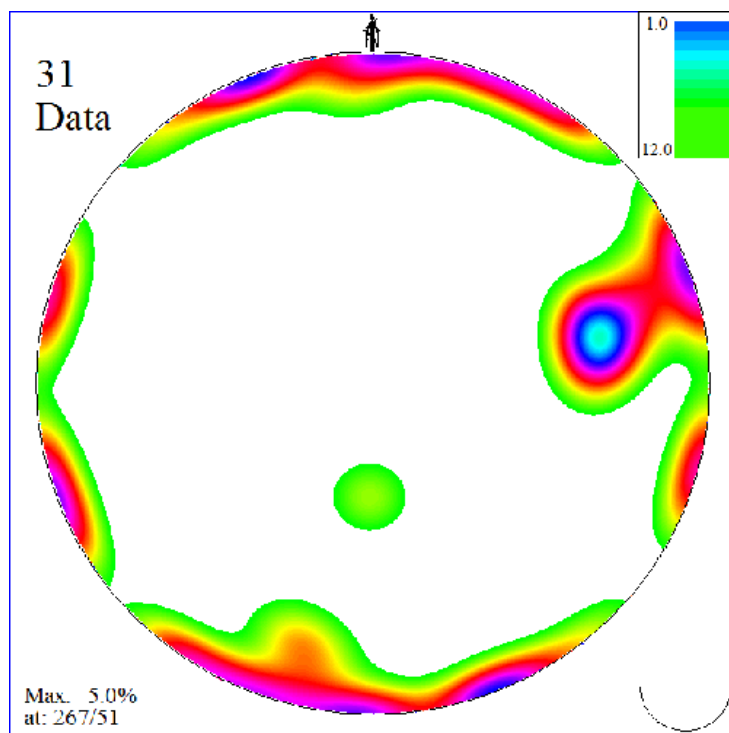


Sl. 3 Dijagram slojevitosti na lokalitetu Grabež

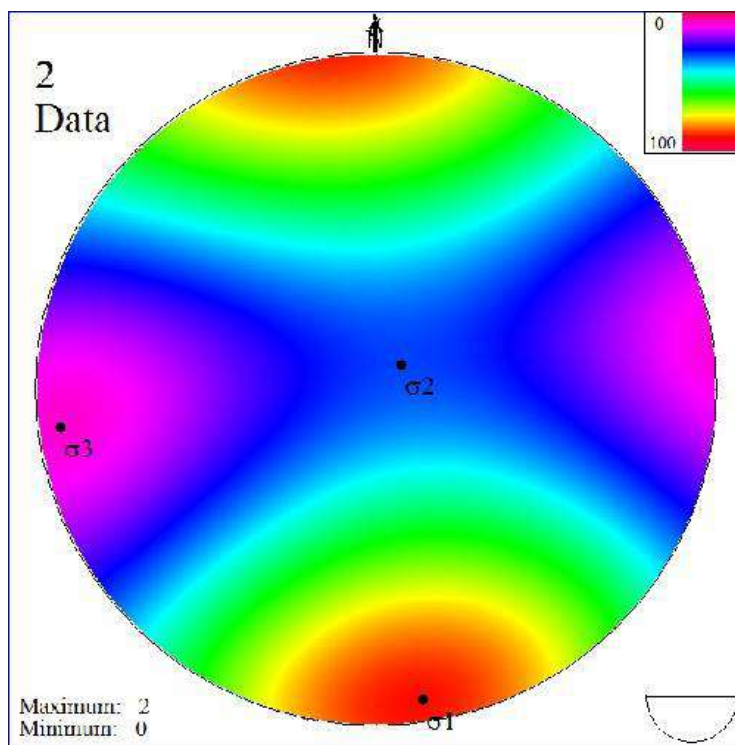
Četvrta grupa pukotina ima pravac pružanja NNW – SSE, što nam govori da je tenziona os napona koji su usloveli njen nastanak imala pravac pružanja WSW – ENE. Taj podatak se podudara sa naponima koji su vladali u Dinaridima kada su se oni bili podvrgnuti ekstenzijskoj deformacijskoj fazi iz gornjeg dijela donjeg miocena (od egenburga do karpata). Peta grupa pukotina koja ima pravac pružanja WNW – ESE i vjerovatno je nastala kada i četvrta grupa tokom ekstenzijske deformacijske faze koja je ove prostore zahvatila u gornjem dijelu donjeg miocena.

Iz analize dijagrama napona ( $\sigma_1=172/5$ ;  $\sigma_2=59/83$  i  $\sigma_3=261/7$ ) dobija se podatak da su ove stijene bile podvrgnute kompresiji za vrijeme recentne kompresijske deformacijske faze koja u Dinaridima vlada od kraja miocena do sada (Sl. 5).

Obzirom na to da je generalni pravac pružanja glavnih geoloških struktura na ovom prostoru, kao što je i sama sinklinala Grmeča, Dinarski, tj. NW – SE, onda je sigurno da su najveće deformacije koje je pretrpio ovaj prostor nastale u kompresijsko – ekstenzijskoj deformacijskoj fazi koja je ove prostore zahvatila krajem oligocena i početkom miocena kada je glavni kompresijski napon djelovao na pravcu SW - NE.



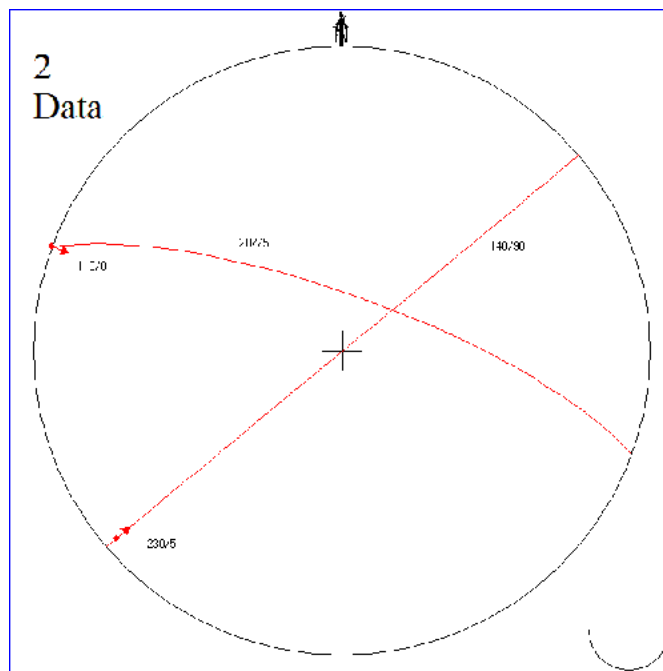
Sl. 4 Dijagram tenzionih pukotina na lokalitetu Grabež



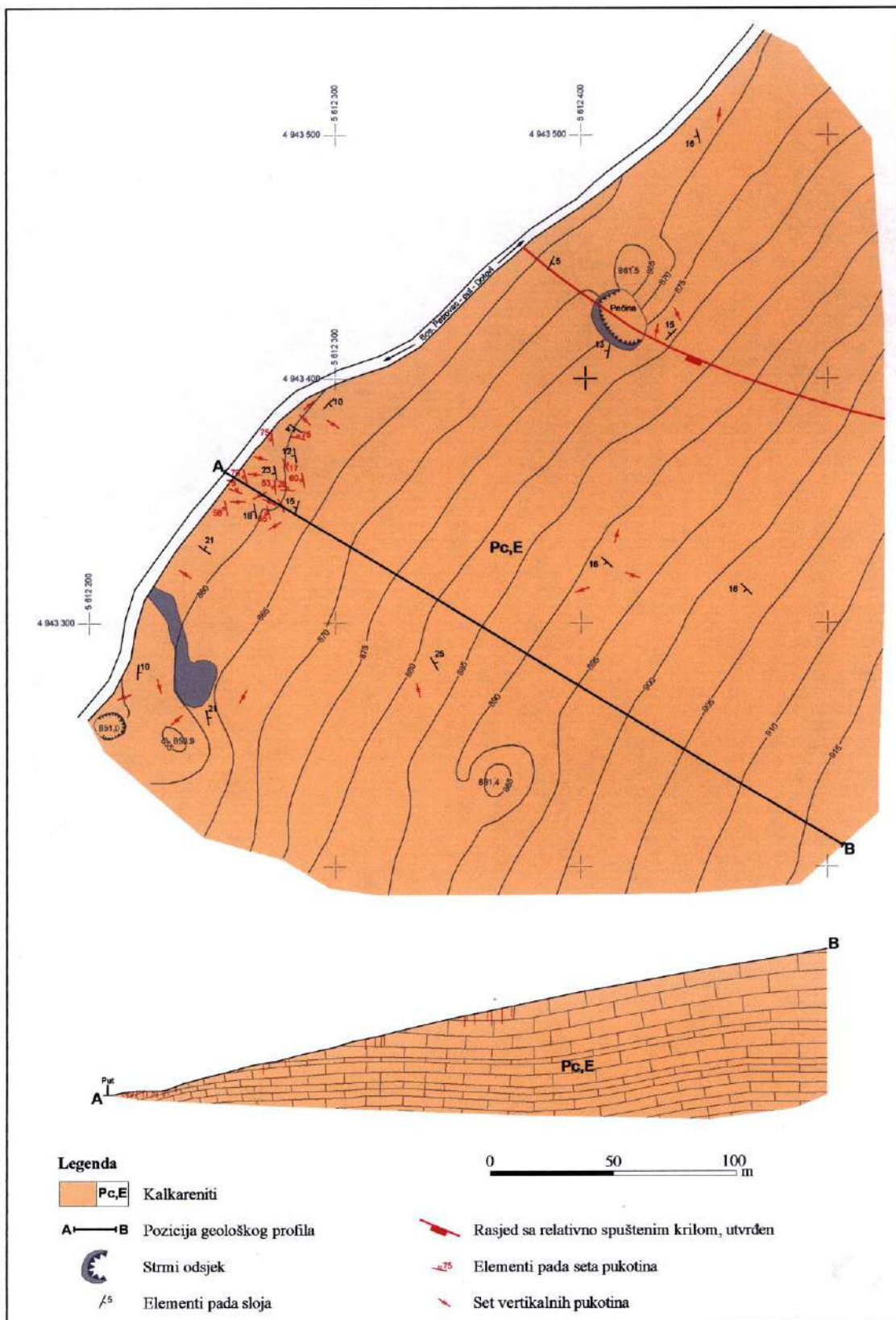
Sl. 5 Konturni dijagram napona na lokalitetu Grabež



Sl. 6 Južna strana zida jame nastale na rasjedu u kalkarenitima Grabeža



Sl. 7 Kretanja duž diskontinuiteta



Sl. 8 Strukturno – geološka karta lokaliteta Grabez kod Bosanskog Petrovca

## Mogućnosti primjene kalkarenita sa lokaliteta Grabež

Kalkareniti sa lokaliteta Grabež bi zbog svojih specifičnih osobina ponajprije mogli naći primjenu kao arhitektonsko – građevinski kamen. Slojevi zaliježu pod malim uglovima (15 do 20 ili najviše 25°). Debeli su od nekoliko decimetara do 1,2 metra ili čak i više, što daje mogućnost dobivanja blokova većih dimenzija. Ovi kalkareniti nisu u većoj mjeri zahvaćeni karstifikacijom (najviše 1 do 2 metra), dublje samo na par mjesta. Na svježem prelomu stijena ima ujednačenu sivosmeđu do tamnosivosmeđu boju. Ove stijene su veoma tvrde, žilave i jedre. Pri udaru čekića, iz zdrave stijenske mase, veoma se teško odbijaju nepravilni komadi sa veoma oštrim i čvrstim ivicama. Ovakve karbonatne naslage se odlikuju veoma dobrim fizičko – mehaničkim osobinama.

Sredinom sedamdesetih godina prošlog vijeka na ovom području se započelo sa istraživanjima ukrasnog kamena, ali su ta istraživanja prekinuta zbog nedostatka sredstava. Još ranije, za vrijeme preliminarnih istraživanja, sa ovog prostora je uzet jedan monolitni blok koji je obrađen. Tom prilikom se pokazalo da se ovaj kamen pri sječenju vrlo dobro ponaša, dajući velika iskorištenja ploča sa pravilnim, oštrim i čvrstim ivicama, te da ima sposobnost poliranja do izrazito visokog sjaja. Prema tim ispitivanjima, u okviru kojih su se radila i mikroskopska, utvrđeno je da klastičnu frakciju predstavljaju fragmenti krečnjaka, fosilne faune i sasvim rijetko zrna rožnaca. Oblik fragmenata je različit, veličina se kreće od pelitnih, pa do čestica krupnoće 2-3 mm. Matriks je kalcijumkarbonatnog sastava. Nažalost, potpuniji podaci o tim ispitivanjima nisu dostupni.



Sl. 9 Izgled ispoliranog uzorka kalkarenita sa lokaliteta Grabež

Prilikom istraživanja koje su autori proveli uzet je uzorak stijene koji je izrezan i ispoliran. Ispolirana površina uzorka ima tamnosivu boju sa primjesom smeđe nijanse, na kojoj se vidi zrnasta struktura različitih oblika nezaobljenih, poluzaobljenih i zaobljenih fragmenata klastične frakcije, koji uglačanoj površini kalkarenita daju karakterističan, lijep i dekorativan izgled. Dosta ujednačena, boja koju ovi kalkareniti imaju, bi bila veoma značajna kod eventualne buduće eksploatacije zbog mogućnosti dobivanja blokova standardnog obojenja. Time bi se tržištu mogle ponuditi veće količine blokova ujednačene boje,

što bi uveliko povećalo konkurentnost ovog kamena. Na domaćem tržištu, kao i na tržištima ukrasnog kamena okolnih zemalja, nema nijedne vrste koja mu je potpuno slična po boji i ornamentici, te možemo reći da ovaj kamen, za sada, po svom izgledu predstavlja jedinstven dezen arhitektonsko – građevinskog kamena.

Sivosmeđu boju ovom kamenu daju najvjerojatnije ostaci organske materije. Uslijed toga bi pod uticajem insolacije i atmosferilija mijenjao boju, što bi mu ograničavalo upotrebu (kao poliranom) na otvorenom. Ali bi se sigurno mogao upotrebljavati za zidanje objekata, izradu bunje za oblaganje, te kao poluobrađen i grubo obrađen kamen za druge namjene na otvorenom. Međutim, mogao bi imati široku primjenu u oblaganju enterijera (kako vertikalnom, tako i horizontalnom), zatim u izradi unutrašnjih klupica, šankova, kuhinjskih radnih ploha i sl. Ostaci koji bi nastali u procesu proizvodnje blokova ukrasnog kamena bi se mogli koristiti kao tehničko – građevinski kamen.

Prema svemu navedenom može se izvesti zaključak da krečnjaci – kalkareniti sa lokaliteta Grabež zadovoljavaju kriterije kojima se određuje upotrebna vrijednost ukrasnog kamena (geološki, tehnološko – ekonomski, tehnički i kriterij dekorativnosti).

## Literatura

- DAVIS, G. H. & REYNOLDS, S. J. (1996): **Structural Geology of Rocks and Regions**. John Wiley & Sons, inc., p. 776, New York.
- DUNHAM, J. B. (1962): **Classification of carbonate rocks according to depositional texture**. – U. Ham, W. E. (ur.): *Classification of Carbonate Rocks*. Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem.; v. 1; p. 108-121.
- EINSELE, G. (1992): **Sedimentary basins. Evolutions, facies and sediment budget**. Springer – Verlag; p. 628, Berlin.
- FLÜGEL, E. (1982): **Microfacies analysis of limestones**. Springer – Verlag; p. 633, Berlin – Heidelberg – New York.
- FOLK, R. L. (1959): **Practical Petrographic classification of Limestones**. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.; v 43, No. 1; p. 1-38.
- FOSSEN, H. & JOHANSEN, T. E. S. (2005): **Structural geology: e-learning modules** – <http://billy.geo.uib.no/struct/emodules.html>
- HAJDAREVIĆ, I., KURTANOVIĆ, R. & BRKIĆ, E. (2009): **Izveštaj o prospekcijski ukrasnog kamena na prostoru Unsko – sanskog kantona**. Fond stručne dokumentacije Federalnog zavoda za geologiju, Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. (1997): **Strukturno – facijalna analiza sjeverozapadnog dijela Srednjobosanskog škriljavog gorja (disertacija)**. Univerzitet u Tuzli.
- HRVATOVIĆ, H. (1999): **Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu**. Zavod za geologiju, Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. (2004): **Glavne strukture Dinarida Bosne i Hercegovine**. I savjetovanje geologa BiH s međunarodnim sudjelovanjem – Zbornik radova, Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. & PAMIĆ, J. (2005): **Principal thrust-nappe structures of the Dinarides**. Acta Geologica Hungarica; v. 48; p. 133-151.
- HRVATOVIĆ, H. (2006): **Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina**. Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina, Sarajevo.
- ILIĆ, A. & NEUBAUER, F. (2005): **Tertiary to recent oblique convergence and wrenching of the Central Dinarides: Constraints from a palaeostress study**. Tectonophysics; v. 410; p. 465-484.
- LEVIN, L. H. (2003): **The Earth Through Time**. John Wiley & Sons.
- KAČAR, B. (1977): **Elaborat o rezultatima regionalnog geološkog istraživanja ukrasnog kamena na području Bosanskog Petrovca u 1976. godini**. Fond stručne dokumentacije Federalnog zavoda za geologiju, Sarajevo.



- MIDDLETON, G. V. & HAMPTON, M.A. (1976): **Subaqueous sedimenttransport and deposition by sediment gravity flows**. John Wiley; p. 197–218, New York.
- MIKES, T., CHRIST, D., PETRI, R., DUNKLI, I., FREI, D., BALDI – BEKE, M., REITNER, J., WEMMER, K., HRVATOVIĆ, H. & von EYNATT, H. (2008): **Provenance of the Bosnian Flysch**. Birkhäuser Verlag, Swiss Journal of Geosciences; v. 101; p. 31–54, Basel.
- OLDOW, J. S., FERRANTI, L., LEWIS, D. S., CAMPBELL, J. K., D' ARGENIO, B., CATALANO, R., PAPPONE, G., CARMIGNANI, L., CONTO, P. & AIKEN, C. L. V. (2002): **Active fragmentation of Adria, the north African promontory, central Mediterranean orogen**. Geology; v. 30; p. 779–782.
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (1995): **Geology of Bosnia and Herzegovina**. In R. Moor (ed) "Encyclopedia of the World Regional Geology".
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1998): **Geodynamic evolution of the Central Dinarides**. Tectonophysics; v. 297; p. 251-268.
- PAMIĆ, J. (1999): **Kristalinska podloga južnih dijelova Panonskog bazena – temeljena na površinskim i bušotinskim podacima**. Nafta 50 (9): p. 291-310
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (2002): **Paleozoic tectonostratigraphic units of the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia**. International Journal of Earth Sciences; v. 91; p. 538–554.
- PAMIĆ, J. (2002): **The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar ocean**. Eclogae geol. Helv. v. 95; p. 99–113.
- PAMIĆ, J., BALEN, D. & HERAK, M. (2002): **Origin and geodynamic evolution of Late Paleogene magmatic associations along the Periadriatic – Sava - Vardar magmatic belt**. Geodinamica Acta, v. 15; p. 209–231.
- SCHMID, S. M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004): **Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen**. Birkhäuser Verlag, Eclogae geol. Helv. v. 97; p. 93–117, Basel.
- ŠUŠNJAR, M. & BUKOVAC, J. (1969): **Tumač za OGK – list Drvar, 1:100 000**. Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- TARI, V. (2002): **Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonographic approach**. EGU Stephan Mueller Special Publication Series; v. 1; p. 223-236.
- TIŠLJAR, J. (2001): **Sedimentologija karbonata i evaporita**. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- TOMLJENović, B. & CSONTOS, L. (2001): **Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia)**. International Journal of Earth Sciences; v. 90; p. 560-578.
- TWIS, R. J. & MOORES, E. M. (1992): **Structural geology**. Journal of Structural Geology, v 15, issue 6, p. 532, 809 W. H. Freeman & Co., New York.

## Geneza tufova i tufita tuzlanskog bazena sa hemijskom analizom

\* Toni NIKOLIĆ

\*\* Amra HAMZABEGOVIĆ

### Sažetak

Tokom istraživanja tuzlanskog bazena, na nekoliko lokacija, registrovani su izdanci piroklastičnih stijena. Optičkim istraživanjima u propuštenoj polarizovanoj svjetlosti determinisan je mineralni sastav, strukturno-teksturne odlike i alteracijski procesi na dva uzorka. Strukturno-teksturne odlike oba uzorka su skoro identične (psamitsko-alevrolitska struktura i masivna tekstura). Mineralni sastav primarnih petrogenih minerala je takođe ujednačen: feldspati, kvarc, biotit, a kao sekundarni se javljaju kalcit, epidot, hlorit. Analizirane stijene pripadaju kristalastim i vitroklastičnim tufovima. Mineralni sastav asocira na piroklastične stijene koje su nastale kao produkt vulkanizma. Prema nekim autorima radi se o prenešenom materijalu vulkanizma u okolini Srebrenice (I. Soklić, M. Živanović 1951.) Dok po drugim autorima (Č. Jovanović 1980) bi se moglo raditi i o lokalnim vulkanskim aktivnostima kroz pukotine i duboke rasjede. Hemijskim analizama: ustanovljen je sadržaj  $\text{SiO}_2$  u rasponu 70,82 – 79,18 mas.%. Sadržaj  $\text{FeO}_{\text{uk}}$  se kreće u rasponu 2,07 – 2,73 mas.%. Širok raspon sadržaja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,16 – 26,61 mas.%) govori u prilog intenzivnih alteracionih procesa.

**Ključne riječi:** tufovi, sedimentacija, vulkanizam, zeoliti, laporci

### Summary

Over explore Tuzla basin, on few location, was registered profile phyroclastic rocks. Optical research in polarized light was determine mineral properties, structure-texture property and alteration process on two sample. Structure-texture property both sample is almost same (psamit-alevrolitic structure and massive texture). Mineral composition petrogenic minerals as well similar: feldspate, quartz, biotite, and like secondary element: calcite, epidot, chlorite. Analyzed rocks is part of crystal and vitroclastic tuff. Mineral composition associate on phiroclastic rocks which was formed like product of volcanism. Over some authors it is moved volcanic ash from Srebrenica (I. Soklic, M- Živanović 1951), where other authors (Č. Jovanović 1980) that can be volcanic activity over deep faults and cracks. Chemical analysis present content of  $\text{SiO}_2$  between 70,82 – 79,18 mas.% content  $\text{FeO}_{\text{uk}}$  between 2,07 – 2,73 mas.%. The wide aperture content  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,16 – 26,61 mas.%) that prove intensive alteration process.

**Keywords:** tuffites, sedimentation, volcanism, zeolites, marlstone.

---

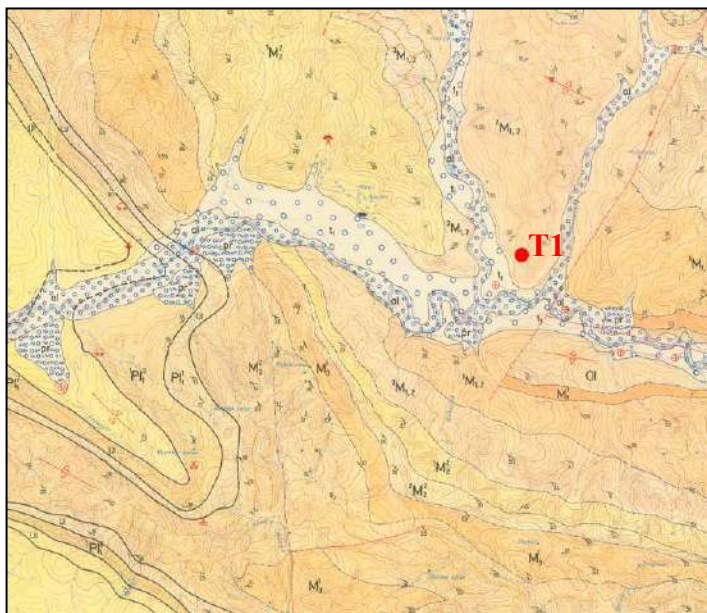
\* Mr.sc.geologije - Federalni zavod za geologiju, Ustanička 11, Ilidža

\*\* Dr.sc.geologije – Zemaljski muzej, Sarajevo

## Uvod

Ako sagledamo predhodna istraživanja, vezana za nastanak ovog područja, onda možemo reći da su od posebnog značaja magmatska kretanja, osobito vulkanizam, a čije tragove nalazimo u obliku tufita debelih sedimnetnih serija, kao i homogene slojeve tufova od 10 do 30cm. U analizi su urađene i hemijska determinacija određenog broja elemenata na uzetim uzorcima, koja uglavnom potvrđuju vulkansko porijeklo, sa sadržajem kvarca preko 70%. A kako se radi miocenskim naslagama, onda se može reći da se proces sedimentacije, u više navrata, odvijao istovremeno sa vulkanskim aktivnostima, kroz taloženje vulkanskog pepela u procesu sedimentacije te nastanku tufita i to nešto obimnije u prvoj fazi posmatranog profila, a slabije aktivnosti u drugoj fazi. Kako se radi o relativno homogenim elementima, karakterističnim za vulkanizam sjevero-istočne Bosne, tako se isti, mogu koristiti u determinaciji tektonike cijelog ovog područja i kretanja u određenom vremenskom periodu.

Najaktivniji proces deponovanja materijala oko Tuzle odvijali su se u miocenu, kada su i najveća kolebanja slane vode formirale ležište soli, ali i u drugoj fazi nadiranja slatke vode i okopnjavanja ležišta uglja, a što se može vidjeti na prikazanoj geološkoj karti (slika 1.)



Sl. 1. Položaj osmatranog profila (T1), OGK Tuzla 1:25000 (Geoinženjering, Sarajevo)

## Geneza i morfologija tuzlanskog bazena

F.Katzer (1903) smatrao je da je prvo ubiranje Majevice palo u donji miocen, kada su nastale značajnije visinske razlike i kada je ovamo prodrlo more iz zaostalih oligocenskih zaljeva. To međutim nije u skladu s velikom debljinom i rasprostranjenošću naslaga donjeg miocena u tuzlansko-majevičkom području. Tu se može govoriti samo o intezitetu izdizanja planina i tonjenja bazena, a ne u ubiranju u pravom smislu (I. Soklić, 1959).

Burdigal-helvet je ujedno i doba najživlje vulkanske aktivnosti u drinskom rovu, odnosno u istočnoj Majevici, južnoj Majevici, Zajači i Srebrenici. Starost ovih aktivnosti utvrđena je geološkim kartiranjem istočne Majevice (I. Soklić, M. Živanović, 1951) i utvrđivanju stratigrafskog položaja tufita u tuzlanskom bazenu (I. Soklić, 1957). U istočnoj Majevici su u podini andezitsko-dacitskih slivova nađeni metamorfisani oligomiocenski krečnjaci, a transgresivno preko slivova, piroklastita i tufova leže

miocenski pijesci, glinoviti lapori i krečnjaci sa bogatom faunom (I. Solkić, 1959). U gornjem miocenu vulkanizam se stišava.

Da se na području tuzlanskog bazena radi o velikom broju dubinskih rasjeda, najbolji su dokaz vulkanske stijene koje se duž njih javljaju, kao i mnoge postvulkanske pojave kao što su mineralizacije hidrotermalnog porijekla, sumporvodonični izvori i kiseljaci, po čemu ih lako možemo pratiti. Pored ovih velikih dubinskih rasjeda ima i veći broj drugih, koji su vezani samo uz sedimentni pokrivač, u koji zadiru dublje ili pliće (I. Soklić, 1965)

### **Geološka sinteza prirodnih zeolita**

Prirodni zeoliti nastaju kao produkt procesa alteracije vulkanskog stakla ili unutar istog, unutar amorfnih glina i aluminij-silikatne smjese. Oni zamjenjuju kristalne materijale, kao što su nefelin, plagioklas i predzeolite. Takođe često se mogu formirati u kavernama i pukotinama u toplim ili hladnim uslovima. Kako bilo, fino granulirani fragmenti vulkanskog stakla su osnovni materijal za nastanak prirodnih zeolita za bilo koju varijantu geneze. Zbog njihove visoke reaktivnosti i sličnog hemijskog sastava. Činjenice pokazuju, da stijene bogate zeolitima su formirane od jednog ili nekoliko vrsta zeolita, nastale alteracijom vitro-tufova, gdje često zastupljenost zeolita ide preko 90% ukupne stijene. Klinoptiliti u duboko-morski sedimentima i marinskim uslovima sedimentacije, često se nalaze unutar slojeva gline, a što pomalo izgleda neuobičajeno. Kako bilo, ove formacije ne moraju uvijek biti originalni ostatci vulkanskog stakla, zbog alteracije, te e fragmente zeolita u ovom slučaju vrlo teško uočiti pomoću mikroskopa. Rasprostranjenost zeolita je gotovo uobičajeno uz prostore vulkanskih aktivnosti. Hidrotermalni zeoliti često se mogu vidjeti unutar kontaktnog metamorfizma, gdje je dolazilo do prenosa materijala podzemnom vodom kroz pukotine. Velika većina ležišta poznatih zeolita su nastale od vitro-tufova.

### **Piroklastične formacije tuzlanskog bazena**

U formiranju sone serije tuzlanskog bazena, naročito u višim dijelovima litostratigrafskog stuba, susreću se slojevi tufova debljine 0,2 m do 1,5 m, pa i više. Detaljnim snimanjem profila i jezgra dubokih istražnih bušotina ustanovljeno je da se slojevi ovih piroklastita prostiru po cijelom profilu. U zavisnosti od mjesta taloženja u sedimentacionom bazenu izdvojeno je više litogenetskih tipova, kao što su: tufitični pješčari i alevroliti, tufovi, analcimoliti i peliti, koji predstavljaju analcimolit sa halitom (Č. Jovanović, 1980).

Tufovi su uglavnom kristalovitroklastični sa pelitskom do psamitskom strukturom. Osnovu stijene čine pelitska frakcija izgrađena od devitifikovanog stakla i podređeno glinovitih čestica. Vulkanski kristali su predstavljeni kvarcom, biotitom i plagioklasom.

Analcimoliti  $\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Najčešći minearl je analcim, sa veličinom čestica 0,1 do 0,2 mm. Stijena sadrži još samo kvarc, kao bitan mineral.

Pelit u petrografske smislu je piroklastična stijena izgrađena pretežno od analcima, kvarca, glinovite materije i halita.

Navedeni litogenetski članovi interstratifikovani su u trakastim dolomikritima, laporcima i glincima i karakterišu se masivnom strukturom i veoma jasnom kontaktu prema drugim sedimentima. Mineralni sastav, koji uglavnom potiče od piroklastičnih materijala, masivna tekstura i jasno izražen kontakt prema okolnim stijenama, predstvljaju osobine koje ukazuju na primarnu sedimentaciju piroklastita, neposredno uslovljenu vulkanskom aktivnošću.

Prinos piroklastičnog materijala, arealnim putem u vrijeme formiranja ovih slojeva, bio je vrlo intezivan, uslovljavajući njihovo brzo deponovanje, što je imalo za posljedicu privremeno zaustavljanje ili usporavanje procesa taloženja drugih sedimenata.

Važno je istaći da je stvaranje analcima u tufovima, u subakvatičnoj sredini, vezano za reakciju između vulkanskog stakla i salične ili hipersalične marinske ili jezerske vode, koja obezbjeđuje dovoljen količine natrija, potrebnog za proces analcimizacije.

Litofacijalnim istraživanjem u tuzlanskom bazenu utvrđena je transformacija tufova u smislu prelaska u analcimolite, odnosno u pelite. Na ovu činjenicu ukazuju i tipovi sedimenata koji se obično nalaze uz piroklastite. Tako se tufovi obično nalaze uz laporce i dolomitske laporce, analcimoliti sa dolomikritima, a peliti sa dolomikritima, halitom i anhidritom.



Sl. 2. – Laporci sa slojevima tufa. sloj1- 20cm tuf pepeljasto sive do žute boje, sloj 2- 10cm tuf, svijetlo žute boje sa kvarcnim pijeskom (foto T.Nikolić, 2012.)

### **Detaljna analiza osmatranog profila (Sl. 2.) u istočnom dijelu grada Tuzle**

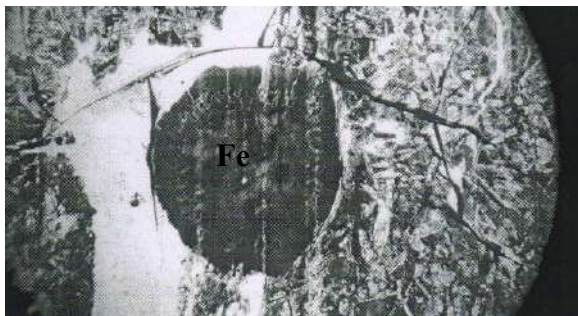
Tuzlanski tufovi pripadaju vulkanoklastičnim stijenama izgrađeni od fragmenata vulkanskog stakla i kriptokristalastih silicijskih minerala kao dominirajućih sastojaka. U ovu osnovu uložene su kao odlomci sitne ljuspice biotita i rjeđe zrna plagioklasa. Plagioklas često pokazuje zonarnu građu blizine lamele, kao kod dacitsko-andezitskih stijena. Tufovi su najčešće bijeli, crvenkasti, zelenkasti ili pepeljasti.

Na brdu Bećarevac, nedaleko od raskrsnice Brčanska Malta, nalaze se pristupačan profil, na kojima se vide laporci sferične strukture (slika 3.) i slojevi tufova i tufita. Dok se na drugoj strani može vidjeti sličan profil (nepristupačan) ali sa sličnim položajem slojeva, a što govori da tektonski procesi nisu poremetili prirodnu strukture slojeva na ovom manjem potezu.

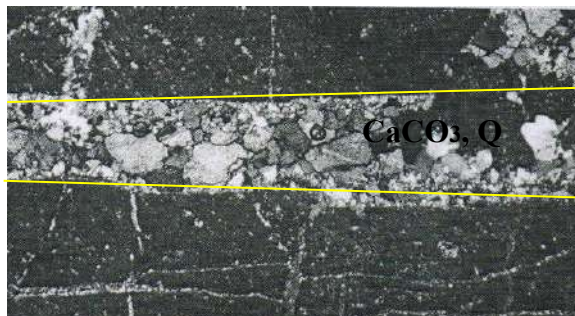


Sl. 3. – Sferični laporci, veličine 3-10 cm sa karakterističnim ljuspastim raspadanjem ako je materijal izložen atmosferilijama (foto T.Nikolić, 2013.)

Stijena se može definsati kao kristaloklastični tuf kiselog karaktera (andezitsko-dacitskog). Sitnokristalaste strukture, tekstura masivna. Stijena dosta alterisana, puno je felspata sačuvanih u prizmatičnim formama. Felspati su uronjeni u sitnolistićavu masu izgrađenu od hlorita i biotita. U samoj osnovi mogu se vidjeti ostatci sitnog sekundarnog kvarca, vjerovatno kristobalita i opala, kao i kalcedona formiranog u obliku radijalno zrakastih formi, niskog reljefa i sivih interferentnih boja, a koji obično zapunjavaju pukotine. (slika 1)



Sl.4. Mikroskopski preparat, getit  
(foto E. Babajić., 2013.)



Sl.5. Mikroskopski preparat, karbonati sa  
zrnima kvarca (foto E. Babajić., 2013.)

Veliko zrno u sredini preparata (slika 4.) sa radijalno-zrakaste građe, pigmentisano je sa željezom i odgovara getitu sa hidrobiotitom i opacitskim rubom – ovojem oko zrna. Sasvim je jasno da se radi o sekundarnom mineralu, deponovanom u šupljini stijene u fazi nakon sedimenacije vulkanskog pepela. Sivo do braonkasto pigmentisana zrna, su hloritisana i dijelom kaolinizirana zrna alteracije felspata.

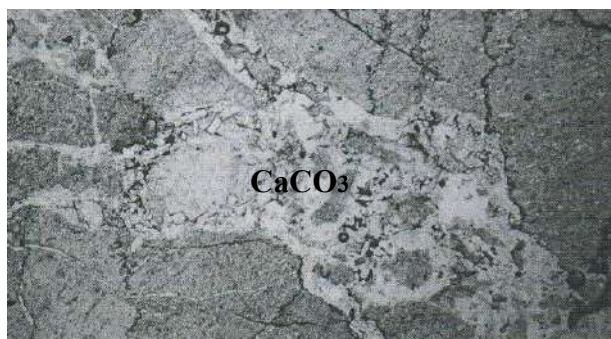
Smeđa boja unutar ovog uzorka je mješavina hlorita, hidrobiotita i epidota u podređenoj mjeri. To su sekundarni minerali nastali u procesu alteracije primarnih amfibola ili piroksena.

Vitroklastični tuf, alevritsko-psamitske strukture, masivne strukture, sa detritičnim zrnima kvarca i felspata, te dosta epidota, najvećim dijelom stijene potiskuju gnijezda i žilice kvarca i kalcita.

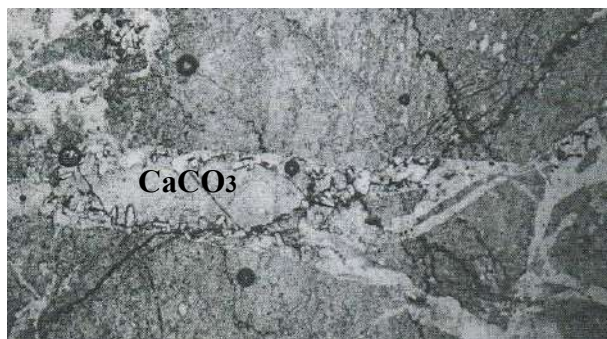
Stijena je vitroklastični tuf sa staklastom strukturom (vitrofirskom osnovom) i sporadičnim kristalima minerala. Žilica na fotografiji (slika 5.) ispunjena je karbonatom i sitnokristalastim kvarcom u rubnom dijelu.

Mandola sa ispunom od karbonata i kalcedona (slika 6.), sekundarnim kvarcom i prizmatičnim zrnima felspata. Crne tačke (opaki minerali) predstavljaju metalične minerale. Mandola je u staklasto-vitrofirskoj osnovi te je na osnovu toga i definisan kao vitroklastični tuf.

Pukotina sa ispunom od sekundarnog krupnokristalastih karbonata (slika 7), sitnih prizmatičnih zrna felspata, sitnog okruglastog kvarca i praškastog magnetita-limonita koji ispunjava kontakte zrna. Pornog je karaktera. Osnova stijene je staklasta, pa možemo reći da se radi o vitroklastičnom tufu.



Sl.6. Mandola karbonata i kalcedona  
(foto E. Babajić., 2013.)



Sl.7. Pukotina karbonata sa primjesama  
silicija i željezovih komponenti  
(foto E. Babajić., 2013.)

## Hemijska analiza uzoraka tufa

Osnovni hemijski sastav tufova Sjeverne Bosne uglavnom je slijedeći: SiO<sub>2</sub> 60-85%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5-20%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,5-3,5%; CaO 1-3,5%, MgO 0,15-1,5% i alkalija 1-5%. Budući da u hemijskom sastavu komponente: SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gotovo redovno učestvuju sa više od 70%, tretirani tufovi predstavljaju tipske pucolanske materijale (Jovanović, 1976).

| HEMIJSKA SVOJSTVA                    | Rezultati                |                          |                          | Standard / metoda                   |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|                                      | Uz.1<br>BC 2<br>(sloj 1) | Uz.2<br>BC 3<br>(sloj 2) | Uz.3<br>BC 4<br>(sloj 2) |                                     |
| ELEMENTI U TLU u (mg/kg) suhe tvari  | Rezultati                |                          |                          | Uzorak iz prve analize BC 1 (sloj1) |
| Kadmij (Cd)                          | 3,5                      | 4,1                      | 5,3                      | 9,0                                 |
| Olovo (Pb)                           | 35,8                     | 53,20                    | 58,25                    | 69,8                                |
| Živa (Hg)                            | 0,026                    | 0,015                    | 0,010                    | 0,017                               |
| Bakar(Cu)                            | 24,8                     | 9,6                      | 10,15                    | 15,6                                |
| Nikal(Ni)                            | 36,24                    | 42,88                    | 46,37                    | 35,6                                |
| Cink(Zn)                             | 52,75                    | 50,67                    | 55,4                     | 47,5                                |
| Molibden (Mo)                        | 8,8                      | 3,4                      | 2,2                      | -                                   |
| Aluminij (Al) u (%)                  | 0,082                    | 0,088                    | 0,082                    | 14,09                               |
| Željezo (Fe) u (%)                   | 1,98                     | 1,74                     | 2,12                     | 1,61                                |
| SiO <sub>2</sub> u (%)               | 79,18                    | 76,18                    | 73,44                    | 70,82                               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> u (%) | 0,16                     | 0,16                     | 0,17                     | 26,61                               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> u (%) | 2,83                     | 2,48                     | 3,03                     | 2,30                                |

Tabela 1 – Hemijska analiza uzorka BC-1  
(Federalni zavod za agropedologiju, Sarajevo, juni 2012)

| HEMIJSKA SVOJSTVA     | Rezultati    |              |              | Standard / metoda |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
|                       | Uz.1<br>BC 2 | Uz.2<br>BC 3 | Uz.3<br>BC 4 |                   |
| pH u H <sub>2</sub> O | 8,53         | 8,52         | 8,56         | BAS ISO 10390     |
| pH u 1 M KCl-u        | 7,75         | 7,47         | 7,19         | BAS ISO 10390     |

Tabela 2 – Analiza kiselosti stijene i prisustva karbonata  
(Federalni zavod za agropedologiju, Sarajevo, juni 2012)

Na osnovu hemijske analize urađene na 4 uzorka (tabela 1.) kao i urađenih mineraloško-petrografskih analiza, možemo vidjeti da je uzorak zastupljen sa SiO<sub>2</sub> preko 70%, te sa nešto uvećanom koncentracijom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 26,61% BC1. A gdje se može vidjeti da na ostala 3 uzorka ta koncentracija je znatno manja i ujednačenija, tako da možemo pretpostaviti da je došlo do greške u determinaciji na prvom uzorku za hematit. Isto se može reći i za ispitivanje aluminija i kadmija, dok se ostali elementi kreću u granicama normale. Dok su u manjem obimu zastupljeni metali Fe, Ni, Zn, Cu, Pb i drugih, te zanemarivog sadržaja karbonata 1,33%, i povećane kiselosti H<sub>2</sub>O u vrijednosti od oko 8.

Ako uporedimo uzorke uzete iz sloja 1 i sloja 2, možemo reći da je u drugoj fazi sedimentacije došlo do povećanog sadržaja nikla u odnosu na prvu, da je povećan sadržaj kadmija u drugoj fazi sedimentacije vulkanoklastičnih materijala, i da je u prvoj fazi nešto povećan sadržaj bakra u uzorku, dok većina ostalih elemenata nema značajna odstupanja.

Na osnovu urađenih analiza, možemo pretpostaviti da je udaljenost, način i dubina vulkanskih aktivnosti koje su formirale ove slojeve bila ista i da u prvoj fazi bio duže aktivan sa značajnijim prinosom piroklastičnih materijala.

## Zaključak

Ovaj rad predstavio je istraživanja vezana za piroklastične stijene istočnog oboda tuzlanskog bazena i djelovanja vulkanskih aktivnosti u okolini koji su formirali iste. Postoji više teorija o samom nastanku, od dubokih rasjeda i djelovanja lave sa emisijom vulkanskog pepela, do većih vulkanskih aktivnosti sa područja sjevero-istočne Bosne iz oblasti Srebrenice, a koja se nalazi u dometu prostiranja vulkanskog pepela. Kao i druge teorije, da su kisele stijene Tuzle i Majevice lokalnog karaktera i da su se erupcije vulkanskog pepela dešavale kroz duboke rasjede i pukotine sve do površine terena gdje su se istaložile.

Detaljnim izučavanjem prostiranja tufova u okviru vulkanogeno-sedimentne formacije tuzlanskog bazena, došlo se do zaključka da se najvećim dijelom aktivnosti sedimentacije piroklastičnog materijala odvijao u dvije faze.

I to u prvoj nešto kraćoj (kako je debljina sloja 10 cm) i drugoj nešto većoj (od 30 cm debljine). Tufovi su uglavnom raspoređeni unutar laporovito-glinovite formacije, sa pojavama kuglastih formi lapora. Dok se tragovi piroklastičnih materijala mogu naći i u sonoj formaciji, kao i šarenoj tuzlanskoj seriji miocenske starosti. Tufovi tuzlanskog bazena su prema urađenim analizama kristalasto-vitroklastične strukture, sa procentom kvarca preko 70 %, kao i značajnim sadržajem felspata i kalcita (u pukotinama), te analcima (zeolita), te primjese hlorita i biotita.

## Literatura:

1. Doc.dr.Elvir Babajić (2013), Minerološko i petrografska determinacija uzoraka , RGGF Tuzla,
2. ČASLAV J. (1980), „Geneza pretortonskih miocenskih sedimenata na prostoru između Drine i Une“, Posebno izdanje geološkog glasnika, Knjiga XV, Geoinženjering, Sarajevo,
3. SOKIĆ I., (1965), „Horizontalni i vertikalni pokreti tektonskih blokova kao uzrok ubiranja i rasjedanja u tercijaru sjeveroistočne Bosne“, Jugoslovenska akademija znanosti i umjetnosti, odjel za prirodne nauke, Zagreb, pp.157-173,
4. Foto i terenska dokumentacija (2011-2013), Toni Nikolić,
5. SOKLIĆ I. (1964), „Postanak i struktura tuzlanskog bazena“, Geološki glasnik, Geološki zavod u Sarajevu, Br.10, pp.05-26,
6. SOKLIĆ I. (1978), „Tektonski strukturni oblici tuzlanskog bazena i Majevice“, Rudarsko geološko građevinski fakultet Tuzla,
7. AZUMI I. (1980), „Geology of natural zeolites and zeolitic rocks“, Plenary paper – Geology and minerology, Pure & Appl.Chem.Ltd, Great Britain, Vol.52, pp.2115-2130,
8. Simić V., Andrić N., Cvjetković V., Vuković N., Živanović J., „Petrographic study of Beočin zeolite tuf“, Proceedings of 5th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium of Zeolites,
9. Arhivska dokumentacija Federalno zavoda za geologiju, Sarajevo,
10. Hemijske analize uzoraka tufa, Federalni zavod za agropedologiju, Sarajevo,
11. Nikolić T. (2006), „Analiza zona fraktura u gradu Tuzli, zavisno od dinamike izluživanja soli u podpovršini“, magistarski rad, RGGF Tuzla,
12. Nikolić T., Nikolić J., Hamzabegović A. (2012) "Litološko-paleontološke i strukturno tektonske karakteristike područja Vršani kod Tuzle", RUDARSKO-GEOLOŠKI GLASNIK, Hrvatsko rudarsko-geološko društvo Mostar, Rama/BIH, ISSN 1840-0299, No. 16, pp 82-90,
13. Nikolić T. (2006) "Geofizička mjerenja ispod površine sonog ležišta u Tuzli", ZBORNIK RADOVA, Rudarsko geološko građevinski fakultet TUZLA, ISSN 1512-7044, No.XXX, pp 115-119,
14. [www.iza-online.org/natural/Datasheets/Analcime/analcime.html](http://www.iza-online.org/natural/Datasheets/Analcime/analcime.html),
15. [www.inza.unina.it/](http://www.inza.unina.it/)



## Geološka građa i morfološko-tektonske karakteristike Uskopaljske kotline

M. OPERTA<sup>1</sup>, DŽ. FORČAKOVIĆ<sup>2</sup>, M. MISILO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dr. sc. Mevlida Operta, docent  
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
opertamevlida@yahoo.com

<sup>2</sup> Dževad Forčaković, dipl. inž. geol.  
<sup>2</sup> JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo  
ZD Rudnik uglja "Gračanica" d.o.o. Gornji Vakuf - Uskoplje  
[dzevad7@live.com](mailto:dzevad7@live.com)

<sup>3</sup> Mr. sc. Marija Misilo, viši asistent  
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Sarajevu

### Sažetak

Područje gornjovrbanke regije bogato je prirodnim resursima šumama, vodama, rudama i dr. Ovo područje je posebno značajno po brojnim mineralnim sirovinama (ležištima uglja, gipsa, krede, kvarcita, mermera, sedre, krečnjaka, dolomita, kvarca, željeza, tetraedrita, barita, zlata, mangana i vode).

Eksploatacija uglja na ovom području počinje 1939.godine u selu Vesela kod Bugojna i ubrzo se dislocira u područje Gračanice gdje je do 1974. vršena jamska eksploatacija, kada se prelazi na površinsku. Rudnik "Gračanica" proizvodi oko 200 hiljada tona kvalitetnog lignita, kojeg u cijelosti plasira na domaće tržište.

Interesantne pojave lignitskog uglja registrovane su i u neogenom basenu Šipure, ali nisu detaljno istražene.

Pored ležišta lignitskog uglja u Uskopaljskoj kotlini značajna su i ležišta gipsa, anhidrita, opekarske gline i jezerske krede, te građevinskog i ukrasnog kamena, a od manjeg su značaja pojave kvarca, željeza, boksita i dr. U samoj ugljenoj seriji bugojanskog basena nalaze se velike rezerve laporaca kao dobre sirovine za proizvodnju cementa. Pored laporaca kao nus produkti iz uglja dobijaju se i druge značajne sirovine poput gline, kreda i dr.

U radu su prikazane geografsko-ekonomske, morfološke, te geološke i tektonske karakteristike Uskopaljske kotline.

Ključne riječi: Uskopaljska kotlina, geološka rađa, tektonske, morfološke karakteristike, lignit

## Geological Structure and Morphologic-Tectonic Characteristics of the Uskopaljske Valley

### Abstract

The upper Vrbas region is rich with natural resources such are forests, waters, ores etc. This area is very important because of numerous mineral raws (deposits of coal, gyps, chalk, quartzite, marble, calcareous sinter, limestone, dolomites, quartz, tetraedrite, barite, gold, manganese and water).

The coal exploitation in this area started yet in 1939 in the village of Vesela, near Bugojno and soon is dislocated to the Gračanica region where the pit exploitation was done all until 1974, after which started with the surface one. The Gračanica coal mine produces cca 200 000 t of high-quality lignite, which is all out placed to domestic market.

Very interesting appearances of the lignite coal are registered also in the neogen basin of Šipure, but not searched in detail.

Beside the lignite coal deposit in the Uskopaljske Valley, important ones are also deposits of gyps, anhydrite, brick clay and lake chalk, building and decorative stone, and less important are appearances of quartz, iron, bauxite etc. In the very coal bank of the Bugojno basin there are great reserves of marls as good raw for the cement production. Beside the marl, there are other coal nus-products as well, important raws such are clay, chalk etc.

This paper presents geographic-economical, morphologic, geological and tectonic characteristics of the Uskopaljska Valley.

**Key words:** the Uskopaljske Valley, geological structure, tectonic, morphologic characteristics, lignite.

## 1. Uvod

Po rudnim bogatstvima područje gornjovrbaske regije je bilo interesantno Ilirima, Rimljanima, Turcima, Austro-Ugarskoj i Jugoslaviji. Istraživanja su posebno intenzivirana tokom Austro-ugarske monarije.

Eksploatacija uglja na ovim prostorima započinje 1939. godine u selu Vesela kod Bugojna, a kasnije se istraživanja i eksploatacija prebacuju u područje Gračanice, gdje je vršena podzemna eksploatacija do 1974. godine i tada se prelazi na površinski eksploataciju. Rudnik uglja "Gračanica" se nalazi na udaljenosti oko 9 km od Gornjeg Vakufa, na desnoj obali rijeke Vrbas, uz asfaltni put Gornji Vakuf – Bugojno.

Pored uglja u Uskopaljskoj kotlini eksploatiše se gips, mermer, mermerisani krečnjaci i kvarcit. Eksploatacija gipsa se obavlja na ležištu "Bistrica" koje se nalazi 3 kilometra sjeverozapadno od Gornjeg Vakufa. Ležište mermera je locirano na pola puta G. Vakuf – Novi Travnik. Probna eksploatacija se trenutno obavlja na ležištu mermera „Dolovi“. U toku je istraživanje mermerisanih krečnjaka u ležištu „Panje“ s ciljem utvrđivanja rezervi i mogućnosti korištenja kao arhitektonsko-ukrasnog kamena. Dolomit se vadi na kamenolomu „Pidriš“ a kvarcit na ležištu „Gradac“. Ležište jezerske krede „Gračanica“ se nalazi u u blizini asfaltnog puta Bugojno - Gornji Vakuf. Trenutno nije u eksploataciji a prije rata vršena je probna proizvodnja s ciljem utvrđivanja mogućnosti primjene ove sirovine. U okolini Gornjeg Vakufa istraživana su i eksploatisana brojna ležišta barita. U gornjem toku Vrbasa nalaze se i zatvoreni rudnici tetraedrita i barita Maškara i Mračaj.

U bugojanskom ugljenom bazenu kao nus produkti iz uglja dobijaju se opekarske gline, pisaca kreda i laporci kao značajne sirovine ovog basena.

Cilj ovog rada je predstaviti geološku građu i morfološko-tektonske karakteristike Uskopaljske kotline koja predstavlja međuplaninsku depresiju okruženu srednje visokim i visokim planinama.

## 2. Opće karakteristike Uskopaljske kotline

### 2. 1. Geografsko - ekonomske karakteristike

Područje Uskopaljske kotline je prostor jugozapadne Bosne uz gornji i donji tok rijeke Vrbas omeđen visokim planinskim masivima Vranice, sa sjeveroistočne i istočne strane i Raduše, sa južne i jugozapadne strane. Opća karakteristika prostora su uže zaravnjene terase uz rijeku Vrbas i neke njene pritoke i padinski planinski prostori koji su jače naborani.

## 2. 2. Morfološke karakteristike

Uskopaljska kotlina predstavlja srednje visoku međuplaninsku depresiju okruženu srednje visokim i visokim planinama. Sa istoka i jugoistoka okružuju je istaknuti visovi planina.

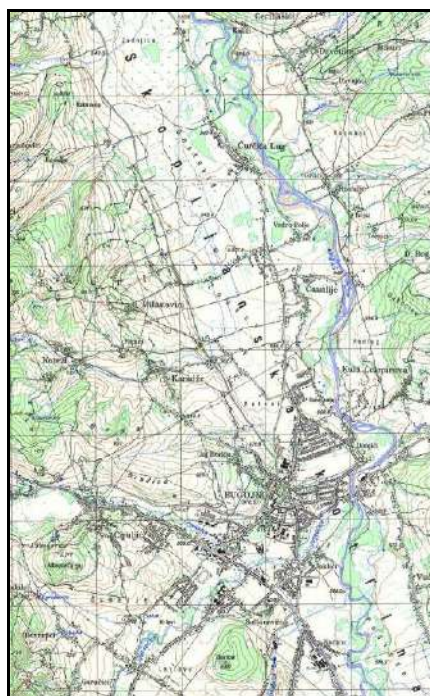
Reljef basena je predstavljen blago zaobljenim brežuljkastim morfološkim oblicima i dosta širokim dolinama uz rijeke i veće potoke. Najniža nadmorska visina u basenu je 517 m, na lijevoj obali Vrbasa, a najveća 886 m, 4 km južno od sela Gračanice.

Na ovom području su jako izraženi morfološki oblici, kako oni koji svojom visinom dominiraju terenom, tako i oni koji se nalaze između planinskih masiva. Pored dominantnih morfoloških oblika postoji čitav niz karstnih fenomena, počev od škrapa, vrtača, uvala, pećina, jama do "boginjavog krša" i karstnih polja.

Moguće je izdvojiti tri osnovna reljefna tipa oblikovanja terena:

- Prvi je predstavljen planinskim vrhovima Vranice i Raduše (2112 i 1955 m n/m). To su planinska područja iznad visinskih kota od 1500 m n/m sa planinskim pašnjacima, a djelimično i crnogoricom.
- Drugi obuhvata padine pomenutih planina koje su ispresjecane vodotocima. Visinski položaj ovih padina je između 700 i 1500 m n/m. Većim dijelom padine su obrasle gustim i visokim šumama sa oazama plodnog tla, odnosno pašnjaka.
- Treći obuhvata nizijske dijelove uz rijeku Vrbas i njene pritoke, a nalazi se između visinskih kota 600 i 750. Cjelokupni prostor je plodno tlo, a unutar njega su i sva značajnija naselja.

Snažno je izraženo erozivno i mehaničko razaranje stijenskih masa, koje je nesumnjivo predisponirao litološki sastav, strukture i intenzivna tektonska aktivnost.



Sl.1. Geografska karta šireg područja Uskopaljske kotline (R 1:25 000).

## 2.3. Hidrografske karakteristike

Klima na ovom području odgovara podnebljima ovih geografskih položaja sa izvjesnim modifikacijama klime konkretnog područja. Najbliža meteorološka stanica, na kojoj se vrši opservacija najznačajnijih meteoroloških elemenata je Bugojno ( $H = 562$ ).

Stalni i najveći tok, kao i glavni recipijent površinskih voda je rijeka Vrbas, koja u bugojanski ugljeni basen ulazi kod Gornjeg Vakufa. Do rudnika uglja „Gračanica“ ima dosta usku dolinu, a odatle do Donjeg Vakufa dolina se širi i kod Donjeg Vakufa izlazi iz basena. Rijeka Vrbas protiče kroz središnji dio basena i prima više pritoka, riječica i potoka, od kojih su sa desne strane značajniji: Bistrica, Donja Ričica, Zaneski potok, Vilin potok, te više kraćih povremenih tokova. Sa lijeve strane prima riječice: Trnovaču, Voljšnicu, Veseočicu, zatim potoke Poričnički, Spahinički, Lubovski i dr. Doline većih pritoka Vrbasa su dosta duboke i pretežno su predisponirane rasjedima, te na takav način u basenu stvaraju više morfoloških oblika.

Po pluvimetrijskom režimu to je humidno – kontinentalno područje.

## 2. 4. Klimatske karakteristike

Prema Kopenovoj klasifikaciji ovo područje pripada kontinentalnom tipu klime, s obzirom da je temperatura najhladnijeg mjeseca između  $-3$  i  $8$  °C (Bugojno  $0,4$  °C), da je raspored padavina povoljan i da u toku godine gotovo i nema sušnog perioda, odnosno da najsuhlji period pada u najhladnije doba godine. Za ocjenu kontinentalnosti služe i godišnje amplitude temperature vazduha. Smatra se da su godišnje amplitude vazduha preko  $20$  °C, karakteristične za kontinentalnu klimu,  $15 - 20$  °C umjereno – kontinentalnu i ispod  $15$ °C za moritimnu klimu. Prema ovom pokazatelju područje Bugojna i Gornjeg Vakufa bi bilo na prelazu između umjereno- kontinentalne i kontinentalne klime.

## 3.0. Geološke karakteristike Uskopaljske kotline

### 3.1. Litofacijalne odlike

Geološka građa Uskopljsanske kotline prikazana je na geološkoj karti razmjere 1:100 000.

Najstariji stratigrafski član obodnog pojasa basena predstavljen je sedimentima donjeg trijasa ( $T_1$ ) i to kampilskog podkata ( $T^2_1$ ). Dalje, u stratigrafskom stubu oboda izdvojeni su karbonati srednjeg trijasa, anizika, ( $T^1_2$ ) i gornje krede, senonski kat ( $K^3_2$ ). Ovi sedimenti izgrađuju pretežno dio paleoreljefa (osnovnog gorja) zapadnog dijela neogenog basena.

#### *Donji trijas – kampilski potkat ( $T^2_1$ )*

Stijene kampilskog podkata otkrivene su na obodnom dijelu basena, SZ-no od Prusačke rijeke, preko Vučina do Novog Sela.

Od litostratigrafskih jedinica najzastupljeniji su škriljavi tamnosivi mikriti, a zatim pjeskoviti sericitisani mikriti svjetlosmeđe boje i sericitski škriljci tamnosive boje.

Kontakt sa pliocen-kvartarnim sedimentima je tektonskog ili erozio-tektonskog karaktera. Mjestimično, gdje je ovaj kontakt bliže koritu Prusačke rijeke, pokriven je aluvijalnim nanosima.

### *Srednji trijas – anizijski kat ( $T^1_2$ )*

Karbonati srednjeg trijasa izgrađuju najveći dio zapadnog oboda bugojanskog basena i pružaju se od Prusca na SZ-nom dijelu do sela Zlavast na južnom dijelu zapadnog oboda slatkovodnog neogenog basena. Anizijski sedimenti su predstavljeni razvojem karbonata: dolomita koji su svjetlosmeđe i pepeljastosive boje, zatim dolomitičnih krečnjaka, krečnjaka i dolomitsko-krečnjačkih breča. Anizijski sedimenti leže konkordantno na donjotrijaskim sedimentima, osim u izuzetno poremećenim dijelovima terena. Starost anizijskih tvorevina određena je faunistički sa: *Meandropsisom dinarica*, *phisoporella cf. Varians*, *hindeodella triassica* i dr.

Debljina ovih serija doseže mjestimično i do 400 metara i često su praćene vulkanskim stijenama.

### *Gornja kreda – senon ( $K^3_2$ )*

Gornjokredni sedimenti izgrađuju relativno mali dio obodnog pojasa, svega oko 2 km dužine i to između Prusca i sela Ždralovići. Od litoloških članova u tom razvoju su zastupljeni: intrabiomikriti, biointraspariti i intraspariti. Stratigrafska pripadnost im je određena na osnovu odredbi mikrofaune: *orbitoides media*, *orbitoides sp.*, *globotruncana sp.*, zatim *globigerina* i *pitonela*.

Odnos krečnjaka senonskog kata i karbonata srednjeg trijasa je tektonski, duž rasjeda su dovedeni u hipsometrijski nivo. Još nije jasno jesu li autohtonog ili alohtonog porijekla, a postoji vjerovatnoća da pripadaju karbonatnom razvoju gornje krede u sastavu navlake Grmeča, M. Anđelković (1980.).

### *Neogen u zapadnom dijelu bugojanskog basena*

U razvoju neogena (N) izdvojen je gornji miocen  $^1M_{2,3}$ ,  $^2M_{2,3}$  i  $^3M_{2,3}$  koji je u fazi regionalnih geoloških istraživanja raščlanjen na sedam (7) litostratigrafskih horizonata, zatim pliocen ( $P_1$ ), koji je predstavljen slabo vezanim i nevezanim sedimentima.

Prema sadašnjem stepenu poznavanja ležišta, gornjomiocenski razvoj predstavlja ekonomski najznačajniju ugljunosnu seriju basena od preko 400 m, procijenjenom mogućnosti do 550 m.

U pliocenskim sedimentima ugalj lignit se nalazi mjestimično u vidu proslojaka. Sloj lignita je nedovoljno poznate debijine i homogenosti, a nabušen je samo bušotinama: B-34 i B-11.

Debljina pliocenskih sedimenata u dubljim dijelovima basena dostiže oko 500 m. Ukupna debljina neogena procjenjuje se na oko 1100 m.

### *Bazalna zona ( $^1M_3$ )*

Idući od zapadnog obodnog pojasa osnovnog gorja, od izdanaka, prema morfološki nižim dijelovima terena, ka Vrbasu, bazalna zona ( $^1M_3$ ) je pokrivena debelim naslagama mlađih ugljunosnih gornjemiocenskih ( $M_3$ ) i neraščlanjenih pliocen, kvartarnih (Pl,Q) sedimenata. Njen litološki sastav ima značajnu praktičnu vrijednost za obustavljanje bušotina. U litološkom sastavu bazalne zone izmjenjuju se grubozrni do sitnozrni i glinoviti terigeni sedimenti: slabo vezani i granulometrijski nesortirani konglomerati, sa glinovitim vezivom, slabo vezani pješčari, laporoviti glinci, pjeskovitošljunkovite gline, glinoviti pješčari, krečnjačko-dolomitne breče i rijetko proslojci uglja debljine: 0,1-1,00 m, pločasti proslojci glinovito-pjeskovitih lapora.

Sedimenti bazalne zone karakterišu se pretežno sivozelenom bojom. Padni ugao im je oko  $12^0$ . Makrofauna u njima nije nađena, a mikrofauna skromna. Determinacijom polenovih zrna iz uzoraka bazalne zone: *Verucatosporites favus*, R.Pot (Polypodiaceae), *Pityesporites mikroanalatus* R.Pot (Pinus), *Subtriporopollenites simplex*, R.Pot (Carya), *Polyporopollenites undulusus*, Wolf (ulmus) i metodom korelacije sa rezultatima analiza iz ugljenih slojeva i sedimenata koji izgrađuju podinu gornjim ugljenim slojevima, može se zaključiti da su bazalna zona i ugljunosni litostratigrafski horizonti taloženi u vrijeme srednjeg i gornjeg miocena, debljina bazalne zone iznosi od oko sto četrdeset (140) m.

*Zona drugog podinskog sloja uglja lignita (<sup>2</sup>M<sub>3</sub>-IIP)*

Ova zona leži na bazalnoj zoni. U radovima do 1985. godine ovaj sloj je tretiran kao glavni ugljeni sloj -Podinski (P). To je najstariji ugljeni sloj u seriji. Njegovi prirodni izdanci poznati su na lokalitetu kod sela Ždralovići, uz zapadni obod basena.

Tokom 1983. godine, na tom lokalitetu je izvedeno rudarsko raskopavanje. Elementi pada sloja su 110/14. Prema podacima 15 bušotina izvedenih do kraja 1987. godine, prosječna debljina čistog uglja iznosi 1,51 m. Jalovinu čine glinci, ugljevite gline i rjeđe lapori.

*Zona glina, glinovitih pješčara i lapora, (<sup>3</sup>M<sub>3</sub>)*

Ova zona predstavlja neposrednu i višu krovinu drugog podinskog ugljenog sloja. Ciklus taloženja počinje plastičnim glinama na koje se nastavlja sedimentacija laporovitih glinaca, glinovitih pješčara i pjeskovitih do šljunkovitih glina pretežno sivoplavičaste boje. Paketi pločasti pjeskovito-glinovitih lapora sa slabo očuvanim fosilima slatkovodne faune podređeno su zastupljeni u zapadnom dijelu basena, dok idući ka istoku oni se povećavaju. Padni ugao sedimenata je oko 12°. Debljina zone je do 40 m.

*Prvi podinski ugljeni sloj, (<sup>4</sup>M<sub>3</sub> - IP)*

Ovu zonu izgrađuje ugalj lignit i prosljoci laporovitog krečnjaka, lapora i glina. Debljina ugljenog sloja varira od minimalne (0,05) u obodnom pojasu do 42,00 m, na bušotini B-2o. prosječna, srednja aritmetička debljina sloja iznosi 10,11 m, a čistog uglja 6,56 m, prema sadašnjem stepenu istraženosti.

U međuslojnim laporima se nalazi slabo očuvana slatkovodna fauna. Palinološkim ispitivanjima uzoraka iz ove zone su determinisani ostaci ksilitne materije, ostaci biljnog tkiva i spore: *Laevigatosporites harditi*, R.Pot. Ven., *Pityosparites* sp. (*Pinus*), *Intratritipotilenites instructus*, R.Pot.Ven. (*Tilia*) i dr. Određena paleoflora ukazuje da i ovaj ugljeni sloj pripada srednje do gornje miocenskoj starosti. Za uže biostratigrafsko horizontiranje nema dovoljne paleontološke dokumentacije.

*Zona laporovitih krečnjaka laporaca i lapora, (<sup>5</sup>M<sub>3</sub>)*

Ova superpoziciona litostratigrafska jedinica razvijena je između prvog podinskog i glavnog sloja uglja lignita. Sedimentacija počinje glinovito-pjeskovitim laporima sa ostrakodama i rijetko zastupljenoin slatkovodnom makrofaunom. Na lokalitetu bušotina B-9 neposrednu krovinu prvom podinskom ugljenom sloju grade laporoviti krečnjaci sa školjkama, *Pisidium* sp. i dr.

U neposrednoj krovini prvog podinskog ugljenog sloja mogu se očekivati i pločasti do tankoslojeviti mikrokristalasti krečnjaci sa žilicama ispunjenim kalcitom.

Najzastupljeniji litočlan u ovoj zoni su laporoviti krečnjaci, sivosmeđe do bjeličastosive boje. Mjestimično je to šupljikavi fosiliferni laporoviti krečnjak.

Pored laporovitih i mikrokristalastih krečnjaka u zoni su mjestimično zastupljeni laporci i glinovito-pjeskoviti lapori i rjeđe glinci, zatim slabo vezani, zaglinjeni, terigeni sedimenti i prosljoci ili slojevi uglja lignita 1-2,20 m debljine.

Zona laporovitih krečnjaka, laporaca i lapora sadrži fosilne ostatke. Međutim, slatkovodna mikrofauna iz laporovito-krečnjačkih slojeva karakteriše se tankim mekim ljušturama. Zbog toga je slabo očuvana. Često je izlomljena, zgnječena, te i u odabranim uzorcima identifikacija vrste je vrlo otežana.

Od gastropoda su identifikovani: *Succinea cf. martinovići Brusina*, *Prosostheina sp. Planorbis sp.*, *Plantbis pulići Brusina*, *P. cornu Brusina*, *Limnea Karlovići Brusina*, *Limnea Klaići, Brus*, *L. socialis Schubler* i *Valvata abdita Brusina*, Od lamelibranhidata slijedeći rodovi i vrste: *Spherium Ožgovići*, *Spherium sp.* i *Pisidium sp.*

Mikropaleontološki materijal je bio vrlo oskudan. Prema rezultatima ovih i brojnih prethodnih odredbi faune i flore ova zona i cijela ugljonosna serija sa zonom u neposrednoj krovini glavnog ugljenog sloja je stavljena u gornji miocen ( $M_3$ ).

Debljina zone na istražnom prostoru se kreće do 250 m.

#### *Zona glavnog sloja uglja lignita, ( $^6M_3-G$ )*

Glavni sloj uglja lignita u zapadnom dijelu bugojanskog basena leži na slojevima pjeskovito-glinovitih lapora, laporaca ili laporovitih krečnjaka. Neposredna povlata predstavljena pjeskovitim glinama koje mjestimično imaju karakteristike plastičnih, masnih glina, a najčešće su onečišćene heterogenim slabo zaobljenim ili uglastim nesortiranim krovinskim nanosom i rjeđe ugljenisanim fragmentima flore. Prema podacima bušenja do kraja oktobra 1987. godine, glavni sloj uglja lignita u zapadnom dijelu bugojanskog basena nabušen je sa trideset sedam (37) bušotina.

Najveća debljina ugljenog sloja sa jalovim proslojcima konstatovana je na bušotini B-26, lokalitet Kotezi, i iznosi 68,60 m, a čistog uglja 44,55 m, zatim na BZ-23, 56,60 m, a čistog uglja 51,60 m, B-10, 54,00 m, a čistog uglja 49,50 m. Prosječna debljina sloja iznosi 30,00 m, a čistog uglja u sloju 22,83 m.

Glavni sloj je raslojen jalovinom koja je predstavljena glinama, laporovitim glincima, laporima i rijetko laporovitim krečnjakom. Ostaci makrofaune se u njima rijetko nalaze.

Prema ukupno dobijenim podacima raslojenost sloja je veća sjeverno od spahinačkog rasjeda koji ležište presjeca poprečno u pravcu zapad-jugozapad-istok-sjeveroistok (ZJZ-ISI).

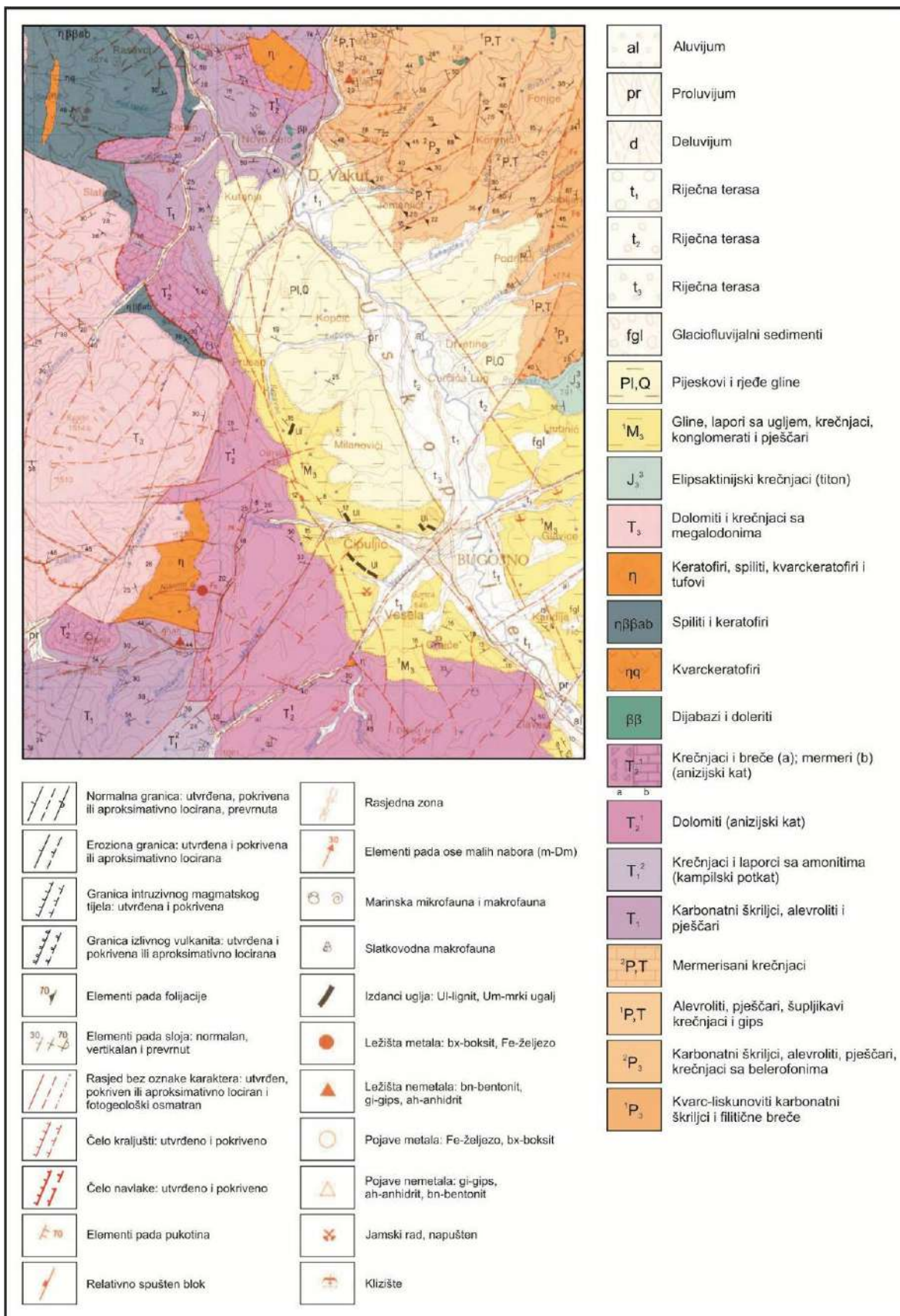
Od paleontoloških ispitivanja najbolje rezultate za ovaj litostratigrafski horizont dale su palinološke analize. Determinisana su sljedeća zrna polena i spora: *Triatriopollenites rureusis* Pf.Th (*Mirica*), *Monocolpopollenitus trauquillis* Th. (*Palmae*), *Inaperturopollenites magnus* R.Pot (*Larix*), *Inaperturopollenites hiatus* R.Pot (*Taxodium*), *Inaperturopollenites dubius* R.Pot (*Cupress.*), *Laevigatosporites haorolti* R.Pot. Ven. (*Polipodiaceae*), *Potyosporites microalatus* R.Pot (*Pinus*), *Trivestibulopollenites betuloides* Pf. (*Betula*), *Subriporopollenites simplex* R.Pot. (*Caria*), *Triatriopollenites corypbeus* R.Pot. (*Engelhardtirae*), *Polypotopollenites undulosus* Wolf (*Ulmus*), *Polyvestibulopollenites verus* R.Pot. (*Alnus*) i dr.

Prema ukupno determinisanim subfosilnim ostacima i nalasku srednje i gornjemiocenskih oblika: *Betula*, *Tilia*, *Ulmus*, *Salix*, i dr. može se zaključiti da je glavni ugljeni sloj i podinski slojevi stvarani u srednjem i gornjem miocenu.

#### *Zona glina i pjeskovitih glina, ( $^7M_3$ )*

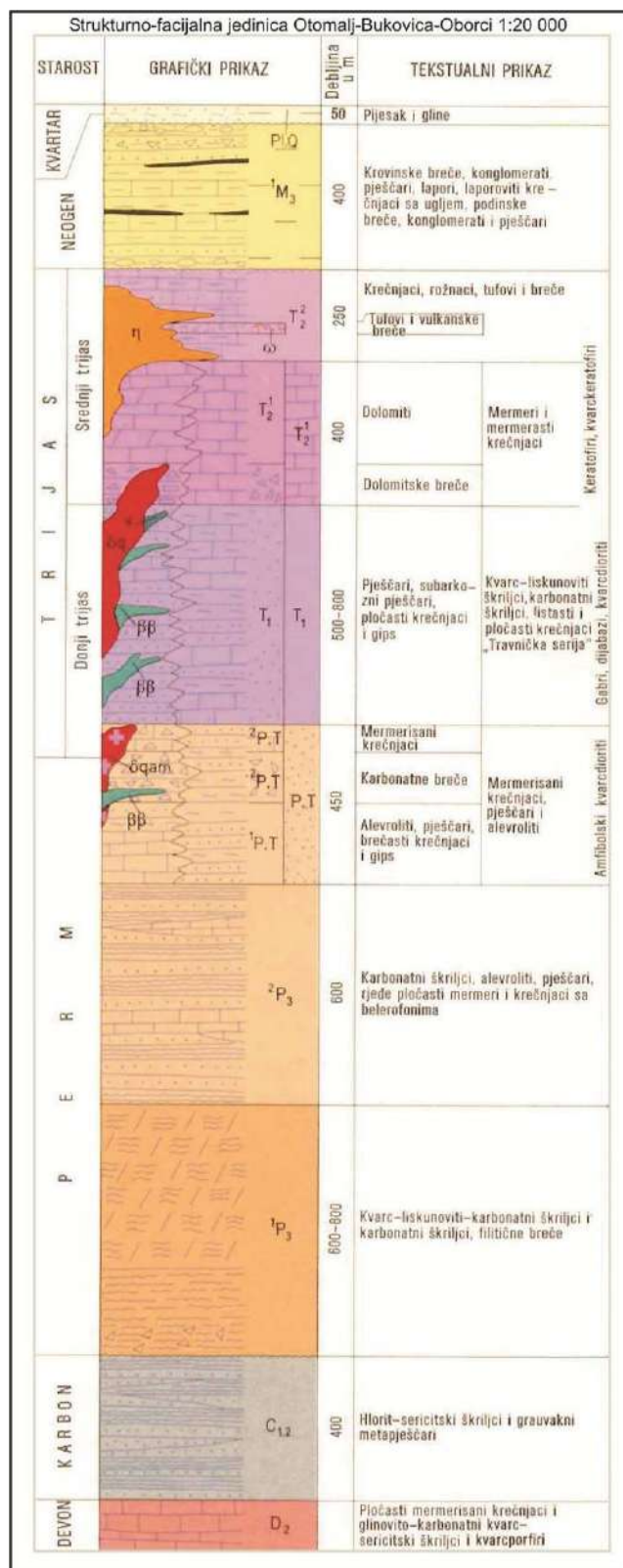
Ovu zonu izgrađuju gline sive, smeđe i žutosmeđe boje koje su pretežno plastične, a mjestimično su pjeskovite i sitnošljunkovite ili ugljevite, a ponekad se bočno izmjenjuju sa glinovito-pjeskovitim laporom ili je to laporovito-pjeskovita glina. Palinološki fosili ove zone veoma su slični, a u više odredbi identični sa oblicima spora i polena iz uzoraka starijih ugljenih slojeva i izdvojenih litostratigrafskih zona između njih i na osnovu palinoloških analiza ovoj zoni je data gornjomiocenska starost ( $^7M_3$ ) i smatramo da su od ovog litostratigrafskog horizonta navise taloženi pliocenski sedimenti.

Debljina zone ( $^7M_3$ ) varira do 45 m debljine.



Sl.2. Geološka karta šireg područja Uskopaljske kotline (list Bugojno R 1:100 000)





Sl.3. Geološki stub šireg prostora Uskopaljske kotline (R 1: 20 000).

### *Pliocen, kvartarni sedimenti, (Pl, Q)*

Produbljavanjem jezera koje je uslijedilo nakon odlaganja biljne materije od koje će se formirati glavni ugljeni sloj i horizontna glina ( $M_3$ ), kao njegove neposredne i više povlate, počinje ciklus taloženja sitno do gruboterigenih sedimenata koji predstavljaju završni dio jezerske sedimentacije.

Ove sedimente, na osnovu njihovog superpozicionog položaja iznad glavnog ugljenog sloja i njegove neposredne i više povlate, koji na osnovu odredbi paleo flore pripadaju gornjem miocenu ( $M_3$ ) - vjerovatno gornjem panonu, i prema rezultatima prethodnih radova, smatramo pliocenskim ( $P_1$ ). Kompleks slabo vezanih i nevezanih litočlanova pliocenske periode čine: gline smeđe, žutosmeđe, crvenkaste, zelenkaste i sivoplave boje, koje su alevrolitične, pjeskovite i šljunkovite u svim granulacijama, često nesortiranim, ponekad su laporovite i prelaze u pjeskovito-glinovite lapore, zatim pjeskoviti do šljunkoviti laporoviti glinci, pjeskovite polimiktne breče, krečnjački i heterogeni konglomerati koji su slabo vezani glinenim vezivom. Pored krečnjaka i kvarcdiorita u sastavu heterogenih konglomerata, nalaze se još dolomit, verfenski pješčiri i permotrijaski sericitski škriljci i alevroliti. U sastavu pliocenskog razvoja zastupljeni su i slabo vezani pješčari koji su sitnozrni do krupnozrni, često nesortirani i zaglinjeni, zatim zaglinjeni šljunci, alevroliti, glinovito-prašinsti pijesak i slično.

Mjestimično su u pliocenu razvijeni proslojci uglja lignita i ugljevite gline. Najviši (najmlađi) dijelovi kompleksa terigenih sedimenata, prema dosadašnjim saznanjima pripadaju kvartarnoj periodu.

### *Krovni sloj lignita, (K)*

Prema njegovom superpozicionom položaju odlaganjem ovog sloja i njegove neposredne krovine završava se taloženje pliocenskih sedimenata, ali u sadašnjoj fazi istraženosti, pošto je izdvojen na relativno malom prostoru, u području naselja Berića Gaj - Bugojno, na detaljnoj geološkoj karti, R 1:10.000 nije izvršeno odvajanje pliocena i kvartara, nego i dalje zadržano uopštenje ( $P_1, Q$ ) rješenja sa ciljem da se kroz naredne faze radova provjeri ta mogućnost na cijelom ležištu.

Debljina krovnog sloja (K) na osnovu podataka iz bušotina B-11 i B-34 iznosi 12,17 m, a čistog uglja lignita 4,62 m. Njegovu neposrednu podinu izgrađuju poluplastične do sitnošljunkovite laporovite gline sivobijeličaste i smeđe ili tamnosive boje, a neposrednu krovinu pjeskovita do sitnošljunkovita laporovita glina sivobijeličaste boje i smeđe sitno do srednjezrno pjeskovite gline koje su dobre opekarske gline.

Krovni sloj uglja lignita karakteriše se intenzivnom raslojenošću. Međuslojnu jalovinu čine slabo očvršli pjeskoviti lapori pepeljastosive boje, zatim ugljevite i poluplastične gline tamnosive, smeđe i bijeličastosive boje.

Na izdavačkoj zoni, u zasjeku asfaltnog puta ima se utisak da ugljeni sloj zbog velike raslojenosti nema ekonomsku vrijednost. Međuslojna jalovina kao i gline u krovini i podini mjestimično su izmjenjene u goretinu "brand", koja se ističe ciglastocrvenom bojom i koja ukazuje da je ugalj sklon samozapaljivosti kad dođe u dodir sa vazduhom i vlagom. Proslojci i slojevi lignita na izdanku su dobrim dijelom sagorjeli ili su intenzivno onečišćeni sadržajem laporovite i glinovito-pjeskovite anorganske komponente. Idući ka dubljim dijelovima ležišta čistoća, mogućnost i kompaktnost ugljene komponente se povećava što je utvrđeno bušotinama.

### *Kvartar, (Q)*

Tokom kvartarne periode na istražnom prostoru proces izdizanja terena i povlačenja jezerskih voda odvijao se sporije pa je jezerski režim taloženja nastavljen i kroz pleistocen.

Terigene nevezane ili poluvezane stijene: gline, prašinsto-glinoviti pijesak, trošni i zaglinjeni pješčari, zaglinjeni konglomerati i breče te nesortirani šljunak koji je odlagan nadolaskom povremenih bujičnih tokova u jezerske vode, nismo bili u mogućnosti odvojiti od sličnih tvorevina taloženja u pliocenu.

Pošto donja granica kvartarnih litočlanova na široj površini istražnog prostora i jezerskih naslaga nije definisana, stavljeni su u pliocen, kvartarne (P<sub>1</sub>, Q) sedimente. U ostalim izdvojenim kvartarnim tvorevinama zastupljene su slijedeće facije: deluvijalna facija (d), proluvijalna facija (pr), povodanjska facija (ap), sedimenti starije i mlađe riječne terase (T<sub>2</sub> i T<sub>1</sub>), aluvijalni nanos (al) i fluvioglacialni materijal (f, gl).

Litološki sastav ovih facija je promjenljiv zavisno od geološke građe podloge, zatim starosti i načina postanka.

#### *Deluvijum, (d)*

U podnožju strmih padina koje izgrađuju mezozojski krečnjaci i dolomiti izdvojeni su pokrivači podnožja koje izgrađuju: komadi i čestice matičnih stijena. Granulometrijsko sortiranje je slabo.

Predstavljena je slabo sortiranim šljunkom, pjeskovima i glinovito-pjeskovitom komponentom. Materijali su deponovani na onim mjestima gdje je energija toka oslabila za njihov dalji transport.

#### *Fluvio-glacialni sedimenti, (f-gl)*

Nalaze se na pojedinim najvišim dijelovima pliocen, kvartarnog razvoja.

Prema zastupljenosti litološke gradje to su sedimenti heterogenog sastava. Granulometrijski su nesortirani. U sastavu su najzastupljeniji krečnjaci, a znatno učešće imaju zaobljeni komadi i blokovi kvarcdiorita, zatim pješčari, škriljci i druge magmatske stijene.

## **4. Tektonske karakteristike Uskopljanske kotline**

Područje Uskopljanske kotline obuhvata terene, koji po geotektonskoj rejonizaciji predstavljaju sastavne dijelove velikih geotektonskih jedinica. Idući od jugozapada, obuhvaćeni su vanjski Dinaridi (Zona visokog krša). Zatim slijede kompleksi stijena koji se u novije vrijeme uvršćuju u "prelaznu zonu". Na krajnjem sjeveroistoku smješten je kompleks karbonatnih stijena i flišnih sedimenata Vlašić – Manjača, koji se uslovno pridodaju unutrašnjim Dinaridima. Prema novijim shvatanjima o tektonici ploča, navedena oblast zauzima središnje i spoljašnje dijelove mezozojsko karbonatne platforme.

Sintezom istraživanja formiran je tektonski model terena u kome se jasno uočavaju slijedeće strukturno – facijalne jedinice:

### **A. VITOROG – HRBLJINA (DIO ZONE VISOKOG KRŠA) VANJSKI DINARIDI**

Zahvata samo mali dio spoljašnjih Dinarida, tj. zonu Visokog krša.

### **B. GERZOVO – JANJ – PLAZENICA – (JEDINICA SPRUDOVA) SREDIŠNJI DINARIDI**

Idući od jugoistoka obuhvata najveći dio Kupreškog polja, planinske masive V.Plazenice, ravne Gore, lijevu obalu Kupreške rijeke, područje Janj, Pljevske podove, sjeveroistočne dijelove planine Vitorog, Dragnić Podove i područje sela Gerzovo.

### **C. GORICA – LJUŠA – BOGOJNO (JUGOZAPADNO KRILO ANTIKLINALE CENTRALNO – BOSANSKOG ŠKRILJAVOG GORJA) SREDIŠNJI DINARIDI**

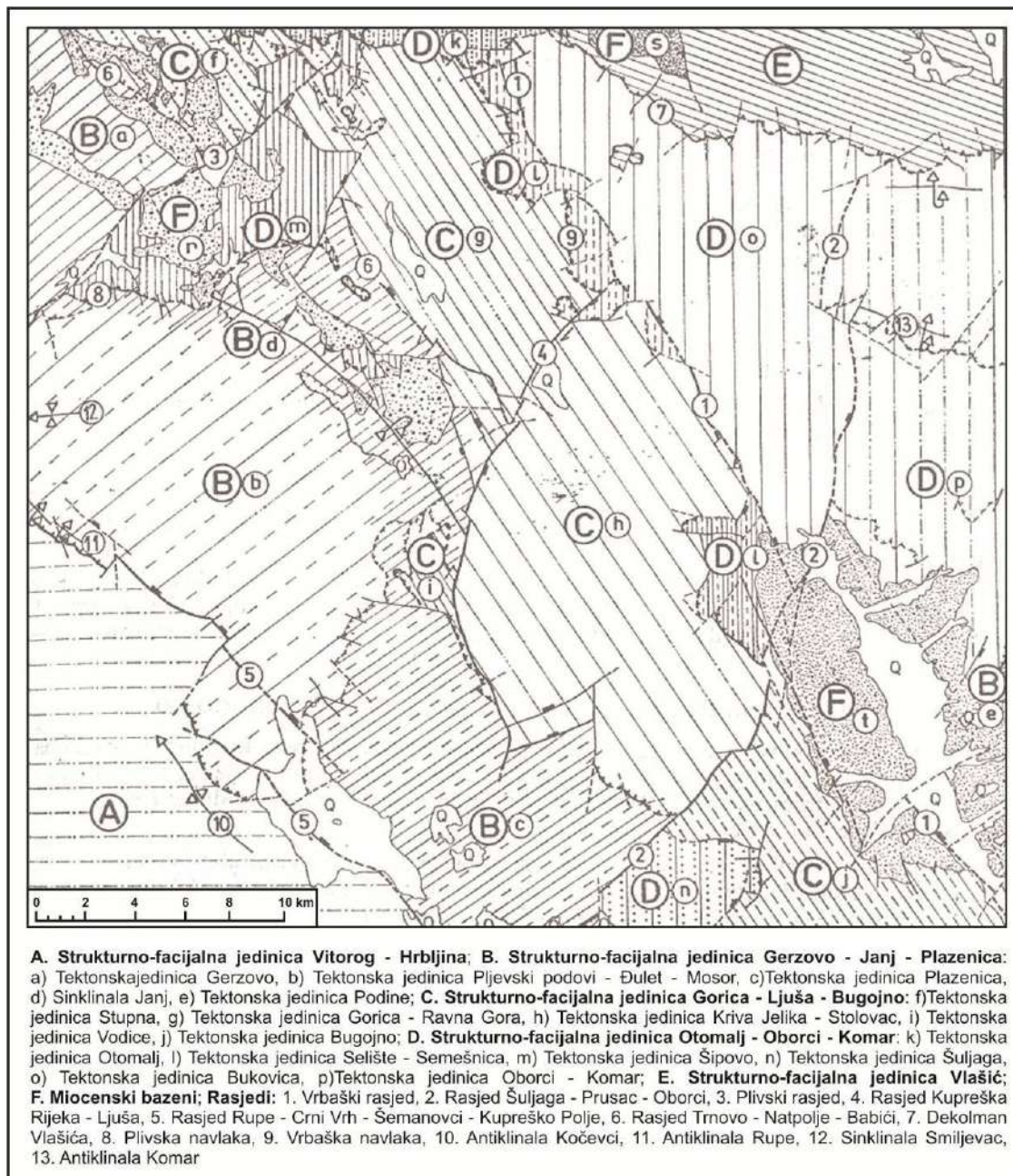
Zahvata veliko prostranstvo, a može se pratiti od Gornjeg Vakufa preko Bugojna, lijevom obalom Vrbasa do Jajca, zatim preko Šipova, Lisine i dalje prema Dimituru.

D. OTOMALJ – OBORCI – KOMAR (ANTIKLINALA CENTRALNO - BOSANSKOG ŠKRILJAVOG GORJA SREDIŠNJI DINARIDI

Obuhvata veliki prostor na istočnom i sjeveroistočnom dijelu područja Bugojna prema Donjem Vakufu, a izgrađuje terene između rijeka Vrbasa i Rijeke.

E. VLAŠIĆ (KARBONATNI KOMPLEKS VLAŠIĆ – MANJAČA) UNUTRAŠNJI DINARIDI

Ovom jedinicom su obuhvaćeni planinski masivi Huma i Dnolučke planine koji se na istoku preko Gostilje direktno vezuju sa Vlašićem, a uvršćuju se u unutrašnje Dinaride.



Sl. 4. Pregledna tektonska karta Uskopaljske kotline.

Neotektonski pokreti na ovim terenima su jasno izraženi. Tektonski ambijent se karakteriše sistemom većih i manjih rasjeda duž kojih je dolazilo do spuštanja pojedinih blokova. Tako su stvorene depresije u kojima su se sedimentirale miocensko-pliocenske tvorevine, a kasnije i kvartarne. Tako je nastala i depresija Gornji Vakuf - Bugojno – Donji Vakuf, danas više poznata kao bugojanski neogeni basen.

Na osnovu ukupno prikupljenih podataka iz objavljenih radova, putem geoloških kartiranja i iz istražnih radova o položaju ugljenih slojeva i litostratigrafskih zona između njih, zatim slojeva pliocenkvarternog razvoja i na osnovu terenskog opažanja odnosa tercijarnih facija i osnovnog gorja, te morfoloških karakteristika terena date su tektonske karakteristike ugljonošne serije u zapadnom dijelu sa osvrtom na tektonske uslovljenosti taloženja neogena u cijelom bugojanskom basenu.

Pravac pružanja ugljene serije je SSZ—JJI. Pravac pada slojeva je prema istok-sjeveroistoku (ISI). Statistički ugao pada slojeva je  $12^{\circ}$ , a pojedinačni padovi su pretežno  $8-14^{\circ}$ .

Ugljena serija u zapadnom dijelu basena prema dosadašnjim rezultatima bušenja, ima monosinklinalni strukturni oblik. Najvjerovatnije da će se narednim istraživanjima dobiti podaci da ugljena serija ima oblik asimetrične sinklinale.

Od značajnijih poprečnih rasjeda u produktivnom zapadnom dijelu basena idući od JJI prema SSZ-u može se izdvojiti poričnički rasjed duž rječice Poričnice, spahinački rasjed duž doline potoka Spahinac i lubovski duž potoka Lubovo. Pravac pružanja poričničkog rasjeda je ZSZ-IJI, spahinačkog ZJZ—ISJ, a lubovskog istok-zapad (I-Z).

Tektonski pokreti, spuštanje i izdizanje izdvojenih rasjednih krila, uslovlili su raslojavanje, promjene u debljini i druge karakteristike ugljenih slojeva.

Plikativne i radijalne poremećaje kojim su zahvaćeni sedimenti stariji od glavnog ugljenog sloja, vezujemo za artičku orogenu fazu - srednji sarmat. Od značajnih oblika radijalne tektonike u ovo vrijeme, izdvajamo poričnički rasjed. On poprečno presjeca kompleks sedimenata koji su stariji od glavnog ugljenog sloja. Poričnički rasjed je vrlo markantan i može se morfološki pratiti kroz karbonatne trijasko i starije neogene sedimente. Mlađim poprečnim rasjedima spahinačkim i lubovskim tektonski je blago poremećen i glavni ugijeni sloj. Oni rasjedi koji su zahvatili glavni ugljeni sloj vjerovatno su vezani za RONSKU orogenetsku fazu. Padni uglovi su pretežno  $8 - 14^{\circ}$ , a veličina rasjednog skoka varira od 10-40 m.

Pliocenski, krovni ugljeni sloj je blago nagnut u pravcu SI-a. Padni uglovi su  $-8^{\circ}$ . Sa sedimentima neposredne krovine i višim kvartarnim sedimentima je u konkordantnom odnosu. Idući od JJI-a ka SSZ-u u bazenu je do lubovskog rasjeda izvršeno blago stepeničasto spuštanje sedimenata. Na ovom rasjedu S-no krilo je dignuto. Veličina skoka je 20-40 m.

Najveći tektonski uticaj na formiranje ležišta imao je uzdužni vrbasko-voljevački rasjed duž koga je tonjenje istočne strane zapadnog dijela bugojanskog basena trajalo mjestimično konstantno kroz cijeli miocen i pliocen, što je uslovlilo formiranje njegovog monosinklinalnog oblika.

Od značajnijih uzdužnih rasjeda na istočnoj obodnoj strani ove produktivne serije izdvojen je prusačko-ždralovički rasjed na kome je došlo do spuštanja istočnog rasjednog krila i koji se morfološki jasno ističe.

Na osnovu datih tektonskih karakteristika može se zaključiti da je tektonika zapadnog dijela bugojanskog basena relativno mirna.

Što se tiče istorije stvaranja basena, najvjerovatnije da su tektonske predispozicije fomirane štajerskom orogenetskom fazom, te da je do zajezeravanja i taloženja bazalne zone došlo tek poslije štajerske orogeneze.

Prema geološkoj građi, ugljonosnosti, strukturnim karakteristikama ugljenih slojeva i drugih litostratigrafskih horizonata u produktivnom zapadnom dijelu basena izdvajamo četiri (4) strukturno-facijalne jedinice (revira). Međusobno su odvojene poprečnim rasjedima koji se pružaju duž dolina potoka: Poričnica, Spahinac, Lubovo.

Izdvojeni su:

- revir "Šumelji" južno od poričničkog rasjeda,
- revir "Kotezi" između poričničkog i spahinačkog rasjeda, i
- revir "Guvna" između spahinačkog i lubovskog rasjeda i
- revir "Krčevine" sjeverno od lubovskog rasjeda.

Revir "Šumelji" karakteriše se razvojem samo glavnog ugljenog sloja kao i revir "Krčevine". Zona laporovitih krečnjaka i laporaca ( $^2M_3$ ) u ova dva revira leži transgresivno na bazalnoj zoni ( $^1M_3$ ). U središnjim revirima "Kotezi" i "Guvna" imamo razvoj i podinskih ugljenih slojeva i glavnog ugljenog sloja. Glavni ugljeni sloj je više raslojen u reviru "Guvna", a idući prema jugu biljni materijal je bolje sortiran i glavni sloj je čišći.

## 5. Zaključna razmatranja

Uskopaljska kotlina se nalazi u jugozapadnoj Bosni između Gornjeg i Donjeg Vakufa.

Opća karakteristika prostora su uže zaravnjene terase uz rijeku Vrbas i neke njene pritoke i padinski planinski prostori koji su jače naborani.

Uskopaljska kotlina predstavlja srednje visoku međuplaninsku depresiju okruženu srednje visokim i visokim planinama. Sa istoka i jugoistoka okružuju je istaknuti visovi planina.

Na ovom području su jako izraženi morfološki oblici, kako oni koji svojom visinom dominiraju terenom, tako i oni koji se nalaze između planinskih masiva. Pored dominantnih morfoloških oblika postoji čitav niz karstnih fenomena, počev od škrapa, vrtača, uvala, pećina, jama do "boginjavog krša" i karstnih polja.

## Literatura

Butorac Đ., i Žugić M., (1988): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Geoinstitut" - Sarajevo.

Džindo M., Forčaković Dž.,(2009): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2009. godini, "Rudarski institut" d.d. Tuzla sa završnim geološkim izvještajem.

Džonlagić Dž. i Butorac Đ. (1988): Konačni izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima u bugojanskom basenu u 1985.godine. "Geoinstitut" - Sarajevo.

Džonlagić Dž., (1988): Konačni izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima u zapadnom dijelu bugojanskog basena do kraja 1987. god., "Geoinstitut" - Sarajevo.

Čičić, S. (1976): Bugojanski basen, Edicija mineralne sirovine BiH, prvi tom. "Geoinženjering" - Sarajevo.

- Forčaković Dž., Selimović E., Musić A., (2011): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja na lokalitetu "Dimnjače" – Gračanica kod Gornjeg Vakufa, stanje 31.12.2010.godine, "Geotehnos" d.o.o. Sarajevo.
- Forčaković Dž., Operta M., (2011): Rekultivacija devastiranih površina rudnika uglja na primjeru „Gračanica“ Gornji Vakuf –Uskoplje – IV Savjetovanje geologa BiH.
- Giljan N., (1988): Elaborat o inženjerskogeološkim i geomehaničkim karakteristikama ležišta uglja "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa – "Geoinženjering" Sarajevo.
- Jovanović L., (1988): Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima na području ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa – "Geoinženjering" Sarajevo
- Kličić I., Brkić Emina., Hajdarević I., (2005): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Zavod za geologiju" - Sarajevo.
- Kličić I., Puljarga H.,(2006): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2006. godini, "Pigip" d.o.o. Sarajevo.
- Kurtanović R., (1996): Istraživanja ležišta mineralnih sirovina Zavod za geologiju -Sarajevo.
- Kurtanović R., i Kovačević R., (1996): Analiza sirovinske baze uglja u bugojanskom basenu i pravci daljih istraživanja, "Zavod za geologiju" - Sarajevo.
- Kurtanović R., Kovačević R., Halilčević N.,(1997): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Zavod za geologiju" - Sarajevo.
- Levi, S., (1986): Aneks Elaboratu o rezervama uglja ležišta Gračanica kod Bugojna, sa stanjem 1.6.1986. godine "Geoinženjering" – Sarajevo
- Muftić, M., i Behlilović, S., (1966): Prikaz geološkog poznavanja ugljonosnih naslaga Gračanice kod Bugojna, Geološki glasnik br.11 Sarajevo.
- Vujnović, et.all (1975): OGK i Tumač osnovne geološke karte list Bugojno, "Geoinstitut" - Sarajevo.
- Pržulj M. (1991): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja na području Čipuljić-Šumelja, "Geoinstitut" - Sarajevo.
- Suljagić A., Halilčević N.,(2007): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2007. godini, Pigip d.o.o. Sarajevo.
- Tomić, B., (1981): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Gračanica" kod Bugojna –"Geoinženjering" - Sarajevo.
- Žugić, M. (1984/1985): Konačni godišnji izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima uglja bugojanskog basena izvršenim u 1983. god., "Geoinstitut" -Sarajevo.
- Vujnović, et.all (1975): OGK i Tumač osnovne geološke karte list Bugojno, "Geoinstitut" - Sarajevo.
- Ostala FSD Rudnika Gračanica.

## Klasifikacija diskontinuiteta u krečnjačkom masivu kamenoloma "Duboki potok-Bijela rijeka"

INDIRA SIJERČIĆ<sup>11</sup>, REJHANA DERVIŠEVIĆ<sup>12</sup>

### Sažetak

Inženjerska svojstva većine intaktnih stijena obično su zadovoljavajuća, dok u stijenskim masama ona više zavise od diskontinuiteta nego od fizičkih karakteristika intaktne stijene. Diskontinuiteti predstavljaju ravnine unutar stijenske mase preko kojih je stijenski materijal strukturno deformisan, oni imaju malu tenzionu čvrstoću ili je uopšte nemaju. Osnovni cilj sistematskih izučavanja predstavlja upoznavanje prostornog položaja, geometrijskih veza, kao i genetskih i simetroloških veza diskontinuiteta sa ostalim strukturnim elementima područja.

Sistematska izučavanja diskontinuiteta u krečnjačkom masivu "Duboki Potok-Bijela Rijeka" kod Srebrenika, vršena su na radnim etažama istoimenog kamenoloma, od 2002. godine do danas. Dobiveni rezultati istraživanja primijenjeni su na radne kosine kamenoloma radi identifikacije potencijalnih nestabilnosti kod izvođenja inženjerskih radova u stijenskim masama.

**Ključne riječi:** diskontinuiteti, Šmitovi dijagrami, stabilnost kosina

### Summary

Engineering properties of most intact rocks are usually satisfactory, whereas in rock masses they are more dependent on discontinuity rather than the physical properties of intact rock. Discontinuities are the planes within the rock mass over which the rock material is structurally deformed. They have little tension strength or do not have at all. The main objective of the systematic study is the spatial position, geometrical relationships, as well as genetic and discontinuities symmetric connection with other structural elements of the area.

Systematic study of discontinuities in the limestone massif of "Deep Creek-White River" in Srebrenik has been conducted at the working levels of the quarries from 2002 until today. The results have been applied to the working quarry slopes in order to identify potential instability in execution of engineering works in the rock masses.

**Key words:** discontinuities, Schmidt's diagrams, slope stability

### Uvod

Krečnjački masiv ležišta "Duboki Potok-Bijela rijeka" nalazi se na sjeveru Bosne i Hercegovine, oko 6,5 km jugoistočno od grada Srebrenika i sela Duboki Potok, neposredno uz rijeku Tinju. Eksploatacija krečnjaka počela je 60-ih godina prošlog stoljeća bez predhodnih geoloških istraživanja, otvaranjem zadružnog kamenoloma. Poslije nekoliko godina rada kamenolom se napušta, prelazi se na područje Bijele rijeke, a 1968/69. godine otvoren je kamenolom "Drenik".

---

<sup>11</sup> Dr.sc. Indira Sijerčić, vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 2, 75 000 Tuzla, indira\_sc@hotmail.com

<sup>12</sup> Dr.sc. Rejhana Dervišević, vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 2, dervisevic@gmail.com



Zbog ukazane potrebe za novim ležištem 1988. i 1989. godine vrše se detaljna geološka istraživanja ležišta "Duboki Potok-Bijela rijeka" i iste godine započinje eksploatacija krečnjaka koja traje neprekidno do danas, sa smanjenim intenzitetom samo u periodu od 1992-95. godine.

Krečnjački masiv pripada krajnjim obroncima sjeverozapadnog oboda planine Majevice. Na formiranje reljefa ovog područja značajan uticaj je imala rijeka Tinja sa razgranatom drenažnom mrežom. Najizraženiji morfološki oblik su riječne doline kanjonskog tipa i karstni oblici formirani u paleogenim i badenskim krečnjacima. U paleogenim krečnjacima južno od ležišta rijeka Tinja je usjekla kanjon nazvan Orlova klisura, dok u miocenskim klasitima, u području kamenoloma formira tipičnu ravničarsku rijeku sa aluvijalnom zaravni.

Krečnjački masiv je u području kamenoloma ograničen sa sjeverne strane lijevom obalom rijeke Tinje (k. 230 m), sa istočne riječicom Bijela rijeka i sa zapadne bezimenim potokom. Najviša kota terena iznosi 390 metara. Duža osa ležišta ima pravac pružanja istok-zapad; od bezimenog potoka prema zapadu duga je preko 1000 m, a prema istoku još oko 1500 metara. Širina krečnjačkog masiva iznosi više od 300 m, a istražnim bušenjem utvrđena je debljina preko 130 metara (*Ignjatović, Trebinjčević, Trajanov, 1989*).

### **Geološka građa ležišta**

Ležište "Duboki Potok-Bijela rijeka" izgrađeno je od krečnjaka i laporaca, aluvijalno-deluvijalnih glina i aluvijalnih nanosa rijeke Tinje. Gornje paleocenska starost krečnjaka na vodopadu Bijele rijeke (bivšem kamenolomu), u području Srebrenika i platoa Ljenobud određena je na osnovu fosilne flore i faune (*Drobne 1984, Soklić, 2001.*). Za krečnjake ležišta "Duboki Potok-Bijela rijeka" je bolje reći da su srednje paleocenske starosti  $Pc_2$  (*Soklić, 2003*).

Niži dijelovi ležišta izgrađeni su od krečnjaka svjetlije boje i bogati su fosilnim vrstama, najčešće foraminiferama prostije građe. Viši dijelovi su izgrađeni od bankovitih i masivnih krečnjaka uglavnom smeđe-sive boje. Među fosilima najčešće su zastupljene foraminifere i numuliti većih dimenzija.

Krovinu ležišta krečnjaka predstavlja humusno-glinoviti materijal različite debljine. Podina krečnjačkog masiva izgrađena je od laporaca. To su slojeviti laporci, sive boje, u kojima se javljaju interkalacije sitnozrnih pješčara i laporovitih, pjeskovitih do brečastih krečnjaka. Na površini terena laporci se pojavljuju u koritu bezimenog potoka i rijeke Tinje. Iste su starosti kao i krečnjak.

### **Geneza ležišta**

Na kraju krede i početkom paleogena Laramijski pokreti doveli su do blagog boranja ovog prostora kada je formiran prostor za sedimentaciju. U paleocenu dolazi do transgresije iz pravca SZ prema JI, a na prelazu između paleocena u eocen, na obodnim dijelovima stvaraju se debele naslage paleocensko-eocenskih sprudnih krečnjaka. Do prekida u sedimentaciji dolazi na granici eocena i oligocena kada nastupa Pirinejska orogenetska faza. Tektonski pokreti ove faze najvjerovatnije su doveli do formiranja današnjih strukturno-tektonskih oblika ovog područja. Završetak eocena označen je globalnom izmjenom, kako kopnene tako i morske flore i faune (*Soklić, 1987*).

Krečnjaci ležišta "Duboki Potok-Bijela rijeka" su monomineralnog sastava, organskog porijekla i sa visokim sadržajem  $CaCO_3$ . Nastali su iz zoogenih i fitogenih taloga, u plitkovodnoj sredini sa izrazitom dinamikom morske vode, što se odrazilo na neravnomjeran raspored konstitutivnih elemenata.

### **Strukturno-tektonske karakteristike područja**

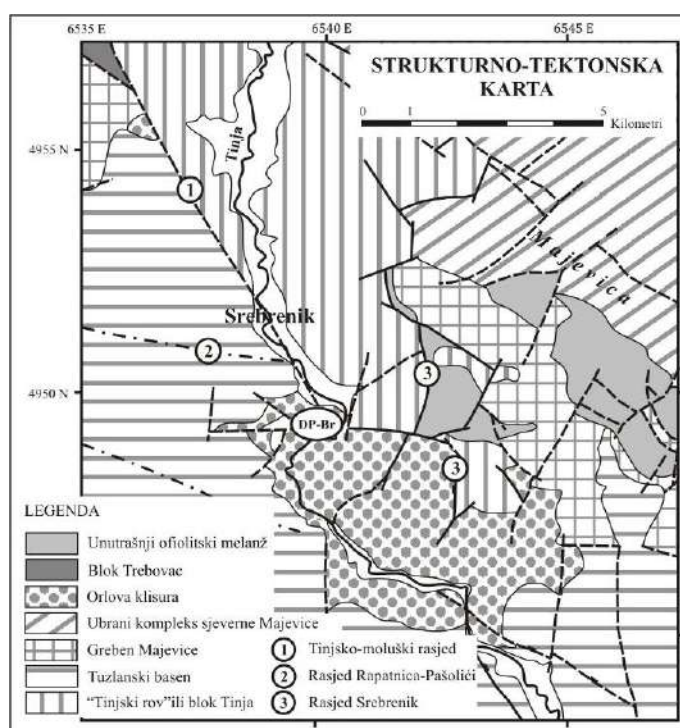
Osnovne strukturne linije sjeveroistočne Bosne predstavljaju dubinski rasjedi koji odvajaju pojedine zone geosinklinalnog prostora i predstavljaju osnovni oblik blokovske strukture. Najstariji od ovih velikih

planetarnih lomova je Sprečki dubinski rasjed, a u pravcu sjevera javlja se ešalonirani niz mlađih dubinskih rasjeda (Tinjsko-moluški, Jasenički, Konjikovički i Radojevički) koji, kao i Sprečki, imaju pravac pružanja SZ-JI.

Orijentacija mreže lineamenta tuzlanskog basena i srednje Majevice, kao i pojava sjeverozapadnih desnih i sjeveroistočnih lijevih horizontalnih kretanja po dubinskim rasjedima, dovodi do zaključka da je potisak u Atičkoj i Ronskoj fazi dolazio sa SSZ (Soklić, 1964).

Premještanje tektonskih blokova u horizontalnom i vertikalnom pravcu uslovalo je pravce ubiranja i rasjedanja, te formiranje savremenih strukturno-tektonskih oblika ležišta krečnjaka "Duboki Potok-Bijela rijeka". Velikog uticaja imalo je prisustvo Tinjsko-moluškog dubinskog rasjeda, koji se nalazi sjeverno od ležišta. Na osnovu stepena sabijanja pojedinih slojeva na manji prostor utvrđeno je horizontalno kretanje od 0,5 km duž Tinjsko-moluškog dubinskog rasjeda (Soklić, 1964).

Geoektonska rejonizacija ovog terena izvršena je 1961. (Petković), 2002. (Čičić) i 2003. godine (Čičić, R. Redžepović), a strukturno-tektonske jedinice prikazane su na slici 1.



SI 1. Strukturno-tektonska karta šireg područja krečnjačkog masiva "Duboki Potok-Bijela rijeka"

*Unutrašnji ofiolitski melanž* je zastupljen na grebenu planine Majevice. Izgrađen je od raznovrsnih sedimenata (rožnaci, glinci, rjeđe pješčari) i magmatskih stijena (gabrovi, dijabazi, i serpentiniti). U ovoj zoni prisutno je desno horizontalno kretanje što je vjerovatno uzrokovalo veći stepen njegove tektonske poremećenosti.

*Blok Trebovac* pripada najnižoj strukturnoj jedinici Unutrašnji ofiolitski melanž. Izgrađen je uglavnom od paleogenih i dijelom neogenih sedimenata. Istočnu granicu bloka predstavlja Tinjsko-moluški rasjed.

*Jedinica "Orlova klisura"* izgrađena je pretežno od karbonatnih tvorevina sa naglašenom turbiditnom sedimentacijom, sprudnih i brečastih krečnjaka paleocena i srednjeg eocena. Krečnjaci su slabo tektonski poremećeni i padaju prema grebenu Majevice.

*Jedinica "Ubrani kompleks sjeverne Majevice"* izgrađen je od klastita, karbonata gornje krede (zapadni rub), zatim glinaca i pješčara paleocena i donjeg eocena, serije pješčara i glinaca s krečnjacima srednjeg eocena, a završni član predstavlja serija konglomerata s pješčarima i glincima. Kompleks tone pod sedimente neogenih basena.

*Jedinica "Greben Majevice"* - Najstariji član predstavljaju tvorevine ofiolitskog melanža, preko kojih transgresivno leže sprudni krečnjaci koji predstavljaju erozione ostatke paleocensko-eocenskog spruda. Granica sa tvorevinama ofiolitskog melanža relativno je horizontalna u području grebena, dok je na obodu znatno poremećena.

*Tuzlanski basen* (u užem smislu) nalazi se između grebena Majevice sa sjeverne i Sprečke depresije sa južne strane. Izgrađen od naslaga neogena debljine oko 4000 m. Kroz čitavo neotektonsko vrijeme je tonuo, a kao posljedica neotektonskih kretanja stvoreni brojni naborni oblici.

*"Rov Tinja" ili blok Tinja* pripada Tuzlanskom basenu (u užem smislu). Duž većeg broja rasjeda odvojen je od strukturno-tektonskih jedinica ubranog kompleksa sjeverne Majevice i grebena Majevice. Blago je spušten i doveden s njima u kontakt. Predstavlja blagi pregib između planina Trebovac i Majevice. Dobro su izraženi neotektonski strukturni oblici. Njegovu zapadnu granicu predstavlja Tinjsko-moluški rasjed.

*Soklić* je 1969. godine u okviru tuzlansko-majevičkog područja izradio kartu na kojoj je izdvojio tektonske jedinice, a za ležište „Duboki Potok-Bijela rijeka“ od značaja je strukturno-tektonska jedinica *Rov Tinja sa sinklinalom Šahmeri i Timorom Ljenobud*.

*"Rov Tinja* koji odvaja planine Trebovac i Majevicu postojao je još od sarmata (*Soklić, 1955*). U pontu počeo je da se izdiže timor Ljenobud, manji tektonski blok mladomezozojskih i paleocenskih krečnjaka. To je tipičan merokarst sa dijabazrožnačkom jurom u podlozi i sa pokrovom od eocenskog fliša i najviše od plitkomorskih sedimenata srednjeg i gornjeg eocena preko kojeg leže ostaci slatkovodnog, pa marinskog miocena. Krečnjak se vadi iz nekoliko kamenoloma u klisuri Tinje. U majdanu Drenik prevladavaju u krečnjaku pukotine sa padom na SZ (306/64) i JI (141/58 do 122/82), rjeđe su one na SSI (21/86) i JJZ (208/52) dok sami slojevi padaju na SSI (26/56). Jedan poprečni rasjed SSI pružanja i sa padom rasjedne plohe na 305/65 ima desnu horizontalnu komponentu pomijeranja. U majdanu Bijela rijeka kod Dubokog Potoka postoji rasjed sa plohom pada 160/70, tj. poprečan na slojeve. Kod vodopada mijenja se pad sloja u krečnjacima sa 250/40 na Z na 30/35 na I. Na pregibu izmjeren je pad jedne rasjedne plohe sa 298/12 i pružanjem strija 250/5. Kod krečane u Dubokom Potoku sutiču se dva sistema rasjeda: uzdužni sa plohom pada 226/83 i poprečni (118/85). Po pružanju tih rasjeda teče rijeka Tinja i njena desna pritoka iz jarka Bjeljevine" (*Soklić, 1986*).

### **Klasifikacija diskontinuiteta**

Inženjerskogeološka svojstva krečnjaka na kamenolomu "Duboki Potok-Bijela rijeka" u najvećoj mjeri zavise od strukturno-tektonskih karakteristika ležišta. Od strukturnih oblika u ležištu dominiraju naborne i razlomne strukture.

Krečnjački masiv ima oblik antiklinale sa osom generalnog pružanja u pravcu istok-zapad. Antiklinala je izgrađena od slojevitih do bankovitih krečnjaka. Sjeverno krilo antiklinale ima strmiji pad, a slojevi zaliježi prema sjeveru, pod korito rijeke Tinje. Južno krilo antiklinale je blažeg pada i zaliježe ispod pješčarsko-glinovito-šljunkovite serije na jug. Tektonskim pokretima antiklinala je isprijecana rasjedima i pukotinama. Kamenolom je otvoren na sjevernom krilu ove antiklinale, a front napredovanja radnih etaža je u pravcu jugozapada.

## 1. Ravnine slojevitosti

Sjeverno krilo antiklinale krečnjačkog masiva "Duboki Potok-Bijela rijeka" izgrađeno je od slojevitih do bankovitih krečnjaka. U središnjim dijelovima kamenoloma slojeviti krečnjaci se pojavljuju ritmično na rastojanjima oko 20 metara. Bankovi su debljine preko 1,2 metra.

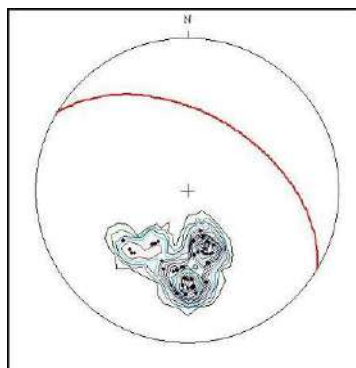
Antiklinala je izlomljena tektonskim pokretima tako da ravnine slojevitosti zaliježu različito, prema sjeverozapadu, sjeveru ili prema sjeveroistoku. Također je različit i padni ugao ravnina slojevitosti (od  $23^{\circ}$  do  $57^{\circ}$ ) u pojedinim dijelovima antiklinale. Slojeviti krečnjaci su blažeg pada prema sjeverozapadu, dok su bankovi strmijeg pada prema sjeveru i sjeveroistoku.

Na osnovu 52 mjerenja azimuta pada ravnina slojevitosti urađen je konturni dijagram (D 1) i dobijena je srednja statistička vrijednost koja iznosi  $3/40$ .



SI 2. Ravnine slojevitosti bankova i slojeva

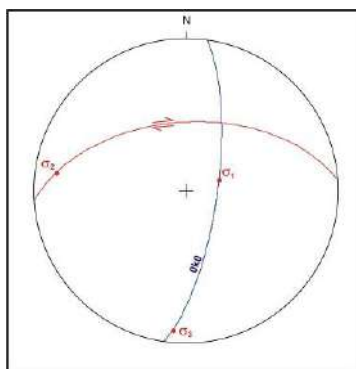
Azimuti pada ravnina slojevitosti slojeva, razlikuju se u odnosu na bankove za oko  $35^{\circ}$ . Srednja vrijednost azimuta pada slojevitih krečnjaka iznosi  $346/40$ , pad prema SSZ, a bankovitih  $20/45$ , pad prema SSI. Na konturnom dijagramu slojeviti krečnjaci grade bolje izražen maksimum. Ravnine slojevitosti bankovitih krečnjaka kreću se u granicama azimuta pada od  $8^{\circ}$  do  $44^{\circ}$ .



$\Sigma$  52 0,50 – 2,00 – .... – 100% 2,63 / 40,47

D 1. Konturni dijagram ravnina slojevitosti

Na ravninama slojevitosti jasno se uočavaju tragovi kretanja koji u većini slučajeva imaju izraženu gravitacionu komponentu.



ravnina slojevitosti  
356/53

a- lineacija  $\zeta$  111<sup>0</sup>

$\sigma_1$  74/72

$\sigma_2$  278/17

$\sigma_3$  196/9

### D 2. Rekonstrukcija pravca djelovanja glavnih napona koji su doveli do kretanja po ravninama slojevitosti

Sa dijagrama 2 mogu se očitati glavni naponi koji su doveli do kretanja po ravninama slojevitosti. Minimalni glavni napon, napon tenzije, djelovao je iz pravca 196<sup>0</sup>, a maksimalni glavni napon, napon kompresije, iz pravca 74<sup>0</sup>.

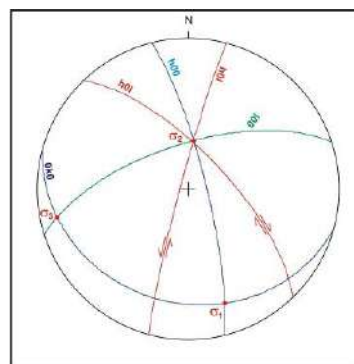
## 2. Rasjedi

Krečnjački masiv kamenoloma "Duboki Potok-Bijela rijeka" ispresjecan je rasjedima koji se mogu klasificirati prema mehanizmu nastanka na rasjede smicanja i tenziona rasjede, i morfološki, u odnosu na pružanje slojeva, odnosno sjeverno krilo antiklinale, na uzdužne i poprečne.

*Rasjedi smicanja* ograničavaju krečnjački masiv na kamenolomu sa istočne i zapadne strane. Na istočnoj granici ovaj rasjed prolazi bezimenim potokom i predstavlja granicu između krečnjaka i podinskih laporovito-krečnjačkih sedimenata. Zapadnu granicu predstavlja rasjed koji prolazi koritom Bijele rijeke, u njenom gornjem i srednjem toku.

Na rasjedu smicanja na istočnoj granici (u bezimenom potoku) izmjeren je ugao zakosa  $\zeta$  25<sup>0</sup> strija a-lineacije sa relativnim lijevim kretanjem krila rasjeda. Rekonstrukcija naponskih stanja, koja su dovela do kretanja duž ovog rasjeda prikazana je na dijagramu 3.

|                                      |                   |            |
|--------------------------------------|-------------------|------------|
| h0l 285/86                           | $\sigma_1$ 162/21 | h0l 46/70  |
| a- lineacija $\zeta$ 25 <sup>0</sup> | $\sigma_2$ 8/64   | 00l 342/66 |
|                                      | $\sigma_3$ 257/12 | h00 76/80  |
|                                      |                   | 0k0 196/25 |



### D 3. Rekonstrukcija lijevog kretanja preko ugla zakosa na rasjedu u bezimenom potoku

Druga ravina smicanja, dobivena rekonstrukcijom pomoću Šmitovog dijagrama, sa elementima 46/70, podudara se sa elementima Tinjsko-moluškog dubokog rasjeda, što ukazuje da je rasjed u bezimenom potoku nastao kao rasjed smicanja desnim kretanjem duž Tinjsko-moluškog dubokog rasjeda.

Dobijena vrijednost maksimalnog glavnog napona  $\sigma_1$  162/21 odgovara pravcu vladajućeg tektonskog potiska u srednjoj Evropi od  $163^0$  (Soklić, 1964). Podudarnost pravaca djelovanja maksimalnog glavnog napona ukazuje da su kretanje duž Tinjsko-moluškog dubokog rasjeda i nastanak rasjeda u bezimenom potoku, proizveli regionalni naponi koji odgovaraju vladajućem potisku u litosferi srednje Evrope. Vrijednost ugla pod kojim je djelovao maksimalni glavni napon od  $21^0$  i minimalni glavni napon od  $12^0$  ukazuje nam na izraženu horizontalnu komponentu kretanja.

*Tenzioni rasjedi* se pružaju poprečno na pravac pružanja ose antiklinale, a leže u odnosu na rasjede smicanja približno pod uglom oko  $30^0$ . Ovi rasjedi su u direktnoj vezi sa rasjedom u bezimenom potoku. Nastaju kao tenzione longitudinalne pukotine desnim kretanjem rasjeda u bezimenom potoku koje u narednim kinematskim fazama prelaze u tenzione rasjede. Prema azimutima pada rasjedne ravnine, pripadaju grupama od  $130^0$  do  $154^0$  i  $304^0$  do  $314^0$ , sa skoro vertikalnim padom prema JI, odnosno SZ.

Na većini rasjednih ravnina bilo je vidljivo po nekoliko generacija tragova kretanja, što ukazuje da je u strukturnom oblikovanju ležišta bilo prisutno nekoliko kinematskih faza, vjerovatno vremenski dosta razmaknutih. Na najvećem broju rasjednih ravnina utvrđeno je horizontalno ili približno horizontalno kretanje. Na manjem broju rasjeda evidentirano je i gravitaciono kretanje, dok je na tenzionom rasjedu na istočnoj strani kamenoloma, na najvišoj etaži, registrovano rotaciono kretanje. Kretanja u mlađim fazama brišu tragove starijih, tako da se na rasjednim ravninama teško uočava više od tri generacije strija.

Prema morfološkoj klasifikaciji, odnosno položaju rasjeda u odnosu na pružanje slojeva sjevernog krila antiklinale, možemo izdvojiti dvije glavne grupe: uzdužne i poprečne

*Uzdužni rasjedi* imaju vrijednosti azimuta pada od  $196^0$  do  $219^0$  i pružaju se u pravcu IJI-ZSZ približno paralelno pružanju ose antiklinale.

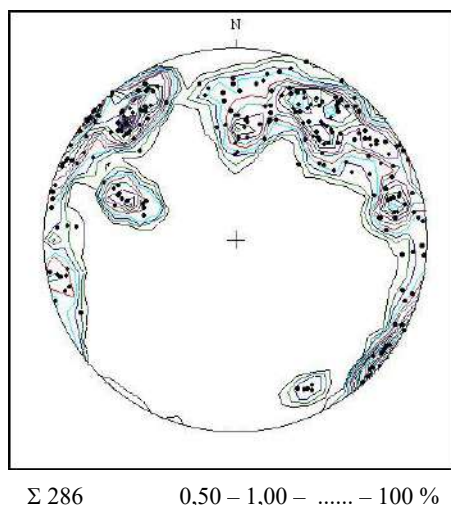
Vrijednosti azimuta pada *poprečnih rasjeda* kreću se u širim granicama, pa u okviru njih možemo razlikovati tri grupe. Jednu grupu čine rasjedi azimuta pada od  $94^0$  do  $120^0$  pružanja JJZ-SSI, drugu grupu rasjedi azimuta pada od  $130^0$  do  $154^0$ , pružanja JZ-SI, a treću grupu čine rasjedi suprotnog pada i azimuta pružanja između ove dvije grupe, od  $304^0$  do  $314^0$ .

Vrijednost padnih uglova rasjednih ravnina kreće se u granicama od  $42^0$  do  $89^0$ . U ležištu je registrovan i ezetativan rasjed na istočnoj granici ležišta čiji pad rasjedne ravnine varira oko vertikalne.

Prema *relativnom kretanju krila* rasjeda razlikujemo lijevo, desno i gravitaciono kretanje. Poprečni rasjedi iz grupe  $94^0$  do  $120^0$  i rasjed u bezimenom potoku, imaju relativno desno, a iz grupa  $130^0$  do  $154^0$  i  $304^0$  do  $314^0$  relativno lijevo kretanje. Na nekim od njih, registrovano je i gravitaciono kretanje, ali je primarno bilo horizontalno kretanje. Uzdužni rasjedi grupe od  $196^0$  do  $219^0$  imaju relativno lijevo i gravitaciono kretanje krila rasjeda.

### 3. Pukotine

Na osnovu 286 podataka mjerenja azimuta pada pukotina urađen je konturni dijagram (interval kontura 0,5) koji pokazuje najveću gustoću polova pukotina prema jugozapadu i jugoistoku.



**D 4.** Konturni dijagram gustoće pukotina u krečnjačkom masivu "Duboki Potok-Bijela rijeka"

Na dijagramu 4 se uočava više setova pukotina sa različitom gustoćom polova, a na osnovu statističke analize izdvojena su 4 glavna seta pukotina. Na radnim etažama kamenoloma nisu registrovane pukotine azimuta pada od  $335^{\circ}$  do  $73^{\circ}$ , od  $150^{\circ}$  do  $170^{\circ}$  i od  $275^{\circ}$  do  $290^{\circ}$ .

Prvi set pukotina izdvojen na osnovu gustoće polova ima srednju statističku vrijednost azimuta pada **198/63**. U okviru ovog seta pukotina može se uočiti jedan dobro (200/69) i jedan slabije (190/50) izražen maksimum.

Drugi set pukotina ima srednju statističku vrijednost azimuta pada **244/73**. Pukotine se javljaju na kratkim međusobnim rastojanjima i otvorene su cijelom visinom kosine. Na istočnoj strani kamenoloma prisutna je pukotinska ispuna sekundarno iskristalisalog kalcita, debljine 30 i više cm, koja se prema zapadu smanjuje te preovladava glinovita ispuna. Na konturnom dijagramu pukotine ove grupe pokazuju dva dobro i jedan slabije izražen maksimum. Dobro izražene maksimume grade pukotine srednjih statističkih vrijednosti 245/77 i 263/86, dok slabije izraženu maksimum ima vrijednost 229/54.

Treći set pukotina čija srednja statistička vrijednost iznosi **131/72** javlja se uz poprečne rasjede. U okviru ovog seta pukotina mogu se izdvojiti dva maksimuma: 111/50 i 134/78. Uz rasjede sa blažim padnim uglom nastaju setovi pukotina sa blažim padnim uglom, i obratno.

Četvrti set pukotina je najmanje zastupljen na radnim etažama kamenoloma. To su pukotine velikih padnih uglova čija srednja statistička vrijednost iznosi **104/88**.

#### *Kinematska klasifikacija pukotina*

Kinematska klasifikacija pukotina moguća je samo za sistematske pukotine jedne faze tektonske aktivnosti. Današnja strukturna slika pukotinskog sklopa krečnjačkog masiva "Duboki Potok-Bijela rijeka" posljedica je blizine i kretanja vršenih duž Tinjsko-moluškog dubokog rasjeda koji su proizveli maksimalni glavni naponi pravca 162-342. Promjenom smjera njihovog djelovanja nije dolazilo do otvaranja novih pukotina, već su pukotine formirane u jednoj kinemataskoj fazi prelazile u drugi kinematski tip, najbliži po orijentaciji, te je pukotinski sklop oblikovan kroz više kinematskih faza.

Desnim kretanjem duž Tinjsko-moluškog dubokog rasjeda nastaje rasjed smicanja u bezimenom potoku i rasjedi smicanja iz grupe  $94^{\circ}$ - $120^{\circ}$ , pukotine smicanja iz drugog (244/73) i trećeg seta pukotina (131/72), i tenziona pukotine iz prvog (198/63) i četvrtog (104/88) seta pukotina.

Desnim kretanjem duž rasjeda u bezimenom potoku jedan set pukotina smicanja (131/72) prelazi u tenziona longitudinalne pukotine, drugi set pukotina smicanja (244/73) u relaksacione pukotine, dok set tenzionih pukotina (198/63) prelazi u set pukotina smicanja.

Minimalni glavni napon duž Tinjsko-moluškog rasjeda postaje maksimalni glavni napon i vrši kretanje po već formiranim tenzionim longitudinalnim pukotinama. Na taj način nastaju poprečni tenzioni rasjedi grupe  $130^{\circ}$ - $154^{\circ}$ , a tenziona longitudinalna pukotina mijenja kinematski tip i prelazi u pukotinu smicanja. Set smičućih pukotina (198/63) ponovo prelazi u relaksacioni tip pukotina.



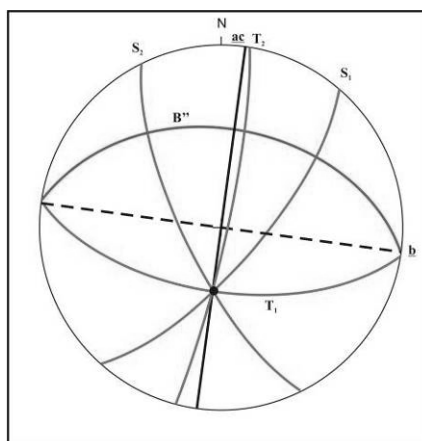
SI 3. Lijevim horizontalnim kretanjem duž rasjeda 307/87 formirane su tenziona pukotine 241/81

Kretanje duž Tinjsko-moluškog rasjeda od 0,5 km dovelo je do sabijanja slojeva na manji prostor. Najvjerojatnije, da su pukotine formirane u ranijim fazama mijenjale prvobitnu orijentaciju suženjem prostora, te je teško povući granicu između pojedinih kinematskih tipova pukotina, naročito kada se one nalaze između dva seta pukotina slične orijentacije.

### Pukotine u sjevernom krilu antiklinale

Odnos pukotina i nabora svakako zavisi od naponskih stanja koja se pri savijanju mijenjaju i od vremena prelaska stijene u krto ponašanje tokom nabiranja. Najvjerojatnije, da su se nabori, rasjedi i pukotine stvarali tokom istih regionalnih napona.

Uobičajeno je da se na Šmitovom dijagramu prikazuju 4 seta pukotina (2 poprečna, 2 uzdužna) u odnosu na krila antiklinale. Za izradu ovog dijagrama korištene su srednje statističke vrijednosti dobijene pomoću konturnog dijagrama, a srednja statistička vrijednost orijentacije ravnina slojevitosti određena je u odnosu na njihovu glavnu orijentaciju u ležištu (nisu računane ravnine slojevitosti neposredno uz rasjed u bezimenom potoku).



D 5. Odnos glavnih setova pukotina u strnijem krilu antiklinale krečnjačkog masiva "Duboki Potok-Bijela rijeka"



Za prikaz odnosa glavnih setova pukotina kod malog ubiranja koriste se termini a, b i c osa kao kinematskih koordinata sklopa koje grade „tektonski križ“. Pretpostavlja se da je a osa pravac pokretanja ubiranja, a b osa paralelna osi nabora.

Setove pukotina označene sa  $S_1$  (131/72) i  $S_2$  (244/73) koji dijagonalno presjecaju krilo antiklinale klasificiramo kao pukotine smicanja. Nastaju kao rezultat djelovanja kompresije koja dovodi do podizanja nabora. Set pukotina ( $T_2$  104/88) koji presjeca nabor pod pravim uglom su poprečne ac pukotine, upravo na njih se razvija set uzdužnih bc pukotina ( $T_1$  198/63). Ove pukotine su klasificirane kao tenzione pukotine. Samo su tenzione  $T_2$  pukotine vertikalne; sve ostale su pod nagibom u odnosu na vertikalu.

Kinematska osa a pokazuje pravac pokretanja ubiranja ( $8^\circ$ ) što ukazuje da je maksimalni stres djelovao paralelno osi nabora, a srednji stres iz vertikalnog pravca. Kinematska osa b je paralelna osi nabora ( $101^\circ$ ) što odgovara pravcu pružanja ose antiklinale istok-zapad.

Iz navedenog može se zaključiti, da je nabiranje krečnjačkog masiva "Duboki Potok-Bijela rijeka" proizveo tenzioni napon upravan na osu antiklinale, odnosno da se radi o nabiranju uz izrazito izdizanje.

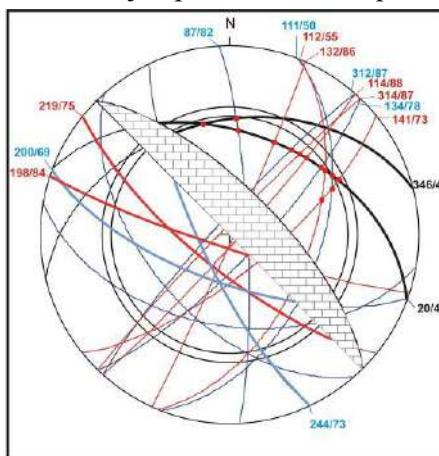
### Identifikacija potencijalnih nestabilnosti na radnim kosinama kamenoloma

Sistematska izučavanja diskontinuiteta u krečnjačkom masivu "Duboki Potok-Bijela rijeka" vršena su samo na radnim kosinama kamenoloma. Dobijeni rezultati prikazani su na Šmitovim dijagramima da bi se identificirale potencijalne nestabilnosti na radnim kosinama.

Srednjim statističkim vrijednostima prikazana su 4 glavna i 8 manje zastupljenih setova pukotina. Rasjedi su predstavljeni pojedinačno. Odabrano je 6 poprečnih rasjeda različitih azimuta pada i padnih uglova, i jedan uzdužni rasjed. Ravnine slojevitosti su prikazane sa dvije srednje vrijednosti, za slojeve i bankove.

Ugao trenja, kao unutrašnje svojstvo krečnjaka, kreće se u granicama od  $33^\circ$  do  $37^\circ$ , te je na Šmitovom dijagramu predstavljen je sa dva kruga trenja, za najniže i najviše vrijednosti. Krug trenja ograničava područje prema kosini, u kojem se javljaju različite vrste nestabilnosti.

Osim navedenih prirodnih i nepromjenljivih faktora, u cilju identifikacije potencijalne nestabilnosti, na Šmitov dijagram su uvršteni pravci napredovanja radnih kosina. Kamenolom "Duboki Potok-Bijela rijeka" ima jedan generalni pravac napredovanja radnih kosina i dva manje zastupljena pravca, približno istog pružanja, a suprotnog pada koji predstavljaju istočnu i zapadnu granicu kamenoloma. U razmatranju potencijalne nestabilnosti radnih kosina, analiziran je samo glavni pravac (45/70) napredovanja kamenoloma jer se kamenolom ne planira razvijati prema istoku i zapadu.

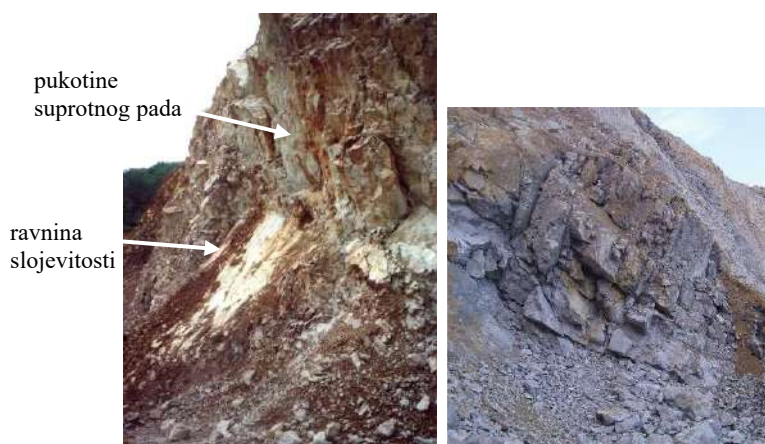


D 6. Odnos diskontinuiteta, ugla trenja i generalnog pravca napredovanja radnih kosina

Najnepovoljniji položaj imaju ravnine slojevitosti bankova koje se nalaze između kruga trenja i radne kosine, približno paralelno ili pod ostrim uglom na radnu kosinu. Ovakav položaj na dijagramu identifikuje *ravninski lom na jednom diskontinuitetu*. U takvim slučajevima, potrebno je voditi računa i o širini radnog platoa da se ravninski lom ne bi proširio na više etaža. Prostor koji ograničavaju ravnine slojevitosti bankova sa radnom kosinom unutar kruga trenja, predstavlja površinu stijenskog materijala koji će kliznuti u kamenolom. Na ovoj ravnini označeni su nepovoljni presjeci sa setovima pukotina i rasjedima. Presjeci definišu *klinasti lom* na dva diskontinuiteta. Stijenska masa, velike površine i zapremine, koja bi trebala kliznuti u kamenolom duž ravnina slojevitosti bankova, "razbijena" je poprečnim presjecima sa drugim ravninama na više klinastih lomova, različitih oblika i zapremina, te će se klinasti lomovi na radnoj kosini formirati sukcesivno, u različitim vremenskim periodima.

Trasa azimuta pada slojevitih krečnjaka siječe radnu kosinu pod većim uglom, približava se krugu trenja, te se smanjuje njihov uticaj na nestabilnost radne kosine.

Setovi pukotina, približno paralelni radnoj kosini, padnog ugla istog ili većeg od radne kosine, a suprotnog pada, definišu nestabilnost u vidu *prevrtanja* stijenske mase. Prevrtanje stijenskog materijala vrši se na radnu etažu bočno u pravcu SSI.



SI 4. Pukotine suprotnog pada koje uzrokuju prevrtanje stijenske mase

U krečnjačkom masivu „Duboki Potok-Bijela rijeka“ najzastupljeniji su rasjedi upravni na radne kosine koji se na istočnoj strani kamenoloma nalaze na kraćim rastojanjima, a idući prema zapadu rastojanje između njih se povećava. Rasjedi paralelni radnim etažama zastupljeni su znatno manje od prethodne grupe rasjeda. Strmog su pada prema jugozapadu, odnosno, padaju suprotno radnim kosinama kamenoloma.

Iako rasjedi predstavljaju nepovoljan strukturni oblik zbog veće oštećenosti stijenske mase, hemijskih izmjena i cirkulacije podzemnih voda, orijentacija ovih rasjeda nije do sada izazivala nestabilnosti na radnim kosinama.

## Zaključak

Inženjerskogeološka istraživanja diskontinuiteta na ležištu kamenoloma „Duboki Potok-Bijela rijeka“ pokazuju njihovu genetsku i simetrolšku vezu sa Tinjsko-moluškim dubokim rasjedom. Rezultati istraživanja, primijenjeni na radne kosine kamenoloma, ukazuju da je ponašanje stijenskih masa određeno vrstom, razmakom, orijentacijom i karakteristikama postojećih diskontinuiteta.

Za stabilnost radnih kosina najpovoljnija je orijentacija paralelna sa ravninama slojevitosti malih padnih uglova dok se na strmijim ravninama slojevitosti većeg pada može formirati ravninski lom na

jednom diskontinuitetu. U ovim dijelovima je potrebno voditi računa o širini radnog platoa i visini radne etaže. Iako rasjedi predstavljaju zone veće oštećenosti stijenske mase, njihova orijentacija do sada nije dovela do nestabilnosti na radnim kosinama. Setovi pukotina koji su skoro paralelni pružanju radnih kosina, ali suprotnog pada, uzrokuju nestabilnosti u vidu prevrtanja i odronjavanja blokova.

Poznavanje diskontinuiteta nepovoljne orijentacije u odnosu na radne kosine kamenoloma omogućava kontrolu nestabilnosti u pojedinim dijelovima kamenoloma. Njihovo praćenje i utvrđivanje je od velikog je značaja za sigurnost eksploatacije, uslove miniranja, pravce napredovanja radova, maksimalnu ekonomičnost eksploatacije mineralne sirovine i optimalno iskorištenje ležišta.

## Literatura

- Davis G. H., Reynolds, S. J., (1996): *Structural geology of rocks and regions*. 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Dervišević R., Sijerčić I., Isaković H. (2013): *Folding and faulting of the limestone massif triggered by deep-seated crustal lineament (Duboki Potok-Bijela rijeka, Bosnia and Herzegovina)*. 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference&EXPO SGEM, Bulgaria.
- Dimitrijević M. (1987): *Pukotine kao elementi sklopa stenskih masa*. SEMINAR: Metodologija istraživanja ispucalosti stenskih masa, RGF Beograd.
- Giani G. P. (1992): *Rock slope stability analysis*. A. A. Balkema Rotterdam.
- Goodman E. R. (1993): *Engineering geology-Rock in engineering construction*, John Wiley & Sons, Inc.
- Hoek E., Bray, J.W. (1981): *Rock slope engineering*. 3rd ed., IMM, London. International Society for Rock Mechanics (1975): *Terminology*.
- Johnson B. R., DeGraff V. J. (1988): *Principles of engineering geology*, John Wiley & Sons, Inc.
- Lokin P. (1978): *Heterogenost i anizotropija ispucalosti čvrstih stenskih masa*. Doktorska disertacija, RGF Beograd.
- Lokin P. (1987): *Metode ispitivanja ispucalosti otkrivenih stenskih masa*. SEMINAR: Metodologija istraživanja ispucalosti stenskih masa, RGF Beograd.
- Price N. J. (1966): *Fault and joint development in Brittle and Semi-brittle Rock*. Pergamon Press Ltd.
- Ramsay J. G. (1967): *Folding and fracturing of rocks*. Mc Graw-Hill, Inc.
- Redžepović R. (2003): *Integracija podataka u ekspertskom sistemu ocjene nemetalčnih mineralnih sirovina krečnjaka u širem obodu Tuzlanskog bazena*. Doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
- Richard J. Lisle, Peter R. Leyshon (2004): *Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Sijerčić I. (2003): *Razvoj pukotina i pukotinskih sistema u sjevernom krilu antiklinale ležišta krečnjaka Duboki Potok*. Zbornik radova broj XXV, 97-101, RGGF, JU Univerzitet u Tuzli.
- Sijerčić I. (2003): *Pukotine i pukotinski sistemi u krečnjačkom masivu kamenoloma Duboki Potok*. Magistarski rad, RGGF Tuzla.
- Sijerčić I. (2004): *Istraživanje stabilnosti kosina u stijenama projekcijom lopte*. Zbornik radova broj XXVII, 79-83, RGGF, JU Univerzitet u Tuzli.
- Sijerčić I. (2007): *„Pukotine i pukotinski sistemi kosina kamenoloma u strukturno-tektonski kompleksnim krečnjačkim formacijama“*, Doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
- Soklić I. (1964): *Lineamenti sjeveroistočne Bosne*. Geološki glasnik broj 10, Sarajevo.
- Soklić I. (1965): *Horizontalni i vertikalni pokreti tektonskih blokova kao uzrok ubiranja i rasjedanja u tercijaru sjeveroistočne Bosne*. Acta geologica, JAZU, 5, 157-173.
- Soklić I. (1972): *Orijentacija neotektonskog naprezanja u gorju tuzlanskog bazena*. 3. jugoslavenski simpozijum iz mehanike stijena i podzemnih radova, Tuzla.
- Soklić I. (1986): *Tektonsko-strukturni oblici tuzlanskog bazena i Majevice*. ANU BiH, radovi LXXIX, knjiga 10.

Soklić I. (1987): *Hronologija geotektonskih pokreta u dinaridima u mezozoiku i kenozoiku*. ANU BiH.

Soklić I. (2003): *Personalna komunikacija*.

Walters M, (1996): *Stereographic Projections-MWSoftware StereoPro v 3.00*, Available:  
<http://freespace.virgin.net/martin.walters/index.html>.

## Donji eocen i miocen u području Doknja kod Tuzle

### Lower Eocene and Miocene in the area Dokanj near Tuzla

SEJFUDIN VRABAC<sup>13</sup>, IZUDIN ĐULOVIĆ<sup>14</sup>,  
IRMA TAHIROVIĆ<sup>15</sup>, EDINA ŠABANOVIĆ<sup>16</sup>, MUAMER IMAMOVIĆ<sup>17</sup>,

#### SAŽETAK

U području Doknja istraženi su izdanci sedimenata na jugozapadnom i sjeveroistočnom krilu Dokanjske sinklinale. Na osnovu foraminifera definisan je donji eocen, donji baden i sarmat. Donji eocen je određen na osnovu rukovodeće vrste *Nummulites robustus* SCHAUB. Donji baden je predstavljen sa dvije zone. Starija zona je *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*, a mlađa *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*. Sarmat reprezentuje zona *Porosonion granosum*. Donji miocen i panon izdvojeni su na osnovu ostrakoda i superpozicije.

Ključne riječi: donji eocen, miocen, Dokanjska sinklinala

#### SUMMARY

In the area Dokanj near Tuzla was investigated outcrops on the southwest and northeast limb of the Dokanj syncline. On the basis of foraminifera is determined the lower Eocene, the lower Badenian and the Sarmatian. The lower Eocen is defined on the basis *Nummulites robustus* SCHAUB. The lower Badenian is represented by the two zones. The older zone is *Ammonia viennensis* and *Nonion commune*, and the younger zone is *Globigerinoides trilobus* and *Orbulina suturalis*. The Sarmatian is represented by the zone *Porosonion granosum*. The lower Miocene and the Pannonian are separated by the ostracods and superposition.

Key words: Lower Eocene, Miocene, Dokanj syncline.

---

<sup>13</sup> Dr. sc., red. prof., Univerzitet u Tuzli, RGGF; E-mail: jvrabac@yahoo.com

<sup>14</sup> Dr. sc., docent, Univerzitet u Tuzli, RGGF; E-mail: izudin.dulovic@untz.ba

<sup>15</sup> Student, Univerzitet u Tuzli, RGGF

<sup>16</sup> Student, Univerzitet u Tuzli, RGGF

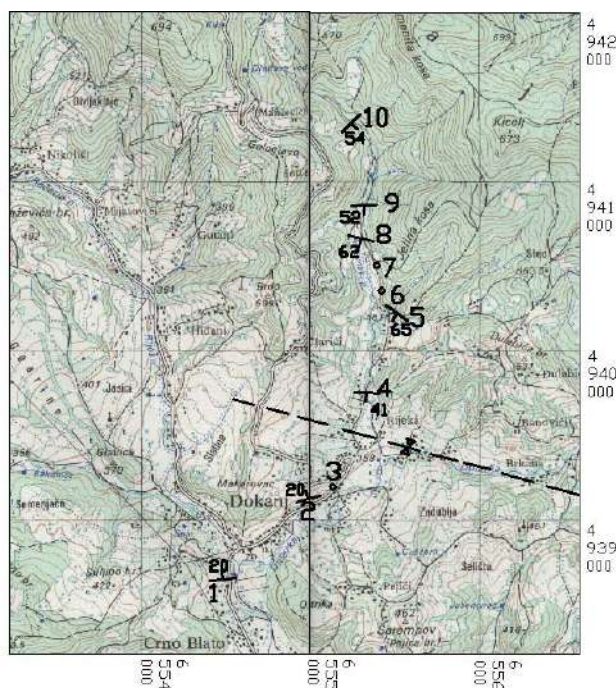
<sup>17</sup> Student, Univerzitet u Tuzli, RGGF

## UVOD

Dokanjska sinklinala predstavlja izuzetno značajnu strukturu Tuzlanskog bazena jer se u njoj nalazi ležište kamene soli Tetima. Ova sinklinala prema **Sokliću** (1986) ima dužinu preko 15 km a širinu do oko 5 km. Asimetrična je, sa nagibom slojeva u sjeveroistočnom krilu uglavnom između 50-70 stepeni, dok je nagib slojeva u jugozapadnom krilu obično 20-40 stepeni. Unutar ove velike sinklinalne javlja se niz brahisinklinalnih i brahiantiklinalnih struktura, kao i uzdužnih i poprečnih rasjeda. Geološka građa Dokanjske sinklinalne intenzivno se istražuje nakon pronalaska ležišta kamene soli 1978 god.. Na perspektivnost ove sinklinalne prvi je ukazivao **Soklić** (1948-1950). Značajne doprinose poznavanju geologije Dokanjske sinklinalne dali su: **Soklić** (1948-1950, 1986), **Kranjec** (1965), **Petrović** (1979/80), **Čičić & Jovanović** (1987), **Vrabac** (1999), i ostali brojni geolozi.

U martu 2012 god. na području Doknja realizovane su terenske vježbe studenata III godine Geološkog odsjeka RGGF-a Univerziteta iz Tuzle. Na poprečnom profilu dužine oko 3 km istraženo je deset izdanaka sedimenata Dokanjske sinklinalne (sl. 1). Uzorci za mikropaleontološka istraživanja su nakon pripreme ispirani na sitima 0,8-0,1 mm. Nadsitna frakcija sa sita 0,1 mm analizirana je pod mikroskopom Carl Zeiss Jena pri povećanju 40 x. Rezultati terenskih i kabinetskih istraživanja prezentirani su u ovom radu.

S obzirom da je **naš profesor, akademik Ivan Soklić** dao veliki doprinos pronalasku ležišta kamene soli u Dokanjskoj sinklinali, kao i poznavanju njene geološke građe, ovaj rad posvećujemo njemu.



Slika 1. Geografski položaj istraživanih izdanaka Dokanjske sinklinalne

## STRATIGRAFIJA ISTRAŽIVANIH SEDIMENATA

Na području Doknja istraženi su sedimenti jugozapadnog i sjeveroistočnog krila Dokanjske sinklinalne. Odabrano je deset izdanaka, od kojih su tri nova jer su sedimenti otkriveni zahvaljujući djelatnosti čovjeka (bunar i temeljni iskopi). Analizom paleontoloških uzoraka određeno je da ovi sedimenti pripadaju donjem eocenu, donjem miocenu, donjem badenu, sarmatu i panonu.

### Donji eocen

Sedimenti donjeg eocena definisani su na izdanku br. 10 koji se nalazi oko 2,3 km sjeveroistočno od Doknja (sl. 1). Lokalitet ima koordinate:  $y = 6,555.244$  i  $x = 4,941.354$ . Položaj slojeva ukazuje da je u pitanju lokalna antiklinala horstantiklinorija Majevice. Jugozapadno krilo ove antiklinale predstavlja ujedno sjeveroistočno krilo Dokanjske sinklinale. Na jugozapadnom krilu antiklinale smjenjuju se slojevi pjeskovitih laporaca i pješčara (u osnovi se vidi laporac debljine oko 2 m, preko slijedi pješčar 0,4 m, laporac 0,15 m, pješčar 0,10 m i na vrhu laporac debljine oko 2m) (sl. 2). Slojevi imaju elemente pada 135/54 stepena.



Slika 2. Slojevi laporaca i pješčara donjeg eocena na izdanku br. 10

Pjeskoviti laporci sadrže kalupe gastropoda *Natica sp.* (sl. 3), kao i veoma rijetke otiske kapaka školjkaša. Posebno su značajni numuliti predstavljeni vrstom *Nummulites robustus* SCHAUB (sl.4). Ova vrsta je prvi put nađena u Bosni i Hercegovini baš na ovom lokalitetu, a to predstavlja i njen prvi nalazak na Balkanskom poluostrvu (Pavlovec et al., 2005). Tada je određena i vrsta *Nummulites atacicus* LEYMERIE.



Slika 3. Kalupi gastropoda *Natica sp.* (veličina 15-28 mm)



Slika 4. *Nummulites robustus* SCHAUB (veličina 10 mm)

U nadsitnoj frakciji granulacije 0,1-0,8 mm pored fragmenata pjeskovitih laporaca zastupljena su veoma česta uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca, staklaste sjajnosti i mat, kao i liskice liskuna. Foraminifere su relativno česte predstavljene numulitima (*Nummulites sp.*, sl. 5) i veoma rijetkim miliolidama. Rijetki su fragmenti bodlji ehinida i izuzetno rijetke ljuštore ostrakoda.



Slika 5. *Nummulites sp.*, fragmenti bodlji *ehinida* i kapak *ostrakoda*

Na osnovu numulita utvrđeno je da istraživani sedimenti izdanka br. 10 pripadaju donjem eocenu. Ove sedimente je **Kranjec** (1965) uvrstio u „drugi horizont srednjeg eocena“, dok su ih **Čičić** et al. (1990) odredili kao „E<sub>2,3</sub>“. Navedeni podaci nameću potrebu revizije stratigrafskih podjela paleogenih sedimenata posebno na prostoru sjeverne Bosne.



### Donji miocen

Slatkovodni sedimenti donjeg miocena konstatovani su na izdancima br. 8 i 9. Izdanak br. 9 ima koordinate:  $y = 6,555.336$  i  $x = 4,940.859$ . Ovdje su zastupljeni slojevi pješčara i laporaca sa elementima pada 178/52 (sl.6).



Slika 6. Donjomiocenski klastiti na izdanku br. 9

U tamnosivim laporcima nađeni su glatki kapci i fragmenti kapaka ostrakoda koji vjerovatno pripadaju rodu *Candona* (sl. 7). Zanimljivo je da su u šlemovanom materijalu identifikovani brojni kristali pirita.



Slika 7. Kapci i fragmenti kapaka ostrakoda (? *Candona*)

Izdanak br. 8 ima koordinate:  $y = 6,555.318$  i  $x = 4,940.672$ . Slojevi klastičnih sedimenata imaju elemente pada 194/62 (sl. 8). U laporcima su zapaženi otisci kapaka ostrakoda. Slojevi laporaca imaju debljinu 1-3 cm a iznad njih se nalazi sloj konglomeratičnog pješčara debljine oko 40 cm. Pješčar dobro reaguje na HCl.



**Slika 8.** Sloj konglomeratičnog pješčara i tanki slojevi laporaca na izdanku br. 8

Na osnovu superpozicije, te litoloških i paleontoloških karakteristika sedimenata na izdancima br. 8 i 9 proizilazi da oni pripadaju podini sone formacije i u Tuzlanskom bazenu su izdvojeni kao „klastično-piroklastična formacija“ donjomiocenske starosti (Vrabac i Ćorić, 2008).

### Donji baden

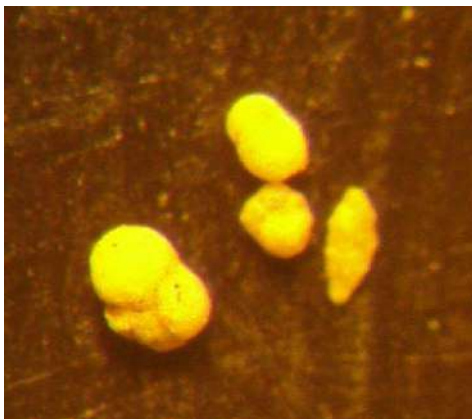
Donjobadenski sedimenti određeni su na izdancima br. 6 i 7 (sl. 1). Ovi izdanci se nalaze na sjeveroistočnom krilu Dokanjske sinklinale.

Izdanak br. 7 ima koordinate:  $y = 6,555.386$  i  $x = 4,940.495$ . Nalazi se sjeveroistočno od Doknja na udaljenosti oko 1,5 km. Ovdje je kopan bunar pa je za analizu uzeta stijena koja se nalazi na gomili oko bunara (sl. 9.). To su tamnosivi laporci sa karakterističnim sferičnim formama lučenja. U njima nisu nađeni makrofosili.



**Slika 9.** Laporci oko bunara na izdanku br. 7

Šlemovani uzorak pored fragmenata sivog laporca sadrži relativno česte liskice liskuna, kao i rijetka zrna pirita. Foraminifere su izuzetno rijetke. Nađene su samo četiri ljušturice od kojih tri pripadaju planktonskim formama. Određene su: *Globigerina praebulloides* BLOW, *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerina sp.* i *Bolivina dilatata dilatata* REUSS (sl. 10).



**Slika 10.** Donjobadske foraminifere sa izdanka br. 7

Prema superpoziciji ovi laporci čine neposrednu krovinu sone formacije, odnosno predstavljaju najstariji dio zone *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*.

Izdanak br. 6 nalazi se bliže osi Dokanjske sinklinale. Njegove koordinate su:  $y = 6,555.418$  i  $x = 4,940.354$ . Ovdje su svjetlosivi laporci vidljivi ispod korijena drveća (sl. 11).



**Slika 11.** Laporci na izdanaku br. 6

U šlemovanoj frakciji granulacije 0,1-0,8 mm zastupljeni su fragmenti svijetlosivih laporaca, rijetka uglasta zrna kvarca, i poluzaobljena zrna ultrabazita. Foraminifere su relativno česte sa izrazitom dominacijom planktonskih formi. Određene su: *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Orbulina suturalis* BRÖNNIMANN, *Globigerina bulloides* d' ORBIGNY, *Valvulineria complanata* (d' ORBIGNY), *Bulimina elongata elongata* d' ORBIGNY, *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN & JARVIS) i *Lenticulina inornata* (d' ORBIGNY) (sl. 12). Česti su fragmenti bodlji ehinida.



Slika 12. Donjobadenske foraminifere sa izdanka br. 6

Asocijacija foraminifera svjedoči da laporci ovog lokaliteta pripadaju donjem badenu i to mlađoj zoni *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* koja se u Tuzlanskom bazenu nalazi iznad zone *Ammonia veinnensis* i *Nonion commune* (Vrabac et al., 2008).

#### Baden – Sarmat

Granični sedimenti između badena i sarmata zastupljeni su na izdanku br. 5. Koordinate ovog izdanka su:  $y = 6,555.496$  i  $x = 4,940.230$ . Sedimenti su predstavljeni laminiranim laporcima sa jasno izraženim žučkastim i sivim laminama (sl. 13). Elementi pada slojeva su 216/65 stepeni. U šlemovanom materijalu nisu nađeni mikrofosili.



Slika 13. Laminirani laporci na izdanku br. 5

Ovi sedimenti su uvršteni u granične naslage badena i sarmata na osnovu superpozicije i korelacije sa identičnim sedimentima u drugim dijelovima Tuzlanskog bazena (Vrabac, 1999).

## Sarmat

Izdanci sarmatskih sedimenata nalaze se na jugozapadnom i sjeveroistočnom krilu Dokanjske sinklinale. Njihova stratigrafska pozicija definisana je na osnovu mikroforaminifera.

Izdanak br. 1 (novi temeljni iskop) lociran je pored puta Crno Blato – Dokanj (sl. 1). Njegove koordinate su:  $y = 6,554.512$  i  $x = 4,938.645$ . Ovdje se u osnovi vidi laminirani pješčar debljine oko 1,5 m, preko njega slijedi paket debljine oko 3,5 m u kome se smjenjuju slojevi laminiranih pješčara (debljina do 0,5 m) i pjeskovitih laporaca (debljina do 10 cm) (sl. 14). Pješčari reaguju na razblaženu hlorovodoničnu kiselinu. Slojevi imaju elemente pada 352/20 stepeni.



Slika 14. Pješčari i laporci na izdanku br. 1

Uzorak za mikropaleontološko istraživanje uzet je iz proslojka pjeskovitog laporca koji se nalazi u središnjem dijelu izdanka. U frakciji granulacije 0,1-0,8 mm, pored fragmenata sivog pjeskovitog laporca, često su zastupljena uglasta do slabo zaobljena zrna kvarca staklaste sjajnosti i mat, kao i rijetka zrna ultrabazita i serpentinita. Foraminifere su izuzetno rijetke. Određene su sljedeće forme: *Porosonion granosum* (d' ORBIGNY), *Bulimina elongata elongata* d' ORBIGNY i *Elphidium sp.* (sl. 15).. Rijetki su ostrakodi (*Ostracoda* gen. et sp. indet.) i fragmenti ljuštura mekušaca. Prema asocijaciji mikrofosila sedimenti ovog lokaliteta pripadaju mlađem sarmatu odnosno zoni *Porosonion granosum*. Ova zona u Tuzlanskom bazenu odgovara *gornjim Ervilia* i *Mactra slojevima* (Soklić & Vrabac, 1995).



Slika 15. Sarmatske foraminifere i ostrakodi sa izdanka br. 1

Izdanak br. 2 nalazi se u Doknju (sl. 1), na nestabilnoj padini gdje je zastupljen proces klizanja i erozije (vododerina). Izdanak ima koordinate:  $y = 6,554.930$  i  $x = 4,939.105$ . Erozijom je otkriven sloj pješčara debljine oko 20 cm koji se nalazi preko žućkastog laporca debljine oko 30 cm (sl. 16). Pješčar reaguje na razblaženu hlorovodoničnu kiselinu. Slojevi imaju elemente pada 345/20 stepeni.



Slika 16. Sloj laporca i pješčara na izdanku br. 2

Iz laporca je uzet uzorak za mikropaleontološko istraživanje. U šlemovanoj frakciji osim fragmenata žućkastog laporca zastupljena su rijetka uglasta, do slabo zaobljena zrna kvarca, staklaste sjajnosti i mat, kao i slabo zaobljena zrna rožnjaka i ultrabazita. Foraminifere su izuzetno rijetke. Predstavljene su sa: *Porosonion granosum* (d' ORBIGNY) i *Elphidium sp.* (Sl.17). Rijetke su ljušturice ostrakoda i fragmenti ljuštura gastropoda sa vrlo niskom zavojnicom i velikim posljednjim zavojkom. Na osnovu foraminifera može se zaključiti da ovi sedimenti pripadaju zoni *Porosonion granosum*.



**Slika 17.** Sarmatske foraminifere i ostrakodi sa izdanka br. 2

Izdanak br. 4 nalazi se na sjeveroistočnom krilu Dokanjske sinklinale i ima koordinate:  $y = 6,555.350$  i  $x = 4,939.720$ . Žučkasti pješčari imaju elemente pada 182/41 (sl. 18). Pješčari reaguju na HCl. Slojevi su različite debljine a ima ih i debljih od 1 m.



**Slika 18.** Pješčari na izdanku br. 4

Ispod pješčara nalaze se laporci u kojima su prisutne žučkaste i sive lamine. U ovim laporcima nađene su foraminifere (sl. 19): *Porosonion granosum* (d' ORBIGNY), *Anomalinoides* sp. i *Globigerina* sp.. Rijetki su i kalupi gastropoda *Valvata sarmatica* PAPP. Ovi sedimenti pripadaju zoni *Porosonion granosum*.



**Slika 19.** Foraminifere i gastropodi sa izdanka br. 4

### **Panon**

Najmlađi miocenski sedimenti Dokanjske sinklinale nalaze se u jezgru ove strukture. Konstatovani su u temeljnom iskopu dalekovoda odnosno na izdanku br. 3 (sl. 20). Koordinate ovog izdanka su:  $y = 6,555.138$  i  $x = 4,939.187$ . Ovdje su zastupljeni sivi laporci nepravilnog, oštrog loma, koji dobro reaguju na HCl.



**Slika 20.** Laporci oko temeljnog iskopa na izdanku br. 3

U šlemovanom materijalu nađen je jedan ostrakod sa dva sastavljena kapka koji vjerovatno pripada rodu *Hemicytheria*, kao i jedan fragment kapka vjerovatno od roda *Candona* (sl. 21).



**Slika 21.** Ostrakodi iz laporaca sa izdanka br. 3



Na majevičkoj cesti sjeverozapadno od Doknja u ovim laporcima pored ostrakoda nađena je i *Congeria cf. banatica* R. HOERNES (Kranjec, 1965).

#### ZAKLJUČAK

Terenskim i kabinetskim istraživanjima sedimenata Dokanjske sinklinale određen je donji eocen, donji miocen, donji baden, sarmat i panon. Ovaj profil predstavlja osnovu za dalja detaljna stratigrafska istraživanja, kojima pored biostratigrafskih podjela stratona, treba definisati i njihove granice. Rezultati ovih istraživanja primijenit će se za izradu detaljne geološke karte ležišta kamene soli Tetima, a profil Dokanj će u budućnosti predstavljati posebno instruktivan teren za obuku studenata, iz raznih geoloških disciplina.

#### LITERATURA

- Cicha I., Rögl F., Rupp C. & Ctyroka J., 1998: Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., 549, 1-325, Frankfurt.
- Čičić S. & Jovanović Č., 1987: Prilog poznavanju geološke građe, geneze, evolucije i tektonike Tuzlanskog basena, sa širim osvrtom na prilike u slivu Jale i Soline. Geološki glasnik, 30, 113-156, Sarajevo.
- Čičić S., Mojičević M., Jovanović Č., Tokić S. & Dimitrov P., 1990: Osnovna geološka karta – list Tuzla, 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Kranjec V., 1965: Geološka građa šireg tuzlanskog područja. Sveučilište u Zagrebu, 1-288, Zagreb.
- Pavlovec R., Pavšić J. & Vrabac S., 2005: Spodnji eocen na Majevici severno od Tuzle (severovozhodna Bosna). Geologija, Geološki zavod Slovenije, 48/1, 5-12, Ljubljana.
- Petrović M., 1979/80: Biostratigrafski značaj srednjomiocenskih foraminifera iz bušotina tuzlanskog basena. Geološki anali Balkanskog poluostrva, 43-44, 155-209, Beograd.
- Soklić I., 1948/50: Stratigrafija naftonosnog tercijara sjeverne Bosne. Geološki vjesnik, V-VII, 127-148, Zagreb.
- Soklić I., 1986: Tektonsko-strukturni oblici Tuzlanskog bazena i Majevice. Akademija nauka i umjetnosti BiH, Knj. 10, 23-55, Sarajevo.
- Soklić I. & Vrabac S., 1995: Fauna moluska i biostratigrafija sarmata sjeverne Bosne. Geološki glasnik, 33, 31-45, Sarajevo.
- Vrabac S., 1999: Facijalne i biostratigrafske odlike badena i sarmata sjeverne Bosne. Univerzitet u Tuzli, 1-107, Tuzla.
- Vrabac S., Ferhatbegović Z., Đulović I. & Bijedić Dž., 2008: Asocijacije mikroforaminifera u krovinskim sedimentima sone formacije i njihova primjena pri izradi istražno-eksploatacione bušotine B-84 na ležištu kamene soli Tetima. Geološki glasnik, 37, 59-70, Sarajevo.
- Vrabac S. & Čorić S., 2008: Revizija „karpata“ Tuzlanskog bazena sa osvrtom na stratigrafski položaj sone formacije. Geološki glasnik, 37, 71-81, Sarajevo.

# **PALEONTOLOGIJA**

## Slatkovodni miocenski mekušci Dilj gore Miocene freshwater mollusca of the Dilj highlands

MARIJA BOŠNJAK, DAVOR VRSALJKO, JASENKA SREMAC

### SAŽETAK

U sedimentnim stijenama donjomiocenske starosti na lokalitetu Pivnice u Dilj gori nađena je zajednica fosilnih slatkovodnih mekušaca. Fosilni školjkaši i puževi izdvojeni su iz siltoznih lapora. Najučestaliji su primjerci puževa iz rodova *Theodoxus* i *Melanopsis*, te školjkaši iz roda *Congeria*. Određen je i manji broj puževa iz roda *Gyraulus* i *Melania*, te školjkaši iz rodova *Dreissena* i *Unio*. Od ostale faune i flore izdvojeni su: ostrakodi, operkulumi, zubići riba i biljno trunje. Neposredno iznad siltoznih lapora slijede krovinski biogeni vapnenci s brojnom faunom marinskih organizama (foraminifere, mahovnjaci, mekušci i dr.) pretpostavljene srednjomiocenske starosti. Sam kontakt je nejasan. Prema ukupno prikupljenoj zajednici fosilnih mekušaca i prateće faune i flore zaključuje se da je riječ o okolišu slatkovodnog jezera s riječnim utjecajem. Ovi nalazi indiciraju postojanje slatkovodnog miocena na Dilj gori.

Ključne riječi: miocen, slatkovodni mekušci, jezerski okoliš, Dilj gora, Hrvatska

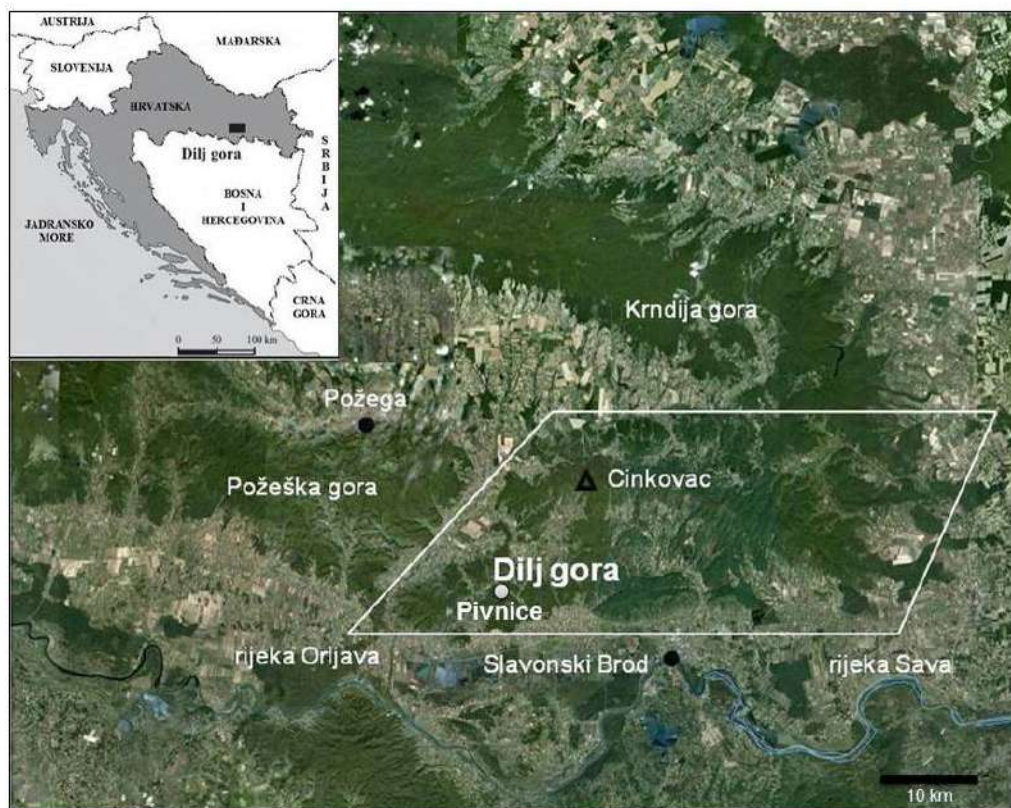
### ABSTRACT

In the Lower Miocene sediments of the Dilj highlands, on the locality of Pivnice, freshwater fossil mollusca assemblage was found. Fossil bivalvia and gastropoda were separated from silty marls. The most common specimens are gastropoda genera *Theodoxus* and *Melanopsis*, and bivalvie genus *Congeria*. Few specimens of gastropod genus *Gyraulus* and *Melania*, and bivalve genera *Dreissena* and *Unio* were also determined. The rest of the collected fauna comprises ostracods, operculums, fish teeth and particles of fossil flora. Just above the silty marls is the overlying biogene limestone with marine fossil fauna (foraminifers, bryozoa, mollusca etc.) of assumed Middle Miocene age. The contact between these units is indistinct. According to the total collected mollusca fauna and following fauna and flora, it can be concluded that silty marls from the Pivnice locality were deposited in freshwater lacustrine environment with fluvial influence. These findings indicate existence of freshwater Miocene on the Dilj highlands.

Key words: Miocene, freshwater mollusca, lacustrine environment, Dilj highlands, Croatia

### 1. UVOD

Dilj gora je smještena u Slavoniji i predstavlja relativno uzdignuto geomorfološko područje. Nalazi se sjeverno od Slavonskog Broda. Zapadnu granicu čini joj rijeka Orljava, sjeverozapadnu i sjevernu granicu Požeška "uleknina" i Krndija, a istočnu granicu "Đakovački plato". Najviši vrh Dilja je na "grebenu Degman" Cinkovac i iznosi 461 metara n/v (slika 1).



Slika 1: Položajna slika Dilj gore (preuzeto s Google Earth-a) s pozicijom lokaliteta Pivnice

Geološka istraživanja na Dilj gori započela su u drugoj polovici 19. stoljeća. Prvi geološki izvještaj napisao je Stur (1862), a pojedine dijelove Dilj gore među ostalima istraživali su Pilar (1875), Jenko (1944), Šparica & Crnko (1973) te Šparica et al. (1979, 1980, 1986a, 1986b). Izradom OGK SFRJ 1:100.000, listovi Nova Kapela L33-108 i Slavonski Brod L34-97, cjelovito je prikazana geološka složenost građe Dilj gore (Šparica et al., 1979, 1980, 1986a, 1986b). Novija geološka istraživanja Dilj gore započela su 2003. godine u okviru izrade OGK RH 1:50.000. Dio rezultata tih istraživanja prikazan je u radovima Kovačić et al. (2005), Pikija et al. (2005), Horvat (2010), Vrsaljko (2010) i Kovačić et al. (2011). Prema novim saznanjima naslage neogena Dilj gore izdvojene su u 10 neformalnih litostratigrafskih jedinica (Kovačić et al., 2005; Pikija et al., 2005; Bošnjak et al., 2011).

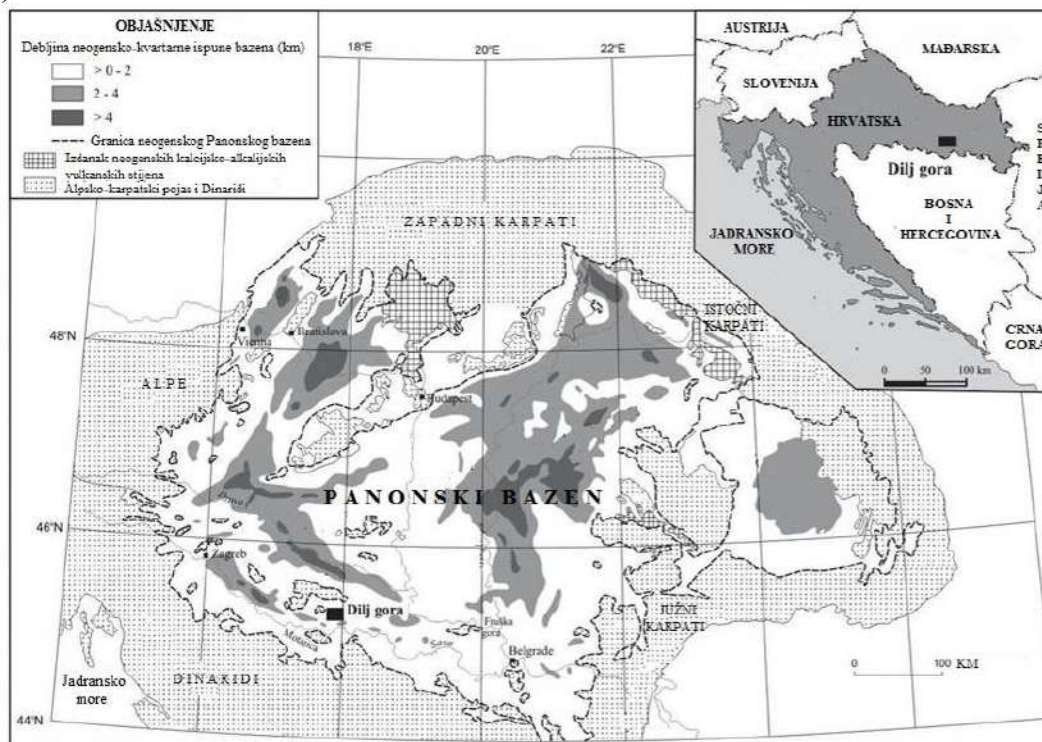
Dilj goru grade sedimenti neogena i kvartara, s rijetkim pojavama magmatskih stijena (Šparica & Crnko, 1973; Šparica et al., 1980a,b, 1987a,b, 1988; Belak et al., 1991). U ovom radu prikazani su preliminarni rezultati istraživanja starijih miocenskih naslaga s lokaliteta Pivnice na Dilj gori (slika 1). Dan je popis nađene fosilne faune slatkovodnih mekušaca i prateće faune i flore te je pretpostavljeno postojanje slatkovodnog miocena na Dilj gori.

## 2. GEOLOŠKI POLOŽAJ

Dilj gora smještena je u južnom dijelu nekadašnjeg Panonskog bazena i predstavlja manji dio nekadašnjeg "lanca otočnih slavonskih planina" koje su postojale i dijelom nastajale u Panonskom bazenskom prostoru.

Područje Panonskog bazenskog sustava pripadalo je široj paleogeografskoj i geotektonskoj jedinici Centralnog Paratethysa (Rögl, 1998; Piller et al., 2007) i činilo njezin najveći dio. Panonski bazenski sustav okružen je Alpama, Karpatima i Dinaridima. Jugozapadni

rub Panonskog bazenskog sustava čini prostor Sjevernohrvatskog bazena zajedno s područjem Sjeverne Bosne (Pavelić, 2002). Prostoru Sjevernohrvatskog bazena pripada područje Dilj gore (slika 2).



Slika 2: Panonski bazenski sustav s označenim centrima podbazena i položaj Dilj gore (preuzeto iz Kovačić et al., 2011)

Prema Pavelić (2001), Panonski bazenski sustav nastao je ekstenzijskim i riftnim procesima između Karpatia, Alpa i Dinarida. Početak njegova razvoja povezan je s kontinentalnom kolizijom i subdukcijom Afričke ploče pod Europu, početkom miocena. Subdukcijom je nastao sustav zalučnih bazena. Prema Pavelić (2001), tektonsko-stratigrafski razvoj Sjevernohrvatskog bazena obilježavaju dvije faze; sinriftna i postriftna. Sinriftna faza započela je tijekom donjeg miocena a trajala je do srednjeg miocena (srednjeg badena). Tu fazu karakterizira nastanak polurovova s velikom debljinom sedimenata na koju su utjecali tektonika i vulkanizam. Kraj sinriftne faze obilježavaju lijevi "strike-slip" rasjedi, a taložni okoliš promijenio se iz aluvijalnog u jezerski i morski. Granica sinriftne i postriftne faze obilježena je erozijom izdignutih rasjednih blokova. Postriftna faza trajala je od srednjeg miocena (srednjeg badena) do kraja gornjeg miocena (pont). Tada je smanjen tektonski utjecaj i vulkanizam, a na slijeganje bazena utjecalo je hlađenje litosfere. Tijekom tog geološkog razdoblja morske veze su postupno prekidane što je pratila tranzicija okoliša iz morskih u bočate, "kaspibočate" i fluvijalno-barske. Potpuna izolacija Panonskog bazena od ostalih dijelova Paratethysa započela je prije oko 11,5 milijuna godina (na granici sarmat/panon).

Paleogeografske promjene između Paratethys mora, Mediteranskog mora i Indopacifika (otvaranje i zatvaranje morskih i kopnenih prolaza) uvjetovale su složene biogeografske odnose između tih jedinica, što je dovelo do poteškoća u stratigrafskoj korelaciji Paratethysa i Mediterana. Tako su uspostavljene razne kronostratigrafske/geokronološke podjele za Zapadni, Centralni i Istočni Paratethys (slika 3) (Harzhauser & Piller, 2007; Kovačić et al., 2011).

| G<br>O<br>D<br>I<br>N<br>E<br>(mil.) | KRONOSTRATIGRAFIJA |           |                      |
|--------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------|
|                                      | EPOHA              | Mediteran | Centralni Paratethys |
| 5                                    | Pliocen            | Zanklij   | Dacij                |
|                                      |                    | Mesin     | Pont                 |
| 10                                   | Gornji miocen      | Torton    | Panon                |
|                                      |                    | Sarval    | Sarmat               |
| 15                                   | Srednji miocen     | Langij    | Baden                |
|                                      |                    | Burdigal  | Karpat               |
|                                      | Donji miocen       |           | Otnang               |
|                                      |                    |           | Egenburg             |

POST-RIFT  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
 SIN-RIFT

Slika 3: Kronostratigrafska podjela Centralnog Paratethysa i Mediterana (prema Rögl, 1996; preuzeto iz Kovačić et al., 2011)

Na granici donjeg i srednjeg miocena u Centralnom Paratethysu došlo je do velikih paleogeografskih promjena. Za to vrijeme česti su transgresivni i regresivni ciklusi, koji se ponegdje teško mogu definirati i nejasni su zbog kasnije tektonske aktivnosti (Rögl et al., 2007).

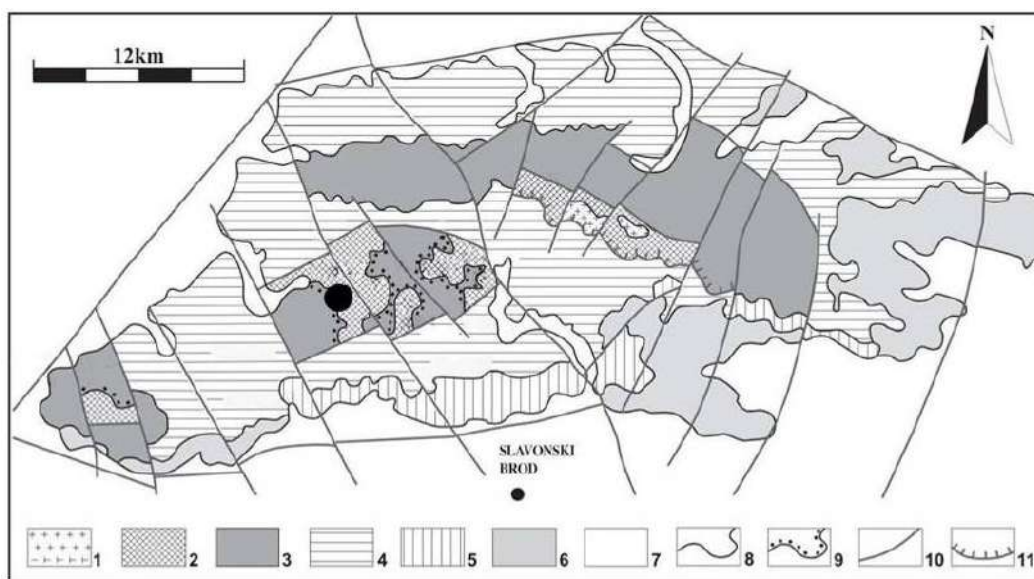
Tijekom donjeg miocena Sjevernohrvatsko područje Centralnog Paratethysa predstavljalo je zaljev Transtetijskog koridora koje je povezivalo Paratethys more s Mediteranskim morem. Kopno je bilo poplavlivano marinskim transgresijama koje nisu preplavile cijeli paleogeografski prostor te je podina diskonformno prekrivena morskim, bočatim i slatkovodnim naslagama starosti od donjeg do gornjeg miocena. Pojedini dijelovi ovog užeg područja Paratethysa bili su izloženi i kratkotrajnim emerzijama. Opis miocenskih naslaga taloženih u Sjevernohrvatskom području dan je u Vrsaljko et al. (2007).

Sedimentacija u području Slavenskog gorja započela je slatkovodnim taloženjem u donjem miocenu, kako je opisano u Pavelić (2002). Na taloženje je utjecala sinsedimentacijska tektonika. Tada je u području Slavenskog gorja postojalo slatkovodno jezero s endemskom faunom mekušaca (*Congeria fuchsi*, *Unio* sp.) i ostrakoda (*Herpetocypris* sp.) (Pavelić, 2002). Jezero je bilo duboko, hidrološki otvoreno i vjerojatno je prekrivalo veći dio područja Sjevernohrvatskog bazena. Taložnje je bilo praćeno eksplozivnim vulkanizmom te su tako nastali tufovi i tufiti. Morski taložni režim karakterističan je za skoro cijeli Panonski bazenski sustav. Do poplavlivanja je došlo otvaranjem morskog prolaza iz Mediteranskog mora u Paratethys more duž Transtetijskog koridora. Taložnje u priobalju i odobalju bilo je praćeno eksplozivnim vulkanizmom. Zbog povoljnih ekoloških i drugih uvjeta došlo je do ekspanzije

plitkovodnih i dubokovodnih bentičkih i planktonskih zajednica: koralinacejske alge, briozoji, koralji, mekušci, npr. *Ostrea crassissima*, *Tellina donacina*, *Chlamys scabrella*, foraminifere, npr. *Amphistegina* sp., *Globigerina*, *Praeorbulina glomerosa*. Tijekom gornjeg badena posljednja snažnija miocenska marinska transgresija preplavila je područje Sjevernohrvatskog bazena, a sam kraj badena obilježen je oplićavanjem. Tada je počelo izdizanje Slavenskog gorja, vjerojatno kao posljedica složenih tektonsko–sedimentacijskih događaja.

## 2.1. NASLAGE MIOCENA NA DILJ GORI – LOKALITET PIVNICE

Dilj gora je izgrađena uglavnom od sedimenata koji su taloženi tijekom miocenske epohe (od prije oko 18 do oko 5 milijuna godina). Geološka skica Dilj gore prikazana je na slici 4. Tu nalazimo razne tipove sedimenata, kao npr. konglomerate, šljunke, pješčenjake, pijeske, vapnence, lapore, gline i ugljene (Horvat, 2010.; Kovačić et al., 2011). Brojni su i nalazi ostataka fosilnih organizama u slojevima miocenskih sedimentnih sukcesija, kao npr.: mekušci, ostrakodi, foraminifere, ježinci, ribe, alge, lišće kopnenog bilja, koralji, palinomorfe te drugi skeletni dijelovi i tragovi makro i mikroorganizama (Pikija et al., 2005; Kovačić et al., 2005; Vrsaljko, 2010). Pored navedenog, prisutni su i tragovi vulkanske aktivnosti kiselog sastava (Šparica & Crnko, 1973; Šparica et al., 1980a,b, 1987a,b, 1988; Belak et al., 1991) u obliku centimetarskih proslojaka tufitičnih lapora i dispergiranih efuzivnih i intruzivnih valutica u donjem i srednjem dijelu miocenske sedimentne sukcesije (Kovačić et al., 2011). Na geološkoj skici (slika 4) nisu prikazane naslage starije od badena, ali su one izdvojene u radu Bošnjak et al. (2011) i indicirane su nalazima mekušaca prikazanih u ovom radu.

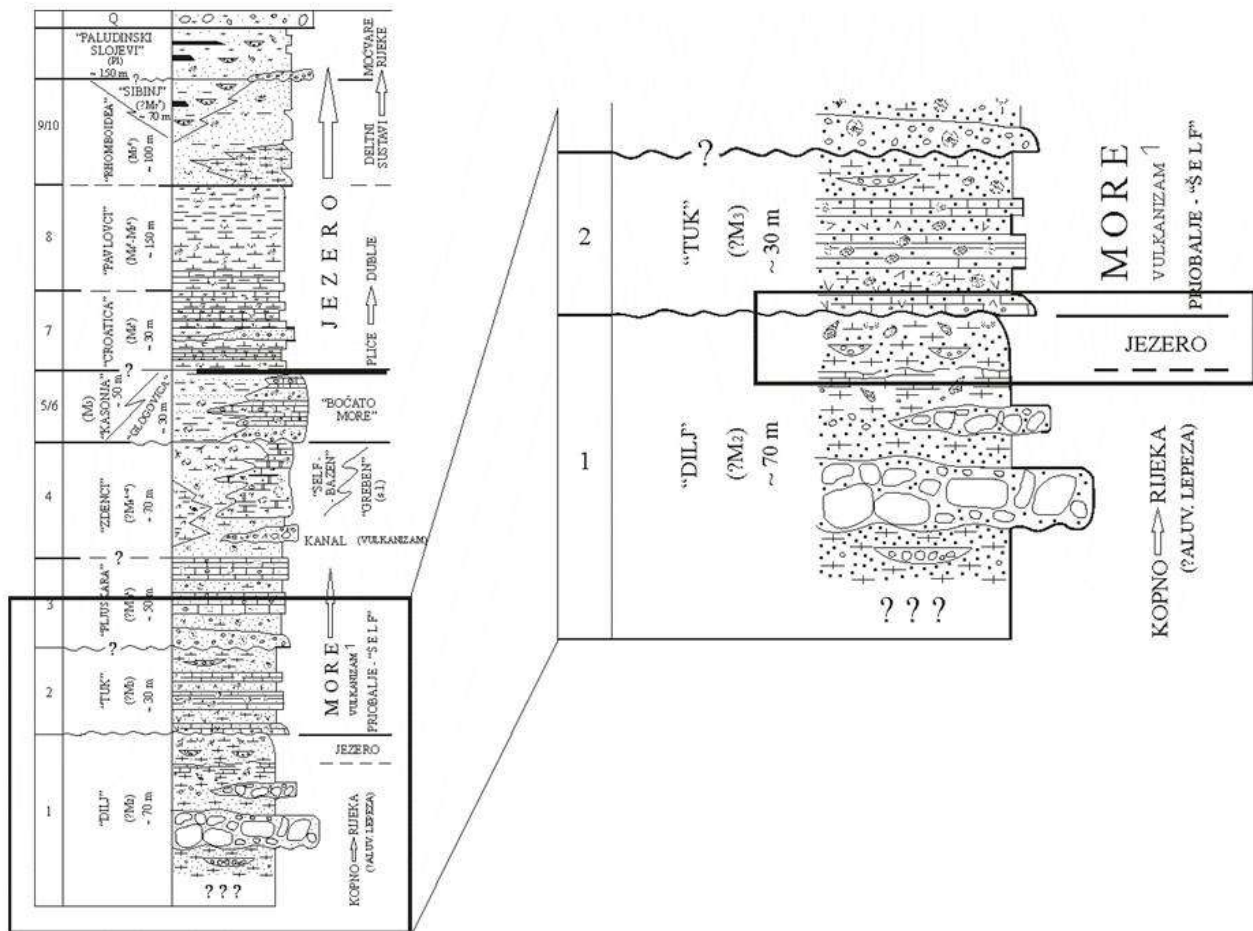


Slika 4: Geološka skica Dilj gore (prilagođeno prema Kovačić et al., 2011) s označenim položajem lokaliteta Pivnice

1 – magmatske stijene; 2 – baden; 3 – sarmat + panon; 4 – pont; 5 – pliocen; 6 – pleistocen; 7 – holocen; 8 – normalna granica; 9 – transgresivna granica; 10 – rasjed; 11 – navlaka

Litologija i fosilni sadržaj sedimentnih sukcesija na Dilj gori definirana je kroz deset neformalnih litostratigrafskih jedinica (Pikija et al., 2005; Kovačić et al., 2005; Bošnjak et al., 2011). Kompilacijski stup miocenskih naslaga Dilj gore (Bošnjak et al., 2011) s označenim dijelom koji

obuhvaća donji miocen prikazan je na slici 5. Karakteristike donjomiocenskih neformalnih litostratigrafskih jedinica dane su na slici 6.



Slika 5: Kompilacijski stup miocenskih naslaga Dilj gore s uvećanim donjomiocenskim slijedom i označenim izučavanim horizontom (lokalitet Pivnice) (Bošnjak et al., 2011)

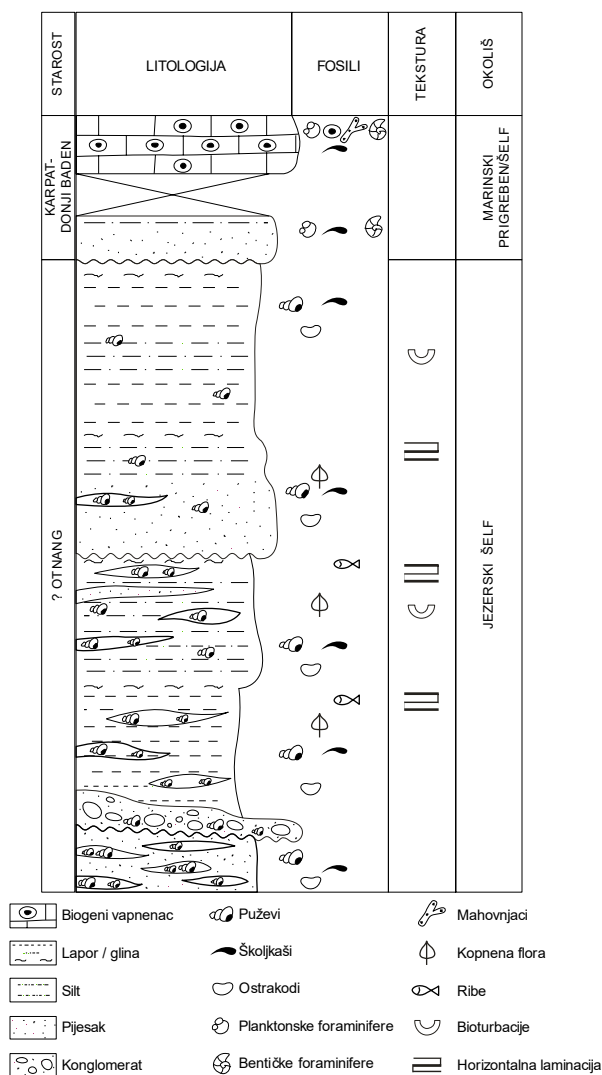
|   | NEFORMALNA LITOSTRATIGRAFSKA JEDINICA | LITOLOGIJA I FOSILNI SADRŽAJ  |
|---|---------------------------------------|---|
| 3 | "Pljuskara"                           | Izmjena biokalkarenita i biokalksilita, šljunci. Ježinci, <i>Pecten</i> , litotamniji, mahovnjaci, foraminifere.  |
| 2 | "Tuk"                                 | Tufitični kalksiliti (areniti), leće šljunka. <i>Pecten</i> , <i>Macoma</i> , <i>Pycnodonta</i> , foraminifere, koralji samci, mahovnjaci.  |
| 1 | "Dilj"                                | Crveni i sivi siltovi, krupnozrnasti konglomerati, leće šljunka, pijesak, lapor i kalkretni vapnenac. <i>Theodoxus</i> , <i>Melania</i> , <i>Melanopsis</i> , <i>Congerina</i> , ostrakodi, fosilna makroflora. |

Slika 6: Karakteristike miocenskih neformalnih litostratigrafskih jedinica Dilj gore s uvećanim donjomiocenskim slijedom (Bošnjak et al., 2011)



U radovima Pikija et al. (2005) te Kovačić et al. (2005) na temelju sedimentnih sukcesija i pripadajućeg fosilnog sadržaja sigurno su definirane i dokazane naslage badenske, sarmatske, panonske i pontske starosti, a pretpostavljeno je postojanje naslaga otanškog i karpatskog kata u najnižim dijelovima miocenskog stupa naslaga. Te pretpostavljene donjomiocenske naslage autori su izdvojili kao neformalne litostratigrafske jedinice "Ravan" i "Tuk", koje odgovaraju neformalnoj litostratigrafskoj jedinici "Dilj" (slika 5) prema Bošnjak et al. (2011). U radu Hajek-Tadesse et al. (2009), u susjednom području Dilj gore, na Požeškoj gori, opisane su bočate donjomiocenske naslage (gornji otanang / donji karpata), koje su na temelju bočate ostrakodne faune prvi put prepoznate u Sjevernojhrvatskom bazenu. Podina micenskim naslagama na Dilj gori nije detektirana no pretpostavljena je mezozojska, a krovinu uglavnom čine pliocenski sedimenti, tzv. paludinski slojevi.

Na području Dilj gore prikupljena je fosilna fauna slatkovodnih mekušaca na lokalitetu Pivnice (slika 7). Sediment u kojem su nađeni mekušci je siltozni lapor koji je taložen u jezerskom okolišu. Te bi naslage prema fosilnom sadržaju pripadale najstarijoj neformalnoj litostratigrafskoj jedinici "Dilj" (slika 5) čija je pretpostavljena starost donjomiocenska (Bošnjak et al., 2011).



Slika 7: Shematski stup lokaliteta Pivnice (Dilj gora) približne debljine 10 m

### 3. MIOCENSKI SLATKOVODNI MEKUŠCI

Na lokalitetu Pivnice na Dilj gori prikupljena je slatkovodna fauna pretpostavljene donjomiocenske starosti (?otnang – ?karpat). Fosilni sadržaj čine: školjkaši, među kojima je obilje krhotina kongerija, kućice i operkulumi (poklopci) puževa, ostrakodi, riblji kralješci i zubi, riblje ljuskice i biljno trunje. Neposredno iznad siltoznih lapora slijede krovinski biogeni vapnenci s brojnom faunom marinskih organizama (foraminifere, mahovnjaci, mekušci i dr.) pretpostavljene srednjomiocenske starosti (slika 5).

O slatkovodnim mekušcima starijeg miocena na prostoru Hrvatske pisali su Kochansky-Devidé (1979), Kochansky-Devidé & Slišković (1978) i Jurišić-Polšak (1979).

Donjomiocenske i srednjomiocenske kongerije na prostoru Hrvatske obrađene su u radu Kochansky-Devidé & Slišković (1978). Opisane su kongerije starijih miocenskih naslaga na prostoru Papuka, Pšunja i Požeške gore (Kochansky-Devidé & Slišković, 1978; Kochansky-Devidé, 1979).

U radu Jurišić-Polšak (1979) autorica opisuje neogenske neritide u Hrvatskoj, starosti raspona od donjeg miocena (karpat) do pliocena. Rod *Theodoxus* živi u slatkovodnoj sredini, na što upućuju i prateći nalazi kongerija, unionida, melanopsida i planorbida. Nalazi kopnene megaflore ukazuju na blizinu kopna.

Litostratigrafski stup lokaliteta Pivnice na Dilj gori s kojeg je prikupljena donjomiocenska (?otnang - ?karpat) slatkovodna fauna prikazan je na slici 7. U ovom su radu navedeni nađeni i determinirani fosilni puževi i školjkaši.

Od slatkovodnih puževa nađeni su:

- *Gyraulus* sp.,
- *Melania* sp. (*Melania* ex gr. *escheri*),
- *Melanopsis* sp.,
- *Theodoxus* (? *Neritaea*) cf. *barakovici* (Brusina),
- *Theodoxus* (? *Neritaea*) cf. *zlatarici* (Brusina) i
- *Theodoxus* (? *Neritaea*) cf. *transversalis* (Brusina).

Neki od pronađenih fosilnih puževa prikazani su u Tabli 1.

Od slatkovodnih školjkaša nađeni su:

- *Congeria* cf. *dalmatica* (Brusina),
- *Congeria* cf. *jadrovi* (Brusina),
- *Dreissena* sp. i
- *Unio* sp.

Neki od pronađenih fosilnih školjkaša prikazani su u Tabli 2.

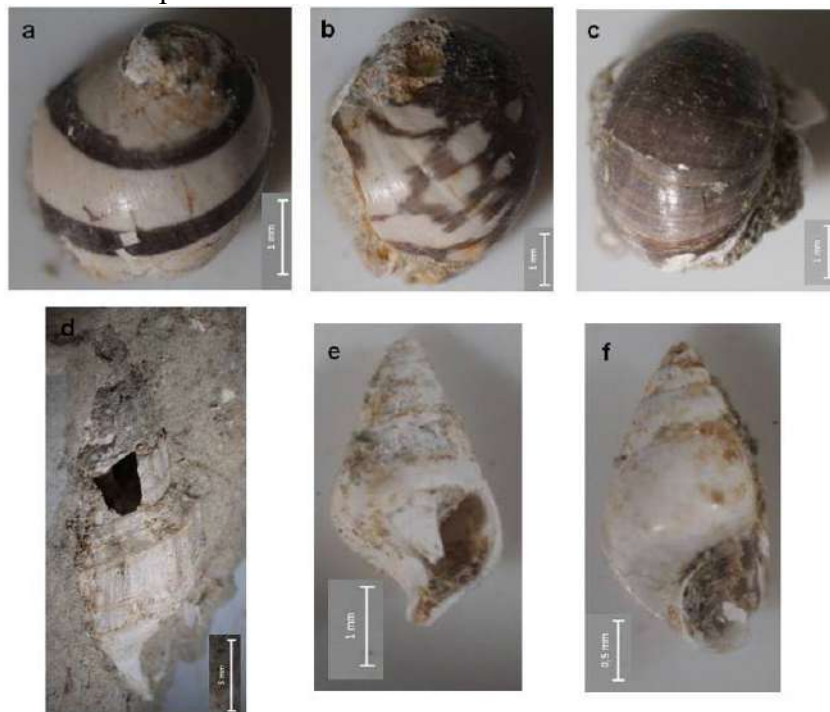
Od mekušaca najučestaliji su nalazi *Theodoxus* sp. (*Theodoxus* cf. *transversalis* (Brusina)), *Melanopsis* sp. i *Congeria* sp.

U siltoznom laporu lokaliteta Pivnice nađena fauna loše je očuvana. Dio fosilnih puževa i školjkaša nije vađen iz sedimenta zbog krhke ljuštura koja bi se prilikom otapanja raspala. Kako je materijal promatran u sedimentu, dijelovi ljuštura nisu bili u potpunosti dostupni već su ostali pokriveni sedimentom zbog lakog raspada pri pomicanju sedimenta s njih. Uz to, u sedimentu je bilo i kršja ljuštura. Izgled nađene faune školjkaša i puževa u sedimentu prikazan je na slici 8.



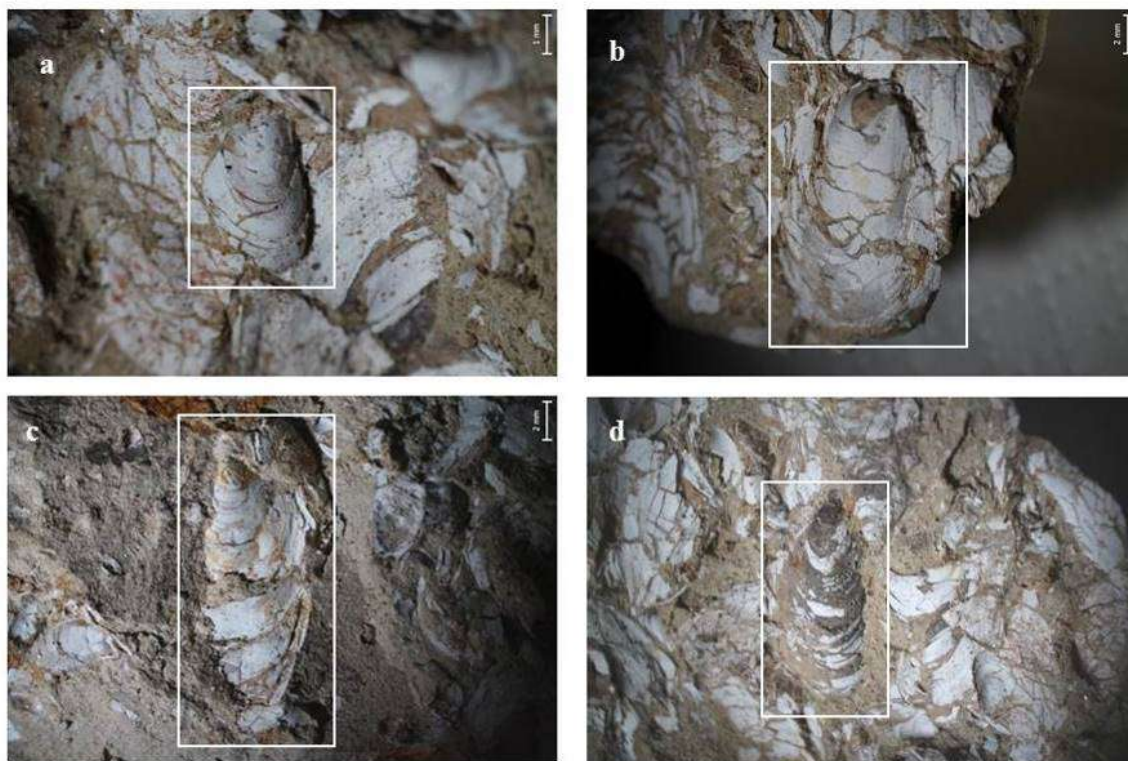
Slika 8: Puževi i školjkaši (a,b,c) te kršje ljuštura (d) u siltoznom laporu (na izdanku)

Tabla 1: Dio nalaza fosilnih puževa s lokaliteta Pivnice



(a) *Theodoxus* sp. (*Theodoxus* cf. *transversalis* (Brusina)), (b) *Theodoxus* sp. (*Theodoxus* cf. *barakovici* (Brusina)), (c) *Theodoxus* sp. (*Theodoxus* cf. *zlatarici* (Brusina)), (d) *Melania* sp. (*Melania* ex. gr. *escheri*), (e, f) *Melanopsis* sp.

Tabla 2: Dio nalaza fosilnih školjkaša s lokaliteta Pivnice



(a,b), *Congeria* sp. (*Congeria* cf. *dalmatica* (Brusina)), (c) *Congeria* sp. (*Congeria* cf. *jadrovi* (Brusina)), (d) *Dreissena* sp.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana fosilna slatkovodna zajednica nađena u starijim sedimentima miocena (?otnang - ?karpat) na Dilj gori (lokalitet Pivnice), s naglaskom na fosilne mekušce. Faunu nađenu u siltoznom laporu čine školjkaši (rodovi *Congeria*, *Dreissena* i *Unio*), puževi (rodovi *Theodoxus*, *Melanopsis*, *Melania* i *Gyraulus*), operkulumi (poklopci) puževa, ostrakodi, riblji kralješci i zubi, riblje ljuskice i biljno trunje. Od mekušaca (školjkaša i puževa) najučestaliji su nalazi *Theodoxus* sp. (*Theodoxus* cf. *transversalis* (Brusina)), *Melanopsis* sp. i *Congeria* sp. Neposredno iznad siltoznih lapora slijede krovinski biogeni vapnenci s brojnom faunom marinskih organizama (foraminifere, mahovnjaci, mekušci i dr.) pretpostavljene srednjomiocenske starosti. Prema ukupno prikupljenoj zajednici fosilnih mekušaca i prateće faune i flore zaključuje se da je riječ o okolišu slatkovodnog jezera s riječnim utjecajem. Ovi nalazi indiciraju dokaze postojanja slatkovodnih starijih naslaga miocena (?otnang - ?karpat) na Dilj gori. Takve slatkovodne naslage nađene su na susjednoj Požeškoj gori te na Papuku i Psunju (Kochansky-Devidé, 1979; Kochansky-Devidé & Slišković, 1978; Hajek-Tadesse, 2009). Pronađene starije miocenske naslage na Dilj gori pripadaju neformalnoj litostratigrafskoj jedinici starijeg miocena "Dilj" (Bošnjak, et al., 2011). U radovima Pikija et al. (2005) i Kovačić et al. (2011) jedinica "Dilj" izdvojena je u dvije neformalne litostratigrafske jedinice "Ravan" i "Tuk".

## 5. LITERATURA:

- BELAK, M., SARKOTIĆ-ŠLAT, M. & PAVELIĆ, D. (1991): An occurrence of Badenian rhyolitic volcanoclastic rocks from middle parts of Mt. Dilj (Eastern Croatia) (Pojava riolitnih badenskih vulkanoklastita u središnjem dijelu Dilj gore (istočna Hrvatska)).— *Geologia Croatica*, 44, 151-159, Zagreb.
- BOŠNJAK, M., VRSALJKO, D., JAPUNDŽIĆ, J. (2011): Litostratigrafski stup miocenskih naslaga Dilj gore.— U: Zbornik radova IV. savjetovanje geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, Udruženje/Udruga geologa Bosne i Hercegovine, 13-17, Sarajevo.
- HAJEK TADESSE, V., BELAK, M., SREMAC, J., VRSALJKO, D. & WACHA, L. (2009): Early Miocene ostracods from the Sadovi section (Mt Požeška gora, Croatia).— *Geologica Carpathica*, 60, 3, 251-262.
- HARZHAUSER, M. & PILLER, W.E. (2007): Benchmark data of a changing sea – Palaeogeography, Palaeobiogeography and events in the Central Paratethys during the Miocene.— *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253, 8-31.
- HORVAT, M. (2010): Valutice u sedimentima nižeg miocena Dilj gore (lokaliteti Staro Završje, Vučje jame i Pivnice) (Pebbles of Lower part of Miocene deposits of Dilj Mt. (Staro završje, Vučje jame and Pivnice localities)).— *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Croatian Geological Congress, Abstracts Book*, 16-17.
- JENKO, K. (1944): Stratigrafski i tektonski snošaj pliocena južnog pobočja Požeške gore i Kasonja brda.— *Vjestnik Hrv. drž. geol. zav. i Hrv. drž. geol. muzeja*, 2-3, 89-159.
- JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. (1979): Miocenske i pliocenske neritide u Hrvatskoj. (Miozäne und Pliozäne Neritiden in Kroatien).— *Palaeontologia Jugoslavica*, 22, 1-50, Zagreb.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1979): Srednjomiocenske kongerijske naslage Požeške gore.— *Geološki vjesnik*, 31, 69-72, Zagreb.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & SLIŠKOVIĆ, T. (1978): Miocenske kongerije Hrvatske, Bosne i Hercegovine. (Miozäne Kongerien in Kroatien, Bosnien und Herzegowina).— *Palaeontologia Jugoslavica*, 19, 1-98, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M., AVANIĆ, R., BAKRAČ, K., HEĆIMOVIĆ, I., FILJAK, R. & MORIĆ, A. (2005): Gornjomiocenski sedimenti Dilj gore (Late Miocene Sediments of Dilj Mt.).— *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Croatian Geological Congress, Abstracts Book*, 77-78.
- KOVAČIĆ, M., HORVAT, M., PIKIJA, M. & SLOVENEK, DA. (2011): Composition and provenance of Neogene sedimentary rocks of Dilj gora Mt. (south Pannonian Basin, Croatia).— *Geologia Croatica*, 64/2, 121-132.
- PAVELIĆ, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System.— *Basin Research*, 12, 359-376.
- PAVELIĆ, D. (2002): The South-Western Boundary of Central Paratethys.— *Geologia Croatica*, 55/1, 83-92, Zagreb.
- PIKIJA, M., VRSALJKO, D., MIKNIĆ, M., HORVAT, M., GALOVIĆ, I. & SLOVENEK, D. (2005): Sedimenti nižeg miocena Dilj gore (Lower part of Miocene Deposits of Dilj Mt.).— *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Croatian Geological Congress, Abstracts Book*, 113-114.
- PILAR, G. (1875): Podravina, Đakovština i Dilj gora.— *Rad JAZU*, 33, 38-57, Zagreb.
- PILLER, W.E., HARZHAUSER, M. & MANDIĆ, O. (2007): Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions.— *Stratigraphy*, vol. 4, nos. 2/3, 151-168.
- RÖGL, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene.— *Mitt. Gesell. Geol. Bergbaust. Österr.*, 41, 65–73.

- RÖGL, F. (1998): Palaeogeographic Considerations for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene).– *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 99 A, 279-310, Wien.
- RÖGL, F., ĆORIĆ, S., HOHENEGGER, J., PERVESLER, P., ROETZEL, R., SCHOLGER, R., SPEZZAFERRI, S. & STINGL, K. (2007): Cyclostratigraphy and Transgressions at the Early/Middle Miocene (Karpatian/Badenian) Boundary in the Austrian Neogene Basins (Central Paratethys).– *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brun.*, Volume 36, Geology, Brno.
- STUR, D. (1862): Die Neogen-tertiären Ablagerungen von West-Slavonien.– *Jahrb. d. k. k. geol. R. A.*, p. 285, Wien.
- ŠPARICA, M. & CRNKO, J. (1973): Geologija zapadnog dijela Dilj gore.– *Geološki vjesnik*, 26, 83-92, Zagreb.
- ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, C. & ŽIVANOVIĆ, D. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Nova Kapela.– *Inst. za geol. istraž.*, Zagreb, *Inst. za geol.*, Sarajevo, *Sav. geol. zavod*, Beograd.
- ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, C. & ŽIVANOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Nova Kapela. *Inst. za geol. istraž.*, Zagreb, *Inst. za geol.*, Sarajevo, *Sav. geol. zavod*, 1-55, Beograd.
- ŠPARICA, M., BUZALJKO, R. & MOJICEVIĆ, M.. (1986a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Slavonski Brod.– *Inst. za geol. istraž.*, Zagreb, *Inst. za geol.*, Sarajevo, *Sav. geol. zavod*, Beograd.
- ŠPARICA, M., BUZALJKO, R. & PAVELIĆ, D. (1986b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Slavonski Brod.– *Inst. za geol. istraž.*, Zagreb, *Inst. za geol.*, Sarajevo, *Sav. geol. zavod*, 1-56, Beograd.
- VRŠALJKO, D., HEĆIMOVIĆ, I. & AVANIĆ, R. (2007): Miocene deposits of Northern Croatia.– *U: Field Trip Guidebook and Abstracts of the 9th International Symposium on Fossil Algae*, Hrvatski geološki institut, 143-153, Zagreb.
- VRŠALJKO, D. (2010): Zonacija srednjeg i gornjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju mekušaca (Middle and Upper Miocene zonation of the northern Croatia on the base of the Molluscs).– *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Croatian Geological Congress, Abstracts Book*, 117.

## Foraminiferske zone donjeg badena u središnjem dijelu Tuzlanskog bazena

ZIJAD FERHATBEGOVIĆ<sup>18</sup>, AZEMA JAHIĆ<sup>19</sup>,

### SAŽETAK

Donjobadenski sedimenti u središnjem dijelu Tuzlanskog bazena su predstavljeni naslagama koje su dokazane brojnim i raznovrsnom asocijacijama foraminifera karakterističnim za donji baden. U okviru donjeg badena izdvojene su dvije lokalne zone : *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* koja predstavljastariji dio donjeg badena ( $1M_2^1$ ) i *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* ( $2M_2^1$ ) koja predstavlja mlađi dio donjeg badena.

Sedimenti lokalne zone *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* nalaze se u neposrednoj krovini sone formacije i pored foraminifera sadrže nanoplankton i makrofaunu. Makrofauna je slaboočuvana, sistematski dosta jednolična i individualno malobrojna. U ovoj zoni dominantne su bentoske vrste foraminifera na čelu sa *Ammonia viennensis* dok su planktonske forme veoma rijetke. Naročito se brojnošću i učestalošću ističu vrste *Ammonia viennensis*, *Nonion commune*, *Spirorutilus carinatus*, *Fursenkoina acuta* i *Pullenia bulloides*. U većini proba prisutni su fragmenti bodlji ehinida i ostrakoda.

Zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* odlikuje se foraminiferama koje su veoma brojne sa dominacijom planktonskih formi dok su bentoske forme rijetke i sitne. Od foraminifera za ovu zonu donjeg badena najznačajnije su: *Globigerinoides trilobus*, *Orbulina suturalis*, *Globigerina bulloides* i *Lenticulina inornata*. U šlemovanom materijalu česte su bodlje ehinida, a prisutni su i otoliti i ostrakode. Donji baden je dominantno predstavljen masivnim i slojevitim pjeskovito-glinovitim laporcima a manjim dijelom pješčarima i silifikovanim krečnjacima. Na osnovu analiza krečnjačkog nanoplanktona Ćorić Stjepan je sedimente donjeg badena svrstao u zonu NN5 (po Martiniju, 1971).

**Ključne riječi:** foraminiferske zone, donji baden, Tuzlanski bazen

### SUMMARY

Based on the micropaleontologic analysis in lower Badenian sediments of the central part of the Tuzla basin were selected associations of foraminifera. Characteristic fossils of foraminifera were used to extract two local zones within the Lower Badenian : Zone *Ammonia viennensis* and *Nonion commune* as the older part of the lower Badenian and *Globigerinoides trilobus* and *Orbulina suturalis* as a younger part of the lower Badenian. For each zone is characterized by the presence of many benthic foraminifera with dominant form in the older part of the lower Badenian and planktonic form in the younger part of the lower Badenian.

**Key words:** foraminifera zones, lower Badenian, Tuzla basin

---

<sup>18</sup>Dr.sc., vanr.prof. Univerzitet u Tuzli, RGGF, [fzijad@yahoo.com](mailto:fzijad@yahoo.com)

<sup>19</sup>Mr.sc., PAPAGO d.o.o. Lukavac, [www.papago.bistrik.com](http://www.papago.bistrik.com)

## 1. UVOD

U cilju određivanja karakteristika sedimenata i njihove starosti sa izdanaka sedimenata je uzeto 100 uzoraka. Nakon šlemovanja materijala i njegove determinacije izvršeno je biostratigrafsko raščlanjivanje sedimenata na osnovu mikrofaune (foraminifere). Gdje god je to bilo moguće korišteni su i makropaleontološki ostaci.

Na osnovu mikropaleontoloških analiza tj. karakterističnih asocijacija foraminifera u okviru donjeg badena izdvojene su dvije zone: lokalna zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* i lokalna zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*.

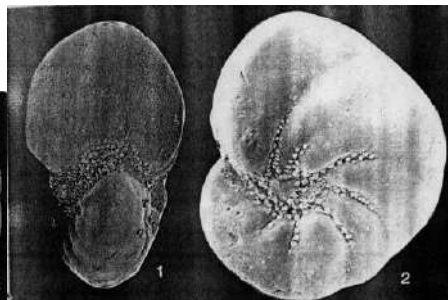
## 2. OPŠTE ODLIKE SEDIMENATA LOKALNE ZONE *AMMONIA VIENNENSIS* I *NONION COMMUNE* (M<sub>2</sub><sup>1</sup>)

Sedimenti lokalne zone *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* leže u neposrednoj krovini sone formacije i sadrže pored foraminifera, i nanoplankton, kao i makrofaunu. Makrofauna je slaboočuvana, sistematski dosta jednolična i individualno malobrojna. Predstavljen je otiscima ili rjeđe, odlomcima ljuštura mekušaca i oklopa ehinida. Najznačajniji mekušci ovog stratigrafskog člana po brojnosti i učestalosti su *Tellina sp.* i *Aporrhais pes pelecani*. Pored njih javljaju se podređeno *Vaginella austriaca*, *Hinia sp.*, *Polinices catena helicina*, *Nuculana fragilis* i ostaci ehinida *Brissopsis sp.* Prividna debljina sedimenata ove zone varira i doseže do 150 metara.

Foraminifere su veoma brojne i raznovrsne. Dominantno učešće imaju bentoske forme na čelu sa *Ammonia viennensis* (Sl.1.) dok se brojnošću i raznovrsnošću ističu: *Nonion commune*, *Spirorutilus carinatus*, *Fursenkoina acuta*, *Pullenia bulloides* (Sl.1.). Takođe u probama su zastupljeni fragmenti ostrakoda i ehinida. Litološki sastav je predstavljen laporcima i pješčarima. Na istraživanom dijelu terena ovi sedimenti su utvrđeni na profilu iznad rezervoara za vodu na putu za Orašje, brdu Kicelj i na putu za Ilinčicu.



Sl.1. *Ammonia viennensis* (d'ORBIGNY)



Sl.2. *Nonion commune* (d'ORBIGNY)



Sl.3. *Spirorutilus carinatus*

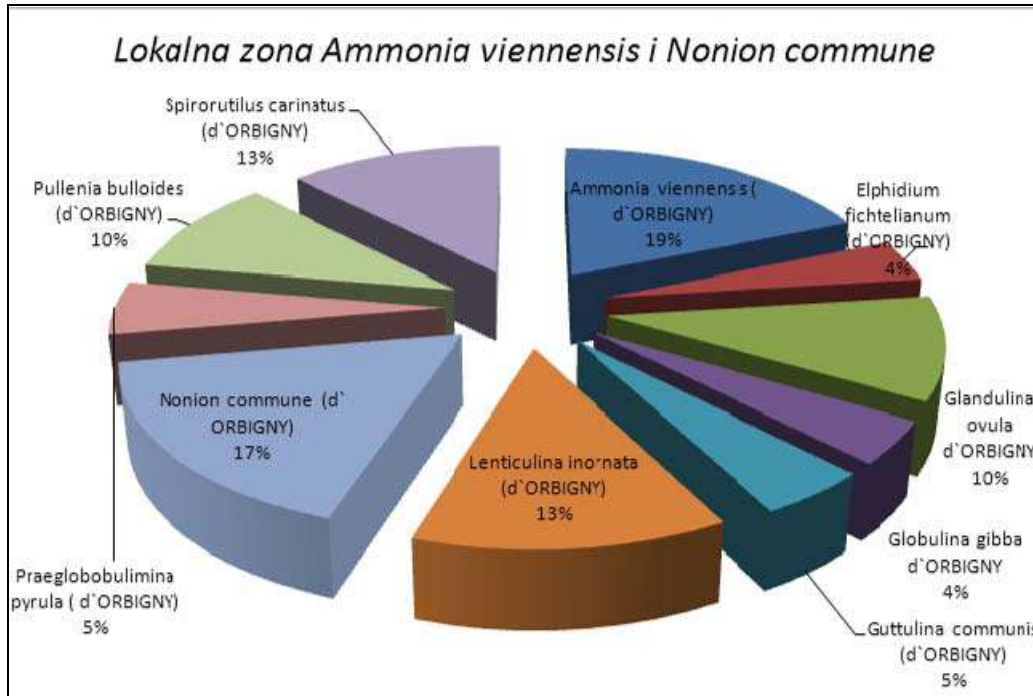


Sl.4. *Fursenkoina acuta* (d'ORBIGNY)



(d'ORBIGNY)

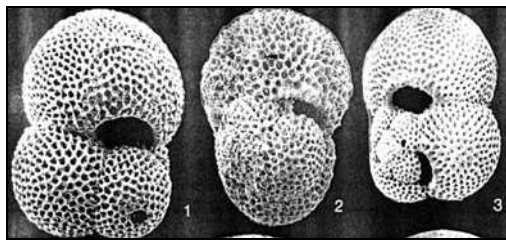
(Slike preuzete iz knjige: Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys - Ivan CICHÁ, Fred RÖGL, Christian RUPP & Jirina CTYROKA)



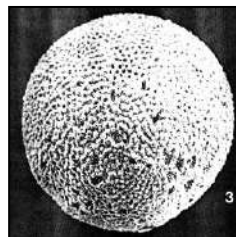
Sl.5. Procentualno učešće najbrojnijih vrsta foraminifera u probama (29 proba) sa izdanaka sedimenata

### 3. OPŠTE ODLIKE SEDIMENATA LOKALNE ZONE *GLOBIGERINOIDES TRILOBUS* I *ORBULINA SUTURALIS* ( $2M_2^1$ )

U okviru donjeg badena na osnovu asocijacije foraminifera izdvojena je lokalna foraminiferska zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*. Foraminifere su veoma brojne sa dominacijom planktonskih formi dok su bentoske forme uglavnom rijetke i sitne. Od foraminifera za mlađi dio donji badena su najznačajnije: *Globigerinoides trilobus*, *Orbulina suturalis*, *Globigerina bulloides* i *Lenticulina inornata*.



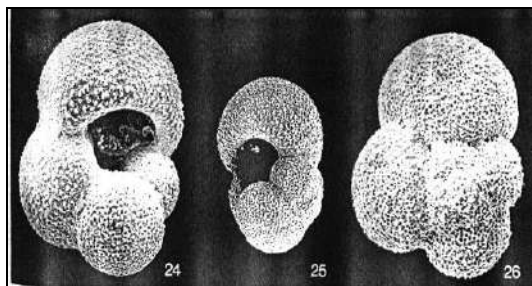
Sl.6. *Globigerinoides trilobus* (REUSS) BRÖNNIMANN



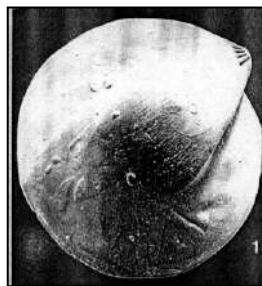
Sl.7.

*Orbulina*

*suturalis*

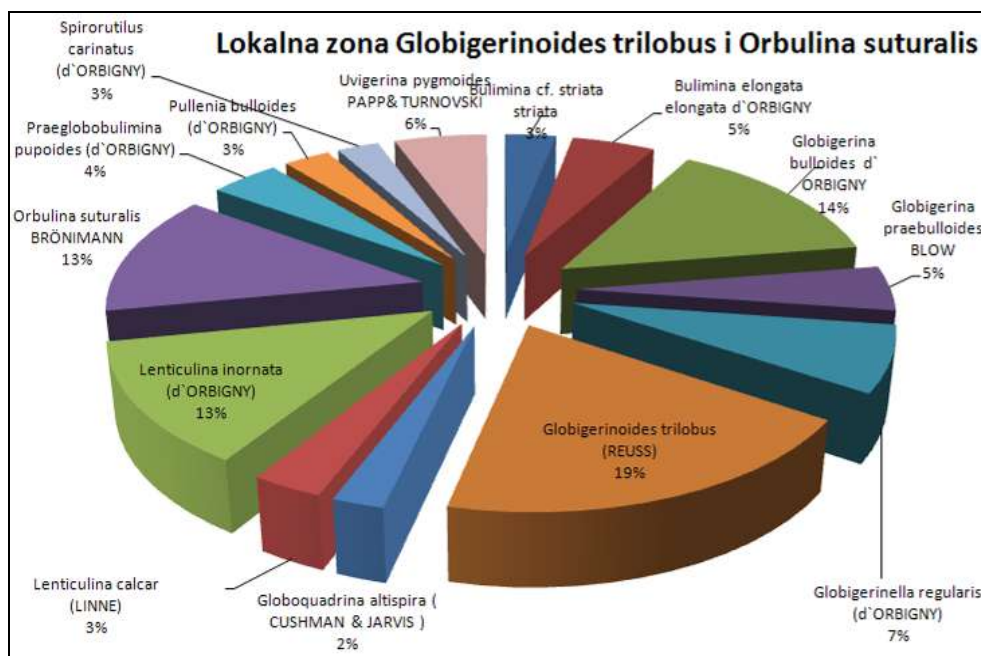


Sl.8. *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY  
*Lenticulina inornata* d'ORBIGNY



Sl.9.

U šlemovanom materijalu česte su bodlje ehinida, a prisutni su i otoliti i ostrakode. Litološki sastav je predstavljen masivnim i slojevitim pjeskovito-glinovitim laporcima i manjim dijelom pješčarima i silifikovanim krečnjacima. Šlemovani materijal je predstavljen zrnima kvarca, kalcita, bazita, ultrabazita, serpentina koja su uglavnom uglasta do poluzaobljena. Na slojnim plohama pločastih do tankoslojevitih laporaca uočavaju se fragmenti otisaka ehinida (*Brissoopsis*), ugljenificiranih biljaka, otisaka listova, otisci kapaka školjkaša (*Tellina*) i pteropoda *Vaginella austriaca* KITTL. Maksimalna prividna debljina donjobadenskih sedimenata Tuzlanskog bazena iznosi oko 390m (profil RS-2). Na osnovu analiza krečnjačkog nanoplanktona Ćorić Stjepan je sedimente donjeg badena svrstao u zonu NN5 (po Martiniju, 1971).



Sl.10. Procentualno učešće najbrojnijih vrsta foraminifera u probama (71 proba) sa izdanaka sedimenata

## ZAKLJUČAK

Na osnovu mikropaleontoloških analiza u donjobadenskim sedimentima središnjeg dijela Tuzlanskog bazena izdvojene su asocijacije foraminifera. Karakteristične fosilne zajednice foraminifera poslužile su za izdvajanje dvije lokalne zone u okviru donjeg badena: *zona Ammonia viennensis i Nonion commune* kao stariji dio donjeg badena i *zona Globigerinoides trilobus i Orbulina suturalis* kao mlađi dio donjeg badena.

Za obje zone karakteristično je prisustvo brojnih foraminifera sa dominacijom bentoskih formi u starijem dijelu donjeg badena i planktonskih formi u mlađem dijelu donjeg badena.

## LITERATURA

**Cicha, I., Rógl, F., Rupp, C. & Ctyroka, J., 1998 :** Oligocene – Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. senck. naturforsch. Ges., 549: 1-325, Frankfurt.

**Ćorić S., Vrabac S., Ferhatbegović Z. & Đulović I., 2007:** Biostratigraphy of Middle Miocene Sediments from the Tuzla Basin (North-eastern Bosnia) Based on Foraminifera and Calcareous Nannoplankton. Neogene of Central and South-Eastern Europe, 2, International Workshop, Joannea-Geologie und Paläontologie, 9, 21-23, Graz.

**Ferhatbegović Z. 2003 :**Biostratigrafske karakteristike krovinskih sedimenata ležišta kamene soli u Tuzli. Geološki glasnik 35, 169-179, Sarajevo.

**Ferhatbegović Z., 2001 :**Biostratigrafske i inženjerskogeološke karakteristike krovinskih sedimenata ležišta kamene soli u Tuzli .Magistarski rad. Univerzitet u Tuzli.

**Ferhatbegović Z., 2004:** Geološke karakteristike središnjeg dijela Tuzlanskog bazena. Doktorska disertacija, Univerzitet u Tuzli.

**Ferhatbegović Z., 2010 :** Geološke karakteristike središnjeg dijela Tuzlanskog bazena. Monografija, Univerzitet u Tuzli, 1-82, Tuzla.

**Petrović, M., 1979/80 :** Biostratigrafski značaj srednjemiocenskih foraminifera iz bušotina Tuzlanskog bazena. Geol. anali Balk. pol., 1979/80; 43/44: 155-203, Beograd.

**Vrabac S., 1986:** Paleogeografija sjeverne Bosne u badenskom vijeku. Magistarski rad.

**Vrabac S., 1989 :** Paleogeografija južnog oboda Panonskog basena u badenu i sarmatu. Doktorska disertacija.

**Vrabac, S. 1991:** „Šlir“ Tuzlanskog basena. Zbornik radova RGF-a Univerziteta u Tuzli, 1991; 19: 23-30.

Vrabac S., **Ferhatbegović Z., 1997 :** Geološka grada sedimenata na brdu Kicelj u Tuzli. Zbornik radova RGF, 21, 35-39, Tuzla.

**Vrabac S., 1999:** Facijalne i biostratigrafske odlike badena i sarmata sjeverne Bosne. Rud.geol.građ.fakultet , Tuzla.

**Vrabac S. & Ćorić S., 2008:** Revizija „karpata“ Tuzlanskog bazena sa osvrtom na stratigrafski položaj sone formacije. Geološki glasnik, 37, 71-81, Sarajevo.

**Vrabac S., Ferhatbegović Z., Đulović I. & Bijedić Dž., 2008:** Nalazak morskih fosila u sonoj formaciji ležišta kamene soli Tetima kod Tuzle. III savjetovanje geologa BiH sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, 53-60, Neum.

## Novi, jedinstveni i atraktivni makrofosili iz eocena zapadne Hercegovine – implikacija na paleookoliš i geoturizam

GORAN GLAMUZINA, mr.sc.,dipl.ing.geologije  
Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg-Bosne, Mile Budaka 106a, Mostar.  
(glam\_goran@yahoo.com).

Ključne riječi: Eocen, zapadna Hercegovina, makrofosili, makrofauna, makroflora, paleookoliš  
Keywords: Eocene, western Herzegovina, macrofossils, macrofauna, macroflora,  
paleoenvironment

### SAŽETAK

Područje zapadne Hercegovine sadrži brojne eocenske lokalitete s obiljem makrofosila. Neki od najreprezentativnijih takvih lokaliteta nalaze se na području općina Čitluk, Ljubuški, Široki Brijeg i Posušje. Među ovim lokalitetima znatan je broj onih na kojima su u zadnje vrijeme otkriveni endemični, jedinstveni ili pak atraktivni makrofosili. Posebno se mogu izdvojiti fosili plodova mangrove palme *Nypa*, kopnene makroflore, gigantskih oštriga, koralja i brakičnih endemičnih puževa iz eocenskih lokaliteta na području općine Čitluk. Iz eocenskog lokaliteta Grabova draga sjeveroistočno od Širokog Brijega posebno se ističu pronalasci gigantskih glavonožaca iz reda nautilida, fosilnih rakovica te brojnih brahiopoda. Eocenski lokaliteti na području općine Posušje predstavljaju vjerojatno jedno od nafosilifernih eocenskih lokaliteta u ovom dijelu Europe, gdje je prisutno pravo bogatstvo fosilne zajednice plitkomorskih mekušaca, bodljikaša i koralja, u kojoj se mogu pronaći primjerci najvećih ikad živućih puževa *Campanile giganteum*. Svi ovi makrofosili i lokaliteti na kojima su otkriveni nose vrlo veliki znanstveni paleontološki značaj, kao i veliki potencijal u geoturističkom smislu.

### ABSTRACT

The area of western Herzegovina contains a number of Eocene sites with an abundance of macrofossils. Some of the most representative of these sites are located in the municipalities of Čitluk Ljubuski, Široki and Posušje. Among these sites is a significant number of those where have recently discovered endemic, unique or attractive macrofossils. Especially can be noted the fossil fruits of mangrove palm *Nypa*, terrestrial macroflora, giant oysters, corals and brackish endemic snails from Eocene localities in the municipality of Čitluk. From Eocene locality Grabova draga northeast of Široki Brijeg especially interesting are the discoveries of giant nautilid cephalopods, fossil crabs and many brachiopods. Eocene localities in the municipality of Posušje are probably one of the most fossiliferous Eocene sites in this part of Europe, where is present a real treasure of shallow water fossil communities with molluscs, echinoderms and corals, where you can find one of the largest ever living snail specimens of *Campanile giganteum*. All these macrofossils and sites of discovering, wearing a very huge scientific paleontological significance, as well as great potential in terms of geotourism.

## 1. Uvod

Regija Hercegovina u geološkom smislu ponajviše je znakovita kao onaj dio Bosne i Hercegovine na kojem je najviše te u potpunosti razvijen krški reljef s pretežnim udjelom karbonatnih stijena mezozojske i to poglavito kredne starosti. Gledajući litološki karakter nesporno je da je gotovo sav kompleks stijena koji izgrađuju krški reljef Hercegovine sedimentnog karaktera. Upravo je sedimentni tip stijena ključan u paleontologiji i paleontološkom pogledu na geološku građu nekog područja.

Tako, gledajući makropaleontologiju krednih karbonata u Hercegovini, vapnenaca i dolomita kao i međutipova, vidimo da je ona poprilično jednolika jer je sačinjava ustaljen i ne tako raznolik fosilni sadržaj predstavljen gotovo isključivo školjkašima (rudistima), vrlo rijetkim puževima, i posve rijetkim drugim oblicima makrofosila kao što su koralji, briozoi, spužve ili tek u iznimnim slučajevima kralješnjaci i makroflora.

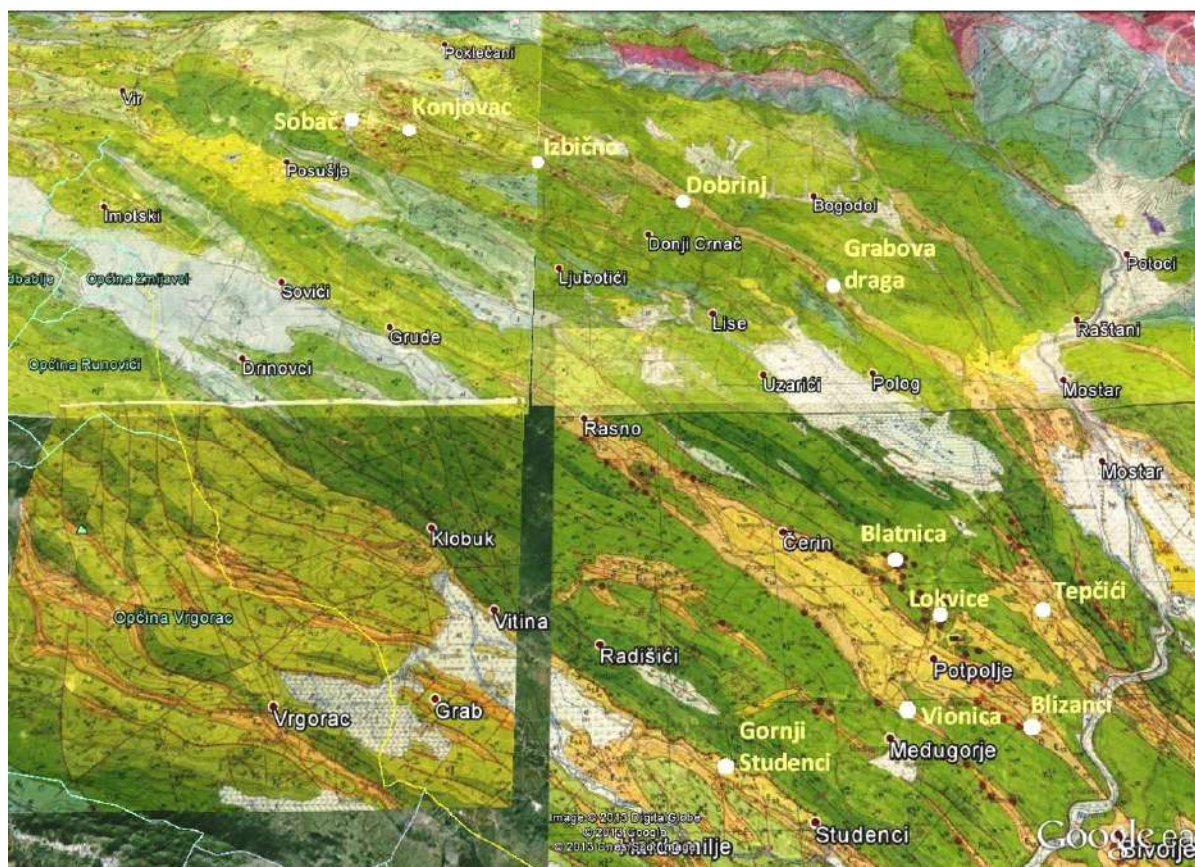
Nadalje, u smislu atraktivnosti, dimenzija, očuvanosti i obilnosti makrofosila, vidimo kako su takvi fosili iz krednih, pak najčešćih, sedimenata u Hercegovini vrlo rijetki čija se najznačajnija nalazišta mogu pobrojati na prste jedne ruke. No, gledajući sedimente eocenske starosti u Hercegovini – priča je sasvim drugačija.

Glavni čimbenik u ovom eocenskom makropaleontološkom blagu predstavljaju klastični tipovi sedimenata koji su se na puno mjesta u literaturi i na kartama, nepravilno označavali kao 'fliš' ili kao 'Promina' jer je riječ o većinom plitkovodnim fosiliferim laporovitim vapnencima, laporima i pješčenjacima prilično drugačijih kako paleoekoloških tako i biostratigrafskih osobina od fliških i prominskih naslaga.

U ovakvim klastičnim fosilonosnim eocenskim sedimentima na širem prostoru zapadne Hercegovine, koji često čine krovinu brojnim boksitnim ležištima, u zadnje vrijeme je otkriveno pravo bogatstvo novih, rijetkih i atraktivnih makrofosila pri čemu su pojedini lokaliteti i fosili bili davno prepoznati a danas gotovo zaboravljeni, dok su pojedini fosili kao i lokaliteti po prvi put prepoznati na ovim prostorima. Samo početni ili preliminarni uvid u karakter svih ovih fosila lako daje naslutiti njihov ogroman i iznimno vrijedan značaj kako u znanstvenom geološko-paleontološkom smislu tako i u turističkom tj. geoturističkom pogledu.

U nastavku rada kao najreprezentativniji ovakvi fosiliferi lokaliteti, prikazati će se nekoliko lokaliteta na području zapadne Hercegovine – lokaliteti Grabova Draga, Dobrinj i Izbično na sjevernom dijelu općine Široki Brijeg, lokaliteti Blatnica, Lokvice, Tepčići, Blizanci i Vionica na širem prostoru općine Čitluk, lokalitet Gornji Studenci u jugoistočnom dijelu općine Ljubuški, te lokaliteti Konjovac i Sobač na sjeveroistočnom dijelu općine Posušje.

## 2. Fosiliferni lokaliteti



Slika 1. Položaj reprezentativnih lokaliteta na geološkoj karti (GoogleEarth + OGK SFRJ, 1:100 000, listovi Metković , Mostar, Ploče i Imotski ).

### 2.1. Područje općine Čitluk (lokaliteti Blatnica, Lokvice, Tepčići, Blizanci i Vionica)

**Lokalitet Blatnica** u paleontološkom smislu predstavlja pravi paleontološki park u kojem se na vrlo maloj površini osim eocenskih mogu pronaći gornjokredni kao i miocenski makrofosili. Ipak, eocenski klastiti, koji su kao krovinske naslage otkriveni u nekoliko lijepih otvorenih profila zaostalih u 3 površinska napuštena kopa boksita, predstavljaju kao malo gdje u regiji na jednom mjestu sačuvanu fosilnu zajednicu s kopnenom makroflorom, raznolikim oštrigama, koraljnim grebenom, ježincima te raznim drugim školjkašima i puževima. Unutar ove makrofosilne zajednice posebno se može izdvojiti pronađeni primjerak 'divovske' školjke iz familije oštriga ili kamenica (Ostreidae) vjerojatno rod *Crassostrea* s rekordnim dimenzijama okamenjeno-kristalizirane ljuštore oko 80X60 cm što je čini jednom od najvećih dosada otkrivenih oštriga na svijetu (sl.2). Uz ovu oštrigu nađena i još jedna oštriga odprilike upola manjih dimenzija, dok se u žućkasto-smeđkastim pješčenjacima zajedno s brojnim i raznolikim koraljima nalaze mnogobrojne manje fosilizirane ljuštore oštriga koje su listasto slijepljene i umetnute između koralja. Koraljna fauna na ovom lokalitetu se odlikuje izrazitom raznolikošću s prepoznatih najmanje 15-ak vrsta kolonijalnih i solitarnih oblika, pri čemu je posve izvjesno postojanje nekih endemičnih i novih vrsta. Uz ovu fosilnu faunu, jednu zaista iznenađujuću posebnost čine leće pločastog crvenkastog pješčenjaka, umetnute između slojeva s koraljima i mekušcima, koje obiluju fosilima listova kopnenih, priobalnih biljaka najvjerojatnije eukalptusa, cimetovaca, lovora, tropskih smokava, komptonija, konifera, te drugih grmova i stabala (sl.2).

Nadalje, uz sve ove fosilonosne litotipove u lateralnom, povremeno i vertikalnom slijedu, pojavljuju se i bjelkastosivkasti masivno-gomoljasti vapnenci s obiljem ježinaca ili dijelova njihovih čahura. U lateralnom nastavku navedeni eocenski klastiti na ovom lokalitetu prelaze u laporovito-pješčenjačke serije s raznolikom faunom sitnijih manje atraktivnijih infaunalnih mekušaca.





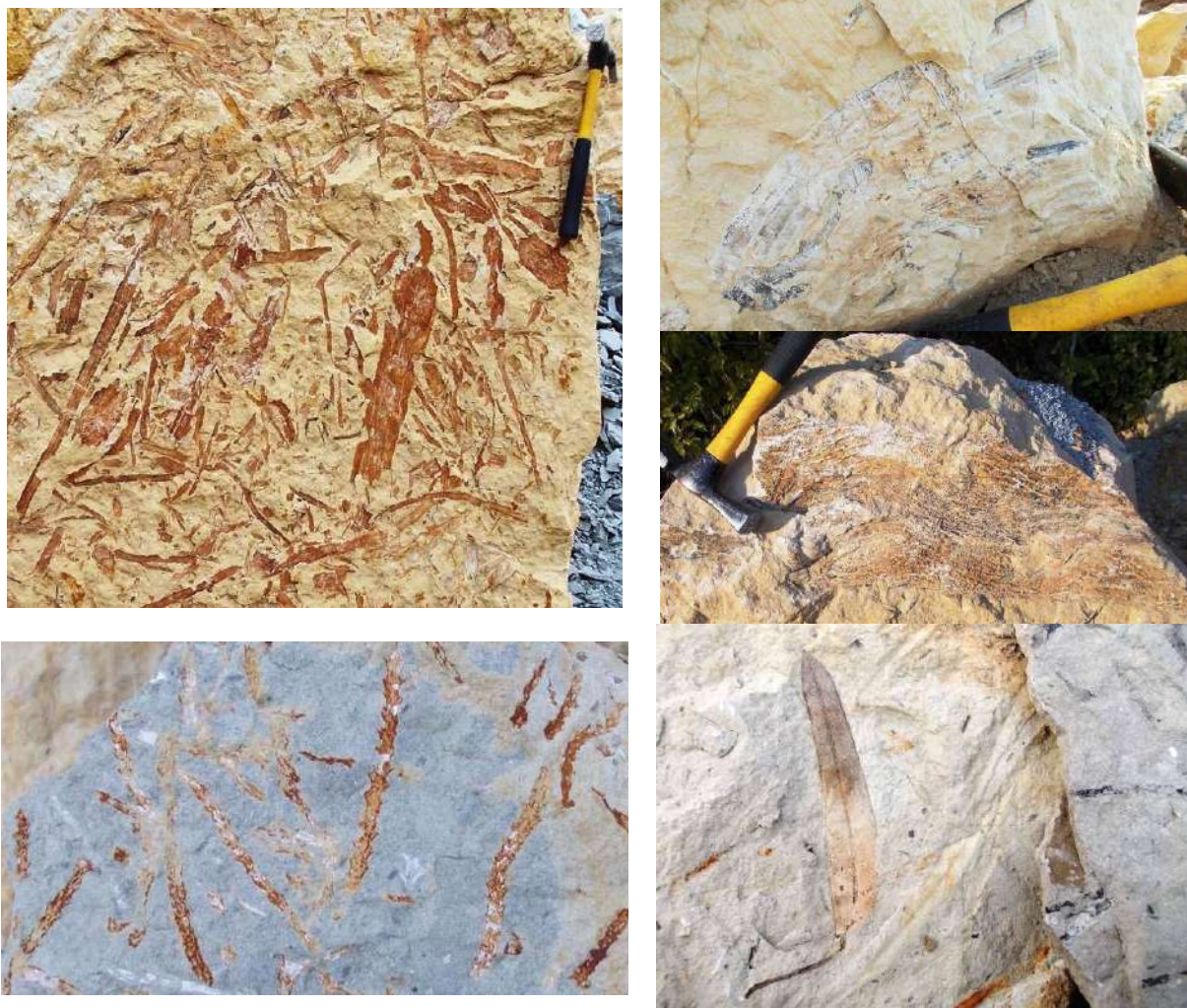
Slika 2. Reprezentativni fosili s lokaliteta Blatnica; gore lijevo-jedna od najvećih oštriga na svijetu, gore desno-fosili kopnene makroflоре, sredina – neki od kolonijalnih koralja, dolje – dio zajednice mekušaca i koralja.

**Lokalitet Lokvice**, u pogledu dosadašnje cjelokupno otkrivene fosilne makroflоре iz eocena u Hercegovini, je itekako poseban lokalitet. Ovdje je prisutan površinski napušteni kop boksita s, na prvi pogled ne tako interesantnim, eocenskim klastitima u krovini ležišta. Tako su krovinski eocenski klastiti ovdje građeni od modrih, žućkasto-crvenkastih do svjetložućkastih uslojenih pješčenjaka koji u prvi mah s gotovo nezamjetljivom makrofaunom asociiraju na fliš, sve dok se ne počnu 'odškriljavat' navedeni tankouslojeni dijelovi crvenkasto-žućkastih klastita.

Detaljnijim takvim 'snimanjem' navedenih slojeva otkriveno je pravo bogatstvo fosilne makroflоре različitih kopnenih biljaka pri čemu su otkriveni veliki komadi tvrdog žućkastog pješčenjaka s, poput kakvog crteža, oslikanim tj. otisnutim komadima granja i dijelova stabljika od mangrove vegetacije uključujući i dijelove stabljika nipa palmi.

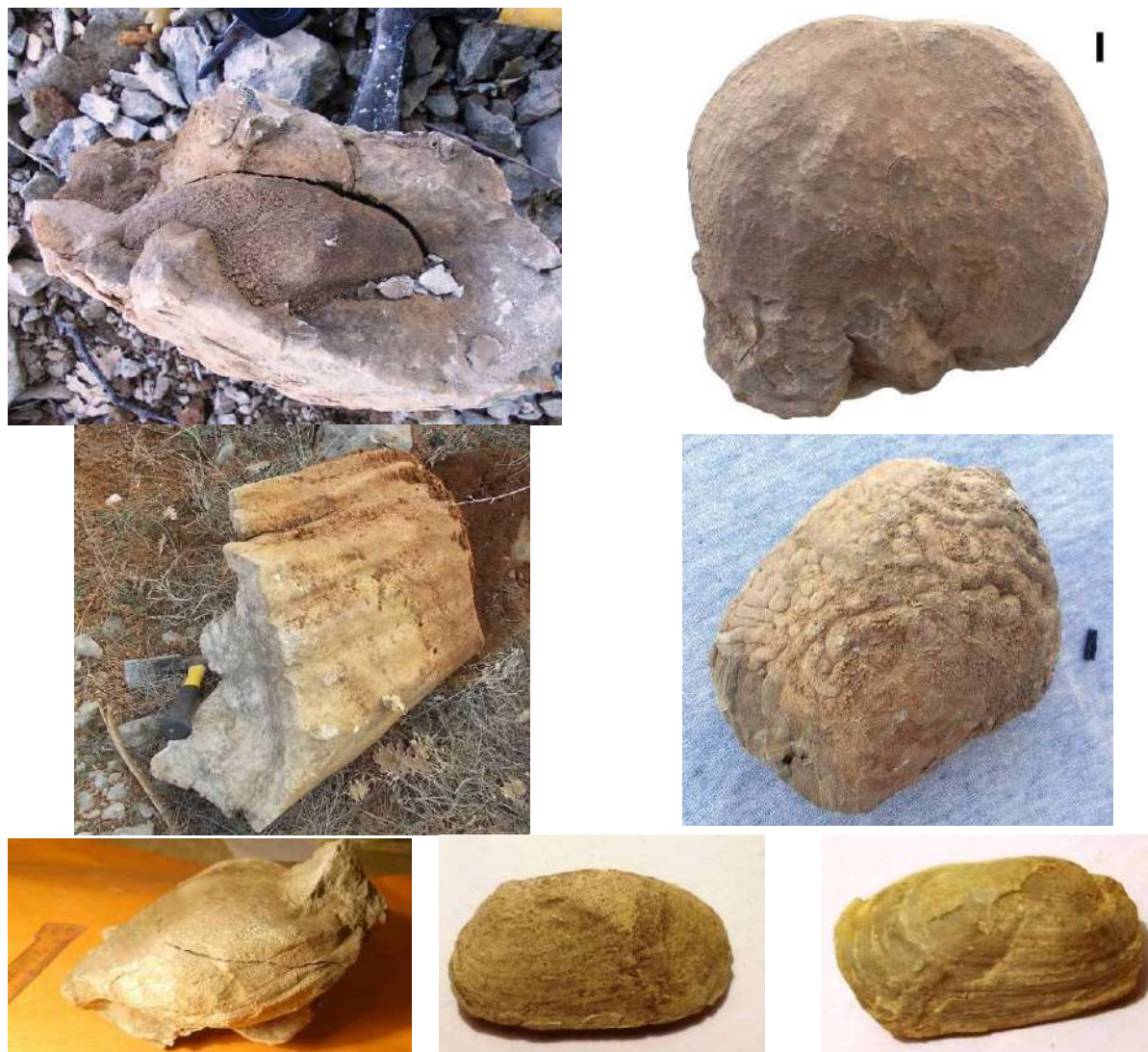
Daljnjoj paleontološkoj atraktivnosti ovog lokaliteta ide u prilog to kako su otisci dendroflоре mangrovih biljaka samo jedan dio cjelokupne makrofloralne zajednice sačuvane u ovim slojevima, pri čemu je unutar slojeva kao i na samim slojevima ostalih dijelova pjeskovite-pelitne serije otkriven cijeli spektar priobalnih biljaka uključujući mangrove biljke iz zone plime i oseke, različite druge oblike palmi, grmlja i ostalih stabala iz nešto veće visinske zone kao i mnogobrojne fosilne listiće konifere roda *Actinostrobus*, eukaliptusa te drugih oblika konifera iz zone koja odgovara višem visinskom nivou za razliku od ranije navedenih biljaka.





Slika 3. Vrh lijevo – veliki komad sloja s obiljem fino očuvanih otisaka mangrova (nipe+ostalo) s vidljivim teksturama kore, vrh desno – dio palminih listova, sredina desno – otisak vjerojatno stabla konifere aktinostrobusa s vidljivom teksturom kore, dolje lijevo – listići tzv.močvarnog čempresa aktinostrobusa, dolje desno – fini otisak lista vrlo sličan današnjim eukalptusima.

**Lokalitet Tepčići** s pravom može nositi epitet plodonosno fosiliferno nalazište eocenske makroflora. Posebnost i svojevrsnu jedinstvenost ovog lokaliteta krasi činjenica da je na njemu na vrlo maloj površini unutar srednjeeocenskih glinovito-laporovitih sedimentata otkriveno pravo obilje vrlo dobro očuvanih plodova mangrove palme *Nypa* što je prava paleontološka rijetkost u ovom dijelu Europe. Sami fosili plodova karakterizirani su prevladavajućim udjelom potpuno zrelih velikih plodova okruglasto ovalnog oblika, pri čemu znatan broj plodova ima očuvan središnji dio plodnog ovoja tzv.mezokarp s jasno prepoznatljivim uzdužnim strijama tipičnim za plodove nipe. Karakteristike ovakve očuvanosti, dimenzija kao i brojnosti odnosno obilja fosila plodova nipe dopuštaju komparaciju ovog nalazišta s jednim od najpoznatijih svjetskih nalazišta fosila plodova nipe – tzv.Londonskom glinom (London Clay) u Engleskoj. Osim brojnih plodova nipe, u istom sedimentnom kompleksu na ovom lokalitetu pronađeni su rekristalizirani komadi ili dijelovi neodređenih stabala s mjestimično vidljivim linijama prirasta – godovima. Nadalje, uz ovu jedinstvenu makrofloru, ovdje uz plodove nipe u istim glinovitim laporima pojavljuju se brakično-fluvijalni školjkaši roda *Trapezium* koji su prema preliminarnim uvidima posve jedinstveni i endemični u eocenskim sedimentima šireg prostora vanjskih Dinarida.



Slika 4. Vrh lijevo – jedan od velikih okruglastih plodova nipe u trenutku samog pronalaska, vrh desno – isti plod nakon odvajanja iz stijene i čišćenja, sredina lijevo – fosilizirani (rekristalizirani) komad dijela nekog priobalnog stabla, sredina desno – veći plod nipe s mrežastim kanalićima tipičnog bušača drveta – školjkaša *Teredo*, dno lijevo – jedan od većih plodova nipe s tipičnim oblikom, dno sredina i desno – endemični brakični školjkaši roda *Trapezium*.

**Lokaliteti Blizanci i Vionica** prema dosadašnjem otkrivenom fosilnom materijalu predstavljaju u paleogeografskom smislu lokalitete povezane s prethodno opisanim lokalitetom Tepčići, na kojima se javljaju također endemični oblici eocenskih mekušaca pri čemu se ovaj put radi o brakičnim puževima roda *Faunus*. Detaljnijom komparacijom ovih puževa jasno se zamijećuje poprilično dobra očuvanost kao i specifični oblik, u dijelovima početna dva zavoja, kakav nije zamijećen kod drugih vrsta ovog roda pri čemu je stoga izvjesna mogućnost da je riječ o endemičnim oblicima tj. novim vrstama unutar tetiske eocenske faune mekušaca. Sve ove prepoznate litofacijsne i biofacijsne odlike na ova dva lokaliteta omogućuju vrlo čvrstu pretpostavku kako se nekadašnja eocenska prarijeka ulijevala u širi morski veoma razveden prostor s brojnim lagunama, s tokom od sjevera prema jugu



Slika 5. Vrh lijevo i sredina – endemični puževi roda *Faunus* s lokaliteta Vionica, vrh desno i dno lijevo – puževi roda *Faunus* s lokaliteta Blizanci, dno desno – gastropodni laporoviti vapnenac s obiljem faunusa i drugih mekušaca s lokaliteta Vionica.

## 2.2. Područje općine Ljubuški (lokalitet Gornji Studenci)

**Lokalitet Gornji Studenci** predstavlja u općenitom geološkom smislu izuzetno atraktivan lokalitet sa spojem hidrogeoloških, strukturno-geoloških te paleontoloških osobitosti prisutnih na ovom mjestu. Hidrogeološke i strukturno geološke osobitosti su međusobno vrlo povezano s glavnom vizualno-geološkom karakteristikom izdužene i markantne reljefne stepenice visoke oko 70-ak metara tzv. Klobučke navlake koja je u biti jedan veliki i dugi reversni rasjed u kojem su gornjokredni vapnenci izgurani iznad srednjeeocenskih klastita koji su pak uz sami kontakt točno na ovom lokalitetu ostali u vidu lijepog profila s nagibom slojeva i do 70°. Hidrogeološka osobitost očituje se u tom kako uz ovaj kontakt vodopropusnih gornjokrednih vapnenaca s vodonepropusnim eocenskim klastitima u cijeloj dužini ovog rasjeda pojavljuju se mjestimično i jači izvori tj. vrela. Jedno takvo stalno vrelo kratke riječice Studenčice nalazi se upravo na ovom lokalitetu točno unutar eocenskih klastita predstavljenih velikim ravnim i strmo nagnutim slojevima žućkastih pješčenjaka i lapora u kojima se mogu pronaći različiti marinski makrofosili. Upravo, ovi makrofosili koji su tek preliminarno prikupljeni i analizirani ukazuju na vrijedan

paleontološki segment ovog dijela ljubuške općine. Unutar prikupljenih ili zapaženih makrofosila zamijetljivo je prisustvo pravih marinskih mekušaca, zatim ježinaca, oštriga ali isto tako i otisaka različitog bilja pri čemu bi se moglo raditi i o kopnenoj priobalnoj (otočnoj) vegetaciji. Ovaj samo mali dio dosada uočenih makrofosila bez sumnje ukazuju na potencijalnost i daljnju potrebu paleontoloških istraživanja ovog lokaliteta.



Slika 6. Vrh lijevo – pogled na markantni reversni rasjed tzv. Klobučku navlaku s gornjokrednim vapnencima na vrhu i srednjeeocenskim strmim slojevima fosilifernih klastita, vrh desno – skulpturirani otisak školjke roda *Cardium*, dno lijevo – izgled eocenskih klastita izbliza, dno sredina – fini skulpturirani otisak puža ceritija, dno desno – fosiliferni lapor s obiljem velikih foraminifera – numulita, solitarnih koralja, te drugih mekušaca.

### 2.3. Područje općine Široki Brijeg (lokaliteti Grabova draga, Dobrinj i Izbično)

**Lokalitet Grabova draga** u paleontološkom smislu predstavlja možda i najposebniji lokalitet, odnosno eocensko nalazište fosila, ne samo na ovim prostorima već i u široj regiji. Ovome doprinosi činjenica da se u srednjeeocenskim vapnovitim klastitima, koji se pojavljuju u 2 istaknutija profila u jednoj jako uskoj dinaridski izduženoj zoni, nalaze jedinstveni i vrlo atraktivni makrofosili. U pogledu atraktivnosti, ali isto tako i rijetkosti javljanja na širem prostoru, u prvom redu se ističu fosili ogromnih glavonožaca redom većih od 30 cm pri čemu ih je zasad snimljeno 8 primjeraka s određenim rodovima *Deltoidonautilus* i *Cimomia*. Uz ove ogromne nautilide, koji su između ostalog očuvani većinom s okaminama cjelovitih 'kućica' dužine i do 40 cm, vrlo posebite fosile predstavljaju fosili morskih rakova – dekapoda ili rakovica, koji prema svim dosadašnjim objavljenim istraživanjima predstavljaju jedine fosile ove skupine životinja u BiH. Usporedbom anatomskih osobina daje se naslutiti kako je u najvećem broju sakupljenih primjeraka dekapoda riječ o vrsti *Harpactoxanthopsis quadrilobatus* – vrste

koja se inače pojavljuje još i u eocenu sjeverne Italije te sjeveroistočne Španjolske. Da eocenski makrofosili s ovog lokaliteta predstavljaju jednu vrlo posebnu i endemičnu paleozajednicu dokazuje i to kako se samo u ovim slojevima, gdje se javljaju ogromni nautilidi i rakovice, pojavljuje mnoštvo dobro očuvanih brahiopoda terebratulida relativno velikih dimenzija i do 5 cm kao i brojni mali kuglasti ježinci. A da ni ovi fosili nisu jedini posebni eocenski fosili na ovom lokalitetu, govori i to da su tek nešto lateralno istočnije u istoj sedimentnoj seriji otkrivene oblikom i pojavom također jedinstvene brojne relativno veće oštrige iz familije Gryphaeidae.



Slika 7. Posloženi dio jedinstvenih i atraktivnih eocenskih fosila iz Grabove drage. Najveći fosili u vrhu su glavonošci-nautilidi rodovi *Cimomia* i *Deltoidonautilus*, u sredini ispod nautilida su velike oštrige roda *Pycnodonte* (*Gryphaea*), ispod oštriga su fosilne rakovice, dok prema dnu slike slijede brojni brahiopodi (terebratulidi) ispod kojih slijede ježinci, nešto rijedi puževi i školjke te na dnu foraminifere numuliti.

**2.4. Lokalitet Dobrinj** predstavlja sjeverozapadni lateralni nastavak litofacijsno iste gore opisane eocenske zone iz Grabove drage. Tek u par navrata posjetama ovom lokalitetu

zamijećene su fosiliferne zone pri čemu se posebice ističe pojava žućkastih pjeskovitih izdanaka bogatih sa školjkama roda *Cardita*, solitarnim koraljima, ježincima kao i nekim specifičnim puževima. Posve sigurno jest kako ovaj lokalitet već na osnovu preliminarnih uvida predstavlja vrlo potencijalnu paleontološku destinaciju pogotovo stoga što je ovdje izdužena zona srednjeeocenskih klastita dosta proširena i deblja u odnosu na Grabovu dragu i pružanje ove zone dalje na jugoistoku.



Slika 8. Pogled na reprezentativne fosile iz Dobrinja; vrh lijevo – obilje velikih foraminifera numulita, vrh desno – relativno veći puž u trenutku pronalaska, dno lijevo – jedan kružni, vjerojatno pravilni ježinac, dno desno – primjerci solitarnih koralja.

**Lokalitet Izbično** smješten je na krajnjem sjeverozapadnom dijelu općine Široki Brijeg, a u paleontološkom smislu predstavlja istočni krak gotovo jednake srednjeeocenske fosiliferne biohermalne zone na lokalitetima Sobač i Konjovac u općini Posušje. Ono što lokalitet Izbično čini vrlo specifičnim i na određen način atraktivnim jest to što je lociran na samom vrhu planine Bili brig na oko 1100 m.n.m. kao tektonska uzdignuta krpa ili erozijski zaostala jedna površinom mala ali izrazito fosiliferna zona srednjeeocenskih laporovitih vapnenaca. U ovim eocenskim vapnencima, koji se na prvi pogled slabo razlikuju od većine gornjokrednih vapnenaca u okruženju, dolazi obilata marinska fosilna fauna predstavljena brojnim dobro očuvanim relativno velikim puževima vrste *Velates schmidelianus*, *Campanile lachensis*, *Miltha prominensis*, zatim rodovima *Miltha*, *Cerithium*, *Natica*, *Turritella*, *Strombus*, različitim ježincima kao i raznim atraktivnim kolonijalnim i solitarnim koraljima. Daljnja paleontološka ispitivanja ovog lokaliteta bez sumnje će upotpuniti paleontološku vrijednost i atraktivnost u pogledu prirodne baštine ovog dijela širokobriješke općine.



Slika 9. Lijevo – tipičan izvanjski izgled fosilifernog eocenskog vapnenca s obiljem različitih molusaka, desno – neki primjerci makrofosila nađeni na lokalitetu.



Slika 10. Atraktivni pogled s fosilifernog lokaliteta Bili brig (Izbično) prema jugu i vidljivom poluotoku Pelješcu kao i brdima oko ušća Neretve u Dalmaciji.

## 2.5. Područje općine Posušje (lokaliteti Sobač i Konjovac)

**Lokaliteti Sobač i Konjovac** predstavljaju geografski vrlo bliske, te paleontološki vrlo slične lokalitete sjeveroistočno od Posušja podno južnih strana planine Mratnjače. Ovdje je riječ o jednoj vrlo masivnoj i debeloj zoni srednjeeocenskih klastita koji su doslovce 'krcati' primjercima raznolikih i atraktivnih makrofosila. Ono što je još vrlo zanimljivo jest to da na području istočno od Sobača sve do Konjovca i dalje prema istoku ovi fosiliferi sedimenti mjestimično izgrađuju čitava brda ili uzvišenja. Da je riječ o jednim od najbogatijih nalazišta eocenskih fosila na prostoru čitave regije i ovog dijela Europe govori podatak da je fosilna fauna s Konjovca prepoznata, prikupljena i analizirana u paleontološkom smislu prije više od 112 god. u vrlo vrijednom radu austrougarskog geologa dr. Paula Oppenheima (OPPENHEIM, 1901). Nakon toga, u pogledu stručno paleontološkog istraživanja i objavljivanja u znanstvenim časopisima, ovaj lokalitet je bio poprilično zapostavljen. Istraživanjem boksitnih ležišta 80.ih god. prošlog stoljeća ovo područje je ipak dobilo malo više na važnosti, ali je njegovo opisivanje i geološka usmjerenost bila u prvom redu nepaleontološkog smjera. Paleontološki potencijal daljnjih istraživanja koji krije cijeli ovaj pojas od Sobača na zapadu do Konjovca na istoku je ogroman – te se u prvom redu očituje u tome da se u ovoj ogromnoj fosilifernoj zoni eocenskih klastita nalazi nebrojeno mnogo fosilnih primjeraka dobro očuvanih mekušaca i koralja predstavljenih u

prvom redu oblicima *Velates schmidelianus*, *Cerithium*, *Turritella*, *Strombus*, *Natica*, *Campanile giganteum*, *Campanile lachensis*, *Campanile sp.*, *Lucina sp.*, *Miltha sp.*, raznolikim ježincima, solitarnim i kolonijalnim koraljima, crvima, briozoima, biljem itd. Kao određene posebnosti koje uveliko doprinose atraktivnosti ovog eocenskog područja jest prisustvo raznih oblika i vrsta ogromnih puževa roda *Campanile* među kojima je pronađeno nekoliko primjeraka najvećeg ikad živućeg puža vrste *Campanile giganteum* (sl.12). Osim ovih gigantskih puževa, daljnjoj paleontološkoj potencijalnosti ovog područja doprinosi i nedavni pronalazak zuba morskog psa (sl.11), kao i fosilnih riba. Ono što je posve sigurno jest to da će ovo područje u narednom periodu iznjedruti vjerojatno još mnoge primjerke jedinstvenih i atraktivnih fosila uključujući i fosile kralježnjaka.



Slika 11. Lijevo – krške kolonijalnih koralja, sredina – zubić morskog psa, desno – školjčani vapnenac s velikim lucinama u Konjovcu.







Slika 12. Fosili iz Konjovca; vrh lijevo – kolonijalni koralji modrom tvrdom laporovitom vapnencu, vrh desno – ljušture puževa rodova *Conus* i *Campanile* u laporovitom vapnencu, sredina – gigantski puž *Campanile giganteum*, dno lijevo – kolonijalni razgranati koralj u sivom vapnencu, dno desno – škriljavi vapnenac s obiljem bijelih ljuštura puža *Velates schmidelianus*.

### 3. Implikacija na paleookoliš i geoturizam

#### 3.1. Paleokološki značaj eocenskih makrofosila zapadne Hercegovine

Svi ovdje prikazani i opisani makrofosili u geološko-paleontološkom okviru imaju izuzetan značaj kao vrlo dobri pokazatelji i indikatori vladajućeg paleookoliša u vremenu srednjeg eocena kada je se odvijalo taloženje ovih fosilifernih slojeva. Fosili na gotovo svakom od prikazanih

lokaliteta omogućuju prilično detaljnu rekonstrukciju vladajućeg paleoambijenta pri čemu se može pouzdano rekonstruirati dubina morskog dna, položaj obalske linije, litološki karakter podloge dna, salinitet, prozračnost, energija vode, tip podvodne i priobalne (kopnene) vegetacije, klima, te naravno faunalni i floralni sastav i zajednice.

Paleookoliš na lokalitetima područja općine Čitluk ima karakteristike po prvi put pokazanih sedimentacijskih i paleogeografskih uvjeta u okviru eocenskih sedimenata na prostoru Hercegovine. Tako ovdje prikazani i nedavno detaljno obrađeni eocenski makrofosili (GLAMUZINA, 2012) sigurno dokazuju egzistiranje paleookoliša razvedenog priobalja s niskim kopnenim zaleđem, brojnim uvalama, zaljevima, lagunama kao i većim i manjim ušćima rijeka uz čije su obale rasli gusti mangrovi s nipa palmama. U odnosu na ostala fosiliferna eocenska područja vanjskih Dinarida od Istre, Dalmacije, zapadne Hercegovine i okolice, ovi lokaliteti na području Čitluka pokazuju određenu, a mjestimično i znatnu endemičnost u vidu prisutnih eocenskih fosilnih zajednica i egzistirajućeg paleookoliša. Posve novu činjenicu predstavljaju lokaliteti na istočnom dijelu područja Čitluka s plodovima nipe, mangrovom i ostalom kopnenom priobalnom makroflorom, kao i raznolikim te mjestimično endemičnim brakičnim mekušcima, koji u paleogeografskom smislu omogućavaju rekonstruiranje eocenskog paleookoliša u kojem je na području središnjeg sjevernog dijela područja (Blatnica) postojao jedan mirni morski zaljev s bujnom priobalnom mjestimično kserofilnom vegetacijom, zatim ušćem male riječice sa sjeverne strane, te izmjenom pravih marinskih uvjeta normalnog saliniteta očitovanih u bogatom koraljnom grebenu i uvjeta brakičnih i lagunsko-estuarijskih vodenih prostora očitovanih u ugljevitim i makroflorističkim slojevima te brakihalnim mekušcima kao npr. oštrigama. Kako je mogao izgledati tadašnji eocenski okoliš na lokalitetu Blatnica prikazano je na slici 13. Za razliku od ovog paleookoliša u Blatnici s evidentnim pravim marinskim utjecajem (koralji, ježinci, školjkaši kame, puževi klavilitesi, serapsi itd.) paleookoliš na istočnom dijelu, u prostoru od lokaliteta Tepčići prema jugu i jugozapadu preko lokaliteta Blizanci pa sve do lokaliteta Vionica, sadržavao je jednu deltu s rijekom na svojevrsan način pretečom današnje Neretve, koja se također ulijevala u more od smjera sjevera prema jugu, sa smjerom toka slično današnjoj Neretvi, pri čemu je gornji unutrašnji dio ovog ušća bio na širem prostoru lokaliteta Tepčići gdje su rasle bujne zajednice mangrovih palmi nipa.

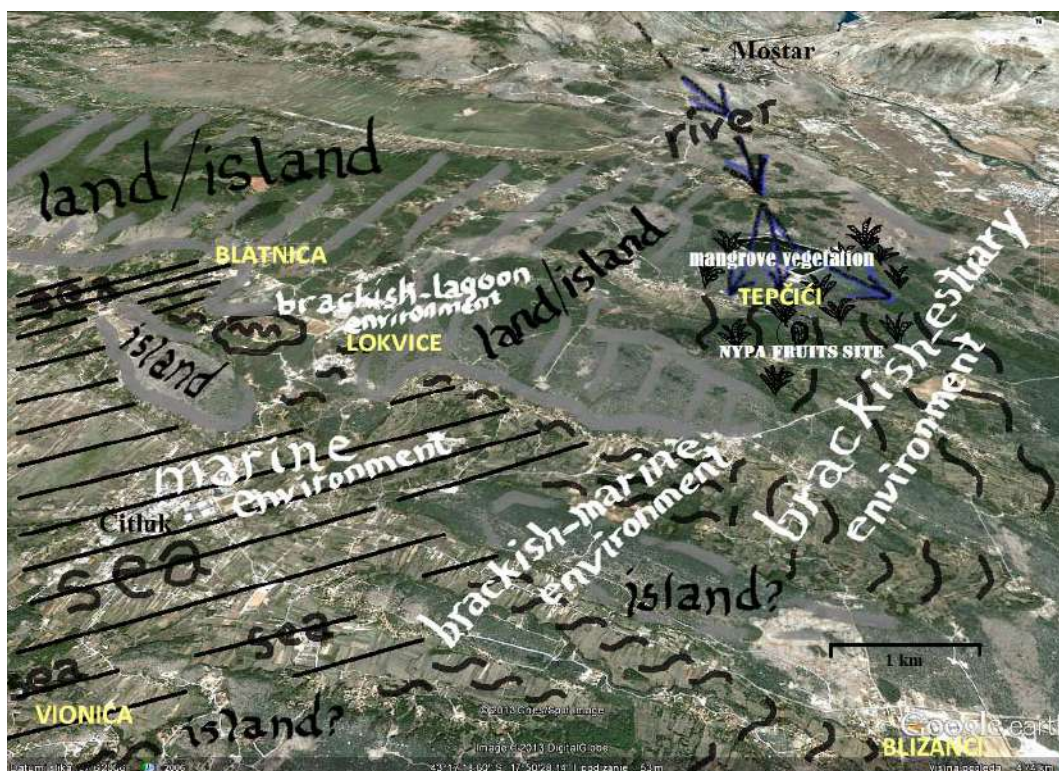
Paleookoliš na prostoru lokaliteta Gornji Studenci u općini Ljubuški, na temelju prisutnih makrofosila pokazuje da i ovdje nije riječ o dubokovodnom, dosada smatranom flišnom taložnom sistemu, već o plitkomorskom sublitoralnom okolišu koji se prostirao vjerovatno podno jednog otočnog niza koji se uzdizao sa sjevernih strana.

Paleookoliš šireg prostora lokaliteta Grabova draga prema pronađenim i dosada utvrđenim jedinstvenim makrofosilima (glavonošci, rakovice, brahiopodi, ježinci itd.) ukazuje sasvim sigurno da je ovdje tijekom najvjerojatnije donjeg dijela luteta u eocenu egzistirala otvorena morska obala s malo strmijim nagibom dna, jakom energijom vode, dobrom prozračnošću te postojanjem i blizinom obalnog lica sa sjevernih strana pri čemu je procijenjena dubina mora onih slojeva bogatih navedenim makrofosilima iznosila između 80 – 150 metara. Istovremeno ovome, na mikropodručju lokaliteta Dobrinj, morsko dno je bilo pliće te dosta bliže obalnom licu s također sličnim pravim marinskim uvjetima, što dokazuje ovdje otkrivena makrofosilna zajednica.

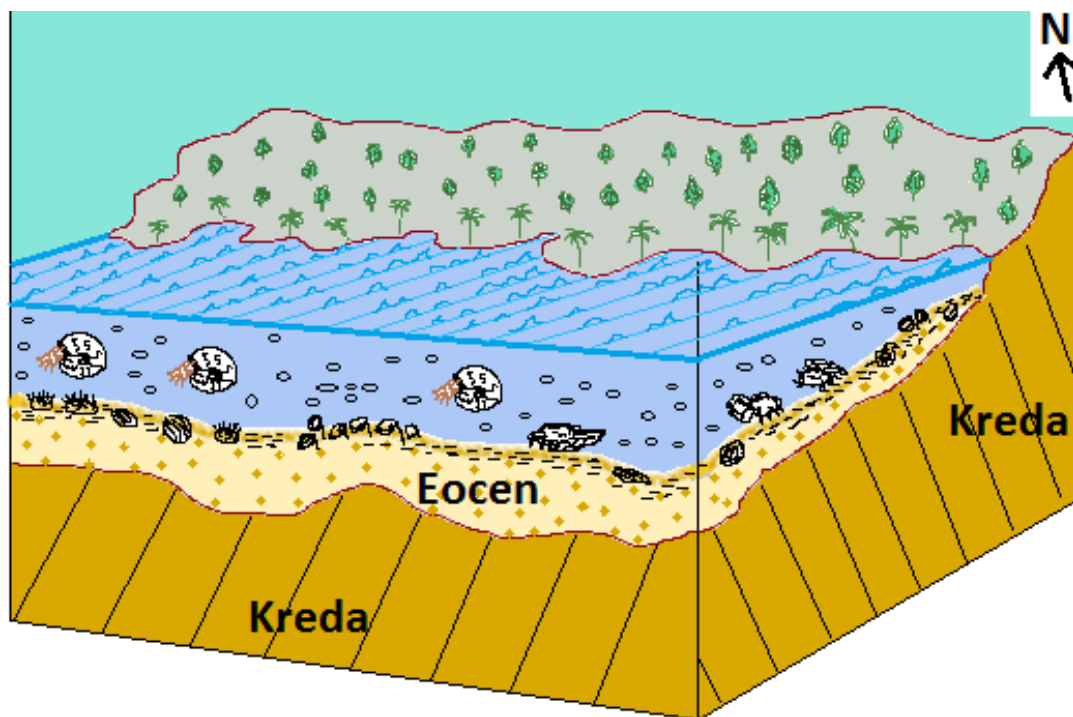
Paleokoliš šireg dinaridski izduženog prostora koji sve skupa uključuje lokalitete Izbično, Konjovac i Sobač, prema prisutnim obilnim makrofosilima, bez sumnje pokazuje postojanje jednog vrlo velikog izduženog koraljnog grebena u plitkom sublitoralu s južne strane obalne linije, koji se prostirao u pravcu navedena tri lokaliteta. U neposrednoj okolini ovih lokaliteta prisutni su lokaliteti također s obilnom fosilnom makrofaunom koja pokazuje i to da su se u cijeloj ovoj srednjeocenskoj dinaridski izduženoj zoni vrlo dobro očuvali razni fosili i fosilne zajednice kako one iz zagrebenskog tako one i iz predgrebenskog okoliša.



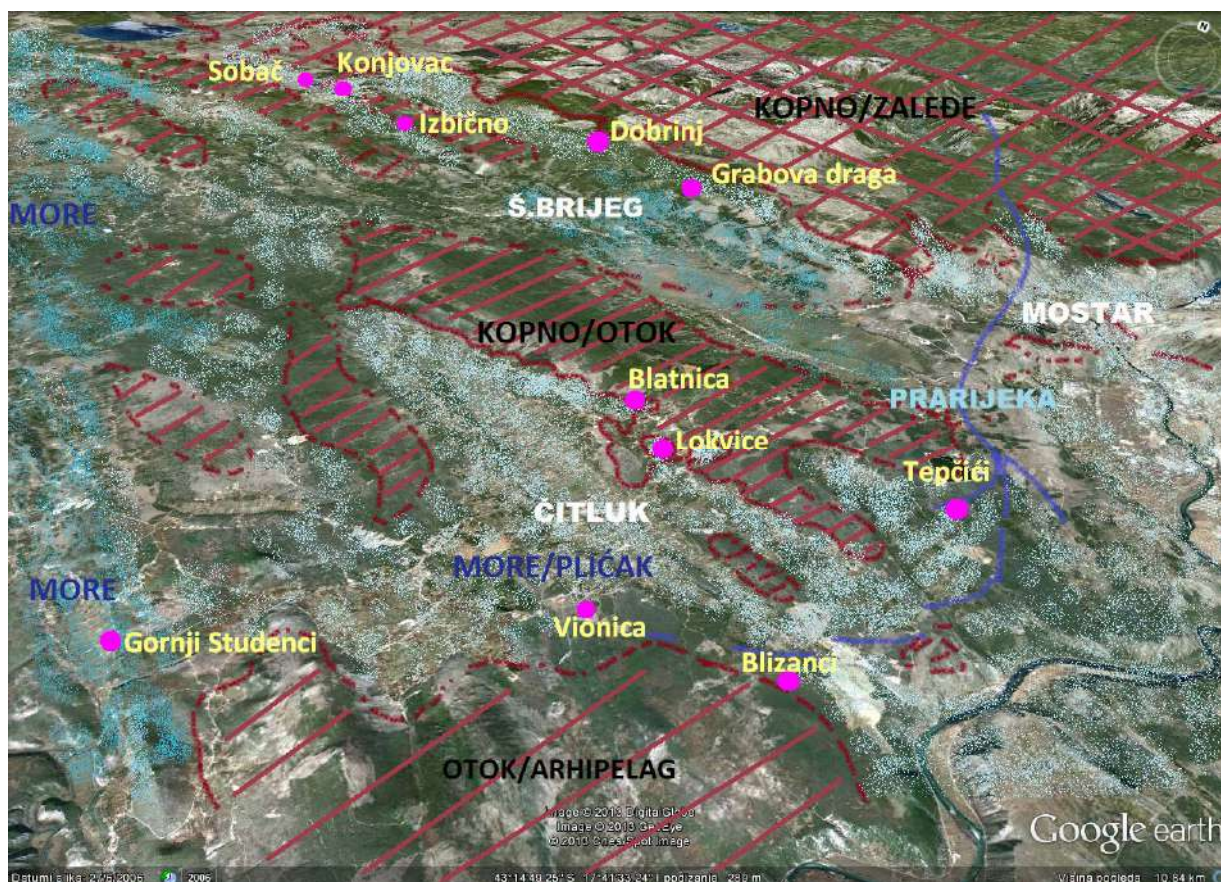
Slika 13. Rekonstrukcija eocenskog paleookoliša na lokalitetu Blatnica – pogled od juga prema sjeveru



Slika 14. Rekonstrukcija eocenskog paleookoliša područja općine Čitluk s opisanim lokalitetima.



Slika 15. Rekonstrukcija eocenskog paleookoliša na lokalitetu Grabova draga – pogled od juga prema sjeveru



Slika 16. Rekonstrukcija eocenskog paleookoliša područja cjelokupnog razmatranog prostora zapadne Hercegovine s označenim fosilifernim lokalitetima.

### 3.2. Geoturistički značaj

Pored gore opisanog paleogeografskog ili paleookolišnog značaja veći broj prikazanih fosilifernih lokaliteta zajedno s najreprezentativnijim i najatraktivnijim oblicima makrofosila, bez sumnje nose ogroman geoturistički značaj. Za uvid u geoturističku vrijednost svih opisanih lokaliteta nužno je spomenuti neke bitne karakteristike odnosno činjenice koje idu u prilog ovome. Prva činjenica koja je vezana za lokalitete na području općina Čitluk i Ljubuški jesto to da se svi lokaliteti nalaze u relativno neposrednoj blizini svetišta Međugorje kao i grada Mostara. Gledajući broj stranih posjetitelja navedenim dvjema destinacijama, postala je općepoznata činjenica da izuzev Sarajeva, ove destinacije godišnje posjeti najveći broj ljudi u odnosu na sva ostala mjesta u Bosni i Hercegovini. Ova činjenica bi se itekako mogla iskoristiti kroz što veće medijsko, literaturno i drugo osvještavanje ljudi o prisutnom prirodnom paleontološkom bogatstvu ne samo na ovdje opisanim lokalitetima već i na mnoštvo drugih lokaliteta u neposrednoj blizini Međugorja i Mostara. Poželjno bi bilo to činiti sustavno na lagani i ustrajni način kroz edukaciju, formiranje javnih zbirki i muzeja, izrađivanje suvenira od fosilifernih stijena i samih fosila, različitim promotivnim prezentacijama i skupovima, tiskanjem promotivnih brošura, časopisa, knjiga, kao i organiziranjem sajmova ili izložbi u kojem bi se na promotivno-edukativan način uključili barem oni najzanimljiviji primjerci ili oblici makrofosila s ovog prostora.

Vrlo sličan geoturistički potencijal nosi lokalitet Gornji Studenci jugoistočno od Ljubuškog, kojemu najviše pogoduje činjenica njegovog geografskog položaja u neposrednoj blizini kupališta slapova Kravice te glavnog cestovnog pravca (autocesta Vc) koji se iz smjera juga tj.rep.Hrvatske odvaja prema Međugorju i Mostaru. Ova neposredna blizina već nosi činjenicu da se ovaj lokalitet kao na dlanu vidi s autoceste Vc u vožnji preko velikog viadukta iznad rijeke Studenčice, što implicira na mogućnost i korisnost pravljenja i postavljanja promotivnog panela uz ovaj dio autoceste, koja će uskoro (2014god.) biti završena u cijeloj dužini od granice s rep.Hrvatskom kod sela Bijača pa sve do sela Zvirovići neposredno južno od Međugorja.

Opisani lokaliteti s područja općina Široki Brijeg i Posušje, nose također ogroman geoturistički značaj koji za razliku od lokaliteta u blizini Međugorja i Mostara imaju nešto drugačiji geoturistički aspekt. On se očituje više u tome kako su ovi lokaliteti na mjestima netaknute planinske prirode i to u zoni doticaja mediteranske klime s juga i planinsko kontinentalne iz unutrašnjosti. U okviru ovoga bez ikakve sumnje je to da lokalitet Konjovac s obzirom na gore opisane paleontološke karakteristike, kao i na prirodni okoliš, netaknutu prirodu, udaljenost bilo kakvih kuća i naselja, zaslužuje biti uvršten i proglašen kao paleontološki park prvog reda. U skladu s tim, poželjno bi bilo u gradu Posušju oformiti muzej u kojem bi svoje mjesto našli svi imalo atraktivniji fosili nađeni na ovim lokalitetima, koji bi osim vizualnog značaja imali i vrlo velik edukativni značaj u upoznavanju lokalnog stanovništva, i to ponajprije najmlađih naraštaja, o ogromnom paleontološkom blagu koje krije područje općine Posušje. Osim ovoga, u korist mogućeg geoturističkog vrednovanja, doprinjeo bi jedan novi zajednički dogovorni pristup različitih struka i to ponajprije geologa, rudara, građevinara, ekologa, biologa, turističkih djelatnika i sl., u svrhu izbora određenog prostora s ovim lokalitetima i ostalim prisutnim geološkim vrednotama u moguću geopark kao međunarodno visoko priznati UNESCO objekat od iznimne prirodno-geološke vrijednosti. Napretkom i oživotvorenjem ovih potencijala, automatski bi se stvorili uvjeti znanstvenog povezivanja svih zainteresiranih znanstvenika, fakulteta i institucija u smislu dolaska, posjećivanja i razmjene između ovih destinacija i onih koje bi se povezale u navedenoj svrsi. A ovakav vid geoturizma bi nosio epitet znanstvenog geoturizma što bi itekako dobro došlo i koristilo razvoju navedenih općina s opisanim vrijednim paleontološkim lokalitetima.

#### 4. Zaključak

Područje zapadne Hercegovine i to ponajviše širi prostor općine Čitluk, sjeverni dio općina Široki Brijeg i Posušje kao i jugoistočni dio općine Ljubuški, krije iznimne geološko-paleontološke lokalitete s prvorazrednim makrofosilima koji se svako malo sve više i više pokazuju kao vrlo atraktivni, jedinstveni i novi oblici unutar dosada poznatih fosila iz eocenskih formacija u široj regiji. Pronađeni, neki detaljnije, a neki djelomično analizirani, makrofosili s prikazanih lokaliteta, imaju karakteristike vizualne atraktivnosti, s pojedinim gigantskim primjercima koji spadaju među najveće svjetske ili regionalne primjerke (oštriga iz Blatnice, glavonošci iz Grabove drage, puževi kampanile iz Konjovca), zatim kao pokazatelji sasvim novih egzistirajućih paleookoliša tijekom eocena na čitavom pa i širem prostoru vanjskih Dinarida. Pojedini lokaliteti poput Tepčića, Blizanaca, Vionice i Grabove drage sadrže jedinstvene primjerke makrofosila kakvi ne dolaze nigdje drugdje u Bosni i Hercegovini. Tu spadaju plodovi mangrove palme *Nypa*, brakični puževi roda *Faunus*, gigantski glavonošci rodova *Cimomia* i *Deltoidonautilus*, te

rakovice vrste *Harpactoxanthopsis quadrilobatus* i ostali oblici rakovica iz zajednice s glavonošcima i navedenom vrstom rakovice. Na opisanim fosilifernim lokalitetima uz prisutne makrofosile pojavljuju se i drugi zanimljivi geološki geomorfološki, hidrogeološki kao i biološki prvenstveno vegetacijski, faktori koji uvelike doprinose privlačnosti svih ovih lokaliteta. Gledajući znanstveni, u prvom redu paleontološki značaj, prikazani lokaliteti najviše imaju kao vrlo dobri indikatori vladajućeg paleookoliša pri čemu se jasno mogu rekonstruirati paleogeografski izgledi okoliša tijekom eocena na svim opisanim lokalitetima, s detaljnim prikazima prisutnih paleozajednica, izgleda tj. tipa morskog dna, priobalne vegetacije, položaja obalne linije te karaktera vladajuće klime. U okviru ovoga, temeljem prisutnog i novootkrivenog fosilnog sadržaja, pokazani su dosad nepoznati tipovi eocenskih paleookoliša kao npr. mirni morski zaljevi, estuariji i lagune sjeverozapadno od Čitluka, ušće i delta rijeke s pružanjem od sjevera prema jugu na istočnom dijelu čitlučke općine, plitkomorske padine podno otočnog niza jugoistočno od Ljubuškog, otvoreno valovito i dublje more na prostoru Grabove drage i drugi primjeri. Te, na kraju, kao zadnji ali isto tako vrijedan značaj, svi opisani lokaliteti i makrofosili imaju u geoturističkom smislu. Povoljan geografski položaj u neposrednoj blizini Međugorja, Mostara, rep. Hrvatske (Dalmacije) i uskoro gotove autoceste Vc, predstavljaju činjenice koje posebice doprinose geoturističkom značaju lokaliteta na području općina Ljubuški i Čitluk. Za razliku od njih, lokaliteti s područja općine Široki Brijeg i Posušje imaju karakteristike netaknute planinske prirode u geografskoj zoni doticaja mediterana i visokog krša, što zajedno s dodatnim geološkim geomorfološkim te biološkim (vegetacijskim) interesantnim pojavama, predstavlja značajan i iskoristiv faktor u potencijalnom geoturističkom iskorištavanju područja s ovim lokalitetima.

#### LITERATURA:

- GLAMUZINA, G. (2012): Biofacijesne karakteristike srednjeg eocena područja Čitluka. Magistarski rad, 109 pp. Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Tuzla.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N. & BENČEK, Đ. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000, List Ploče. Zagreb.
- MOJIČEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000, List Mostar s Tumačem. Beograd.
- OPPENHEIM, P. (1901): Über einige altertertiäre Faunen der Österr. ungar. Monarchie (D, Über Eocanfossilien aus Istrien, Dalmatien, Bosnien und der Hercegovina). - Beitr. Palaeont. Geol. Österr.-Ungar. Orients, 13, 140-277, tab. 1-9, Wien.
- RAIĆ, V., AHAC, A. & PAPEŠ, J. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000, List Imotski. Sarajevo.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000, List Metković. Beograd.
- VRABAC, S. (2007): Paleogeografija. - Univerzitet u Tuzli, 139 str., Tuzla.
- WEB STRANICE (2013):  
<http://fosilihercegovina.blogspot.com/>  
<http://hercegovinageoarheo.blogspot.com/>

## Biostratigrafske zone donjeg badena u profilu bušotine Ui – 568/3 kod Ugljevika

SEJFUDIN VRABAC<sup>20</sup>, STJEPAN ĆORIĆ<sup>21</sup>, IZUDIN ĐULOVIĆ<sup>3</sup> & ZLATKO JEČMENICA<sup>4</sup>

### SAŽETAK

Tokom 2012 god. u ležištu uglja Ugljevik-Istok rađena je bušotina Ui-568/3. Njena konačna dubina je 161,5 m. . Iz jezgra bušotine uzeto je osam uzoraka za mikropaleontološka istraživanja foraminifera i krečnjačkog nanoplanktona. Prvih sedam uzoraka je iz intervala 7,0-18,8 m dok je osmi uzorak sa dubine 26,7 m. Na osnovu mikropaleontoloških analiza konstatovano je da klastični sedimenti u intervalu 7,0-18,8 m pripadaju donjem badenu, dok uzorak sa dubine 26,7 m pripada slatkovodnim ugljonosnim sedimentima gornjeg oligocena-donjeg miocena.

Ključne riječi: donji baden, foraminifere, krečnjački nanoplankton, Ugljevik

### SUMMARY

The borehole Ui-568/3 has been done during the 2012 year in the coal deposit of Ugljevik-East (north-east Bosnia). Its the final depth is 161,5 meters. From the core of the borehole have been taken the eight samples for micropaleontological researches of foraminifera and nannoplankton. The first seven samples are from the interval 7,0-18,8 m and the eighth is from the depth 26,7 m. On the basis of micropaleontological analyses has been defined that the clastic sediments in interval 7,0-18,8 m belonged to the lower Badenian, and the sample from depth 26,7 m belongs to the coal-bearing sediments of the upper Oligocene-lower Miocene.

Key words: lower Badenian, foraminifera, calcareous nannoplankton, Ugljevik

---

<sup>20</sup> Dr. sc., red. prof., Univerzitet u Tuzli, RGGF, [jvrabac@yahoo.com](mailto:jvrabac@yahoo.com)

<sup>21</sup> Dr. sc., Geologische Bundesanstalt Wien, [stjepan.coric@geologie.ac.at](mailto:stjepan.coric@geologie.ac.at)

<sup>3</sup> Dr. sc., docent, Univerzitet u Tuzli, RGGF, [izudin.dulovic@untz.ba](mailto:izudin.dulovic@untz.ba)

<sup>4</sup> Mr. sc., Rudnik i termoelektrana Ugljevik, [zlatko.jecmenica@gmail.com](mailto:zlatko.jecmenica@gmail.com)



## UVOD

Područje Ugljevika odavno pobuđuje pažnju geologa prije svega zbog uglja. Tako je u glavnom ugljenom sloju **Laskarev V.** (1925) definisao ostatke sisara *Antracotherium minus* CUVIER na osnovu čega je ovaj ugljeni sloj uvrstio u gornji oligocen. Identičan stratigrafski položaj glavnog ugljenog sloja odredili su **Malez M. & Thenius E.** (1985) na osnovu vrste nosoroga *Cadurcotherium rakoveci* MALEZ & THENIUS. Donjomiocenska starost ugljonosnih naslaga koje se nalaze iznad glavnog ugljenog sloja pretpostavljena je na osnovu superpozicije i paleopalnoloških spektara.

Krovinske naslage ugljonosnih sedimenata Ugljevika istraživane su mikropaleontološki počev od 1964 god. **Pantić N., Eremija M. & Petrović M.** (1964) na osnovu foraminifera iz jezgra bušotina oko Ugljevika, Tutnjevca i Bogutovog Sela izdvojili su donji, srednji i gornji baden. Donji baden je predstavljen sivim, laporovitim i pjeskovitim glinama sa zonom *Orbulina suturalis* i zonom *Planulina wuellerstorfi*. **Petrović M. et al.** (1990) u profilima bušotina okoline Ugljevika izdvajaju donji baden predstavljen klastitima i foraminiferskom zonom *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*. **Vrabac S. & Mihajlović Đ.** (1990) na profilima površinskog kopa Bogutovo Selo na osnovu foraminifera izdvajaju donji baden. Prvih 2,5 m donjeg badena čine bazalni šljunkoviti pješčari sa *Amussium cristatum badensis* (BRONN). U ovim pješčarima nađene su raznovrsne foraminifere sa dominacijom vrste *Ammonia viennensis* (d' ORBIGNY). Preko bazalnog sloja nalaze se masivni i tankoslojeviti laporci koji sadrže raznovrsnu asocijaciju fosila i pripadaju donjobadenskoj zoni *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*. Bazalni sloj donjeg badena na osnovu krečnjačkog nanoplanktona uvršten je u zonu NN5, dok ostali dio donjeg badena odgovara zoni NN6. **Savić Lj. et al.** (2005) na završnoj kosini površinskog kopa Bogutovo Selo izdvajaju donji baden predstavljen krupnozrnim klastitima, glaukonitskim pješčarima, alevritično-glinovitim laporcima, tanko laminiranim laporcima („riblji laporci“) i amfisteginsko-litotamnijskim krečnjacima. Na osnovu foraminifera sedimente donjeg badena uvrstavaju u prelazni nivo *Praorbulina – Orbulina suturalis* zone. **Mandić O. et al.** (2009) u laporcima donjeg badena analiziraju kvantitativnu zastupljenost foraminifera i izdvajaju nanoplanktonske zone NN5 i NN6. **Vrabac S. et al.** (2011) na profilu Vučjak sjeverne kosine PK Bogutovo Selo definišu donji baden i dijele ga na dvije zone. Starija zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* predstavljena je bazalnim pješčarima, a mlađu zonu *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* čine masivni laporci i litotamnijski krečnjaci. **Vrabac S.** (2011) je na osnovu analiza foraminifera iz jezgra bušotine Ui-522 izdvojio donji baden predstavljen glinovito-laporovitim sedimentima koji pripadaju zoni *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*.

S ciljem obezbjeđenja rezervi uglja za Termoelektranu Ugljevik tokom 2012 god. izbušen je veći broj bušotina među kojima je i Ui-568/3 (sl. 1). Bušotina je cijelom dužinom jezgrovana i iz tog jezgra u intervalu 7,0-26,7 m uzeto je osam uzoraka za mikropaleontološka istraživanja foraminifera i krečnjačkog nanoplanktona. Na osnovu ovih istraživanja konstatovano je da se diskordantno preko ugljonosnih naslaga nalaze sedimenti donjeg badena sa odgovarajućim zonama. Ovo je prvi profil badenskih sedimenata u području Ugljevika na kome je zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* konstatovana kako u bazalnom pješčarskom sloju tako i u krovinskim laporcima. Na ovom profilu debljina navedene zone je oko 10 m dok je na drugim lokalitetima njena debljina oko 2 m.



**Slika 1.** Lokacija bušotine Ui-568/3 sa jezgrom u sanducima

### **Stratigrafske jedinice u profilu bušotine Ui-568/3**

Na osnovu foraminifera, krečnjačkog nanoplanktona, ostrakoda i superpozicije sedimenti profila bušotine Ui-568/ raščlanjeni su na gornji oligocen-donji miocen i donji baden (sl. 2).

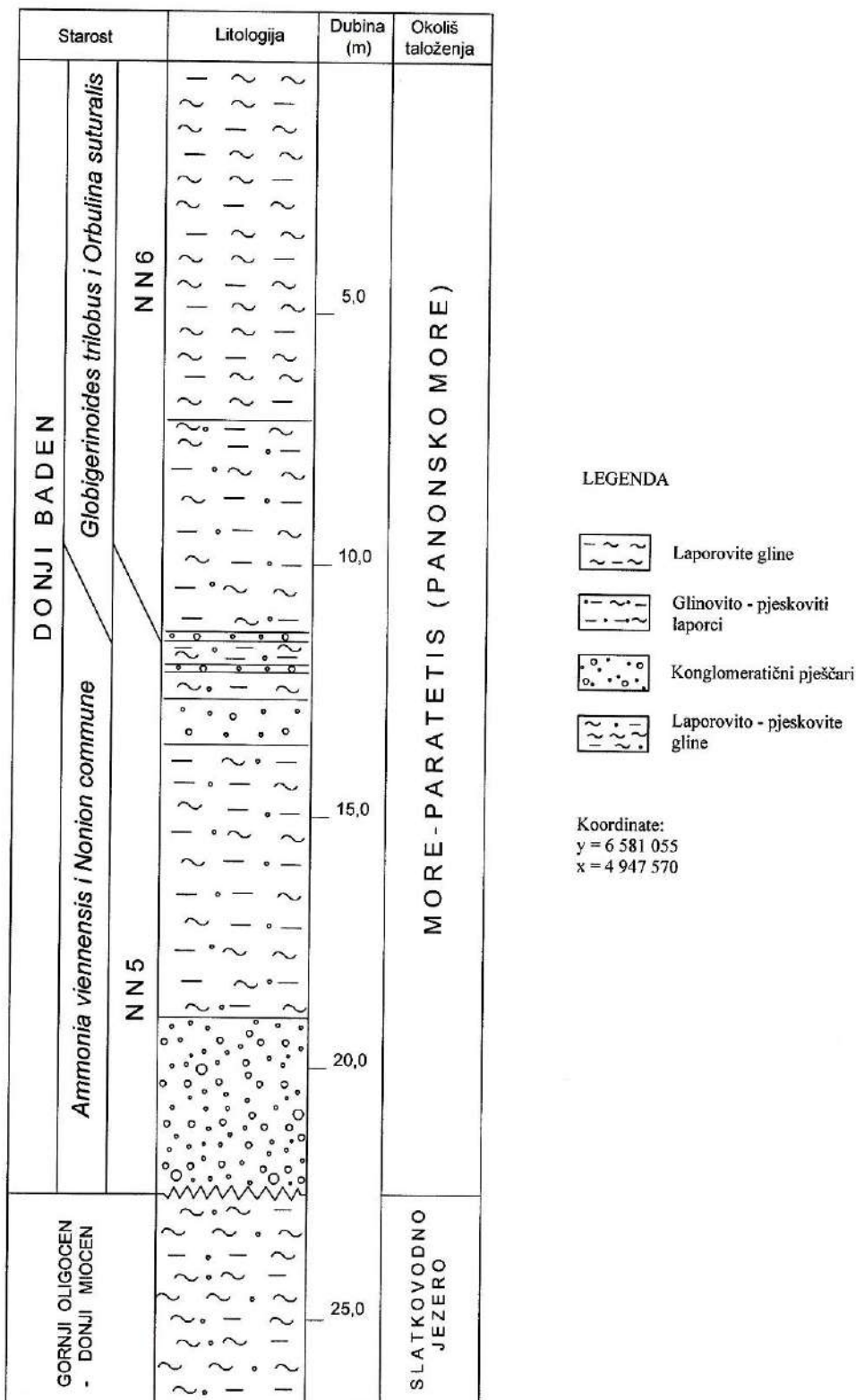
Uzorak br. 8. (26,7 m) pripada gornjem oligocenu-donjem miocenu a uzorci 7-1 (interval 18,8-7,0 m) pripadaju donjem badenu . Donji baden je raščlanjen na dvije foraminiferske i dvije nanoplanktonske zone. Starija foraminiferska zona je *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* a određena je u intervalu 18,8-11,6 m (uzorci 7-3).

Ovoj zoni odgovara nano zona *NN5*. Mlađa foraminiferska zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* definisana je u intervalu 9,6-7,0 m (uzorci 2 i 1) a njoj je ekvivalentna nano zona *NN6*. Identičnu podjelu donjeg badena na nano zone izvršio je **Mihajlović Đ.** (Vrabac S. & Mihajlović Đ., 1990) u profilu Vučjak na PK Bogutovo Selo.

Međutim, za razliku od Bogutovog Sela gdje su starija foraminiferska zona i *NN5* zona vezane isključivo za bazalni sloj donjeg badena debljine oko 2 m, u profilu bušotine Ui-568/3 ove zone obuhvataju kako bazalni sloj (šljunkoviti pješčar) tako i krovinske laporce i debljina im je oko 10 m.

Zanimljivo je da se u ležištu soli Tetima kod Tuzle zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* nalazi u neposrednoj krovini sone formacije a debljina joj je oko 70 m.

Ovdje navedenoj foraminiferskoj zoni kao i starijem dijelu (oko 100 m) mlađe foraminiferske zone donjeg badena odgovara nano zona *NN5* (**Ćorić S.**, et al., 2007).



Slika 2. Profil istražne bušotine Ui-568/3 sa biostratigrafski raščlanjenim donjim badenom u krovini ugljunosnih sedimenata

### Gornji oligocen-donji miocen

Ugljunosni sedimenti gornjeg oligocena-donjeg miocena zastupljeni su u intervalu 161,5-22,6 m. Predstavljani su klastitima sa slojevima uglja. Iz ovih sedimentata potiče uzorak br. 8 (26,7 m). Ovdje su prisutni glinoviti laporci u kojima su nađeni izuzetno rijetki, glatki kapci ostrakoda koji vjerovatno pripadaju rodu *Candona* (sl. 3).



Slika 3. Ostrakodi (? *Candona*) iz uzorka 8 (26,7 m)

### Donji baden – zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*

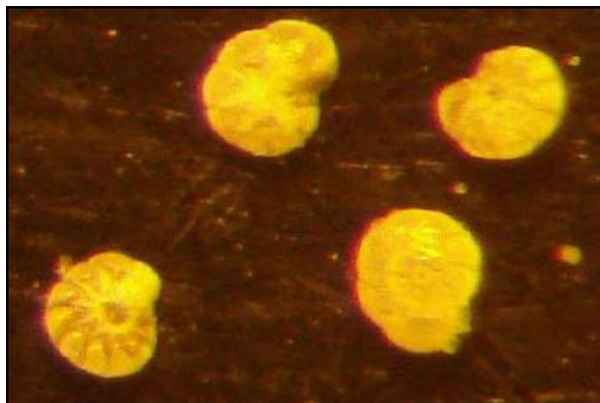
Na istraživanom profilu bušotine donji baden počinje bazalnim konglomeratičnim pješčarom (sl. 4) koji je u diskordantnom odnosu sa ugljunosnim sedimentima gornjeg oligocena-donjeg miocena. Ovaj bazalni pješčar ima debljinu oko 3,6 m (22,6-19,0 m). Prilikom bušenja u pješčaru dolazi do značajnog gubljenja jezgra što se može vidjeti na slici 4. Za razliku od Bogutovog Sela gdje bazalni pješčar obiluje fragmentima ljuštura *amusijuma*, ovdje nisu nađeni nikakvi makrofosili.



Slika 4. Jezgro bušotine sa intervalom 22,6-19,0 m u kome je bazalni pješčar donjeg badena

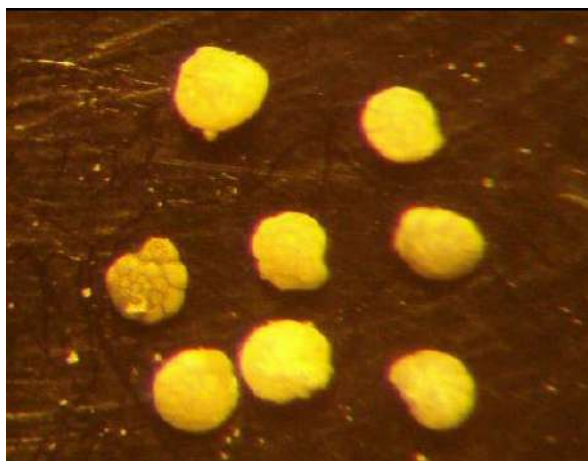
Zona *Ammonia viennensis* i *Nonion commune* dokazana je uzorcima 7-3 (18,8-11,6 m). Pored foraminifera analiziran je i krečnjački nanoplankton na osnovu koga je definisana zona NN5 (Martini, 1971). Nanoflora je veoma bogata a zonalni marker je *Sphenolithus heteromorphus* DEFLANDRE. Uzorak br. 7 (18,8 m) predstavljen je sivim, glinovito-pjeskovitim laporcem koji sadrži fragmente ugljenificiranog bilja. Foraminifere su izuzetno rijetke a nađena je isključivo *Ammonia viennensis* (d'

ORBIGNY) (sl. 5). Vrlo rijetke amonije i fragmenti ugljenificiranog bilja ukazuju da je tokom taloženja ovog dijela donjeg badena salinitet morske vode bio smanjen odnosno da je u ovom plitkom sublitoralu Paratetisa bilo priticaja slatke vode sa kopna. Na ovo upućuje i forma krečnjačkog nanoplanktona ? *Umbilicosphaera* sp..



**Slika 5.** *Ammonia viennensis* iz uzorka 7 (18,8 m)

Uzorak 6. (16,6 m) čini sivi, glinoviti laporac sa rijetkim foraminiferama predstavljenim vrstom *Ammonia viennensis* (d' ORBIGNY) (sl. 6).



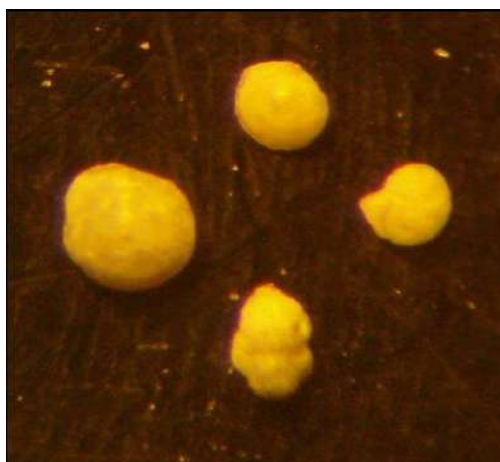
**Slika 6.** *Ammonia viennensis* iz uzorka 6 (16,6 m)

Uzorak 5. (13,5 m) predstavljen je sitno-konglomeratičnim pješčarom sa laporovitim cementom. Odlikuje se milimetarskim laminama uglja, fragmentima makrofosila i jednim kapkom školjkaša *Megaxinus* sp. dužine 46 mm (sl. 7). Foraminifere su izuzetno rijetke a definisana je vrsta *Ammonia viennensis* (d' ORBIGNY).



**Slika 7.** Kapak školjkaša *Megaxinus* sp. iz uzorka 5 (13,5 m)

Uzorak 4. (12,5 m) predstavlja sitno-konglomeratični pješćar sa laporovitim cementom. Foraminifere su izuzetno rijetke a određene su isključivo bentoske forme: *Cibicidoides* sp., *Uvigerina* sp. i *Asterigerinata planorbis* (d' ORBIGNY) (sl. 8).



**Slika 8.** Bentoske foraminifere iz uzorka 4 (12,5 m)

Uzorak 3. (11,6 m) čini sivi, sitno-konglomeratični pješćar sa laporovitim cementom. U njemu su nađeni fragmenti makrofosila i ugljenificiranog bilja. Foraminifere su relativno česte sa izrazitom dominacijom bentoskih formi . Određene su sljedeće foraminifere: *Nonion commune* (d' ORBIGNY), *Globigerinella regularis* (d' ORBIGNY), *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Asterigerinata planorbis* (d' ORBIGNY), *Bolivina dilatata dilatata* REUSS, *Hansenisca soldanii* (d' ORBIGNY), *Praeglobobulimina pupoides* (d' ORBIGNY) i *Uvigerina pygmaoides* PAPP & TURNOVSKY (sl. 9).



Slika 9. Foraminifere iz uzorka 3 (11,6 m)

#### Donji baden – zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis*

Ova zona je dokazana uzorcima 2 (9,6 m) i 1 (7,0 m). Na osnovu asocijacije krečnjačkog nanoplanktona i povećanog sadržaja roda *Calcidiscus* definisano je da sedimenti ovog dijela donjeg badena pripadaju zoni NN6 (Martini, 1971). Uzorak 2 predstavljen je sivim, pjeskovitim laporcem sa krljuštima riba i fragmentima ugljenificiranog bilja. Foraminifere su česte sa izrazitom dominacijom planktonskih formi. Određene su sljedeće foraminifere: *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerina bulloides* (d' ORBIGNY) i *Asterigerinata planorbis* (d' ORBIGNY) (sl. 10).



Slika 10. Foraminifere iz uzorka 2 (9,6 m)

Uzorak 1 (7,0 m) je smeđa, sivo prošarana, laporovita glina sa rijetkim fragmentima ugljenificiranog bilja. Foraminifere su česte sa izrazitom dominacijom planktonskih formi. Određene su: *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Orbulina suturalis* BRÖNNIMANN, *Globigerina bulloides* (d' ORBIGNY), *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN & JARVIS), *Bolivina dilatata dilatata* REUSS, *Praeglobobulimina pupoides* (d' ORBIGNY) i *Uvigerina* cf. *aculeata* d' ORBIGNY (sl. 11).



Slika 11. Foraminifere iz uzorka 1 (7,0 m)

### ZAKLJUČAK

Mikropaleontološka istraživanja realizovana su na osam uzoraka jezgra iz istražne bušotine Ui-568/3. Na osnovu mikrofosila i superpozicije definisani su slatkovodni ugljonosni sedimenti gornjeg oligocena-donjeg miocena i marinski sedimenti donjeg badena. U slatkovodnim, ugljonosnim sedimentima gornjeg oligocena-donjeg miocena na dubini 26,7 m (uzorak 8) nađeni su glatki kapci ostrakoda koji vjerovatno pripadaju rodu *Candona*. Stariji dio donjeg badena predstavljen je foraminiferskom zonom *Ammonia viennensis* i *Nonion commune*. Ova zona je ustanovljena u uzorcima 3-7 odnosno u intervalu 11,6-18,8 m. Mlađi dio donjeg badena čini foraminiferska zona *Globigerinoides trilobus* i *Orbulina suturalis* koja je određena u uzorcima 1 (7,0 m) i 2 (9,6 m). Navedene foraminiferske zone donjeg badena izdvojene su i u Tuzlanskom bazenu, a njima u Bečkom bazenu odgovara *Lagenidna* zona. Uzorci 7 (18,8 m) i 8 (26,7 m) sadrže krečnjački nanoplankton koji upućuje na brakičnu do slatkovodnu sredinu taloženja sa formom *Umbilicosphaera* sp. Ova forma može biti veoma korisna za korelaciju unutar oligocensko-miocenskih naslaga u ovome dijelu Centralnog Paratetisa. Interval 11,6 m do 18,8 m (uzorci 3-7) sadrži veoma bogatu nanofloru sa zonalnim markerom *Sphenolithus heteromorphus* DEFLANDRE dok *Helicosphaera ampliaperta* BRAMLETTE & WILCOXON nije uočena. Stoga se ovaj interval može uvrstiti u zonu NN5 (Martini, 1971). U vršnom dijelu bušotine u uzorcima 1 (7,0 m) i 2 (9,6 m). *S. heteromorphus* DEFLANDRE nije pronađen, a sedimenti sadrže povećan procent roda *Calcidiscus* te se ovaj interval može svrstati u NN6 zonu.

### L i t e r a t u r a

- Čičić S., 1964: Geološki sastav i tektonika sjeveroistočnog dijela planine Majevice s naročitim osvrtom na geološko-ekonomski značaj ležišta mrkog uglja. Posebno izdanje Geološkog glasnika, 6,1-175, Sarajevo.
- Ćorić S., Vrabac S., Ferhatbegović Z. & Đulović I., 2007: Biostratigraphy of Middle Miocene Sediments from the Tuzla Basin (North-eastern Bosnia) Based on Foraminifera and Calcareous Nannoplankton. Neogene of Central and South-Eastern Europe, 2 Inter. Works. Joannea-Geol. und Pal., 9, 21-23, Graz.
- Ječmenica Z., 2007: Jezerske ugljonosne serije Bogutova Sela, Ugljevik (SI Bosna). Zapisnici Srpskog geološkog društva, 63-67, Beograd.
- Jovanović Č., 1980: Geneza pretortonskih miocenskih sedimenata na prostoru između Drine i Une. Posebno izdanje Geološkog glasnika, 15, 1-159, Sarajevo.



- Katzer F., 1921: Die fossilen Kohlen Bosniens und der Hercegovina. 2, 1-271, Sarajevo.
- Laskarev V., 1925: Sur trouvailles des Antracotherides en Serbie et en Bosnie. Geološki anali Balk. pol., knj. VIII, 85-92, Beograd.
- Malez M. & Thenius E., 1985: Uber das vorkommen von Arynodonten (Rhinocerotidea, Mammalia) im Oligo-Miozan von Bosnien (Jugoslawien). Paleont. Jugoslavica, 34, 1-26, Zagreb.
- Mandić O., Pezelj Đ., Ćorić S., Grunert P., Vrabac S., Leeuw A. & Krijgsman W., 2009: High resolution paleoenvironmental analysis of the marine flooding in the southern Pannonian basin ( Middle Miocene NE Bosnia and Herzegovina). 13 th Congress RCMNS, Abstracts, Napoli.
- Martini E., 1971: Standard Tertiary and Quarternary calcareous nannoplankton zonation. Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma 1970. Edizioni Tectonoscienza, 2, 739-785, Roma.
- Pantić N., Eremija M. & Petrović M., 1964: Biostratigrafska analiza miocenske flore i faune iz okoline Ugljevika. Geol. glasnik, 10, Sarajevo.
- Petrović M., Eremija M. & Pantić N., 1969: Biostratigrafska analiza faune iz okoline Ugljevika. Geološki anali Balk. pol., 34, 20-43, Beograd.
- Petrović M., Eremija M. & Rundić Lj., 1990: Upporedni biostratigrafski pregled badenskog kata okoline Tuzle i Ugljevika. XII kongres geologa Jugoslavije, knj. I, 152-161, Ohrid.
- Savić Lj., Krstić N., Trofimović N., Ječmenica Z. & Jovanović G., 2005: Badenske lagune Ugljevika. Zapisnici Srpskog geološkog društva, 25-33, Beograd.
- Vrabac S., 1989: Studija – Biostratigrafska istraživanja na površinskom kopu Bogutovo Selo kod Ugljevika. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, 1-66, Tuzla.
- Vrabac S. & Mihajlović Đ., 1990: Paleontološko-biostratigrafske odlike i odnos badena i sarmata na površinskom kopu Bogutovo Selo kod Ugljevika (SI Bosna). XII kongres geologa Jugoslavije, knj. I, 312-328, Ohrid.
- Vrabac S., Cuculić V., Mulaosmanović Dž., Pavlić G. & Okuka S., 1995: Karakteristike geološke građe ugljonosnih sedimenata i uglja u rejonu Bogutovo Selo kod Ugljevika. Geološki glasnik, 33, 73-80, Sarajevo.
- Vrabac S., Ferhatbegović Z., Đulović I. & Tomić R., 2010: Facijalne i biostratigrafske karakteristike donjobadenskih sedimenata u profilu bušotine E – 160 na površinskom kopu Bogutovo Selo kod Ugljevika (SI Bosna). Zbornik radova RGGF-a (specijalno izdanje, 179-187, Tuzla.
- Vrabac S., Đulović I. & Tomić R., 2011: Paleogen i neogen na profilu Vučjak u ugljonosnom bazenu Ugljevik. IV savjetovanje geologa BiH sa međunar. učešćem, Zbornik radova, 3-12, Sarajevo.
- Vrabac S., 2011: Izvještaj o paleontološkom istraživanju uzoraka jezgra istražnih bušotina (Ui-519, Ui-520, Ui-521, Ui-522 i Ui-525) revira Ugljevik-istok. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, 1-18, Tuzla.
- Vrabac S., 2012: Izvještaj o paleontološkom istraživanju uzoraka jezgra istražnih bušotina (Ui-560/III, Ui-563/III, Ui-565/III i Ui-568/III) revira Ugljevik-istok. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, 1-18, Tuzla.

# **MINERALOGIJA-PETROLOGIJA-GEOHEMIJA**

## Petrografske odlike i nomenklatura stijena kamenoloma Ribnica kod Banovića

Mr.sc. ALISA BABAJIĆ<sup>1</sup>; Dr. sc. ZEHRA SALKIĆ<sup>2</sup>; Dr.sc. ELVIR BABAJIĆ<sup>3</sup>

### SAŽETAK

Optičkim istraživanjima u propuštenom polarizovanom svjetlu obuhvaćeno je 18 uzoraka stijena uzetih sa etaža i iz istražnih bušotina kamenoloma Ribnica kod Banovića. Rezultati istraživanja su definisali dvije grupe stijena. Prva grupa obuhvata ekstruzivne mafitne stijene: dijabaze, dolerite, spilite i prelazne stijene ka gabrima – ofitske gabrove. Mineralni sastav im je veoma sličan, sa manjim varijacijama. Sve stijene iz ove grupe su manje-više alterisane, iako se težilo da se u toku terenskih opservacija uzorkuju svježi uzorci.

Druga grupa stijena obuhvata epiklastične sedimentne stijene, nastale cementacijom različitih odlomaka mafitnih ekstruzivnih stijena, u kojima je i cement istog mineralnog sastava kao i stijenski fragmenti.

**KLJUČNE RIJEČI:** optička istraživanja, ekstruzivne mafitne stijene, epiklastični sedimenti.

### ABSTRACT

Optical research in transmitted polarized light have included analysis of 18 rock samples taken from the etages and exploration boreholes on the quarry Ribnica near Banovići. Research results have defined two groups of rocks. The first group includes extrusive mafic rocks such as: diabase, dolerite, spilite and transitional rocks to gabbro - ophitic gabbro. Mineral composition of these rocks is very similar, with minor variations. All the rocks of this group are more or less altered, although it has been intention to collect as possible fresher samples during field observations. The second group includes epiclastic sedimentary rocks formed by cementation of different extrusive mafic rock fragments, where cement has the same mineral composition as well as rock fragments.

**KEY WORDS:** optical research, extrusive mafic rocks, epiclastic sediments.

---

<sup>1</sup> Mr.sc. Alisa Babajić, v.ass., RGGF Tuzla - saradnik , alisababajic@yahoo.com, 00387 62 100 562

<sup>2</sup> Dr.sc. Zehra Salkić, vanr.prof., RGGF Tuzla

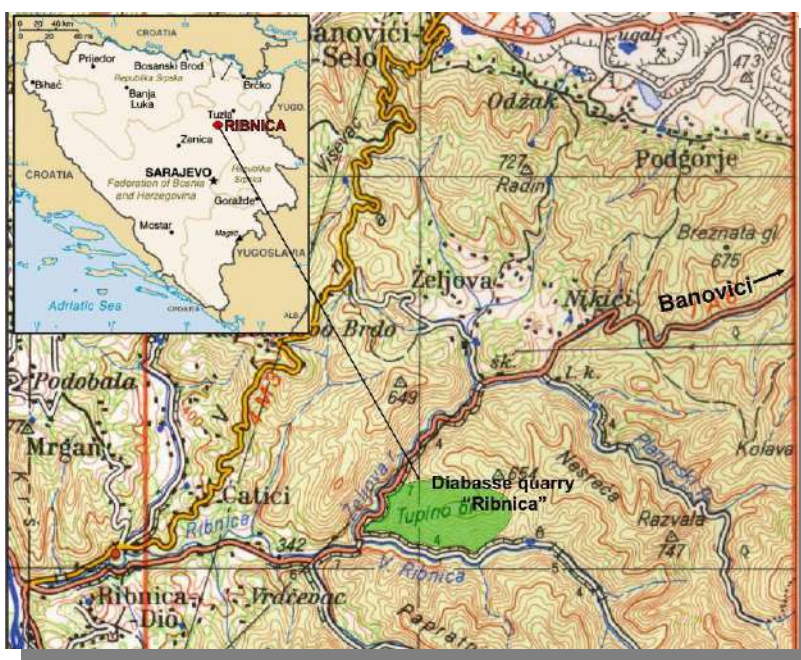
<sup>3</sup> Dr.sc. Elvir Babajić, docent, RGGF Tuzla.

## UVOD

Istraživanjima u periodu od 1997. do 2005. godine utvrđene su geološke karakteristike stijena, počevši od tektonskih, strukturno-teksturnih do fizičko-mehaničkih karakteristika dijabaza (Hrvatović, 2005). Ovaj dio masiva, odnosno ležište, izgrađeno je uglavnom od dijabaza, dolerita, metadijabaz/metadolerita, epiklastičnih sedimenata, ofitskih gabrova, rjeđe serpentinisanih lerzolita i amfibolitisanih mafitnih stijena. Akcenat istraživanja u periodu 2005-2013. godina bio je na definisanju kvalitete, te je izvršeno klasificiranje stepena raspadanja stijena, kako bi se na tržištu mogle ponuditi različite klase, za različitu namjenu. U cilju proširenja eksploatacionog polja izbušeno je 11 istražnih bušotina, sa preko 700m jezgra. Iz nabušenog materijala uzeti su uzorci za detaljna optička ispitivanja (18 uzoraka).

## 1. GEOGRAFSKE ODLIKE

Kamenolom Ribnica nalazi se južno od Banovića, u graničnom dijelu prema općini Zavidovići. Područje ima površinu preko 6 km<sup>2</sup>, pripada Dinaridskoj ofiolitnoj zoni, odnosno dijelu krivajsko - konjuškog ofiolitnog kompleksa, poznatog po pojavama dijabaza. Kamenolom je povezan asfaltnim putem, sa tržištem, preko Banovića i Zavidovića. Udaljen je od Banovića 12 km, a od Zavidovića 20 km. Pogodan je za transport proizvoda tokom cijele godine (slika 1).

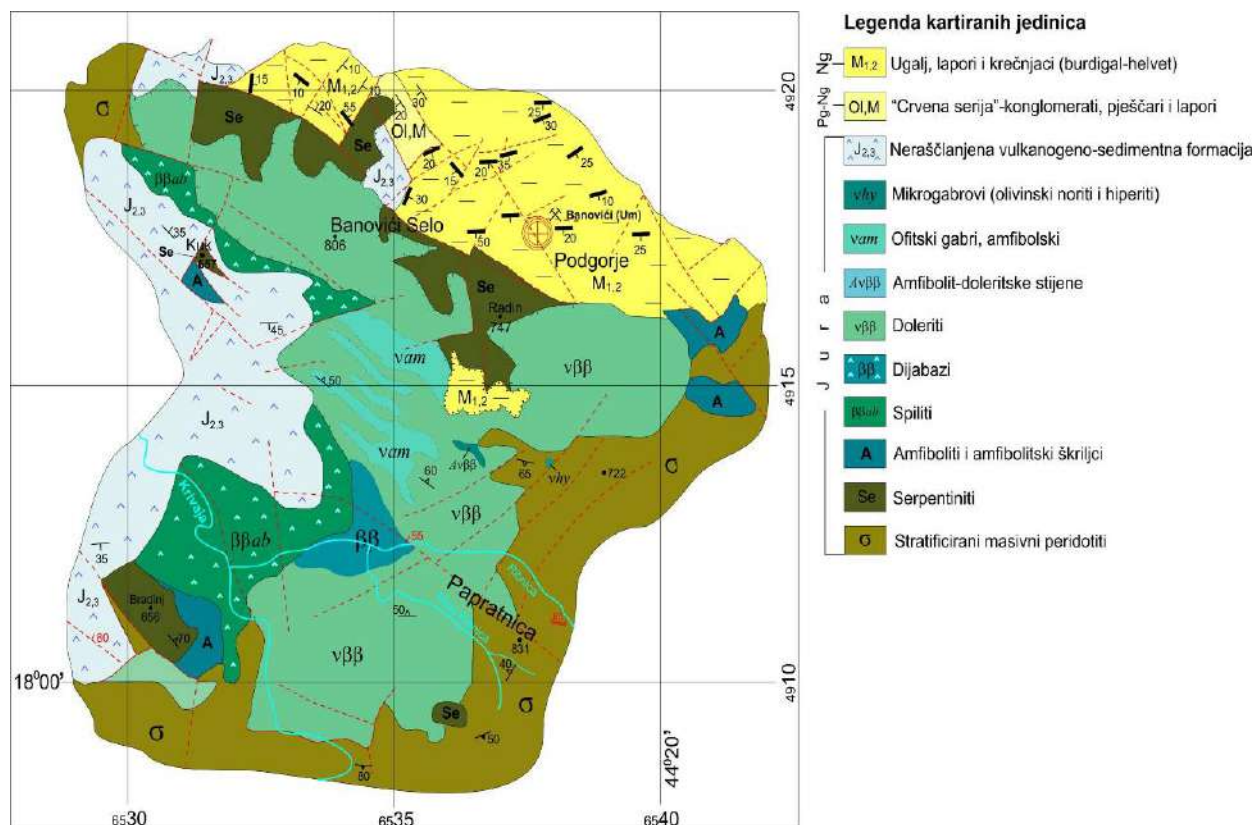


Slika 1 – Geografska pozicija kamenoloma Ribnica

## 2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Kamenolom Ribnica predstavlja manji dio masiva Krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa, jurske starosti? Najčešći litološki tip su dijabaz/doleriti. Dijabaz/doleriti se javljaju uglavnom kao masivni (dijelom brečasti) i „sheeted dike“ kompleksi. U ukupnoj stijenskoj masi u ležištu imaju učešće oko 60 % i predstavljaju osnovnu sirovinu za proizvodnju agregata za beton i asfalt. Metadijabaz/doleriti predstavljaju manji dio ležišta (do 20 %) i javljaju se uz rasjedne zone i zone

jake ispugalosti. Preostalih 20% stijena pripada ofitskim gabrima, splitima, serpentinisanim lerzolitima i epiklastičnim sedimentima, slika 2.



Slika 2 – Geološka karta šire kamenoloma Ribnica (OGK list Zavidovići)

Otvaranjem ležišta, istražno - eksploatacionim etažama, istražnim bušenjem utvrđena je postojanost ovog magmatskog tijela, kako po pružanju tako i po dubini. Na dijelovima ležišta uočavaju se zone trošnog metadijabaz/dolerita uz rasjede. Debljina tih zona je 1 - 2 m, osim u istočnom dijelu ležišta gdje može biti 5-10 m.

Geološkim kartiranjem utvrđeni su gravitacioni rasjedi pravca pružanja sjeveroistok-jugozapad, sjeverozapad-jugoistok i zapad-istok. Prilikom kretanja duž rasjednih ravni, stijene su uskriljene i trošne. Ovi gravitacioni rasjedi su ležište izdijelili u tektonske blokove nepravilnog oblika i različitih dimenzija što je uslovalo i kompleksan način eksploatacije.

U masivu je izražena pukotinska poroznost. Prihranjivanje se vrši uglavnom infiltracijom atmosferskih voda, te ove izdani imaju velike oscilacije dinamičkih rezervi.

Orijentacija pukotina je takva da omogućava brzo prodiranje oborinskih voda i njihovo dreniranje u površinske tokove - rijeku Ribnicu.

### 3. METODE ISPITIVANJA

Za određivanje mineralnog sastava, te strukturno-teksturnih karakteristika stijena izrađeni su mikroskopski preparati standardne debljine 0,02 - 0,03 mm. Pri izradi mikroskopskih preparata korištena su predmetna stakalca dimenzija 2,5 x 4,5 x 0,1 cm (Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb), a kao vezivno sredstvo i kao unutrašnji standard za indeks loma korišten je Canada balzam.

Mikroskopiranje je urađeno u polarizovanoj svjetlosti u ortoskopskim uslovima, sa i bez uključenog analizatora, pri čemu je korišten standardni mikroskopski pribor - Leica DM 2500P (Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla). Sve ispitivane stijene su i fotodokumentovane.

### 4. PETROGRAFIJA I NOMENKLATURA

Ekstruzivne mafitne stijene su klasificirane na osnovu veličine zrna i to na:

1. dijabazi (veličina zrna ispod 0,7 mm)
2. doleriti (veličina zrna u rasponu 0,7 – 1,4 mm)
3. ofitni gabri (veličina zrna preko 1,4 mm).

Navedena klasifikacija je zasnovana na veličini zrna i u osnovi je tehničke prirode. Pored ove klasifikacije koristi se i petrološka klasifikacija koja u obzir uzima mineralni sastav i stepen alteracije, predložena od strane IUGS-a iz 1973. godine.

Na osnovu ove klasifikacije mafitne ekstruzivne stijene se dijele na:

1. dijabazi (alteracijski procesi su zabilježeni na plagioklasima i piroksenima),
2. doleriti (bez alteracijskih procesa na glavnim mineralima koji ih grade) i
3. spiliti (sa izraženom albitizacijom plagioklasa).

#### 4.1. Mineralno - petrografske odlike

Makroskopskim opservacijama je ustanovljeno da su analizirane stijene tamnosive, sivoplave, sivozelene ili žućkaste (tanka alteraciona prevlaka) boje. Izgrađene su od salskih i femskih minerala koji su i makroskopski vidljivi, dok su nekim stijenama zrna sitna, do okom nevidljiva (kriptokritsalasta).

Strukturni tipovi su raznovrsni, a od teksturnih tipova najčešće se javlja homogena, mandulasta ili amigdaloidna, šlirasta i brečoidna tekstura.

Rezultati terenskih i laboratorijskih ispitivanja definisali su različite tipove stijena koji su prikazani u narednom tekstu.

Najzastupljeniji tip stijena su stijene iz grupe ekstruzivnih mafitnih stijena, odnosno to su dijabazi, doleriti, spiliti i prelazne stijene ka gabrima – ofitski gabri. Mineralni sastav im je veoma sličan, sa manjim varijacijama. Sve stijene iz ove grupe su manje-više alterisane, iako se težilo da se u toku terenskih opservacija uzorkuju svježi uzorci.

Druga grupa stijena pripada epiklastičnim sedimentnim stijenama nastalim cementacijom različitih odlomaka mafitnih ekstruzivnih stijena, u kojima je i cement istog mineralnog sastava kao i stijenski fragmenti.

#### 4.1.1. Ofitski gabri, doleriti, dijabazi i spiliti

Struktura ove grupe stijena je ofitska, porfiriska, porfirsko-ofitska, arborescentna, gabrovska i podređeno variolaritna. Tekstura im je homogena, mandulasta i šlirasta.

Mineralni sastav je prilično ujednačen u svim uzorcima: plagioklasi i klinopirokseni su glavni petrogeni minerali, a manje zastupljeni su sekundarni albit, amfibol, kalcit, kvarc, zeoliti te opaki minerali – titanit, magnetit i pirit.

U ovom slučaju nije korištena tehnička klasifikacija (bazirana na krupnoći zrna), nego je korištena petrološka klasifikacija koja dolerit tretira kao svježju stijenu, dijabaz kao alterisanu stijenu (i plagioklasi i pirokseni), a ukoliko su albitizirani plagioklasi onda je u pitanju spilit.

Konstatovano je da dijabazi znatno pretežu u odnosu na dolerite i spilitite.

*Plagioklasi* su glavni salski minerali. Izduženo su prizmatični, do pločasti. Javljuju se kao samci, mada su mnogo češći kao sraslaci dvojci. Rijetko su svježji, a u većoj mjeri su alterisani, zamučeni i ispucali. Javljuju se u dvije generacije: I - kao fenokristali, idiomorfni, lamelarne građe, često zonalni; II - kao sitni štapići osnove stijene kada se javljaju kao sraslaci - dvojci. Plagioklasi II generacije odlikuju se nižim reljefom i manjim indeksom loma.

Plagioklasi uglavnom odgovaraju seriji labrador-andezin, mada neki imaju povišen sadržaj An i pripadaju bitovnitu. Neki plagioklasi imaju niske An vrijednosti te pripadaju seriji albit-oligoklas (*Babajić E., 2009*).

*Albit* se javlja uglavnom u jače alterisanim stijenama (spilitima). Nastao je na račun alteracije plagioklasa. Albitizacija je najčešće zahvatila samo dijelove plagioklasa. Najčešće je albitizacija napredovala od ruba zrna ka centru. Takođe se javlja kao pseudomorfoza po plagioklasima ili tvori zasebne žilice homogenih i svježih zrna. U albitu se često susreću uklopci sekundarnih minerala kao hlorita, epidota, coisita, kalcita, kvarca, opala.

*Pirokseni* su predstavljeni klinopiroksenima, odnosno augitom i u manjoj mjeri diopsodom. Augit se javlja kao alotriomorfan, a rjeđe hipidiomorfan i prizmatičan. Česta je pojava člankovito-perastih mineralnih formi. Obično ispunjava prostor između plagioklasa. Rijetko je svjež, uglavnom uralitisan i manjoj mjeri hloritisan. Od sličnoga diopsida razlikuje se po većem uglu potamnjenja i izraženijim interferentnim bojama.

Od *amfibola* najčešći su sekundarni tremolit-aktinolit, te hornblenda (magnezihornblenda?). Sekundarni amfiboli su produkt alteracije klinopiroksena-augita. Intenzitet alteracije je različit i uglavnom su zahvaćeni samo rubovi augitskih zrna ili pukotine.

*Sekundarni* minerali su uglavnom zastupljeni u pukotinama i u prostoru između zrna. Nastali su na račun alteracije primarnih petrogenih minerala, predstavljaju sekundarne agregate i pojavljuju se kao nakupine ili ispunjavaju žilice ili ispunjavaju mandule. Identificirani su slijedeći sekundarni minerali: hlorit, epidot, coisit, prehnit, kaolinit, zeoliti, kalcit i kvarc.

Najčešći opaki minerali su ilmeniti, zatim spineli, magnetit i titanit (*Babajić E., 2009*).

Nomenklatura stijena na kamenlomu Ribnica - Banovići data je na temelju kvantitativnog udjela primarnih minerala, a koristeći IUGS (1973) klasifikaciju stijena, te je prikazana u tabeli 1.

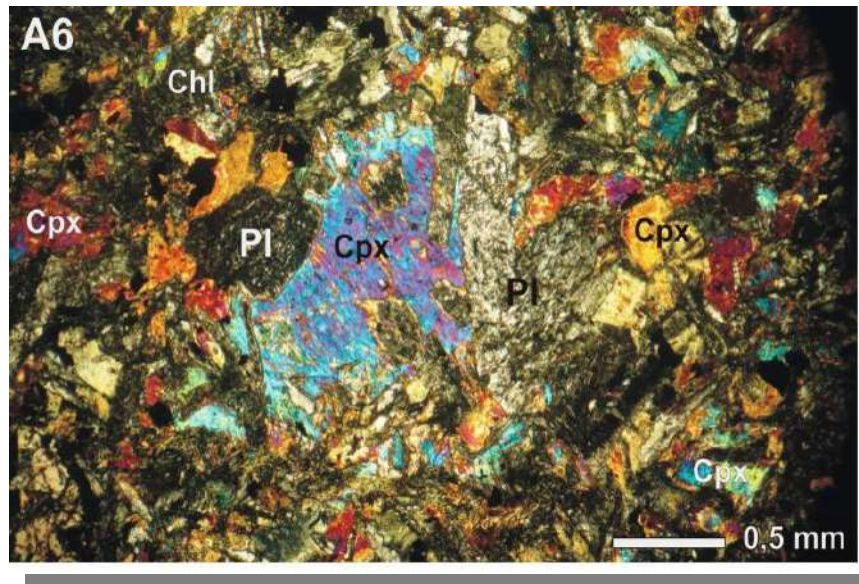
**Tabela 1:** Klasifikacija analiziranih stijena na temelju mikrofiziografskih karakteristika i semikvantitativnog udjela fenokristala.

| uzorak              | varijetet stijene    | mineralni sastav                      |
|---------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Ekstruzivne stijene |                      |                                       |
| A-1                 | spilit               | Ab, Pl, Cpx, Ilm, Act, Chl, Kln       |
| A-2                 | spilit               | Ab, Pl, Cpx, Ilm, Chl, Kln            |
| A-3                 | dijabaz              | Pl, Cpx, Ilm, Mt, Chl                 |
| A-5                 | metadijabaz          | Pl, Cpx, Ilm, Kln, Chl, Tlc           |
| A-6                 | gabro, ofitski       | Pl, Cpx, Mt, Ilm, Chl, Kln            |
| A-8                 | spilit               | Ab, Pl, Cpx, Mt, Ilm, Chl             |
| A-14                | hornblenda gabro     | Pl, Hbl, Cpx, Mt                      |
| A-15                | metagabro            | Pl, Cpx, Mt (Kln, Chl, Tlc)           |
| A-17                | metadijabaz          | Pl, Cpx, Ilm, (Chl, Kln)              |
| A-18                | metadijabaz          | Pl, Cpx, Ilm (Chl, Kln, Tlc)          |
| A-19                | dijabaz              | Pl, Cpx, Ilm, (Chl, Tlc)              |
| A-24                | metagabro            | Pl, Cpx, Mt (Kln, Chl, Tlc, Coi, Epi) |
| A-25                | dolerit              | Pl, Cpx, Ilm, (Chl, Kln)              |
| A-26                | dolerit              | Pl, Cpx, Ilm, (Chl, Kln)              |
| A-28                | dijabaz/ofitni gabro | Pl, Cpx, Mgt, Ilm (Chl)               |
| A-30                | dolerit              | Pl, Cpx, Ilm, (Chl, Tlc)              |

Skraćenice: Pl-plagioklas, Cpx – klinopiroksen, Opx – ortopiroksen, Ab – albit, Hbl – hornblenda, Act – aktinolit, So – sosirit, Kln – kaolinit, Lim – limonit, Chl – hlorit, Ilm – ilmenit, Mt – magnetit, Tlc – talk, Coi – coisit, Epi – epidot.

Na mikrofotografijama (3 – 9) prikazani su strukturno-teksturni elementi i minerali koji učestvuju u građi ispitivanih stijena.

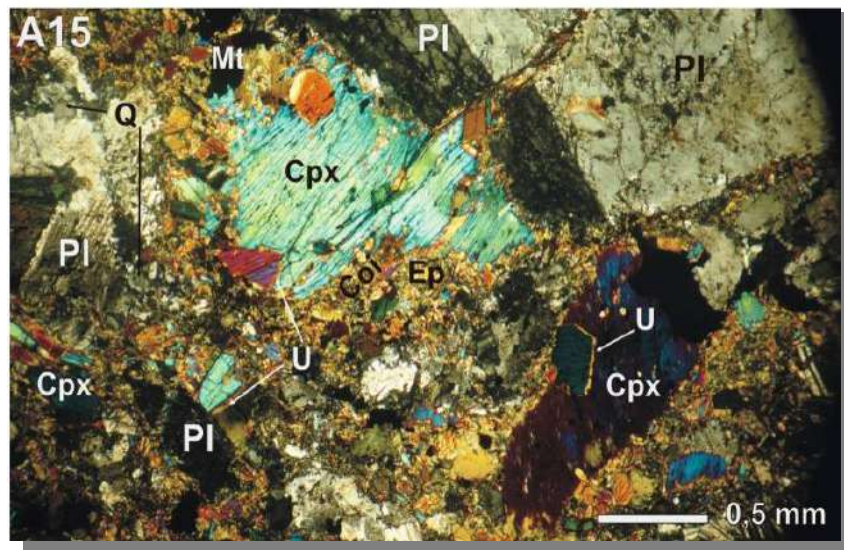




Slika 3. Mikrofotografija ofitskog gabra (A6)

Ofitski gabro (A6): umjereno alterisan, fenokristali klinopiroksena pripadaju augitu, zrna augita su ispućala i po rubovima uralitisana; plagioklasi su mutni, albitisani i sosiritisani. Navedena stijena se odlikuje ofitskom strukturom sa prelazom u gabrovsku. N+.

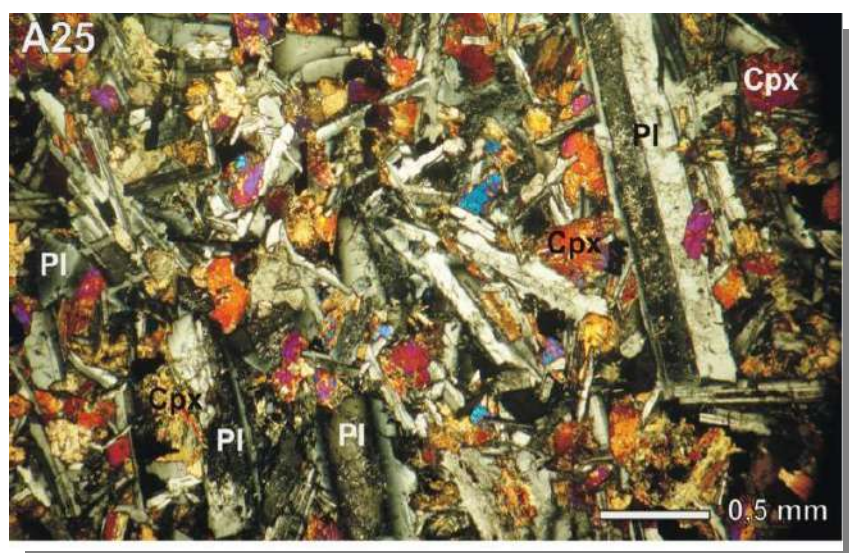
Skraćenice: Pl – plagioklasi; Cpx – klinopiroksen, U – uralit, Q – kvarc, Coi – coizit, Ep – epidot, Mt – magnetit.



Slika 4. Mikrofotografija metagabra (A15)

Meatagabro (A15): stijena je izložena intenzivnijoj alteraciji, bitni minerali su plagioklasi (javljaju se kao fenokristali, zamućeni su i ispućali) i klinopirokseni (diopsid ili augit, sa povinutim lamelama i uralitom po rubovima). Prostor između zrna je zapunjen sekundarnim kvarcom, sitnozrnim epidotom i coizitom, a od opakih minerala najčešći je magnetit. Struktura je gabrovska. N+.

Skraćenice: Pl – plagioklasi; Cpx – klinopiroksen, U – uralit, Q – kvarc, Coi – coizit, Ep – epidot, Mt – magnetit.

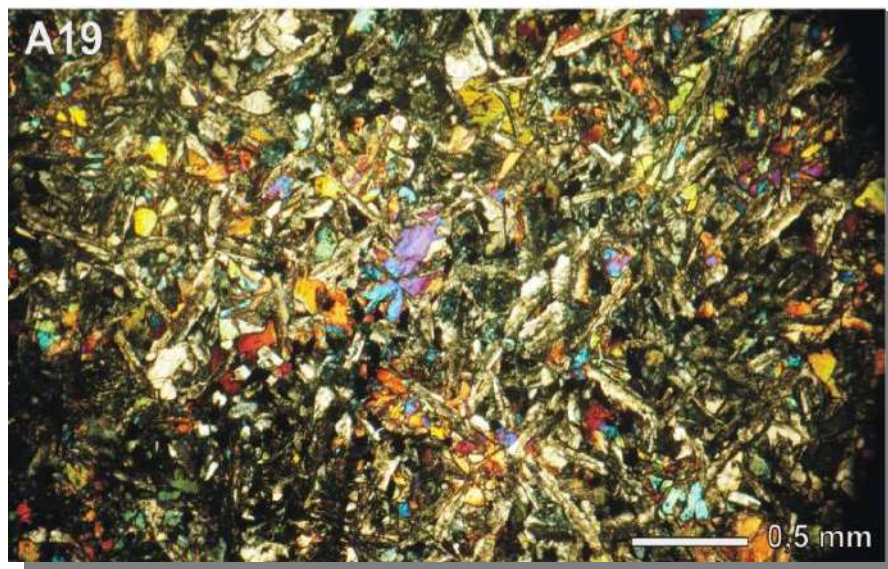


Slika 5. Mikrofotografija dolerita (A25)

Glavni petrogeni minerali kod dolerite (A25) su plagioklasi i klinopirokseni. Plagioklasi su ispucali, djelimično albitisani i sosiritisani (po rubovima i kroz pukotine). Uočavaju se dvije generacije plagioklasa: fenokristali (pločasti) i plagioklasi II generacije koji su naknadno iskristalisali.

Klinopirokseni su predstavljeni augitom jakih interferencionih boja, zdrobljenim i ispucalim, uglavnom zapunjavaju prostor između dominantnih plagioklasa. Najčešći opaki mineral je ilmenit, dok se rjeđe javlja magnetit. Kao strukturni tip dominira klasična ofitska struktura, sa mjestimičnim blagim prelazom u gabrovsku. N+.

*Skraćenice:* Pl – plagioklasi; Cpx – klinopiroksen, U – uralit, Q – kvarc, Coi – coizit, Ep – epidot, Mt – magnetit.



Slika 6. Mikrofotografija dijabaza (A19)

Glavni petrogeni minerali su plagioklasi i klinopirokseni. Plagioklasi su prizmatično izduženi, djelimično albitisani (po rubovima i kroz pukotine), nasumice su razbacani ispreplteni. Prostor između njih je ispunjen augitom prizmatičnih i člankovito-perastih formi. Pored albita, kao sekundarni mineral, često se

javlja hlorit nasto na račun alteracije glavnih petrogenih minerala. Najčešći opaki mineral je ilmenit, dok se rjeđe javlja magnetit. U odnosu na dolerite zapaža se promjena u veličini zrna, dijabazi su sitnozrniji. Struktura je ofitska, odnosno dijabazna. N+.



Slika 7. Mikrofotografija spilita (A8)

Spiliti (A8) se odlikuju „spilitnom“ mineralogijom. Glavni petrogeni minerali i ovdje su plagioklasi i klinopirokseni. Plagioklasi se javljaju kao igličasti sa jakim alteracionim izmjenama u albit. Neka zrna su u potpunosti albitisana. Klinopirokseni – augiti se javljaju kao člankovito-perasti i zdrobljeni. Uslijed jake alteracije česta je pojava sekundarnih minerala: hlorita, kalcita, kvarca i rjeđe zeolita. Hlorit je nastao na račun alteracije primarnih petrogenih minerala, dok kalcit zapunjava vezikule. Struktura spilita je uglavnom ofitska, sa karaktersitičnom amigdaloidnom, odnosno mandulastom teksturom. N+. *Skrćenice:* Pl – plagioklasi; Cpx – klinopiroksen, Cal - kalcit, Chl - hlorit.

#### 4.1.2. Epiklastični sedimenti

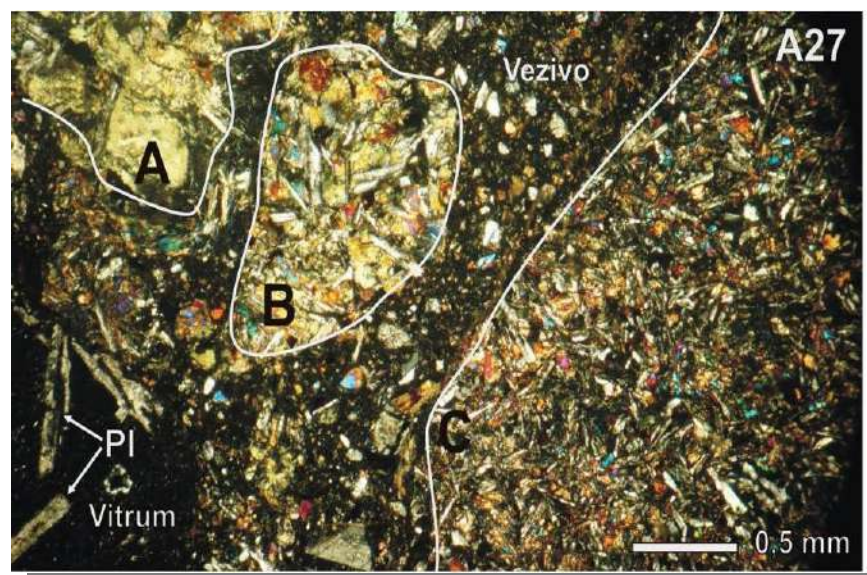
U građi epiklastičnih sedimenata (uzorci A27 i A29) učestvuju litoklasti (litični fragmenti ili fragmenti vulkanskih stijena), kristaloklasti (najčešće oštrobriđni i uglasti kristali pojedinih minerala) i vitroklasti (odlomci vulkanskog stakla) koji svi zajedno predstavljaju epiklaste.

Epiklasti su nastali kao produkt trošenja i erozije starijih vulkanskih stijena. Ovaj tip stijena je predstavljen uglavnom vulkanskim brečama.

U vulkanskim brečama se susreću pojedinačna mineralna zrna kao i nezaobljeni fragmenti mafitnih stijena, tj. česta je pojava enklava raznih tipova mafitnih stijena (dolerita, dijabaza, spilita, podređeno gabra). Ovi sedimenti se odlikuju slabom sortiranošću i nedovoljno su očvršli. Matriks u ovim stijenama je takođe vulkanskog porijekla i u nekim slučajevima preferira ka staklu. Opća im je odlika prisustvo većeg broja litoklasta sličnih strukturnih varijeteta, sa karakterističnim oscilacijama u veličini zrna.

**Tabela 2:** Klasifikacija epiklastičnih sedimentnih stijena analiziranih stijena na kamenolomu Ribnica na temelju mikrofiziografskih karakteristika i semikvantitativnog udjela fenokristala.

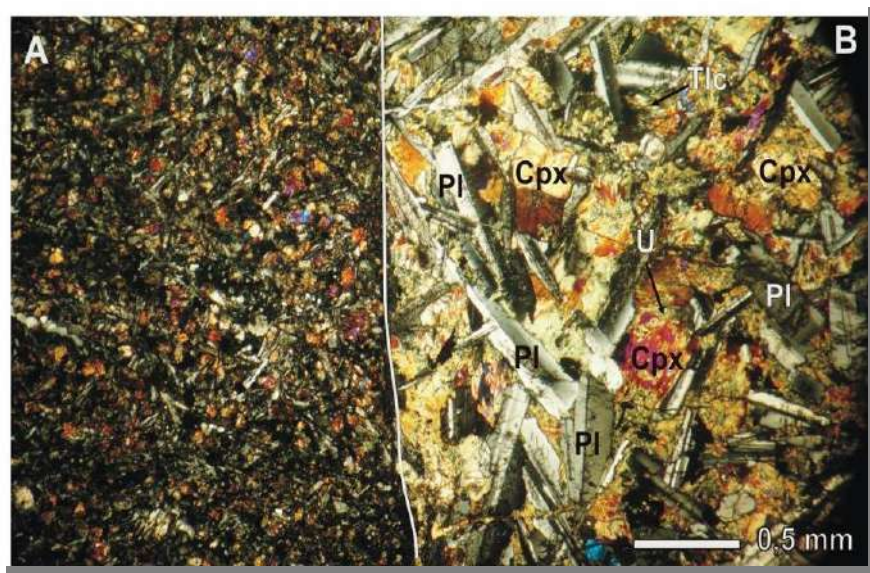
| Epiklastični sedimenti |  |                  |  |
|------------------------|--|------------------|--|
| A27                    | Ribnica, kamenolom, bušotina D4 - 66,3 m | breča, vulkanska | Mineralni sastav identičan ekstruzivnim stijenama. Litoklasti, kristaloklasti i vitroklasti potiču od istovjetnoga materijala. |
| A29                    | Ribnica, kamenolom, bušotina B1 - 14,9 m | breča, vulkanska | Stepen alteracije litoklasta i kristaloklasta je različit, sekundarni minerali su dosta zastupljeni.                           |



**Slika 8.** Mikrofotografija (A27) vulkanske breče (bušotina D4 - 66,3 m).

Mineralni sastav veziva, odlomaka mafitnih stijena, kao i pojedinačni klasti vode porijeklo od istovjetnog materijala, A - kristaloklast albitiziranog palgioklasa; litoklasti srednjeznog (B) i sitnoznog (C) dijabaza;

*Skraćenice:* Pl – plagioklasi; vitrum – staklo (vitroklasti). N+



**Slika 9.** Mikrofotografija (A29) kontakta dva litoklasta vulkanske breče (bušotina B1 - 14,9 m). Mineralni sastav je jako sličan, razlika se očituje u krupnoći zrna:

(A) – sitnozrni dijabaz i (B) – krupnozrni dolerit, N+.

*Skraćenice:* Pl – plagioklasi; Cpx – klinopiroksen (augit), U – uralit i Tlc - talk.

#### 4.1.3. Dekompozicija i dezintegracija minerala analiziranih stijena

Minerali koji ulaze u sastav analiziranih stijena bili su izloženi različitim sekundarnim izmjenama različitog intenziteta i to: dezintegracionim (fizičko-mehaničkim) i dekompozicionim (hemijskim).

Dezintegracione izmjene su predstavljene savijanjem, kataklaziranjem, milonitizacijom i savijanjem minerala. Ove izmjene su se uglavnom odigrale na piroksenima i plagioklasima. Minerali su znatno više izloženi dekompoziciji koja se ogleda u albitizaciji (spilitizaciji), sosiritizaciji, serpentinizaciji, talkizaciji, uralitizaciji, hloritizaciji, epidotizaciji, prehnitizaciji, karbonatizaciji - kalcitizaciji, zeolitizaciji, limonitizaciji, hematitizaciji, kaolinizaciji, piritizaciji i silicifikaciji.

Albitizacija (spilitizacija) je najčešći vid alteracije. Zahvatila je skoro sve tipove analiziranih stijena. Ovaj proces se odigrava u submarinskim uslovima koji podrazumijevaju normalni geotermički gradijent (20°C/km), temperature od 150 - 400°C, pritisak od 3,5-5,5 kbara i dubine 10-20 km (*Wedepohl, 1988; Hall, 1996*).

Analizirane stijene pripadaju ofiolitnom Krivaja-Konjuh kompleksu kojeg karakteriše smještanje duž divergentnih rubova ploča. Ovakvo tektonsko uređenje može izazvati veća toplinska strujanja, što može pretpostaviti spilitizaciju i na manjim dubinama (*Pamić, 1996*). Natrijem bogate otopine potrebne za albitizaciju najvećim su dijelom poticale iz morske vode i u stijenu su dovođene hidrotermama izvana.

Sve stijene koji sadrže albitizirane plagioklase, a koje nemaju jačeg obogaćenja u SiO<sub>2</sub>, morao je postojati lokalni interni izvor SiO<sub>2</sub> koji je moga poteći od hloritizacije osnove stijene sačinjene od vulkanskog stakla. Ova reakcija je dovela do povećanja Na<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup> omjera u fluidu i omogućila daljnju albitizaciju (*Gillis i Thompson, 1993*).

Uralitizacija klinopiroksena je vezana za mafitne ekstruzive. Sekundarni amfiboli nastali ovim procesom odgovaraju hornblendi (nastale u postkonsolidacijskoj fazi hlađenja), te seriji tremolit – aktinolit i uralitu. Ovaj slijed formiranja navedenih sekundarnih amfibola sa snižavanjem temperature je u skladu sa stavom Mevela i Cannata (1991).

U nekim stijenama procesi alteracije su u potpunosti zahvatili stijenu, tako da te stijene mogu biti determinisane sa prefiksom meta (metadolerit, metagabro itd.).

## ZAKLJUČAK

U cilju definisanja petrografskih odlika stijena kamenoloma Ribnica ispitano je 18 uzoraka koji su mikroskopski analizirani u polarizovanoj propuštenoj svjetlosti. Na osnovu modalnog mineralnog sastava i strukturno teksturnih karakteristika definisani su različiti strukturni tipovi.

Najzastupljeniji tip stijena su stijene iz grupe mafitnih ekstruzivnih stijena, odnosno to su dijabazi, doleriti, spiliti i prelazne stijene ka gabrima – ofitski gabrovi. Mineralni sastav im je veoma sličan, sa manjim varijacijama. Sve stijene iz ove grupe su manje-više alterisane, iako se težilo da se u toku terenskih opservacija uzorkuju svježi uzorci.

Druga grupa stijena pripada epiklastičnim sedimentnim stijenama nastalim cementacijom različitih odlomaka mafitnih ekstruzivnih stijena, u kojima je i cement istog mineralnog sastava kao i stijenski fragmenti.

Obzirom na genezu analiziranih stijena, evidentirani su i različiti tipovi alteracijskih procesa, od kojih je najizraženija albitizacija.

## LITERATURA

1. Babajić, A., (2010): Korelacija strukturno-teksturnih i geohemijskih karakteristika dijabaza okoline Banovića, magistarski rad, RGGF Tuzla.
2. Babajić, E., (2009): Petrološko-geohemijska i geotektonska obilježja mafitnih magmatskih stijena krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa, doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
3. Barić, Lj., & Trubelja, F., (1984): Minerali BiH, knjiga II – nesilikati, „Svjetlost”, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo.
4. Hrvatović, H., (1999): Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu. Zavod za geologiju, Sarajevo. Posebno izdanje, knjiga XXIV, 1-203.
5. Hrvatović, H., (2005): Principal thrust-nappe structures of the Dinarides, *Acta Geologica Hungarica*, Vol. 48/2, pp.133-151.
6. Jovanović, R., (1957): Pregled razvoja mezozoika i neki novi podaci za stratigrafiju i tektoniku NR BiH, II-ewe Congres des Geologues de Yugoslavie, Budva 08.09.-14.09.1957. L' union des sociétés geologique de la R.F.P. de Yugoslavie, Sarajevo, 38-63.
7. Jovanović, R., (1961): Prilog poznavanju prostranstva i facija mezozoika «Unutrašnje zone Dinarida» u NR BiH, III-ewe Congres des Geologues de Yugoslavie, Budva 27.09.-04.10.1959. L' union des sociétés geologique de la R.F.P. de Yugoslavie, Titograd, 148-176.
8. Karamata, S., i dr., (1999): Oceanic realms in the central part of the Balkan Peninsula during the Mesozoic. *Slovak Geol. Mag.*, 5 (3), 173-177.
9. Kretz, R., (1983): Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 68, 277-279.

10. MacKenzie, W.S. i dr., (1987): Atlas of igneous rocks and their textures, New York.
11. MacKenzie, W.S. i dr., (1987): Atlas of metamorphic rocks and their textures, New York.
12. Operta, M., (2004): Mineraloške i petrološke karakteristike amfibolita iz okolice Vareša ,doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
13. Pamić, J., i dr. (1973): Tumač za osnovnu geološku kartu, list Zavidovići 1:100 000. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.
14. Pamić, J., (1974): Alpine-type Gabbros Within the Krivaja-Konjuh Ultramafita Massif in the Ophiolite Zone of the Dinarides, Yugoslavia, *TMPM Tschermaks Min. Pet. Mitt.* 21, 261-279.
15. Pamić, J. et al., (1977): Postkonsolidacione promjene na bazičnim stijinama iz ofiolitske zone u Bosni, Posebni otisak Glasnika Zemaljskog muzeja N.S. sv. XVIII-Prirodne nauke.
16. Pamić, J., (1983): Considerations on the boundary between lherzolite and harzburgite subprovincies in the Dinarides and northern Hellenides. *Ofioliti*, 8, 153-164.
17. Pamić, J. et. all., (1987): Dijabaz-doleriti, bazalti i metabazalti iz ofiolitnog kompleksa okoline Maglaja u Bosni (Jugoslavija), Crnogorska akademija nauka, Titograd.
18. Pamić, J., (1996): Magmatske formacije Dinarida, Vardarske zone i južnih dijelova Panonskog bazena. Nacionalna i sveučilišna biblioteka, Zagreb.
19. Pamić, J., (2001): The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean. *Eclogae Geol. Helv.*,
20. Pamić, J., & Ristić, P., (1984): Petrologija i petrografija magmatskih stijena, RGF Tuzla
21. Streckeisen, A., (1978): Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. *N. Jb. Miner. Abh.*, 134 (1), 1-14, Stuttgart.
22. Sunarić-Pamić, O., i dr., (1962-65): Osnovna geološka karta SFRJ, list Zavidovići, 1: 100 000, Institut za geološka istraživanja Sarajevo.
23. Šibenik-Studen, M. & Sijarić, G., (1978): Pukotinski minerali u bazičnim magmatskim stijinama iz Ofiolitske zone u Bosni, Separat iz GZM – sv. za Prirodne nauke, XIX – XX-1980/81.
24. Trubelja, F., i dr., (1976): Pojava zeolita u Bosni i Hercegovini, *Geološki glasnik* 21, 95-152.

Geohemijska karakterizacija mafitnih stijena  
Krivaja-konjuh ofiolitnog kompleksa

ELVIR BABAJIĆ<sup>1</sup>, BOŠKO LUGOVIĆ<sup>2</sup> †, ZEHRA SALKIĆ<sup>3</sup>, ALISA BABAJIĆ<sup>4</sup>

SAŽETAK

Ključne riječi: Krivaja-Konjuh ofiolitni kompleks, mafitne stijene, glavni elementi, elementi u tragovima, varijacijski dijagrami.

Varijacijski dijagrami glavnih elemenata u odnosu na Zr (kao indeks diferencijacije) ukazuju na dvije grupe stijena: intruzivne stijene i njihovi dajkovi čine prvu, a ekstruzivne stijene i njihovi dajkovi, te spiliti (pillow lave) formiraju drugu grupu stijena. Omjerima glavnih elemenata (CaO – Na<sub>2</sub>O) utvrđen je nizak intenzitet albitizacije. Na TAS dijagramima, stijene padaju u polje bazalta i gabra. Takođe je evidentiran raritetni boninit, kao i spiliti „lažne“ alkalnosti. Mafitne stijene Krivaja-Konjuh ofiolitnog kompleksa (KKOK) pripadaju subalkalijskoj/toleitnoj seriji stijena bazaltnog hemizma. Povećanje željezovitosti u seriji od kumulatnih do ekstruzivnih stijena uz konstantan udio alkalija je vidljivo na AFM dijagramu. Najveći broj analiziranih stijena pripada visoko-Ti grupi, dok manji broj pada u nisko-Ti i vrlo nisko-Ti stijene, što ukazuje i na određene geotektonske okoliše. Omjerom TiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> su konstatovane dvije grupe stijena: nisko-Ti, visoko-Al grupa (intruzivne stijene i njihovi dajkovi), te srednje-Ti i visoko-Ti, nisko-Al grupa (ekstruzivne stijene i njihovi ekvivalenti).

SUMMARY

Key word: Krivaja-Konjuh ophiolite complex, mafic rocks, mayor elements, trace elements, variation diagrams.

Variation diagrams of major elements in relation to Zr (as an index differentiation) indicate two groups of rocks: first group is composed of intrusive rocks and their dykes; second group is composed of extrusive rocks and their dykes and spilites (pillow lavas). Proportions of major elements (CaO - Na<sub>2</sub>O) identified low intensity of albitisation. On the TAS diagrams rocks fall into the field of basalt and gabbro. It is also identified the rare rock variety known as boninit and spilites with "false" alkalinity. Mafic rocks of Krivaja-Konjuh ophiolite complex (KKOK) belong to subalkalial / toleite series of rock with basalt chemism. Increasing of ferrous component in a series from cumulate to extrusive rocks with a constant ratio of alkalies is visible on the AFM diagram. Most of the analyzed rocks belong to the high-Ti group, while a smaller number of analyzed rock belongs to the low-Ti and very low-Ti rocks, which indicates certain geotectonic environments. Proportions of TiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> identified two groups of rocks: low-Ti, high-Al group (plutonic rocks and their dykes); and medium-Ti or high-Ti, low-Al group (extrusive rocks and their equivalents).

---

<sup>1</sup> Dr.sc. Elvir Babajić, docent, RGGF Tuzla, elvir.babajic@untz.ba, 00387 61 804 934

<sup>2</sup> Dr.sc. Boško Lugović†, red.prof., RGNF Zagreb

<sup>3</sup> Dr.sc. Zehra Salkić, vanr.prof., RGGF Tuzla

<sup>4</sup> Mr.sc. Alisa Babajić, v.ass., RGGF Tuzla - saradnik

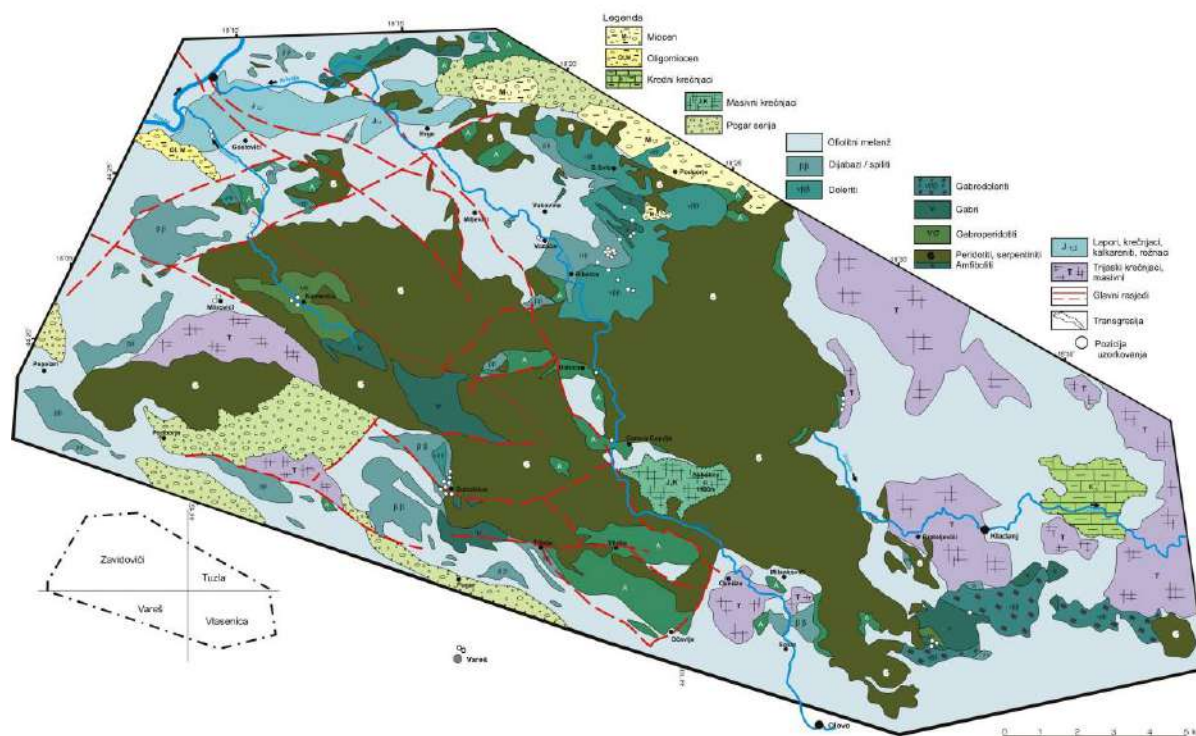


## UVOD

Krivajsko–konjuški ofiolitni kompleks (KKOK) predstavlja jedan od najvećih kompleksa u Ofiolitnoj zoni Dinarida (OZD). Smješten je u središnjim dijelovima OZD-a i pruža se približno ZSZ-IJJ. Prostire se od doline rijeke Bosne na zapadu, pa do ceste Sarajevo–Tuzla na istoku. Na sjeveru i sjeverozapadu granica ka Ozrenskom ofiolitnom masivu je nejasna, dok se na jugu graniči sa Ravan planinom i Zvijezdom. Kroz središnji dio KKOK-a teče rijeka Krivaja, koja ga razdvaja na dva jednako velika bloka, pa je po njoj i susjednoj planini Konjuh i dobio svoj naziv (slika 1).

Duža os masiva iznosi oko 40 km, a kraća maksimalno do 20 km. Na osnovu dosadašnjih saznanja KKOK generalno predstavlja pločastu formu sa blago konkavnom donjom plohom. Prosječna debljina se procjenjuje na 2000 m, u južnim obodnim dijelovima pada na 100 m. Rupturni poremećaji su uslovlili blokovsku građu masiva. Jasno su uočljivi zapadni i istočni blok, odvojeni rijekom Krivajom. Zapadni blok je rupturama nižeg reda amalgamiziran na manje blokove. Istočni blok, na osnovu analize lineacije enstatita u plašnim peridotitima odgovara sinklinali, odnosno predstavlja sinformu (Nicolas i dr. 1971).

Dominantnu ulogu u KKOK-u imaju plašne ultramafitne stijene koje zauzimaju površinu od 500-650 km<sup>2</sup>. Udružene su sa različitim varijetetima magmatskih stijena (gabri, doleriti, dijabazi, spiliti, keratofiri, granitoidi) i metamorfnih stijena oceanskog porijekla među kojim pretežu amfiboliti (Pamić, 1978). Kao i drugi ofiolitni kompleksi, KKOK je navučen na ofiolitni melanž i zajedno pokrivaju površinu od oko 1000 km<sup>2</sup>.



**Slika 1.** Geološka karta KKOK-a (na osnovu OGK-a listova Zavidovići, Tuzla, Vareš, Vlasenica), dopunjena rezultatima novih istraživanja (Babajić, 2009).

U okviru KKOK-a istraživan je teren sa izdancima mafitnih magmatskih stijena, te je izvršeno njihovo uzorkovanje. Uzorci mafitnih magmatskih stijena prikupljeni su u više navrata iz istražnih bušotina, na novootvorenim etažama kamenoloma i zasjecima-usjecima, a sve u cilju dobijanja što vjernije slike rasprostranjenja različitih varijeteta mafitnih stijena. Broj terenskih uzoraka ovisio je o geološkim karakteristikama terena, njegove otkrivenosti, uočenih mineraloških i strukturno-teksturnih varijeteta, te o svježini stijena. Ukupno je prikupljeno oko 250 uzoraka čiji je broj nakon makroskopske determinacije sveden na 69 uzoraka. Na temelju optičkih ispitivanja 69 uzoraka, izvršena je selekcija uzoraka i odabir 34 reprezentativna uzorka za detaljna hemijska ispitivanja.

Geografski položaj mjesta uzorkovanja prikazan je na geološkoj karti (slika 1). Redni brojevi, oznake analiziranih uzoraka, *Gauss-Krügerove* koordinate, te mikrofiziografska odredba date su u tabeli 1.

Tabela 1.

| Redni broj                  | Oznaka uzorka | Gauss-Krüger koordinate |           | Nomenklatura na osnovu mikrofiziografskih karakteristika |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|-----------|--|
|                             |               | X                       | Y         |  |
| <b>POLJICE</b>              |               |                         |           |  |
| 1                           | ER-31         | 4 925 755               | 6 539 805 | olivin gabronorit  |
| <b>RIBNICA</b>              |               |                         |           |  |
| 2                           | DR 19         | 4 912 142               | 6 536 068 | dolerit  |
| 3                           | DR 20         | 4 914 817               | 6 535 693 | spilit   |
| 4                           | DR 21         | 4 914 801               | 6 535 588 | spilit   |
| 5                           | DR 22         | 4 912 200               | 6 534 764 | dijabaz  |
| 6                           | DR 23         | 4 912 117               | 6 534 786 | dijabaz  |
| 7                           | DR 24         | 4 915 319               | 6 535 861 | dolerit  |
| 8                           | DR 25         | 4 915 288               | 6 535 812 | spilit, pillow lava                                      |
| 9                           | DR 28         | 4 912 900               | 6 535 582 | dolerit  |
| 10                          | ER-1          | 4 912 375               | 6 535 515 | mikrogabro, „sheeted dike“                               |
| 11                          | ER-2          | 4 912 375               | 6 535 515 | dolerit, „sheeted dike“                                  |
| 12                          | ER-2a         | 4 912 375               | 6 535 515 | dolerit, „sheeted dike“                                  |
| 13                          | BR-2          | 4 912 310               | 6 535 320 | dolerit  |
| 14                          | BR3b          | 4 912 313               | 6 535 324 | dijabaz  |
| <b>KLADANJ – MUŠKA VODA</b> |               |                         |           |  |
| 15                          | ER-24         | 4 902 750               | 6 546 375 | amfibol gabronorit                                       |
| 16                          | ER-26b        | 4 902 750               | 6 546 375 | olivin- amfibol gabronorit                               |
| 17                          | ER-26c        | 4 902 750               | 6 546 375 | olivin- amfibol gabronorit                               |
| <b>KARAULA</b>              |               |                         |           |  |
| 18                          | ER-28         | 4 893 084               | 6 553 138 | olivinski anortozit                                      |
| 19                          | ER-29         | 4 893 083               | 6 553 142 | dijabaz  |
| 20                          | ER-32         | 4 893 084               | 6 553 138 | dijalag troktolit  |
| <b>BUK – MAOČA</b>          |               |                         |           |  |
| 21                          | ER-21         | 4 905 700               | 6 534 230 | troktolit  |
| <b>GOSTOVIĆI – KAMENICA</b> |               |                         |           |  |
| 22                          | ER-7          | 4 919 625               | 6 512 175 | gabronorit   |
| 23                          | ER-8          | 4 913 710               | 6 514 760 | troktolit  |
| 24                          | ER-9          | 4 910 810               | 6 516 200 | gabro  |
| 25                          | ER-10         | 4 910 810               | 6 516 200 | troktolit  |
| <b>MITROVIĆI</b>            |               |                         |           |  |
| 26                          | ER-40         | 4 910 750               | 6 513 630 | spilit, pillow lava                                      |
| <b>DUBOŠTICA</b>            |               |                         |           |  |
| 27                          | ER-13         | 4 910 430               | 6 510 904 | boninit (epidozit)                                       |
| 28                          | ER-14         | 4 910 430               | 6 510 904 | diorit   |

|    |       |           |           |                           |
|----|-------|-----------|-----------|---------------------------|
| 29 | ER-15 | 4 918 450 | 6 508 510 | troktolit                 |
| 30 | ER-16 | 4 918 450 | 6 508 510 | gabro                     |
| 31 | ER-17 | 4 920 550 | 6 512 400 | amfibol-olivin gabronorit |
| 32 | D-9   | 4 910 430 | 6 510 904 | enstatit gabro            |
| 33 | D-10  | 4 910 430 | 6 510 904 | gabro                     |
| 34 | D-12  | 4 910 430 | 6 510 904 | dolerit                   |

## METODE ISPITIVANJA

Priprema uzoraka stijena je urađena na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu u Tuzli. Uzorci su podvrgnuti drobljenju i potom su uklonjeni svi fragmenti sa korom trošenja i/ili žilicama sekundarnih minerala. Koncentrati pročišćenih uzoraka su mljeveni i usitnjavani, a zatim metodom četvrtanja homogenizovani. U ahatnom avanu su usitnjeni do krupnoće praha, odnosno do finoće pudera. Nakon toga je izdvojeno 12-15 g od svakog uzorka, prethodno osušenog na 105 °C. Na glavne elemente analizirano je 34 uzorka. Hemijski sastav uzoraka analiziran je u ACTLAB laboratoriju u Ancasteru (Kanada). Hemijska ispitivanja su obavljena metodom masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS; Inductively Coupled Plasma –Mass Spectrometry). Za kalibraciju su korišteni internacionalni standardi SO-18/CSC i standard DS7. Rezultati hemijskih analiza magmatskih mafitnih stijena KKOK-a prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2.

| Stijene                        | Troktoliti     |          |           |           |           |            | Izotropni gabroidi |          |         |           |          |             |
|--------------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------------|----------|---------|-----------|----------|-------------|
|                                | Uzorak Stijena | ER8 trok | ER10 trok | ER15 trok | ER21 trok | ER28 lygab | ER32 trok          | ER7 gabn | ER9 gab | ER14 dior | ER16 gab | ER17 a-gabn |
| SiO <sub>2</sub>               | 43,32          | 46,23    | 45,80     | 41,74     | 45,91     | 46,10      | 48,00              | 48,08    | 60,59   | 48,42     | 46,13    |             |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,08           | 0,12     | 0,15      | 0,05      | 0,02      | 0,03       | 0,27               | 1,27     | 0,35    | 0,26      | 0,24     |             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21,60          | 19,27    | 20,10     | 15,30     | 21,74     | 22,68      | 17,87              | 16,30    | 19,72   | 19,65     | 16,96    |             |
| FeO <sub>UK</sub>              | 4,49           | 5,44     | 4,98      | 5,32      | 3,49      | 3,01       | 4,6                | 8,43     | 2,74    | 3,66      | 6,26     |             |
| MnO                            | 0,06           | 0,09     | 0,07      | 0,07      | 0,05      | 0,04       | 0,09               | 0,16     | 0,04    | 0,06      | 0,12     |             |
| MgO                            | 13,14          | 13,61    | 11,87     | 21,08     | 12,89     | 11,23      | 10,00              | 7,44     | 1,52    | 9,59      | 11,70    |             |
| CaO                            | 10,72          | 8,93     | 9,65      | 7,02      | 10,11     | 10,65      | 12,30              | 11,60    | 4,41    | 11,70     | 15,54    |             |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,44           | 2,72     | 2,21      | 0,98      | 2,02      | 1,95       | 2,86               | 3,39     | 8,40    | 2,91      | 1,03     |             |
| K <sub>2</sub> O               | 0,04           | 0,05     | 0,04      | 0,06      | 0,04      | 0,04       | 0,18               | 0,05     | 0,19    | 0,07      | 0,07     |             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,02           | 0,01     | 0,02      | 0,01      | 0,01      | 0,01       | 0,02               | 0,13     | 0,10    | 0,02      | 0,01     |             |
| LOI                            | 4,40           | 2,70     | 4,50      | 7,40      | 3,30      | 3,90       | 3,10               | 2,00     | 1,50    | 3,20      | 1,00     |             |
| Suma                           | 99,31          | 99,17    | 99,39     | 99,03     | 99,58     | 99,64      | 99,29              | 98,85    | 99,56   | 99,54     | 99,06    |             |
| Mg#                            | 83,91          | 81,67    | 80,93     | 87,60     | 86,81     | 86,94      | 79,49              | 61,13    | 49,76   | 82,35     | 76,90    |             |
| Nb                             | <0,2           | <0,2     | 0,4       | 0,2       | <0,2      | <0,2       | <0,2               | 2,3      | 16,5    | 0,50      | <0,2     |             |
| Zr                             | 3              | 4        | 9         | 4         | 2         | 1          | 8                  | 95       | 141     | 13        | 5        |             |
| Y                              | 1,1            | 1,8      | 3,1       | 1,1       | 0,6       | <0,5       | 7,1                | 28       | 14,3    | 7,6       | 7,4      |             |
| Cr                             | 80             | 220      | 290       | 1230      | 210       | 150        | 430                | 260      | <20     | 490       | 770      |             |
| Ni                             | 320            | 510      | 260       | 870       | 390       | 460        | 140                | 80       | <20     | 150       | 200      |             |

Tabela 2. Nastavak (1)

| Stijene<br>Uzorak<br>Stijena   | Izotropni gabroidi |            |                |              | Ekstruzivne stijene |             |             |            |            |            |            |           |
|--------------------------------|--------------------|------------|----------------|--------------|---------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|                                | D9<br>gab          | D10<br>gab | ER24<br>a-gabn | ER31<br>gabn | DR19<br>do          | DR20<br>spi | DR21<br>spi | DR22<br>di | DR23<br>di | DR24<br>di | DR28<br>do | BR2<br>do |
| SiO <sub>2</sub>               | 47,66              | 46,17      | 48,12          | 45,52        | 48,75               | 47,16       | 46,98       | 48,98      | 48,01      | 47,66      | 47,39      | 48,86     |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,77               | 0,40       | 0,52           | 0,60         | 1,01                | 1,50        | 1,41        | 1,14       | 1,34       | 1,37       | 0,78       | 1,32      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,32              | 15,18      | 17,63          | 16,77        | 17,06               | 15,42       | 15,53       | 15,28      | 15,61      | 15,31      | 20,13      | 14,76     |
| FeO <sub>UK</sub>              | 11,71              | 6,84       | 6,22           | 7,87         | 7,94                | 9,39        | 9,64        | 8,65       | 9,64       | 9,33       | 7,06       | 9,74      |
| MnO                            | 0,19               | 0,11       | 0,11           | 0,15         | 0,14                | 0,16        | 0,17        | 0,17       | 0,17       | 0,16       | 0,12       | 0,16      |
| MgO                            | 7,62               | 11,39      | 9,97           | 10,15        | 8,29                | 6,78        | 6,64        | 9,03       | 8,13       | 7,73       | 6,99       | 7,62      |
| CaO                            | 11,96              | 14,47      | 10,98          | 15,04        | 11,30               | 10,18       | 9,52        | 9,80       | 11,16      | 10,91      | 12,57      | 10,61     |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,30               | 1,56       | 3,07           | 1,33         | 2,62                | 3,78        | 3,95        | 3,04       | 2,82       | 3,37       | 2,35       | 3,17      |
| K <sub>2</sub> O               | 0,04               | 0,12       | 0,10           | 0,04         | 0,07                | 0,40        | 0,61        | 0,50       | 0,20       | 0,22       | 0,11       | 0,15      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,03               | 0,01       | 0,01           | 0,02         | 0,08                | 0,13        | 0,13        | 0,08       | 0,10       | 0,12       | 0,08       | 0,14      |
| LOI                            | 0,10               | 2,80       | 2,50           | 1,60         | 1,80                | 4,00        | 4,30        | 2,30       | 1,70       | 2,60       | 1,60       | 2,40      |
| Suma                           | 98,70              | 99,05      | 99,23          | 99,09        | 99,36               | 98,90       | 98,88       | 98,97      | 98,88      | 98,78      | 99,18      | 98,93     |
| Mg#                            | 53,01              | 74,80      | 74,08          | 69,67        | 65,06               | 56,26       | 55,12       | 65,05      | 60,06      | 59,62      | 63,82      | 58,22     |
| Nb                             | 0,8                | <0,2       | <0,2           | <0,2         | 1,8                 | 2,3         | 1,0         | 0,9        | 1,5        | 2,1        | 1,0        | 2,3       |
| Zr                             | 39                 | 4          | 22             | 8            | 59                  | 107         | 64          | 62         | 90         | 102        | 47         | 87        |
| Y                              | 29,2               | 9,1        | 9,2            | 13,7         | 20,5                | 32,4        | 26,4        | 25,1       | 31,2       | 30,1       | 17,9       | 32,0      |
| Cr                             | 210                | 300        | 340            | 570          | 300                 | 240         | 370         | 330        | 280        | 270        | 250        | 287       |
| Ni                             | 90                 | 110        | 180            | 210          | 130                 | 70          | 100         | 100        | 90         | 80         | 80         | 28        |

Tabela 2. Nastavak (2)

| Stijene<br>Uzorak<br>Stijena   | Ekstruzivne st. |           | Dajkovi ekstruzivnih stijena |           |            |            |             | Dajkovi intr. st. |                 | Spiliti (pillow lava) |             |
|--------------------------------|-----------------|-----------|------------------------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
|                                | ER29<br>di      | D12<br>do | ER1<br>mgb                   | ER2<br>do | ER2a<br>do | BR3b<br>di | ER13<br>bon | ER26b<br>a-gabn   | ER26c<br>a-gabn | DR25<br>spi           | ER40<br>spi |
| SiO <sub>2</sub>               | 49,04           | 45,38     | 40,02                        | 48,35     | 48,59      | 45,04      | 51,53       | 46,45             | 46,10           | 45,85                 | 48,42       |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,12            | 1,04      | 2,59                         | 1,63      | 1,44       | 0,99       | 0,29        | 0,11              | 0,21            | 1,32                  | 1,42        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,30           | 15,94     | 12,57                        | 14,83     | 14,99      | 14,04      | 5,24        | 16,51             | 16,23           | 15,08                 | 13,73       |
| FeO <sub>UK</sub>              | 7,74            | 8,24      | 16,11                        | 10,81     | 10,15      | 10,84      | 8,52        | 4,67              | 4,76            | 10,34                 | 8,63        |
| MnO                            | 0,17            | 0,13      | 0,20                         | 0,19      | 0,17       | 0,23       | 0,29        | 0,08              | 0,10            | 0,17                  | 0,17        |
| MgO                            | 8,60            | 10,70     | 11,18                        | 6,90      | 7,39       | 14,04      | 16,66       | 14,56             | 11,63           | 7,91                  | 6,83        |
| CaO                            | 9,83            | 11,93     | 10,87                        | 10,64     | 10,78      | 5,68       | 13,81       | 11,51             | 14,19           | 10,88                 | 11,07       |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,44            | 2,25      | 1,07                         | 3,33      | 3,22       | 2,43       | 1,15        | 1,84              | 1,99            | 3,07                  | 3,79        |
| K <sub>2</sub> O               | 0,24            | 0,09      | 0,07                         | 0,22      | 0,16       | 0,08       | 0,09        | 0,04              | 0,04            | 0,20                  | 0,28        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,11            | 0,10      | 0,02                         | 0,16      | 0,13       | 0,11       | 0,03        | 0,01              | 0,01            | 0,17                  | 0,17        |
| LOI                            | 2,50            | 3,10      | 3,50                         | 1,70      | 1,80       | 5,30       | 1,40        | 3,50              | 4,10            | 3,80                  | 4,00        |
| suma                           | 99,09           | 98,82     | 98,20                        | 98,76     | 98,82      | 98,78      | 99,01       | 99,28             | 99,36           | 98,79                 | 98,50       |
| Mg#                            | 66,45           | 70,34     | 55,23                        | 53,23     | 56,48      | 69,77      | 77,70       | 84,75             | 81,33           | 57,70                 | 58,52       |
| Nb                             | 0,9             | 2,4       | 0,4                          | 2,8       | 2,2        | 1,5        | 4,8         | 0,8               | <0,2            | 2,4                   | 2,8         |
| Zr                             | 76              | 85        | 21                           | 111       | 92         | 84         | 19          | 11                | 5               | 120                   | 91          |
| Y                              | 23,8            | 23,4      | 30,4                         | 34,9      | 31         | 30         | 10,8        | 6,5               | 4,6             | 39,4                  | 31,4        |
| Cr                             | 310             | 44        | 140                          | 140       | 220        | 212        | 520         | 100               | 780             | 240                   | 140         |
| Ni                             | 140             | 280       | 70                           | 40        | 50         | 143        | 270         | 230               | 770             | 70                    | 80          |

Koncentracija glavnih oksida izražena je u masenim %. LOI - gubitak žarenjem (Loss On Ignition); indeks magnezичnosti ili magnezичnost Mg# = 100\*(MgO/(MgO+FeO)); FeO<sub>UK</sub>-ukupno željezo (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 0,8998). Skraćenice za naziv stijena: trok-troktolit; lygab-uslojeni gabro (layered gabbro); dior-diorit; gab-gabro; gabn-gabronorit; a-gabn–amfibol gabronorit; di-dijabaz; do-dolerit; mgb-mikrogabro, bon-boninit; spi-spilit.

## DISKUSIJA

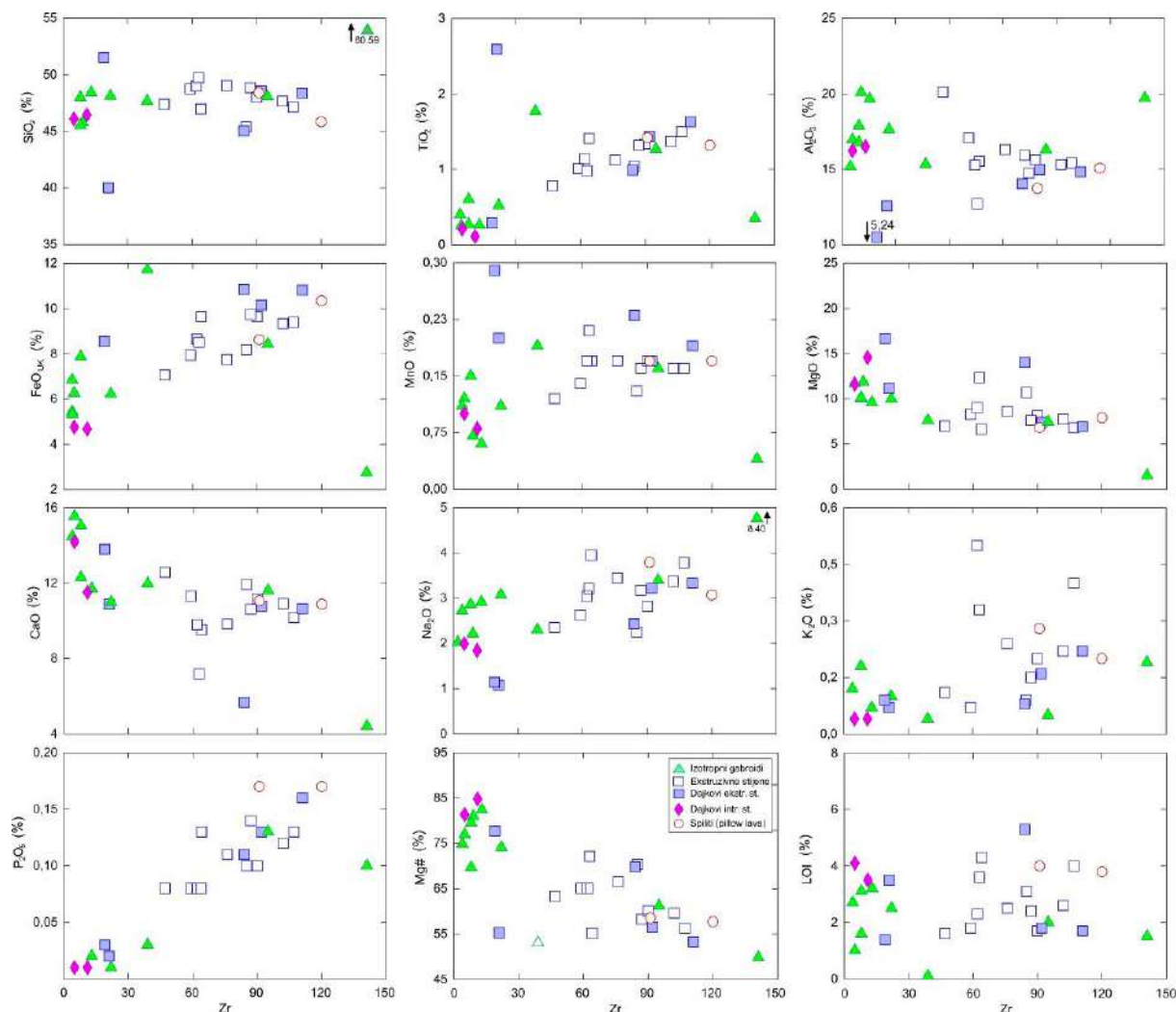
Gubitak žarenjem je širokog raspona (LOI = 0,1 – 7,4%, tabela 1) i asocira na hidrotermalne alteracije u niskotemperaturnom režimu. Budući da neki elementi mogu biti mobilni za vrijeme ovih alteracija, njihova mobilnost je testirana na dijagramima sa Zr, koji je korišten kao indeks diferencijacije. Zr je inkompatibilni element i predstavlja osjetljiv indikator stepena magmatske diferencijacije.

Ujedno je imobilan, tj. slabo je pokretljiv za vrijeme sekundarnih promjena u stijenama, te u pravilu zadržava magmatske koncentracije. Zbog toga se često upotrebljava kao indeks diferencijacije i služi za prikaz varijacije ostalih elemenata u nekoj seriji stijena (Weaver i dr., 1972; Tarney i dr., 1977). Na taj način se može zaključiti da li su stijene u seriji genetski povezane i koji su elementi doživjeli promjenu magmatske koncentracije. Varijacijski dijagrami glavnih elemenata u odnosu na Zr za mafitne stijene KKOK-a prikazani su na slici 2. Umjesto elementa Zr, kao indeks diferencijacije stijena alternativno se može koristiti i indeks magnezitosti (Mg#). U slučaju mafitnih stijena KKOK-a Mg# ima slabiju funkcionalnu vrijednost.

Na osnovu sadržaja Zr mogu se izdvojiti dvije grupe stijena. Intruzivne stijene i njihovi dajkovi čine prvu, a ekstruzivne stijene i njihovi dajkovi, te spiliti (pillow lave) formiraju drugu grupu, što je u skladu s opštim principima diferencijacije bazičnih magmi. Relativno veliki raspon sadržaja Zr kod intruzivnih stijena (1-95 ppm) ukazuje na dobru diferencijaciju inicijalne (toleitne) magme čak i u ranom stadiju njene diferencijacije. Troktoliti (<9 ppm Zr) imaju najniži stepen diferencijacije što je tipično za troktolite kao predstavnike kumulatnih stijena. Udio Zr u dajkovima intruzivnih gabroidnih stijena je nizak (5-11 ppm), a u izotropnim gabroidima nizak do povišen (4-95 ppm Zr), što ukazuje da dajkovi intruzivnih stijena i većina izotropnih gabroidnih stijena predstavlja primitivne magme.

Sadržaj Zr u ekstruzivnim stijenama (47-107 ppm), njihovim dajkovima (19-111 ppm) i splitima (pillow lavama) (91-120 ppm) indicira na daleko bolju diferencijaciju olivinsko-toleitne magme u odnosu na prethodnu skupinu stijena. Najveća koncentracija od 141 ppm Zr izmjerena je u uzorku diorita koji je od analiziranih stijena ujedno i najviše izdiferencirani uzorak ( $\text{SiO}_2 = 60,59\%$ ).

Blago izražena negativna korelacija između Zr i  $\text{SiO}_2$  evidentna je skoro za sve stijene. Pozitivne korelacije sa Zr pokazuju  $\text{FeO}_{\text{uk}}$  i  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  i  $\text{Na}_2\text{O}$  (osim u dajkovima intruzivnih stijena i spilitima (pillow lava)), te MnO (osim u dajkovima intruzivnih stijena). Negativne korelacije sa Zr pokazuju CaO (blago izražena), MgO odnosno indeks magnezitosti Mg# (osim u dajkovima intruzivnih stijena), te  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (osim dajkova intruzivnih stijena i spilitima (pillow lava)). Podaci za  $\text{K}_2\text{O}$  i LOI su rasuti, bez izraženije korelacije, ali se generalno može reći da je kod Zr- $\text{K}_2\text{O}$  odnosa korelacija pozitivna, dok je kod Zr-LOI korelacija negativna, što je u skladu s petrografskim opažanjima po kojima su bazičniji varijeteti intenzivnije alterisani.

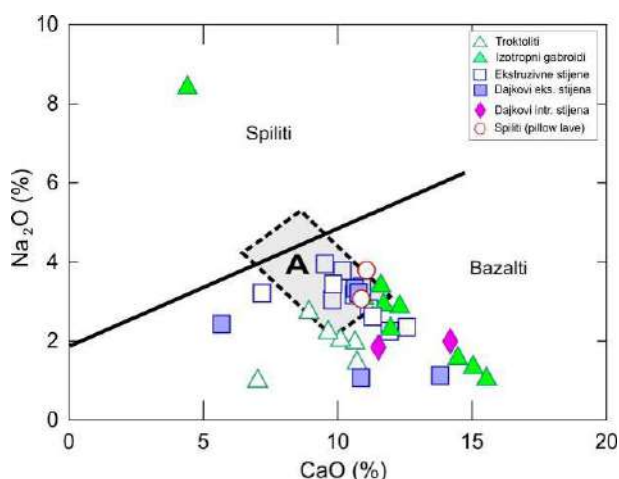


**Slika 2.** Harkerov tip dijagrama za analizirane stijene KKOK-a sa prikazom varijacija glavnih elementa u odnosu na sadržaj Zr kao indeksa diferencijacije.

Albitizacija različitog intenziteta je karakteristična skoro za sve analizirane tipove stijena. Može se očitovati u vidu smanjenja sadržaja CaO praćenog porastom sadržaja Na<sub>2</sub>O, a ponekada mogu biti povišeni sadržaji i SiO<sub>2</sub> i MgO. Test intenziteta albitizacije u mafitnim stijenama KKOK-a prikazan je u dijagramu Na<sub>2</sub>O – CaO, na slici 3. U slučaju albitizacije očekuje se porast sadržaja Na<sub>2</sub>O u odnosu na CaO, ako se Ca iznosi iz stijene u kojoj se bazični plagioklasi hidrotermalno alterišu u albit.

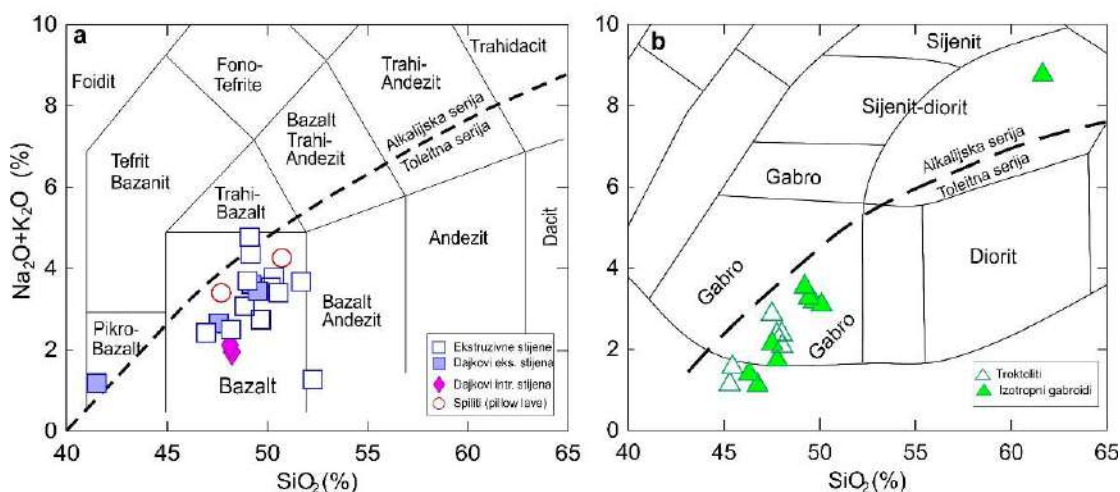
Sve analizirane stijene padaju u polje bazalta, pri čemu u polje neizmjenjenih bazalta (polje A) pada većina ekstruzivnih stijena, spiliti (pillow lave) i neki dajkovi ekstruzivnih stijena. Iz dijagrama se može zaključiti da je intenzitet albitizacije u stijenama KKOK-a relativno nizak, te da i u slučaju jačih promjena koncentracije Na i Ca ostaju u magmatskim okvirima samo što su i oni redistribuirani/preraspodjeljeni u albit odnosno Ca-silikatne minerale i kalcit.

Uzorak diorita ER-14 pada u polje spilita zbog izrazito visokog udjela Na<sub>2</sub>O u toj stijeni koji je uglavnom sadržan u primarnom plagioklasu sastava albita (Ab<sub>96,6</sub>An<sub>3,1</sub>).



**Slika 3.** Pozicije analiziranih stijena KKOK-a na dijagramu  $\text{Na}_2\text{O}$  -  $\text{CaO}$  za razlikovanje bazalta od spilita (Graham, 1976; Stillman i Williams, 1979). Polje A predstavlja hemijski neizmijenjene bazalte.

Analizirane stijene su prikazane i u TAS dijagramu (Total Alkalies – TA, Silica - S), odnosno u dijagramu varijacije ukupnih alkalijskih oksida ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) u zavisnosti o sadržaja silicijskog oksida ( $\text{SiO}_2$ ) na slici 4.



**Slika 4.** ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) –  $\text{SiO}_2$  dijagram za klasifikaciju i nomenklaturu mafitnih stijena KKOK-a.

(a) Klasifikacijski dijagram sa poljima za vulkanske i ekstruzivne stijene prema Le Bas i dr. (1986).

(b) Klasifikacijski dijagram sa poljima za intruzivne stijene prema Cox i dr. (1979). Kriva koja razdvaja alkalijsku od subalkalijske serije stijena je prema Irvin & Baragar (1971).

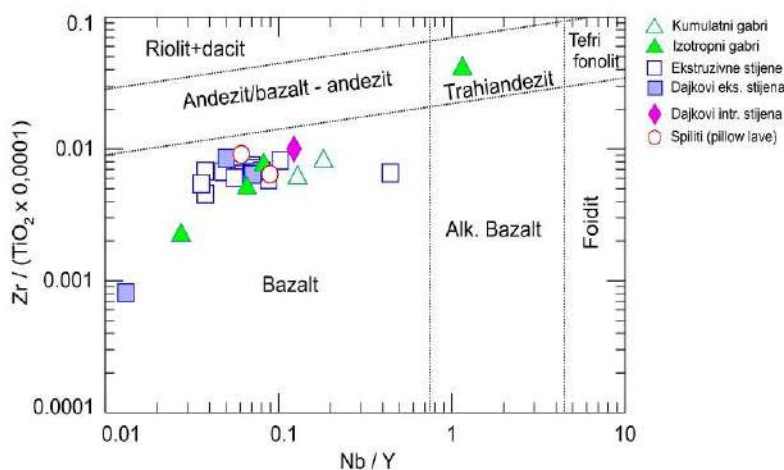
Uzorci ekstruzivnih stijena i spilita (pillow lava) zajedno sa uzorcima dajkova ekstruzivnih i intruzivnih stijena plotirani su na TAS dijagramu sa nomenklaturom polja za ekstruzivne stijene (sl. 4a). Skoro sve ispitivane stijene ove grupe padaju u polje subalkalijske serije stijena. Stijene ove grupe nalaze se u polju klasičnih (toleitnih) bazalta uz nekoliko izuzetka koji su predstavljeni uzorcima dajka mikrogabra ER1, dajka boninita ER13 i uzorcima spilita DR20 i DR21. Uzorak mikrogabra ER1 iz vulkanskog kompleksa Ribnice, koji hemijskim sastavom odgovara pikrobazaltu (sl. 4a), je visokomagnezičan sa 11,18 mas.%  $\text{MgO}$  i sadrži tek 40,02 mas.%  $\text{SiO}_2$ , najmanje od svih analiziranih uzoraka (tabela 1). Po novijoj dopuni TAS klasifikacije za visoko-Mg vulkanske stijene (Le Bas, 2000) ovaj uzorak pada u

granično područje pikrobazalta prema pikritima. Uzorak ER13 iz dajka kod Dubošćice nalazi se u polju bazalt-andezita i u odnosu na preostale stijene ove grupe sadrži značajno najmanje alkalijskih elemenata (ukupno 1,24 mas.%), najviše MgO (16,67 mas.%), CaO (13,81 mas.%) i SiO<sub>2</sub> (51,53 mas.%) te komparativno niski sadržaj TiO<sub>2</sub> (0,29 mas.%). Ovakav izuzetan sastav po klasifikaciji za visoko-Mg vulkanske stijene (Le Bas, 2000) je tipičan za boninite, inače dosta rijetke stijene u ofiolitnim kompleksima. Po klasifikaciji i nomenklaturi boninita (Crawford i dr., 1989), boninit KKOK-a spada u grupu visoko-Ca varijeteta i sa omjerom CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> od 2,6 predstavlja jedinstven uzorak boninita zabilježen u relevantnoj literaturi. Uzorci spilita DR20 i DR21 na TAS dijagramu pokazuju slab alkalijski afinitet zbog povećanog sadržaja K<sub>2</sub>O (0,40 i 0,61 mas.%) što je posljedica intenzivne sericitizacije albita u ovim uzorcima. Zato tu alkalnost treba smatrati zapravo lažnom i ova dva uzorka pridružiti preostalim stijenama grupe tipičnih toleitnih bazalta KKOK-a.

Na TAS dijagramu sa poljima i nomenklaturom za intruzivne stijene (sl. 4.b) analizirane stijene padaju u polje gabra, a uzorak diorita (ER14) u polje sijenit-diorita.

Omjer CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kod analiziranih stijena je veoma raznolik. U ekstruzivnim stijenama omjer iznosi 0,57-0,75; u dajkovima ekstruzivnih stijena 0,40-0,87; a u spilitima (pillow lava) varira usko od 0,72 -0,81 što odgovara omjeru za N-MORB (~ 0,7). Omjer CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u kumulatnim stijenama je stabilan i iznosi oko 0,5. Intruzivne izotropne stijene i njihovi dajkovi zbog vrlo različitog omjera volumnog udjela plagioklasa i klinopiroksena pokazuju znatne varijacije iznosa CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,22-0,95) što je prema Werner-u (1984) unutar raspona tipičnog za ofiolitne gabre.

Budući da su skoro sve analizirane stijene pretrpjele dekompoziciju određenog, vrlo različitoga tipa i intenziteta, što se naročito odnosi na ekstruzivne stijene, često se koristi klasifikacija i nomenklatura prema Winchester & Floyd (1977). U omjer se stavlja sadržaj inkompatibilnih imobilnih glavnih elemenata (TiO<sub>2</sub>) i odgovarajućih elemenata u tragovima (Zr, Nb i Y) koji se prikazuju u dijagramu Zr/TiO<sub>2</sub> – Nb/Y. Dokazano je da bez obzira na tip i intenzitet alteracije stijene, omjeri ovih elemenata odražavaju primarni hemizam stijene pogodan za klasifikaciju stijena i petrogenetska razmatranja (Herrman i dr., 1974). Na dijagramu Zr/TiO<sub>2</sub> – Nb/Y (sl. 5) sve ispitivane stijene za koje se smatra da odražavaju hemizam magme, dakle uključivši i izotropne gabroide i diorit, padaju u polje bazalta. Uzorak diorita ER14 uslijed povišenih vrijednosti omjera Nb/Y i Zr/TiO<sub>2</sub> pada u polje trahandezita.

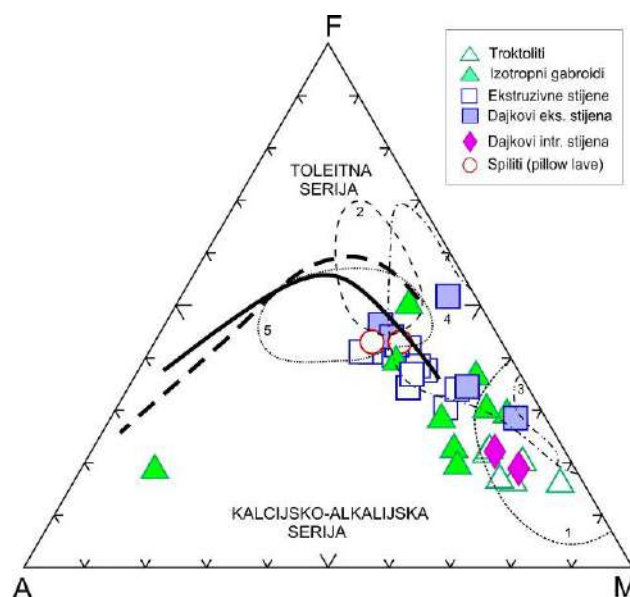


**Slika 5.** Pozicije stijena KKOK-a u dijagramu Zr/TiO<sub>2</sub> – Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977).



Prikazane su sve stijene za koje se smatra da odražavaju hemizam magme.

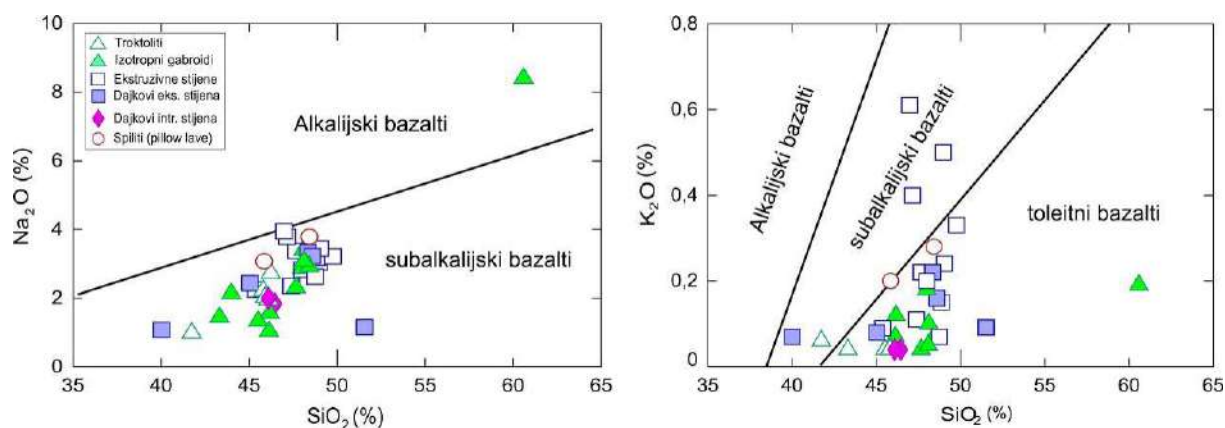
Iz grupe trokomponentnih dijagrama za prikaz varijacije karakterističnih glavnih elemenata u seriji magmatskih stijena najčešće se koristi AFM dijagram. Ovaj dijagram uključuje sumu  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (A), sumu željeza kao FeO (F) i sadržaj MgO (M). AFM dijagram se posebno koristi za subalkalijske serije magmatskih stijena za razlikovanje toleitnih i kalcijsko-alkalijskih diferencijacijskih trendova. Ispitivane stijene KKOK-a prikazane na AFM dijagramu (sl. 6) pokazuju trend povećanja željezovitosti u seriji stijena od kumulata do ekstruziva uz konstantni relativni udio alkalijskih oksida. Nedostatak AFM dijagrama je u tome da geohemijski parametri koji se koriste čine manje od 50 % ukupne procentualne težine oksida. Iz ovoga razloga obim petrogenetskih informacija iz AFM dijagrama je ograničen (Wright, 1974).



**Slika 6.** AFM dijagram za mafitne stijene KKOK-a. Isprekidana linija koja dijeli polje toleitne i kalcijsko-alkalijske serije stijena je po Kuno (1968), a puna linija po Irvin & Baragar (1971).

Karakteristična polja za ofiolitne kumulate (1) i kompleks ofiolitnih dajkova/gabroida (2) su iz Coleman (1977). Polja stijena vezanih za ostrvske lukove su iz Bread (1986): ultramafitni kumulati (3), gabroidni kumulati (4) izotropni gabroidi (5).

Na dijagramima varijacije sadržaja pojedinačnih alkalijskih oksida  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{K}_2\text{O}$  u odnosu na sadržaj  $\text{SiO}_2$  moguće je prema Middlesmot-u (1975) pouzdano odrediti pripadnost diferencijacijskog trenda nekoj seriji stijena određenog geohemijskog afiniteta (sl. 7)



Slika 7. Pozicije analiziranih stijena KKOK-a u dijagramima  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  i  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (Middlemost, 1975).

Na dijagramu  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  sve analizirane relevantne mafitne stijene KKOK-a pripadaju skupini subalkalijskih stijena bazalnog hemizma. Na dijagramu  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  većina stijena se razvrstava u polje toleitnih (niskokalijskih) bazalta dok u polje subalkalijskih bazalta pada manji broj uzoraka, uglavnom ekstruzivnih stijena i njihovih dajkova iz Ribnice, koji imaju sekundarno povišeni sadržaj  $\text{K}_2\text{O}$  uslijed sericitizacije plagioklasa. Spiliti (pillow lave) leže blizu granice subalkalijskih i toleitnih bazalta. Pripadnost toleitnoj seriji intruzivnih stijena očituje se iz vrijednosti omjera  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  koji je kod kumulatnih gabrova niži (0,25 - 0,42), a kod nekumulatnih gabrova je viši (0,38-1,8).

Od glavnih elemenata Ti spada u najvažnije u pogledu rješavanja petroloških i geotektonskih pitanja baziranih na geohemijskim parametrima stijena. Titan je inkompatibilan element i njegov sadržaj u rezidualnim peridotitima predstavlja mjerilo depletiranosti. Izdvaja se već u ranom stadiju kristalizacije bazične magme izomorfno u silikatnim mineralima, a najviše se ugrađuje u titanomagnetit, ilmenit i rutil u kasnom stadiju kristalizacije. Ulazi u sastav mnogih silikata, gdje  $\text{Ti}^{4+}$  može zamjeniti  $\text{Si}^{4+}$  u tetraedrijskom dijelu, ali većinom  $\text{Ti}^{3+}$  zamjenjuje Al, Fe i Mg u heksaedrijskom dijelu strukture silikata. Mobilnost titana je slaba, ograničena je stabilnošću i primarnih i sekundarnih minerala. U sekundarnim mineralima Ti se javlja najčešće u agregatu minerala poznatom pod imenom leukoksen.

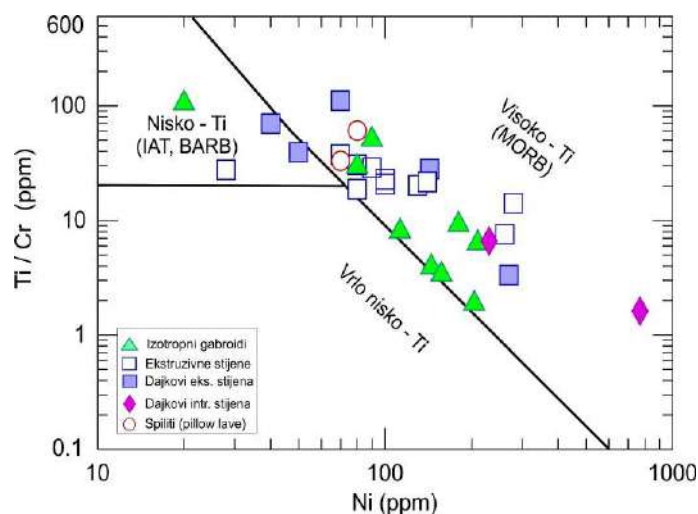
U ofiolitnim stijenama i stijenama oceanske kore Ti služi kao važan parametar za geohemijsku klasifikaciju ekstruzivnih i izotropnih gabroidnih varijeteta stijena. Autori klasifikacije Bortolotti i dr. (2002) podijelili su relevantne stijene prema udjelu  $\text{TiO}_2$  na nisko titanske (nisko-Ti) kad je udio  $\text{TiO}_2 < 0,70\%$ , srednje titanske (srednje-Ti) sa udjelom  $0,70 - 1,30\%$   $\text{TiO}_2$  i visoko titanske (visoko-Ti) ako je  $\text{TiO}_2$  u hemijskoj analizi stijene  $> 1,30\%$ . Alternativna klasifikacija (Beccaluva i dr., 1983) podrazumijeva granične vrijednosti  $\text{TiO}_2$  za podjelu stijena na nisko-Ti i visoko-Ti postavljene na  $0,5-1,1\%$  odnosno  $1,3-2,1\%$ .

Sadržaj Ti u oceanskim mafitnim stijenama govori o različitim geotektonskim režimima nastanka stijena. Visoko-Ti grupa stijena se odnosi na N-MORB (Normal Middle Ocean Ridge Basalt - Normalni bazalt srednjooceanskog grebena) i marginalne bazene, a srednje-Ti i nisko-Ti grupa stijena je karakteristična za prelazna područja MORB-a (Middle Ocean Ridge Basalt - Bazalt srednjooceanskog grebena) i IAT-a (Island Arc Tholeiit - Toleitni ostrvskih lukova). Nisko-Ti grupa ukazuje na stijene bazalnog hemizma koje su nastali duž sekundarnih akrecijskih centara suprasubdukcijske zone (SSZ), duž koje se nastavlja stvaranje oceanske kore unutar gornje, obducirane ploče oceanske litosfere (Saundres i dr. 1984).

Mafitne stijene KKOK-a pokazuju znatno variranje u sadržaju  $\text{TiO}_2$  od 0,02 do 2,59 %. Na osnovu klasifikacije Bortolotti-a (2002) većina intruzivnih stijena i njihovih dajkova pripadaju nisko-Ti stijena, dok uzorak gabra ER9 sa 1,27 %  $\text{TiO}_2$  pripada srednje-Ti grupi, a uzorak enstatit gabra (norita) D9 koji sadrži 1,77 %  $\text{TiO}_2$  spada u grupu visoko-Ti stijena. Nizak sadržaj  $\text{TiO}_2$  u izotropnim gabroidima odražava i nizak sadržaj tog elementa u njihovim feromagnezijskim fazama.

Sve mafitne stijene KKOK-a za koje je na temelju mikrostruktura zaključeno da nisu kumulatne, odnosno da svojim hemijskim sastavom mogu predstavljati magmu iz koje su kristalizirale, plotirane su u dijagramu  $\text{Ti}/\text{Cr} - \text{Ni}$  (sl. 8) sa svrhom utvrđivanja njihovog geohemijskog afiniteta. Klasifikacijski dijagram  $\text{Ti}/\text{Cr} - \text{Ni}$  (Beccaluva i dr., 1983) pokazuje da velik dio uzoraka pada u polje visoko-Ti stijena, manji dio pripada nisko-Ti stijenama, dok jedan broj izotropnih gabroida leži na granici visoko-Ti sa vrlo nisko-Ti stijenama. Ove stijene, uključivši i uzorak boninita, imaju najniži sadržaj  $\text{TiO}_2$  i trebale bi se nalaziti u polju vrlo nisko-Ti stijena. Budući da ove stijene sadrže olivin pa posljedično i veći sadržaj Ni za dati omjer  $\text{Ti}/\text{Cr}$  pomiču se na graničnu liniju. Ovdje će se navedene stijene smatrati da pripadaju grupi vrlo nisko-Ti stijena.

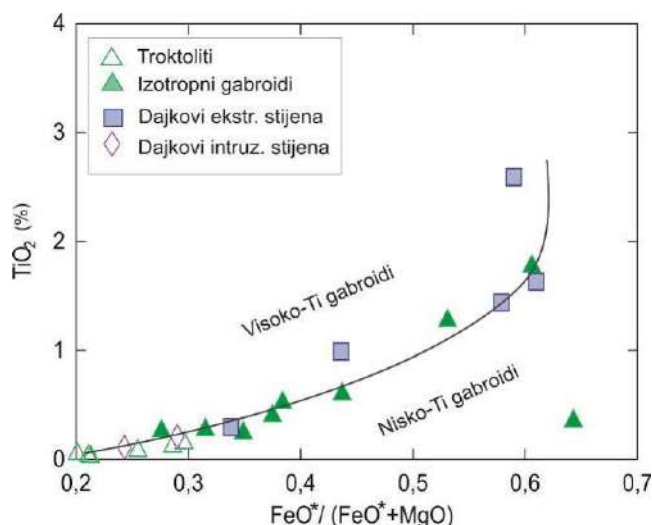
Gledajući statistički, u ekstruzivnim je stijenama skoro ujednačen odnos srednje-Ti i visoko-Ti uzoraka stijena. U rejonu Ribnice pretežu visoko-Ti ekstruzivne stijene. Uzorak dijabaza ER29 sa Karaule i dolerita D12 Dubošćice pripadaju srednje-Ti stijenama. Dajkovi Ribnice imaju karakteristike visoko-Ti i srednje Ti-stijena, dok uzorak boninita ER13 pripada vrlo-nisko-Ti stijenama. Dva uzorka spilita (pillow lava) DR25 i ER40 pripadaju visoko-Ti stijenama (sl. 8).



**Slika 8.** Pozicije analiziranih mafitnih stijena KKOK-a u dijagramu  $\text{Ti}/\text{Cr} - \text{Ni}$  (Beccaluva i dr., 1983).

MORB (Middle Ocean Ridge Basalt - Bazalt srednjooceanskog grebena), IAT (Island Arc Tholeiit – Toleiti ostrvskih lukova), BARB (Back-Arc Ridge Basalt – Bazalt zalučnog grebena).

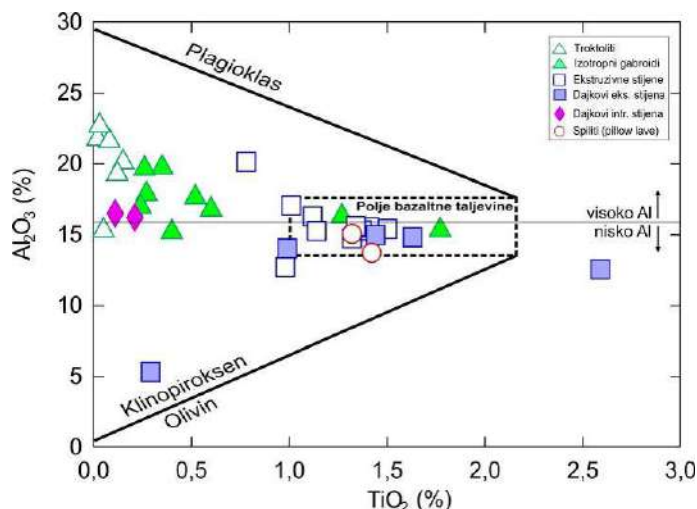
Dijagram  $\text{TiO}_2 - \text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$  na slici 9. pokazuje pravilnu pozitivnu korelaciju sadržaja  $\text{TiO}_2$  sa napredovanjem frakcionacije, ovdje izraženom indeksom željezovitosti  $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$ . Sadržaj  $\text{TiO}_2$  u stijenama kontinuirano raste od kumulatnih stijena troktolita, preko dajkova intruzivnih stijena ka izotropnim gabroidima i dajkovima ekstruzivnih stijena, te na nivou  $\text{TiO}_2 \geq 2\%$  dostiže maksimum. Ovakva kovarijacija ukazuje na kristalizaciju ilmenita zajedno sa Ti-augitom (Herbert, 1982).



**Slika 9.** Varijacijski dijagram  $TiO_2 - FeO^*/(FeO^*+MgO)$  za mafitne intruzivne stijene KKOK-a (Serri, 1981).  $FeO^*$  predstavlja ukupno Fe u stijeni izraženo kao  $FeO$ .

Ovaj dijagram se ujedno koristi za geohemijsku klasifikaciju mafitnih intruzivnih stijena i asociranih dajkova odnosno za razlikovanje visoko-Ti gabroida od nisko-Ti gabroidnih stijena (Serri, 1981). Relevantne stijene KKOK-a najčešće slijede granicu između polja. Visoko-Ti tipu pripadaju uzorci dajkova ekstruzivnih stijena: mikrogabro ER1 i dijabaz BR3b, te gabro ER9. U polje nisko-Ti gabroida padaju uzorci gabra D10, amfibol gabronorita ER17, gabronorit ER31, te uzorak diorita ER14.

Mafitne stijene KKOK-a pokazuju široki raspon sadržaja  $Al_2O_3$  od 5,24 do 22,68 mas.%. Najniža vrijednost određena je u dajku boninita ER13, a najviša u uzorku troktolita ER32. Sadržaj  $Al_2O_3$  u mafitnim stijenama koristi se prema Wilkinson-u (1985) za klasifikaciju na nisko-Al i visoko Al-tipove s granicom postavljenoj na ~ 16 mas.%  $Al_2O_3$  (sl. 10).



**Slika 10.** Pozicije analiziranih mafitnih stijena KKOK-a na  $Al_2O_3 - TiO_2$  dijagramu s naznačenim trendovima akumulacije plagioklasa, klinopiroksena i olivina (Peters i Mercolli, 1997).

U grupu nisko-Al stijena padaju ekstruzivne stijene osim dolerita DR19 i DR28 i dijabaza ER29, svi dajkovi ekstruzivnih stijena i spiliti (pillow lave). U grupu visoko-Al stijena padaju izotropne intruzivne stijene (osim uzoraka gabra D9 i D10) kao i njihovi dajkovi. Uzorci troktolita, uz izuzetak uzorka ER21, izrazito padaju u polje visoko-Al stijena što je u skladu s velikom količinom modalnog akumuliranog bazičnog plagioklasa u ovim stijenama. Na  $Al_2O_3 - TiO_2$  dijagramu (Peters i Mercolli, 1997) analizirane mafitne stijene KKOK-a obrazuju dvije skupine. Prva skupina, pada u polje bazaltne taljevine, a čine je ekstruzivne stijene, njihovi dajkovi i spiliti (pillow lave), te dva izotropna gabroida. Ova grupa je srednje-Ti do visoko-Ti, ima nisko-Al karakteristike stijena, ali nema izraženu tendenciju rasta ili opadanja sadržaja  $Al_2O_3$ . Drugu skupinu formiraju kumulatne i izotropne intruzivne stijene, te njihovi dajkovi. Grupa ima geohemijski afinitet nisko-Ti i visoko-Al grupe stijena u kojoj se pokazuje tendencija smanjenja sadržaja  $Al_2O_3$  porastom koncentracije  $TiO_2$ . Dajkovi ekstruzivnih stijena, boninit uzorak ER13 i uzorak mikrogabra ER1 ne uklapaju se ni u jedan trend.

Blago povećane koncentracije MnO (> 0,2 %) u nekim stijenama (npr. boninit ER13, tabela 2) javljaju se kao posljedica veće količine modalnog ilmenita koji sadrži značajnu količinu pirofanitne komponente, ili prisutnosti magmatskog amfibola (Gillis i Thompson, 1993). Ilmenit sa niskim udjelom pirofanitne komponente karakterističan je za mafitne stijene oceanskih grebena (Hébert i dr.1991) dok su ilmeniti obogaćeni sa Mn zabilježeni u mafitnim stijenama vezanim za ostrvski luk (Mahlburg i Kay,1983).

Sadržaj volatila u mafitnim stijenama KKOK-a varira od 0,10 do 7,40 % zavisno o različitom intenzitetu alteracijskih procesa u analiziranim stijenama. Povišen sadržaj volatila (> 4%) u sedam uzoraka (tabela 2), osim sa alteracijskim procesima povezan je i sa povećanom količinom mandula u stijenama.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu sadržaja Zr evidentno je da najviši stepen diferencijacije olivinsko-toleitne magme imaju ekstruzivne stijene, njihovi dajkovi i spiliti (pillow lave).

Intenzitet albitizacije predmetnih stijena je relativno nizak, tako da koncentracije Na i Ca ostaju u magmatskim okvirima (najjače albitizarni uzorci), te bivaju redistribuirani u albit odnosno Ca-silikatne minerale i kalcit.

Na TAS dijagramu ekstruzivne stijene pripadaju subalkalijskoj seriji, skoro sve padaju u polje bazalta. Izuzeci su rari boninit (ER13) i pikrobazalt (ER1), te spiliti (DR20 i DR21) povišene „lažne“ alkalnosti. Sve intruzivne stijene takođe pripadaju subalkalijskoj seriji, plotiraju se u polje gabra, osim diorita (ER14).

Omjer sadržaja inkompatibilnih imobilnih glavnih elemenata i odgovarajućih elemenata u tragovima ukazuje da sve analizirane stijene padaju u polje bazalta, osim diorita (ER14) koji pada u polje trahandezita.

Diferencijacijski trend na AFM dijagramu karakterističan je za toleitnu seriju stijena koja se nalazi u alpinotipnim ofiolitnim kompleksima.

Nekumulatne intruzivne stijene i njihovi dajkovi pripadaju nisko-Ti grupi stijena i geotektonski su vezane za suprasubdukcijske zone (SSZ). Ekstruzivne stijene i njihovi dajkovi pripadaju srednje-Ti (prelazno geotektonsko okruženje MORB – IAT) i visoko-Ti grupi stijena (N-MORB geotektonsko okruženje).

Korelacijom sadržaja Ti i indeksa željezovitosti utvrđena je zajednička kristalizacija ilmenita i Ti-augita, kao i da najveći broj analiziranih stijena pada na graničnu liniju visoko-Ti i nisko-Ti gabroida.

Odnos Al-Ti kod ekstruzivnih stijena, njihovih dajkova i spilita (pillow lava) ukazuje na kotektičku kristalizaciju plagioklasa, klinopiroksena uz opâke Ti-oksidge faze (Ti-magnetita i/ili ilmenita).

Kod kumulatnih i izotropnih intruzivnih stijena, te njihovih dajkova, odnos Al-Ti ukazuje na kumulaciju plagioklasa uz olivin u troktolitima i postepeni prelaz kumulatnih stijena u izotropne kristalizacijske diferencijate izgrađene dominantno od plagioklasa i klinopiroksena.

\*\*\*\*\*

*Finansijsku podršku za terenska i laboratorijska istraživanja pružilo je Federalno Ministarstvo Obrazovanja i Nauke /FMON/, naučno-istraživački projekt: „Tektonomagmatska obilježja krivajsko-konjuškog i okolnih sjeverozapadnih ofiolitnih kompleksa”, broj: 03-39-7194-27/07, RGGF 2007 godine.*

## LITERATURA

1. Anonimni autor, (1972): Penrose field conference on ophiolites. *Geotimes* 17.
2. Babajić, E., (2009): Petrološko-geohemijska i geotektonska obilježja mafitnih magmatskih stijena krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa; doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
3. Beccaluva, L., i dr. (1983): Magma affinities and fractionation trends in ophiolites. *Ofioliti*, 8 (3), 307-324.
4. Bortolotti, V., i dr. (2005): Mesozoic to Tertiary tectonic history of the Mirdita ophiolites, northern Albania, *The Island Arc* 14, 471-493.
5. Čičić, S., (1988): Osnovna geološka karta SFRJ, list Tuzla, 1: 100 000, OOUR Geoinstitut Sarajevo.
6. Gillis, K.M., & Thompson, G., (1993): Metabasalts from the Mid-Atlantic Ridge: new insights into hydrothermal systems in slow-spreading crust. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 113, 502-523.
7. Harker, A., (1909): The natural history of igneous rocks. Methuen, London.
8. Hebert, R., (1982): Petrography and mineralogy of oceanic peridotites and gabbros: some comparisons with ophiolite examples. *Ofioliti*, 2 (3), 299-324.
9. Irvine, T.N., & Baragar, W.R.A., (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
10. IUGS, (1973): Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks, Stuttgart, N. Jb. Miner. Mh., H4, 149-164.
11. Jovanović, R., (1957): Pregled razvoja mezozoika i neki novi podaci za stratigrafiju i tektoniku NR BiH, II-ewe Congres des Geologues de Yugoslavie, Budva 08.09.-14.09.1957. L' union des sociétés geologique de la R.F.P. de Yugoslavie, Sarajevo, 38-63.
12. Jovanović, R., (1961): Prilog poznavanju prostranstva i facija mezozoika «Unutrašnje zone Dinarida» u NR BiH, III-ewe Congres des Geologues de Yugoslavie, Budva 27.09.-04.10.1959. L' union des sociétés geologique de la R.F.P. de Yugoslavie, Titograd, 148-176.
13. Kretz, R., (1983): Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 68, 277-279.
14. Le Bas, M. J., (2000): IUGS classification of the high-Mg and picritic volcanic rocks; *J. Petrol.* 41, 1467-1470.
15. Le Bas, i dr. (1991): The IUGS systematic of igneous rocks, *Journal of the Geological Society*, London, vol.148, pp. 825-833

16. Le Bas, i dr. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology* 27, 745-750.
17. Lugović, B., (1986): Gabro-peridotitska asocijacija stijena sjeverozapadnog oboda ofiolitnog masiva Maljena. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 207 pp., Zagreb.
18. Lugović, B., i dr. (1991): Geochemistry of peridotites and mafic igneous rocks from the Central Ophiolite Belt, Yugoslavia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 201-216.
19. Mahlburg, S., & Kay, R.W., (1985): Role of crystal cumulates and the oceanic crust in the formation of the lower crust of the Aleutian arc, *Geology*, 13, 461-464.
20. Majer, V., & Garašić, V., (2001): Plagiogranites from the ophiolite complexes of Dinarides and Vardar zone, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, vol.3, str.1-7, Zagreb.
21. Middlemost, E.A.K. (1975): The basalt clan. *Earth Sci. Rev.*, 11, 337-364.
22. Moores, E.M., & Jackson, E.D., (1974): Ophiolites and oceanic crust. *Nature*, 250, 136-139.
23. Olujčić, J., i dr. (1958-70): Osnovna geološka karta SFRJ, list Vareš, 1: 100 000, OOUR Institut za geologiju Sarajevo.
24. Pamić, J., i dr. (1970): Tumač za osnovnu geološku kartu, list Vareš 1:100 000. Institut za geologiju Sarajevo.
25. Pamić, J., i dr. (1973): Tumač za osnovnu geološku kartu, list Zavidovići 1:100 000. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.
26. Pamić, J., (1974): Alpine-type Gabbros Within the Krivaja-Konjuh Ultramafita Massif in the Ophiolite Zone of the Dinarides, Yugoslavia, *TMPM Tschermarks Min. Pet. Mitt.* 21, 261-279.
27. Pamić, J. i dr. (1977): Postkonsolidacione promjene na bazičnim stijenama iz ofiolitske zone u Bosni, Posebni otisak Glasnika Zemaljskog muzeja N.S. sv. XVIII-Prirodne nauke.
28. Pamić, J., (1982): Some geological problems of the Dinaride ophiolites and their associations. *Earth Evol. Scie.*, 2, 30-35.
29. Pamić, J. i dr. (1987): Dijabaz-doleriti, bazalti i metabazalti iz ofiolitnog kompleksa okoline Maglaja u Bosni (Jugoslavija), Crnogorska akademija nauka, Titograd.
30. Pamić, J., (1996): Magmatske formacije Dinarida, Vardarske zone i južnih dijelova Panonskog bazena. Nacionalna i sveučilišna biblioteka, Zagreb.
31. Pamić, J., i dr. (1998): Geodynamic evolution of the central Dinarides. *Tectonophysics*, 297, 251-268.
32. Pearce, J.A., & Norry, M.J., (1979): Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 33-47.
33. Peters, T. & Mercogli, I. (1997): Formation and evolution of the Masirah Ophiolite (Sultanate of Oman). *Ophioliti*, 22 (1), 15-34.
34. Ristić, P., i dr. (1967): Magmatizam i geochemizam planine Konjuh, Arhiv za tehnologiju, V, 3-4.
35. Rollinson, H.R., (1993): Using Geochemical Data. Longman Scientific & Technical, New York.
36. Salkić, Z., (2005): Petrologija i geochemija tercijarnih vulkanskih stijena u Bosni i Hercegovini, doktorska disertacija, RGGF Tuzla.
37. Saunders, A.D., & Tarney, J., (1979): The geochemistry of basalts from a back-arc spreading center in the East Scotia Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 555-572.
38. Serri, S., (1981): The petrochemistry of ophiolitic gabbro-complexes: A key for classification of ophiolites to low-Ti and high-Ti types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 52, 203-212.
39. Slovenec, Da., (2002): Petrologija i geokemija ofiolitnih stijena Medvednice, doktorska disertacija, RGNF Zagreb.

40. Strajin, V., i dr. (1978): Tumač za osnovnu geološku kartu, list Vlasenica 1: 100 000, Geoinžinjering, OOUR Institut za geologiju Sarajevo.
41. Strajin, V., (1965-72): Osnovna geološka karta SFRJ, list Vlasenica, OOUR Institut za geologiju Sarajevo.
42. Streckeisen, A., (1978): Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. *N. Jb. Miner. Abh.*, 134 (1), 1-14, Stuttgart.
43. Sunarić-Pamić, O., i dr. (1962-65): Osnovna geološka karta SFRJ, list Zavidovići, 1: 100 000, Institut za geološka istraživanja Sarajevo.
44. Trubelja, F., (1961): Magmatske stijene jugoistočnog dijela planine Konjuh (Bosna). *Geol. glasnik*, 5, 241-262, Sarajevo.
45. Weaver i dr. (1972): Trace-element data relevant to the origin of trachytic and pantelleritic lavas in the East African rift system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 36, 181-194.
46. Werner, C.D. (1984): Global evolution of the mafic magmatism with special regard to the rare earth elements. *Min. Slov.*, 16, 29-37, Bratislava.
47. Wilkinson, J.F.K (1985): Classification and Average Chemical Compositions of Common Basalts and Andesites. *J. Petrol.*, 27 (1), 31-62.
48. Winchester, J.A., & Floyd, P.A., (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, Amsterdam, 325-343.
49. Wright, T.T., (1974): Presentation and interpretation of chemical data for igneous rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 48, 233-248.



## Mineralogical Characteristics of Smelting and Granulated Slag of Technogenic Deposit "Depo 1" Bor

### Mineraloške karakteristike topioničke i granulirane šljake sa tehnogenog ležišta „Depo 1“ Bor

VESNA LJUBOJEV<sup>1</sup>, SLAĐANA KRSTIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> B.Sc.geology, Mining and Metallurgy\_Institute, Bor, Zeleni bulevar 35, Serbia; Tel: 381 30 454 263

<sup>2</sup> B.Sc.geology, Mining and Metallurgy\_Institute, Bor, Zeleni bulevar 35, Serbia; Tel: 381 30 454 207

#### Abstract

Technogenic copper deposit formed from smelting slag "Depo 1" is the most important and largest slag depot from reverberatory furnaces where slag was dumped until in 1997. This paper is the result of the Project TR33023, funded by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia. This paper presents the mineralogical and structural characteristics of smelting slag from "Depo 1" in Bor and a need for further experimental research. Mineralogical determination (qualitative and quantitative mineralogical analysis) was conducted on a representative sample S-1. Smelting slag from reverberatory furnaces is characterized by heterogeneity in terms of physical, mineralogical and chemical properties. This is due to the variety of ores, concentrates and fluxes used in the smelting process as well as various applied technologies. Based on qualitative mineralogical analysis, the following mineral composition of slag was found out: solid sulphide melt (Cu-Fe), chalcocite, pyrite, copper, chalcopyrite, bornite, magnetite and gangue minerals (quartz, fayalite, etc.). The structural characteristics of samples are important due to a regulation of required degree of fragmentation for further research in the flotation. They can be divided into: individual minerals (14.09%) and mesogen minerals (15.84%). Granulation process in laboratory conditions involves rapid cooling of liquid slag under cold water pressure and obtaining the slag in a form of irregular granules. Quality of granules depends on chemical composition of slag, temperature before spilling, rate of slag spilling, pressure and amount of cooling water. During experiment, 25 kg of slag was melted. Difference in chemical composition, before and after granulation of slag, is explained by separation of special phase (copper matte -  $\text{Cu}_2\text{S FeS}$ ) that was trapped in the pieces of slag. Chemical composition of copper matte from granulated slag is: Cu 17.04%, Fe 36.38%, S 15.13%, CaO 7.40%, FeO 44.02%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  6.53%,  $\text{SiO}_2$  17.00%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1.63%. Macroscopic description of a sample S-1 is: dark gray with steel shine. In some places there is irritating green-blue shade due to longer standing of slag in the air. On sample surface, there are visible spherical cavities, indicating that the sample is a product of ore (slag) melting. Microscopic determination of sample has found out the following mineral composition: fayalite, ferrite, pyrite, chalcocite, bornite, solid sulfide solution (copper matte) and native (metallic) copper. The base of slag is made of fayalite and ferrite in which tiny particles of pyrite, chalcopyrite, chalkosine, bornite, copper matte and native (metallic) copper are disseminated. Fayalites are represented in the form of needle-like crystals. Ferrites are represented in the form of skeletal crystals (dendrites). Fayalites and ferrites are the product of ore (slag) melting. Pyrite is the most present of all sulphide minerals in the form of spherical beads and irregular forms. Pyrite is generally fused with waste. Copper minerals occur as chalcopyrite, chalkosine and bornite. Native copper is rarely observed in the form of small veins and granular forms. Further laboratory research is necessary to find out an adequate method of copper matte obtaining since high copper content in copper matte gives the opportunity of increasing the economic profit in exploitation of technogenic copper deposit "Depo 1".

**Key words:** technogenic copper deposit, smelting slag, structural characteristics, waste rock minerals, individual minerals, mesogen minerals, copper matte.

#### Sažetak

Tehnogeno ležište bakra nastalo od topioničke šljake "Depo 1" je najznačajnija i najveća deponija šljake iz plamenih peći na kojoj je šljaka odlagana do 1997 godine. Ovaj rad je rezultat projekta TR33023, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Rad prikazuje mineraloške i

strukturne karakteristike topioničke šljake iz "Depo 1" u Boru i potrebu za dalja eksperimentalna istraživanja. Mineraloška determinacija (kvalitativna i kvantitativna mineraloška analiza) je urađena na reprezentativnom uzorku S-1. Topioničku šljaku iz plamenih peći karakteriše heterogenost u pogledu fizičkih, mineraloških i hemijskih svojstava. To je zbog različitih ruda, koncentrata i fluksa koji su korišćeni u procesu topljenja, kao i različitih tehnologija koje su primenjivane. Na osnovu mineraloške kvalitativne analize utvrđen je sledeći mineralni sastav šljake: čvrsti sulfidni rastop (Cu-Fe), halkozin, pirit, bakar, halkopirit, bornit, magnetit i minerali jalovine ( kvarc, fajalit itd ). Strukturne karakteristike uzorka su važne zbog odredbe neophodnog stepena fragmentacije za dalja istraživanja u flotaciji. One se mogu podeliti na: samostalne minerale (14.09 %) i minerale sraslace (15.84 %). Proces granulacije u laboratorijskim uslovima podrazumeva naglo hlađenje tečne šljake hladnom vodom pod pritiskom i dobijanje šljake u formi nepravilnih granula . Kvalitet granula zavisi od hemijskog sastava šljake, temperature pre izlivanja, brzine izlivanja šljake, pritiska i količine vode za hlađenje. U toku eksperimenta istopljeno je 25 kg šljake. Razlika u hemijskom sastavu, pre i posle granulisanja šljake, objašnjava se izdvajanjem posebne faze (bakrenca-  $\text{Cu}_2\text{S}$  FeS) koja je bila zarobljena u komadima šljake. Hemijski sastav bakrenca iz granulisanje šljake je Cu 17,04%, Fe 36,38%, S 15,13%, CaO 7,40%, FeO 44,02%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  6,53%,  $\text{SiO}_2$  17,00%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1,63%. Makroskopski opis uzorka S-1: tamnosiva boja, čeličnog sjaja. Na nekim mestima javlja se irizirajuća zelenoplava nijansa zbog dužeg stajanja šljake na vazduhu. Na površini uzorka vidljive su sferične šupljine, što ukazuje da je uzorak proizvod topljenja rude (šljaka). Mikroskopskom determinacijom uzorka utvrđen je sledeći mineralni sastav: fajalit, ferit, pirit, halkozin, bornit, čvrsti sulfidni rastvor (bakrenac) i samородni (metalni) bakar. Osnova šljake je izrađena od fajalita i ferita u koju su uprske sitne čestice pirita, halkopirita, halkozina, bornita, bakrenca i samородnog (metalnog) bakra. Fajaliti su zastupljeni u vidu pritkastih kristalića. Feriti su zastupljeni u vidu skeletnih kristala (dendriti). Fajaliti i feriti su proizvod topljenja rude (šljake). Pirit je najzastupljeniji od svih sulfidnih minerala, u vidu sferičnih zrna i nepravilnih formi. Pirit je uglavnom srastao sa jalovinom. Od minerala bakra javljaju se halkopirit, halkozin i bornit. Samородni bakar se retko uočava u vidu sitnih žilica i zrnastih formi. U daljem laboratorijskom istraživanju potrebno je pronaći adekvatnu metodu dobijanja bakrenca obzirom da veliki sadržaj bakra u bakrencu daje mogućnost povećanja ekonomske dobiti pri eksploataciji tehnogenog ležišta bakra "Depo 1".

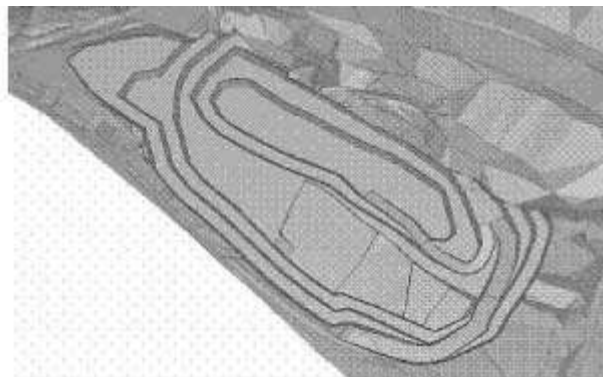
**Ključne reči:** tehnogeno ležište bakra, topionička šljaka, strukturne karakteristike, minerali jalovine, samostalni minerali, minerali sraslaci, bakrenac.

Eksploatacija rude bakra u Boru započela je 1903. godine. Istovremeno je vršeno topljenje rude, a1. **Uvod** nakon izgradnje flotacijskih pogona (1934 godina) započeta je proizvodnja i koncentrata bakra i plemenitih metala. Do 60-tih godina prošlog veka u topioničkim pogonima vršena je prerada rude i koncentrata dobijenog eksploatacijom iz ležišta bakra Bor. Nakon toga, pored koncentrata dobijenog iz borskog rudnika prerađuju se i koncentratu dobijeni iz ležišta: Lipe, Majdanpeka, Bučima, Cerova (M. Krivelj), uvezenih iz inostranstva i dr.

Topioničkim procesom nastao je tehnogeni otpad (topionička šljaka) čija količina iznosi preko 15 miliona tona. U zavisnosti od tehnologija koje su korišćene pri eksploataciji i tehnologija metalurškog procesa, kao i samih karakteristika ruda, koncentrata bakra i topitelja, stvaran je tehnogeni otpad, veoma različitih, kako fizičkih i mineraloških, tako i hemijskih karakteristika. Deponija je smeštena, delom, u starom koritu borske reke, a jednim delom na njenim zapadnim padinama. Tokom proteklog perioda odlaganja šljake formiran je plato srednje moćnosti od oko 30 m. Dimenzija duže ose (SZ – JI) je oko 650 m, a kraće (JZ – SI) oko 200 m. Na tehnogenom ležištu bakra nazvanom „Depo šljake 1“ šljaka je odlagana do 1997 godine (slika 1a i slika 1 b).

Prognoza svetskih stručnjaka pokazuje da će do kraja prvog kvartala ovog veka biti oko 20–30% bakra manje proizvedeno (iz prirodnih resursa) u odnosu na potrebe u svetu. Taj nedostatak treba da se nadoknadi preradom recikliranih sirovina i tehnogenog otpada, koji u sebi sadrži bakar. Realizacija ovog tehnološkog postupka ima poseban značaj, jer se preradom ovih sirovina, pored ekonomskih efekata rešavaju i ekološki problemi iz oblasti zaštite životne sredine što je za grad Bor (i šire) od izuzetnog značaja.

Pri ispitivanju mogućnosti prerade šljake u cilju valorizacije svih korisnih komponenti (pre svega bakra i plemenitih metala) od 2002. do 2006.godine prerađeno je oko 1 300 000 tona šljake. Dobijene su znatne količine bakra, zlata i srebra, čime je dokazano da je primenjenim postupcima moguća valorizacija korisnih komponenti iz navedene sirovine.



Slika 1a. Subvertikalni odsek kosine na ležištu "Depo 1"; Slika 1b. Projektovani izgled kopa ležištu "Depo 1"

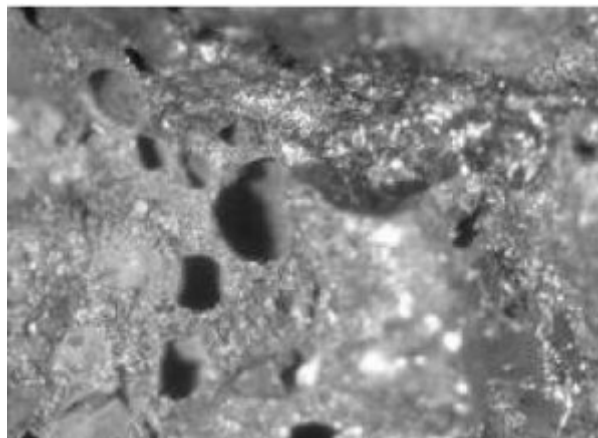
## 2. Mineraloška ispitivanja topioničke šljake

Topioničku šljaku iz plamenih peći karakteriše heterogenost u smislu fizičkog, mineralološkog i hemijskih svojstava. To je zbog različitih ruda, koncentrata i fluksa korišćenih u procesu topljenja, kao i različitih tehnologija koje su primenjene. Mineraloška ispitivanja (kvalitativna i kvantitativna mineraloška analiza) je vršena na reprezentativnom uzorku S-1. Mikroskopska ispitivanja vršena su mikroskopom Aksioskop 40, sa uređajem za mikrofotografiju.

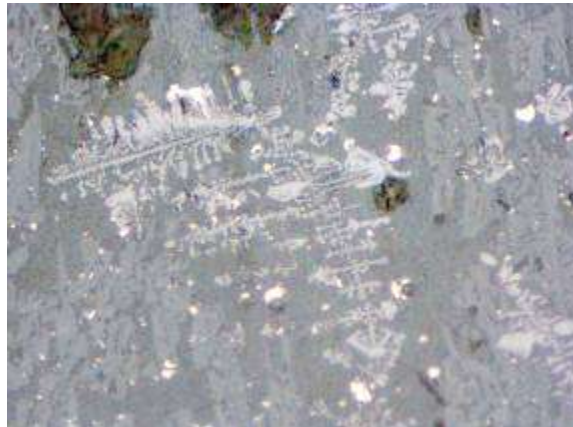
Kvalitativna mineraloška analiza je urađena na polarizacionom mikroskopu gde su identifikovani minerali ruda i minerali jalovine (određivanje mineralnog sastava i strukturno-teksturnih karakteristika minerala). Kvantitativna mineraloška analiza urađena korišćenjem paralelnih profila na rastojanju od 1 mm. Rastojanja između ispitivanih oblasti i profila su ručno pomerani.

### 2.1. Makroskopska ispitivanja topioničke šljake

Uzorci šljake nemaju tipičan šljakast izgled zbog manjeg broja šupljina koje su karakteristične za šljaku. Uzorci su tamnosive do crne boje, mat, sa retkim plavo-zelenim nijansama koje su najverovatnije rezultat izloženosti površinskim atmosferilijama pri dužem vremenskom periodu. Prisutne su i crveno-braon nijanse kao posledica prisustva bakarnih minerala (slika 2).



Slika 2. Šljaka binocular, 50X



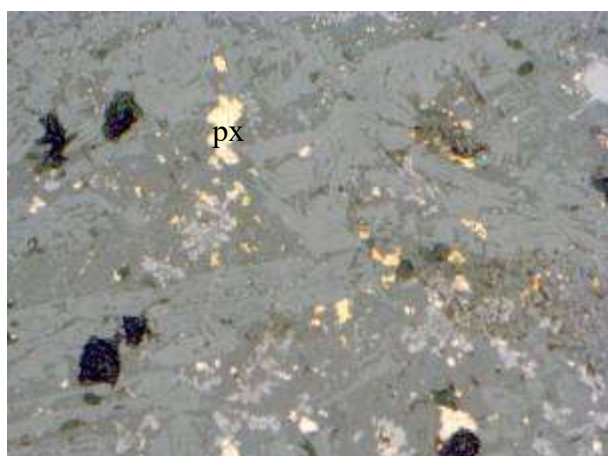
Slika 3. Dendriti ferita, II N, 200X

## 2.2. Mikroskopska ispitivanja topioničke šljake

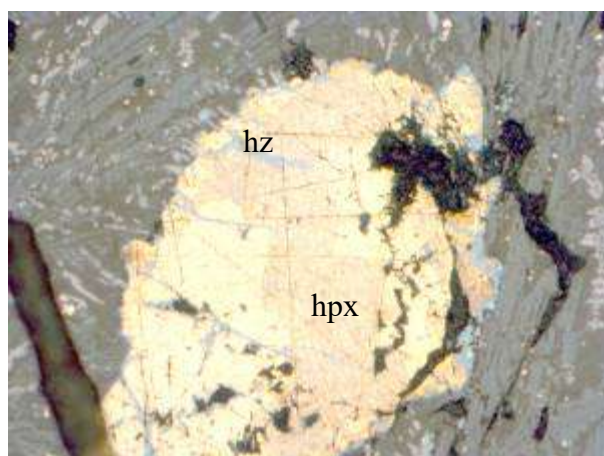
Može se konstatovati da je šljaka izgrađena od fajalita i ferita koji grade osnovu u koju su uprsrane sitne čestice magnetita, pirita, halkopirita, halkozina, bornita, bakrenca i elementarnog (samorodnog) bakra. Fajaliti su zastupljeni u vidu pritkastih kristalića, što ukazuje na proizvod topljenja rude - šljaka. Feriti takođe ukazuju na proizvod topljenja rude (slika 3). Zastupljeni su u vidu skeletnih kristala ( dendrita). Magnetit se javlja pretežno samostalno u kristalnim formama kocke ili radialno zrakastim kristalnim formama. Ređe se javlja u zrnima nepravilnih oblika (slika 4). Od svih sulfidnih minerala pirit je najzastupljeniji i javlja se u vidu hipidiomorfnih, uglavnom samostalnih zrna.

Od minerala bakra javljaju se halkopirit, halkozin i bornit. Halkopirit se javlja u nepravilnim, relativno sitnim, poljima, retko srastao sa halkozinom (slika 5 i slika 8), dok su pojedina zrna prožeta halkozinom. Retko je vezan za jalovinu. Halkozin se ređe javlja u sitnim zrnima slobodan, srastao za halkopirit i jalovinu (slika 6 i slika 7). Bornit se javlja u vidu ksenomorfnih zrna (slika 9). U tim zrnima se vidi transformacija halkopirita u bornit, a bornita u halkozin odnosno bakrenac (slika 10).

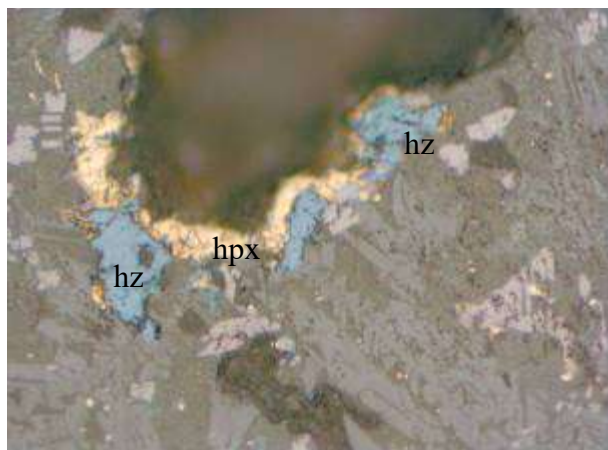
Elementarni (samorodni) bakar se ređe javlja uklopljen u zrnima bornita ili samostalan (slika 11).



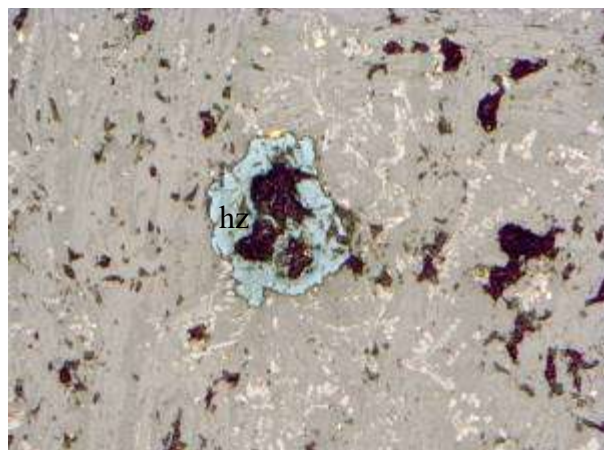
Slika 4. Zrna pirita (px) u fajalitskoj osnovi, II N, 200X



Slika 5. Halkopirit (hpx) u fajalitskoj osnovi, prožet halkozinom (hz), II N, 200X



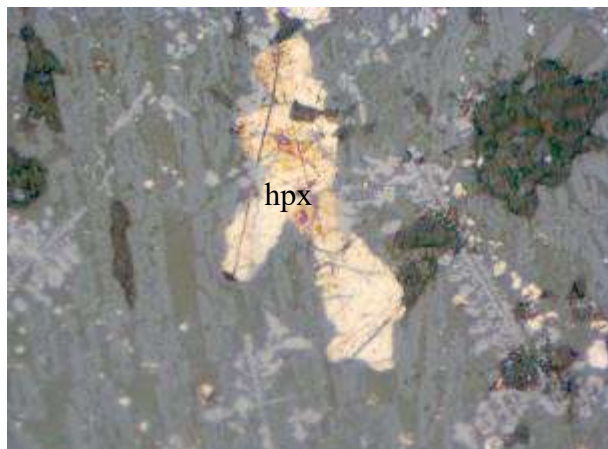
Slika 6. Sraslaci halkozina (hz), halkopirita (hpx) i jalovine, II N, 500X



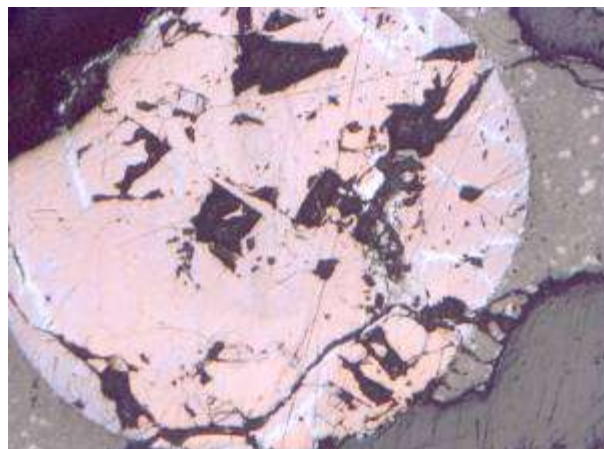
Slika 7. Sraslaci halkozina (hz) i jalovine, II N, 100X

Kvalitativnom mineralološkom analizom utvrđen je sledeći mineralni sastav šljake: čvrst sulfidni rastop (Cu-Fe), halkozin, pirit, bakar, halkopirit, bornit, magnetit i minerali jalovine ( kvarc, fajalit itd). Strukturne karakteristike uzorka su važne zbog odredbe neophodnog stepena fragmentacije za dalja

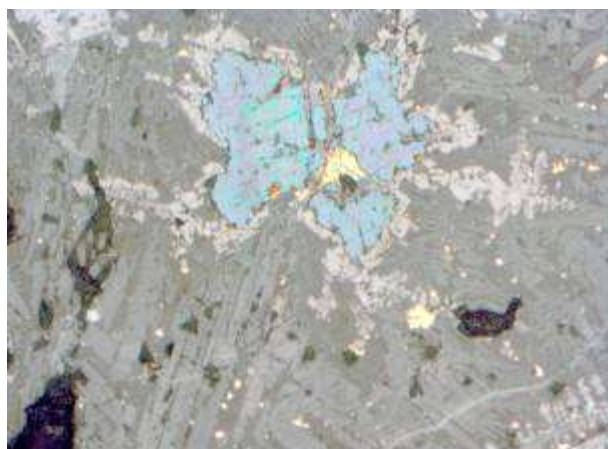
istraživanja u flotaciji. Njihovim ispitivanjem utvrđeno je da su samostalni minerali zastupljeni sa 14.09 % a minerali sraslaci čine 15.84 %.



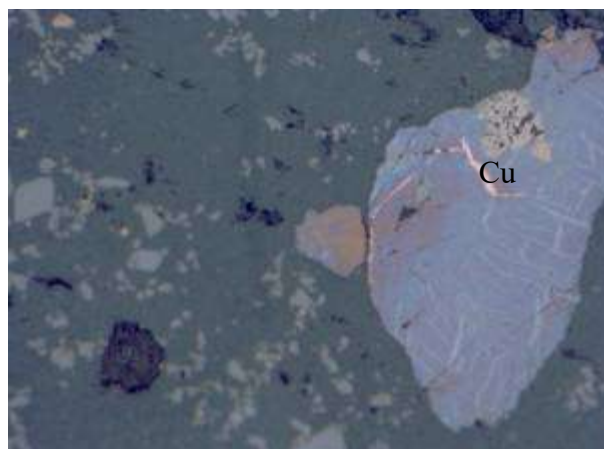
Slika 8. Halkopirit (hpx) u fajalitsko fosteritskoj osnovi, II N, 500X



Slika 9. Bornit, uvećanje II N, 100x



Slika 10. Bakrenac u fajalitsko fosteritskoj osnovi, II N, 200X



Slika 11. Elementarni bakar (Cu) u bakrenacu, uvećanje, II N, 200X

### 3. Mineraloška ispitivanja granulirane šljake

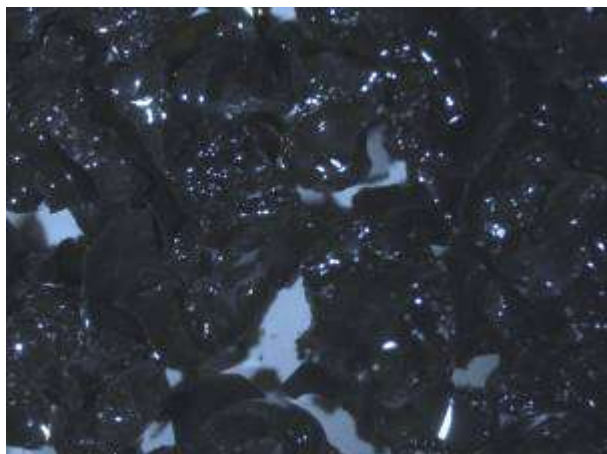
Godinama su vršena tehnološka istraživanja radi što bolje valorizacije korisnih elemenata iz topioničke šljake čiji je sastavni deo i mineraloška karakterizacija iste. Preliminarna ispitivanja vršena su mokrim i suvim postupcima magnetne koncentracije na jačinama magnetnog polja od 0,2 do 1T. Polazni uzorak šljake gustine  $3575 \text{ kg/m}^3$ , hemijskog sadržaja Fe 36,60%;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  9,49%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,00% i  $\text{SiO}_2$  i 32,94% izdvojen je na: magnetičnu frakciju (gustina  $3660 \text{ kg/m}^3$ , Fe 37,98%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  11,42%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4,81%,  $\text{SiO}_2$  32,74) i nemagnetičnu frakciju (gustina  $3060 \text{ kg/m}^3$ , Fe 31,83%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  5,98%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,94%,  $\text{SiO}_2$  49,70%). Ispitivanja ovom metodom nisu nastavljena u laboratorijskim uslovima.

Laboratorijska ispitivanja procesom granulacije vršena su naglim hlađenjem tečne šljake hladnom vodom pod pritiskom pri čemu je dobijena šljaka u vidu nepravilnih granula. Kvalitet granula zavisi od hemijskog sastava šljake, temperature pre izlivanja, brzine izlivanja šljake, pritiska i količine vode za hlađenje. U toku eksperimenta istopljeno je 25 kg šljake. Razlika u hemijskom sastavu, pre i posle granulisanja šljake, objašnjava se izdvajanjem posebne faze (bakrenca-  $\text{Cu}_2\text{S}$  FeS) koja je bila zarobljena u komadima šljake. Hemijski sastav bakrenca iz granulirane šljake je Cu 17,04%, Fe 36,38%, S 15,13%, CaO 7,40%, FeO 44,02%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  6,53%,  $\text{SiO}_2$  17,00%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1,63%.

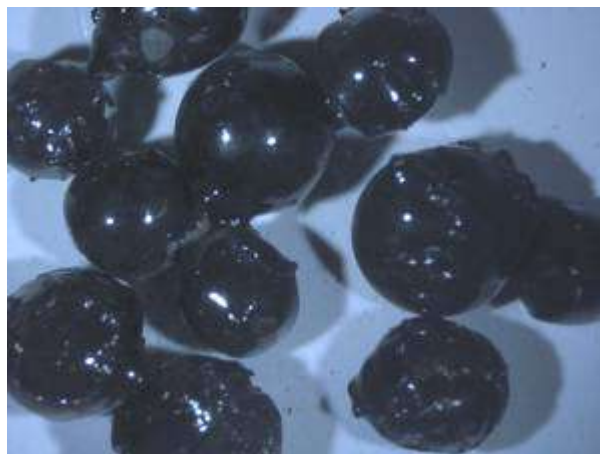
Od reprezentativnog uzoraka granulirane šljake urađeni su preparati uliveni u akrilnu smolu. Determinacija uzoraka šljake rađena je mikroskopom za propuštenu i odbijenu svetlost, marke AXIOSKOP 40, sa uređajem za mikrofotografiju.

### 3.1. Makroskopska ispitivanja granulirane šljake

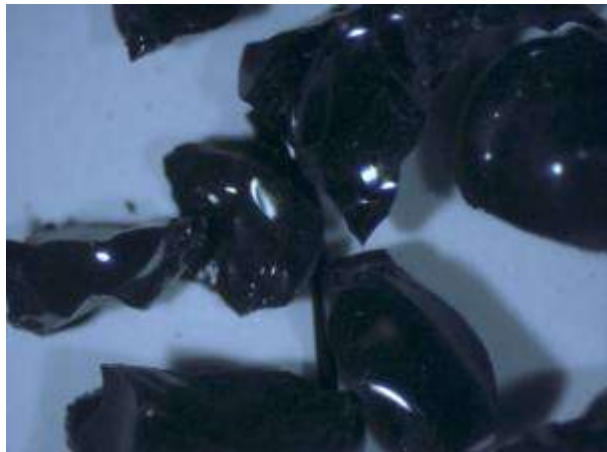
Komadi granulirane šljake u reprezentativnom uzorku su tamnosive do crne boje, čeličnog sjaja, različite krupnoće i oblika (slika 12). U uzorku su prisutni sferični oblici glatkih površina različite krupnoće (slika 13), kao i veliki broj veoma oštih staklastih komadića šljake (slika 14).



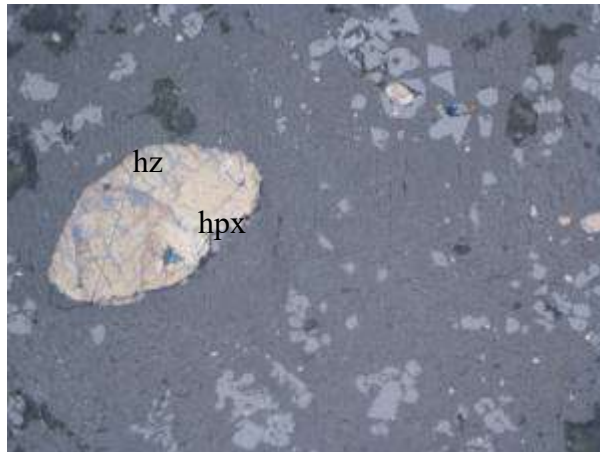
Slika 12. Reprezentativni uzorak granulirane šljake, binokular, 6,5X



Slika 13. Izdvojena sferična zrna u uzorku, binokular, 6,5X



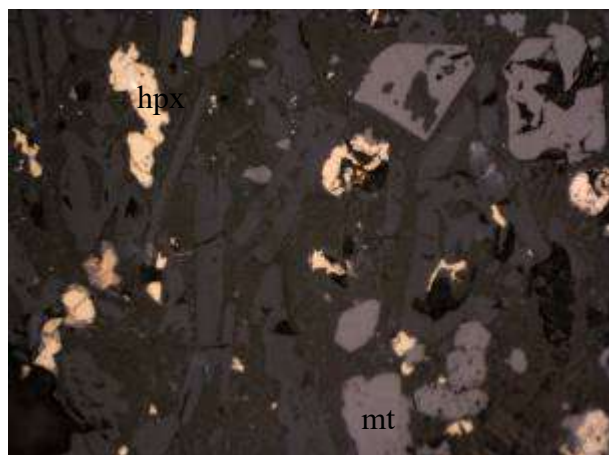
Slika 14. Izdvojena zrna oštih ivica u uzorku, binokular, 2,0X



Slika 15. Zrno halkopirita (hpx) u fajalitskoj osnovi, prožeto halkozinom (hz), II N, 500X

### 3.2. Mikroskopska ispitivanja granulirane šljake

Granulisana šljaka pretežno izgrađena od fajalita (slika 15) i ferita koji grade osnovu u koju su retko uprske sitne čestice magnetita, pirita (slika 16), halkopirita, halkozina, bornita, bakrenca (slika 19) i elementarnog (samorodnog) bakra. Fajalit su zastupljeni u vidu pritkastik kristalića, što ukazuje na proizvod topljenja rude (šljaka). Feriti su proizvod topljenja rude. Zastupljeni su u vidu skeletnih kristala (dendrita – slika 18). Magnetit se javlja pretežno samostalan. Javlja se u formi kocke i radialno zrakastih. Ređe se javlja u nepravilnim oblicima (slika 17). Od svih sulfidnih minerala pirit je najzastupljeniji i javlja se u vidu hipidiomorfnih zrna. Od minerala bakra javljaju se halkopirit, halkozin i bornit. Halkopirit se javlja u nepravilnim, relativno sitnim, poljima, retko srastao sa halkozinom, dok su pojedina zrna prožeta halkozinom. Halkozin se ređe javlja u sitnim zrnima slobodan, srastao za halkopirit i jalovinu. Elementarni bakar se javlja u vidu sitnih sferičnih oblika kao i sitnih žilica (slika i slika 21).



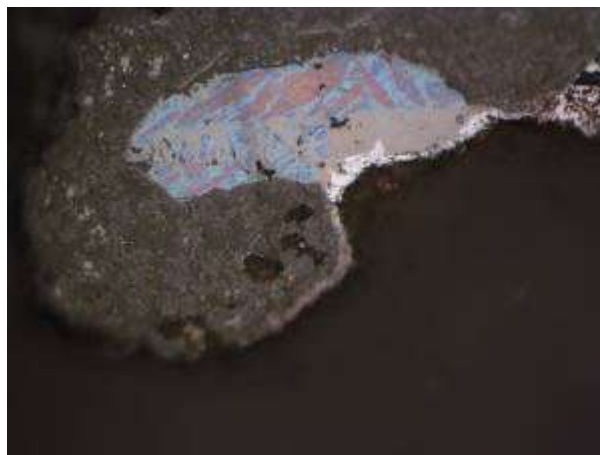
Slika 16. Magnetit (mt) u formi kocke, halkopirit (hpx), II N, 500X



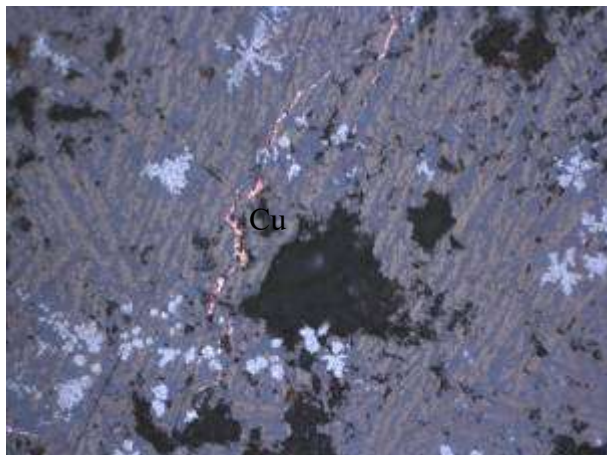
Slika 17. Magnetit različitih formi, II N, 500X



Slika 18. Dendriti fajalita, II N, 500X



Slika 19. Bakrenac, bornit i halkopirit, II N, 500X



Slika 20. Žilice elementarnog bakra (Cu) u fajalitskoj osnovi, II N, 500X



Slika 21. Žilice elementarnog bakra (Cu), II N, 500X

### Zaključak

Istraživanja radi što bolje valorizacije korisnih elemenata iz topioničke šljake ležišta bakra "Depo 1" kao sastavni deo podrazumevaju i mineraloška ispitivanja iste. Topioničku šljaku iz plamenih peći karakteriše heterogenost u pogledu fizičkih, mineraloških i hemijskih svojstava. Strukturne karakteristike šljake (važne zbog odredbe neophodnog stepena fragmentacije za dalja istraživanja u flotaciji) su: samostalni minerali (14.09 %) i minerali sraslaci (15.84 %).

Proces granulacije u laboratorijskim uslovima podrazumeva naglo hlađenje tečne šljake hladnom vodom pod pritiskom i dobijanje šljake u formi nepravilnih granula. U toku eksperimenta istopljeno je 25 kg šljake. Razlika u hemijskom sastavu, pre i posle granulisanja šljake, objašnjava se izdvajanjem posebne faze (bakrenca-  $\text{Cu}_2\text{S}$  FeS) koja je bila zarobljena u komadima šljake. Hemijski sastav bakrenca iz granulirane šljake je Cu 17,04%, Fe 36,38%, S 15,13%, CaO 7,40%, FeO 44,02%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  6,53%,  $\text{SiO}_2$  17,00%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1,63%.

Granulisana šljaka je tamnosive boja, čeličnog sjaja, različite krupnoće i oblika (sferični oblici ili veoma oštri staklasti komadići šljake). Mikroskopskom determinacijom uzorka utvrđen je sledeći mineralni sastav: fajalit, ferit, pirit, halkozin, bornit, čvrsti sulfidni rastvor (bakrenac) i samородni (metalni) bakar. Osnova šljake je izrađena od fajalita i ferita.

U daljem laboratorijskom istraživanju potrebno je pronaći adekvatnu metodu dobijanja bakrenca obzirom da veliki sadržaj bakra u bakrencu daje mogućnost povećanja ekonomske dobiti pri eksploataciji tehnogenog ležišta bakra "Depo 1".

### Literatura

- [1] Jovanović, M. 2007. Valuation of copper in the slag "Depo 1", Bor. Rudarski radovi 2007/1, str. 10-118;
- [2] Kržanović, D. 2009. Geological characteristic, modeling and technical solution of excavation technogenic copper deposit slag „Depo 1“ in Bor, Rudarski radovi 2009/1 str. 7-16;
- [3] Lubojev, V. 2010. Izveštaj o mikroskopskom ispitivanju šljake, Institut rudarstva i metalurgije Bor;
- [4] Ljubojev, V. 2013. Izveštaj o mikroskopskom ispitivanju granulirane šljake, Institut rudarstva i metalurgije Bor;
- [5] Nikolić, K, 2006. Elabirato o rezervama tehnogenog ležišta bakra u šljaci "Depo 1" u Boru, Institut rudarstva i metalurgije Bor.



## Elektronsko ažuriranje geohemijskih podataka Srednjobosanskogrudogorja u funkciji izrade geohemijskog atlasa Bosne i Hercegovine

Mr.sc.NERMINA OMERHODŽIĆ<sup>1</sup>,dipl. ing. geol.  
prof. Dr. RAMOKURTANOVIĆ<sup>2</sup>, dipl. ing. geol.  
NIHAD JAGANJAC<sup>3</sup>,dipl. ing. geol.  
FEDERALNI ZAVOD ZA GEOLOGIJU, SARAJEVO

### Sažetak

U radu su prikazani geohemijski podaci sprovedenih istraživanja na prostoru Srednjobosanskog rudogorja na elementima karakterističnim za stijene koje čine geološki sastav terena.

Geohemijskim kartiranjem /uzimanje uzoraka i njihova laboratorijska obrada/ omogućili su izradu visoko kvalitetne koherentne geohemijske baze podataka o koncentracijama hemijskih elemenata u stijenskim masama datog prostora. Formiranje ovakve baze podataka odgovara standardima zajedničkih /prije svega evropskih/ geohemijskih baza podataka.

Formiranjem baze podataka, stvaraju se uslovi za izradu raznovrsnih karata distribucije hemijskih elemenata u stijenskim masama i drugim proučavanim medijima.

Formiranjem atlasa geohemijskih karata Bosne i Hercegovine, kao osnovna baza, služi će kao temelj za dalja proučavanja. Kontinuirano praćenje ravnoteže mnogih geohemijskih faktora, iz urađenog atlasa geohemijskih karata Bosne i Hercegovine, može jasno da ukaže na genetsko-geološke uslove nastanka lokalnih stijenskih masa, mineralizacija i mogućih ležišta u jedinstvenom procesu obrazovanja i kasnijih egzogenih uticaja na izučavani prostor. U daljem istraživanju može se pratiti međusobni odnos čistoće okoliša i čovjekove aktivnosti /antropogeni uticaj na okoliš/.

Geohemijske površine kreirane interpolacijom utvrđenih sadržaja, predstavljaju koncentraciju hemijskih elemenata u prostoru, a u tu svrhu korištena je kriging tehnologija GIS okruženja. Kriging metoda se temelji na statičkom modelima koja uključuje autokorekciju /statička veza između mjerenih tačaka/.

Ovakvo izvedena geohemijska ispitivanja koja će se uraditi u našoj zemlji, potrebno je u kasnijoj fazi implementirati sa geohemijskim podacima Hrvatske i drugih zemalja u okruženju a sve u cilju standardizacije sa evropskim kriterijima za izradu geohemijske karte Evrope.

Dakle, geohemijsko kartiranje i usklađivanje kriterija rada i monitoring, radi dobijanja što boljeg uvida u geohemijske regionalne trendove, koji bi olakšali procjenu i predviđanje geohemijskog rasporeda pojedinih elemenata genetskih vezanih za karakteristične litološke članove. Ovakve podloge korisno mogu poslužiti za utvrđivanje onečišćenja okoliša.

**Ključne riječi:** Srednjobosansko rudogorje, GIS, krigiranje, geohemijski atlas geochemical atlas, Bosna i Hercegovina, .

### Uvod

Litološki sastavneke litološke sredine je posljedica njihovih geološko-genetskih uslova stvaranja. Litološki sastav svake stijenske mase direktno je u funkciji sastava matičnih stijenskih masa, njihovog oblikovanja u sadašnjem „in situ“ stanju.

U zavisnosti od primarnog sastava matičnih stijena, formiraju se različiti vrste stijenskih masa, njihovih mogućih mineralizacija i u konačnom izdvajanja ležišta.

Fizičke i hemijske karakteristike stijena direktno se prenose na sastav lokalnih mikrolokacija, kao posljedica geohemijskih procesa i stvaranju zemljine kore.

Geohemijski procesi nastanka i kasnije raspadanja stijenskih masa dovode do preraspodjele makro i mikroelementi u stijenama. Kvalitativno-kvantitativne karakteristike stijenskih masiva dobijaju se putem njihovog uzorkovanja i laboratorijskih ispitivanja.

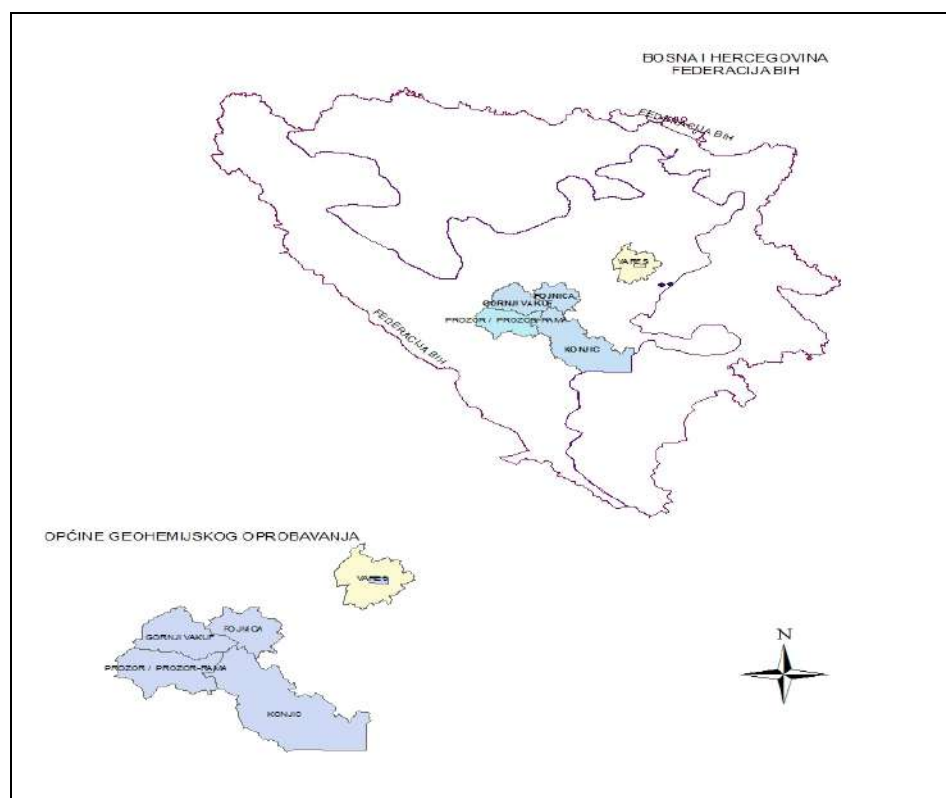
U vrijeme ex Jugoslavije, naročito u osamdesetim godinama XX vijeka vršena su mnogobrojna geohemijska ispitivanja u Bosni i Hercegovini na prostorima gdje su identifikovana ležišta metala, kao što su olovo-cinkana-baritna ležišta Vareša, ležište olova- ceruzita Olovo, polimetalčna ležišta Srednjobosanskog rudogorja, prostor Srebernice i mnoga druga područja koja po pozitivnim geohemijskim karakteristikama su mogla biti područja za istraživanje metalčnih ležišta.

Arhivirani brojni egzaktni podaci u sadašnjem Fondu stručne dokumentacije Federalnog Zavoda za Geologiju u Sarajevu, su dobra osnovica za početak izrade geohemijskog atlasa Federacije Bosne i Hercegovine, odnosno cijele Bosne i Hercegovine, koja će se komparirati sa već urađenim geohemijskim atlasima Hrvatske, Srbije i Crne Gore, što je projekat i Evropske zajednice.

Dostupni podaci Srednjobosanskog rudogorja, su nam poslužili kao početni etalon za izradu obavezujućeg geohemijskog atlasa Bosne i Hercegovine. Kako postoje brojni egzaktni podaci, neophodno je iste kompjuterski srediti u GIS bazu podataka, i poslije toga napraviti kritički osvrt na korišćene podatke, posle čega bi eventualno manjim dopunskim istraživanjima bila pokrivena cijela površina Bosne i Hercegovine geohemijskim podacima za izradu odgovarajućeg kvalitetnog atlasa.

### Reambulacija Srednje Bosne i okoline Vareša

Preduzeta detaljnija geohemijska ispitivanja osamdesetih godina XX vijeka, na prostoru Srednje Bosne i okoline Vareša, na identifikaciji pojedinih indikatornih elemenata na karakteristične mineralizacije ovih prostora su podaci koji su pohranjeni u stručnom fondu Federalnog zavoda za geologiju u Sarajevu /prilog 1/.



Prilog 1. Prostor reambuliranog terena

Tragom postojeće dokumentacije inicirali smo unošenje postojećih podataka u program GIS\_a, kako bi se sačuvali podaci u elektronskom obliku. Podaci govore da su uzimati kao šlih i/ ili strim sedimenat, što se može utvrditi korišćenjem navedene dokumentacije.

Djelimičnim nanošenjem postojećih podataka, izdvojene su anomalne vrijednosti sljedećih elemenata u Srednjeboanskom rudogorju: bakar.hromzink,berili....Nanijeti elementi na topografskoj karti razmjerR 1: 25000, jasno je uočljivo da su uzorci uzimati po rijetkoj mreži, što se vidi na prilogu 1.



Prilog 2. Pozicije oprobavanja i reambulacije(Gornji Vakuf)

Nanijete podatke na karti, obrađivači su pokušali izvršiti reambulaciju terena na kojem su uzeti uzorci. Naravno da smo u kabinetskim uslovima konsultovali podatke sa OGK list Prozor R 1: 100 000. Brižljivim pristupom na terenu identifikovane su sve pozicije sa kojih su uzeti uzorci, što se može dijelom vidjeti sa foto od 1 - 3:

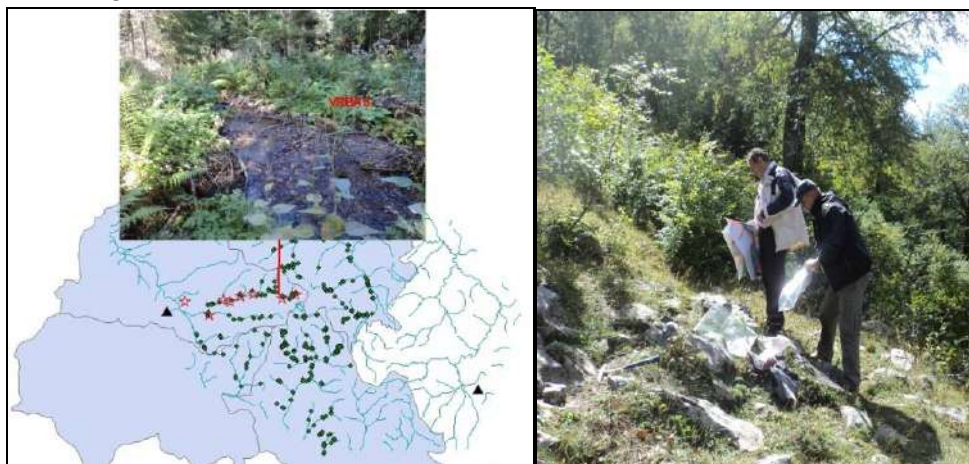


Foto br.1 Točka reambulacije–  
Obodski potok,pritoka Vrbasa

Foto br.2 Točka reambulacije- Zec planina



Foto br.3 Točka reambulacije- Potok Hrdenovac, pritoka Vrbasa

Kako se u geološkom smislu radi o terenima koji su izgrađeni od kvarcita, kvarc-sericitskih škriljaca, metapješčara i sličnih stijenskih masa, silurske i devonske starosti, jasno je da se na terenu /in situ/, pokazalo da anomalije identifikovane navedenim uzorkovanjem uglavnom nisu se mogle makroskopski u potpunosti odmah usaglasiti sa analitičkim podacima koji su predmet obrade. Probe su uzimane po veoma razređenoj mreži, tako da se radi više o orjentacionim podacima.

Analitički podaci sa svojim brojnim vrijednostima, mogu se prikazati tabelarno, ali i ne kao izolinije zbog specifičnosti genetsko-geohemijskih i litoloških karakteristika stijena.

To se prije svega odnosi na lateralnu distribuciju elemenata u škriljcima i sličnim stijenama, koje imaju ograničenja u odnosu na pravac izražene folijacije ili „pseudo slojeva“. Interpretacija podataka Srednje Bosne i okoline Vareša imaju neujednačen stepen pokrivenosti analitičkim podacima. Detaljnije prikazivanje na prostoru Srednje Bosne nije moguće zbog malog broja uzetih uzoraka i njihovog veoma rijetkog rasporeda u prostoru. Zato ćemo kao primjer različitog prikazivanja uzeti distribuciju mangana /Mn/ na prostoru Vareša.

#### GIS Metodologija interpretacije rezultate istraživanja

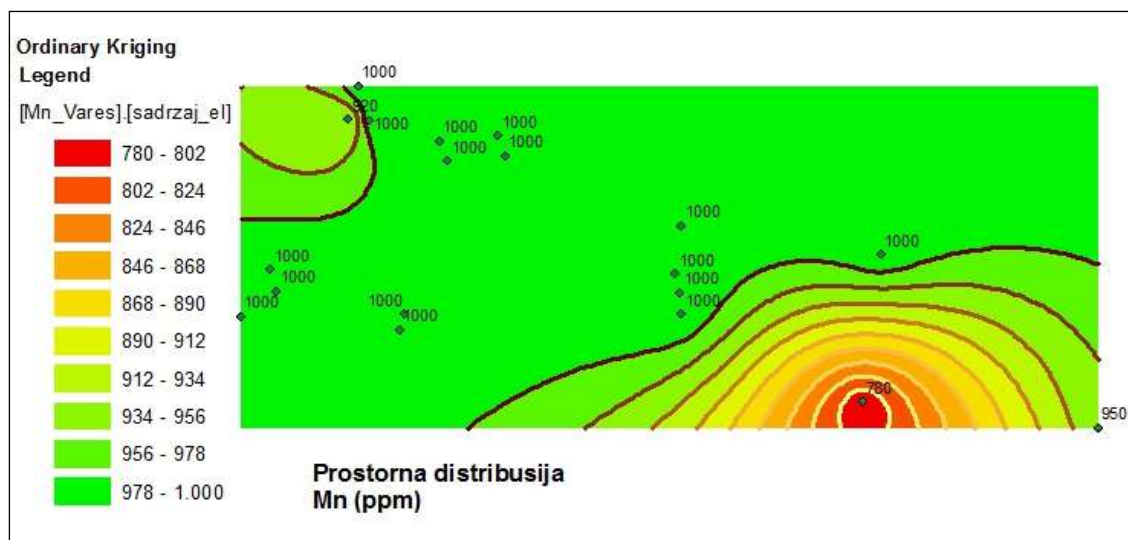
Geohemijska distribucije Mn nacrtana je na najprikladniji način, modeliranjem pomoću ArcGIS programa, ekstenzijom Geostatistical Analyst, te Variogramskim modeliranjem, koristeći analitičke podatke. Najpribližnije prikazivanje koncentracije mangana na terenu „in situ“ stanje, dobija se nanošenjem podataka primjenjenom Kriging metode.

Za ovu namjeru svaki podatak je definisan X i Y koordinatama sa vrijednostima u ppm (tabela 1)). Koristeći ovu tablicu, brzom interpolacijom, kreiran je model i histogram (prilog br.3 i 4.)

Analizom podatak pokazuje se da distribucija elemenata (Mn), nije ujednačeno što se vidi iz tabele 1 kao i priložima 3 i 4.

| FID | Shape | OBJECTID | Oznaka uzo | Vrsta Elem | sadržaj_el | lokalitet | x             | y             |
|-----|-------|----------|------------|------------|------------|-----------|---------------|---------------|
| 0   | Point | 54       | BS - 9     | Mn         | 1000       |           | 4890221,00026 | 6529561,99999 |
| 1   | Point | 130      | BO-7/80    | Mn         | 920        | ORTI      | 4890006,00026 | 6529499,00021 |
| 2   | Point | 327      | 12/XXXVIII | Mn         | 780        |           | 4888184,99966 | 6532724,99987 |
| 3   | Point | 340      | 6/LII      | Mn         | 950        |           | 4888019,9998  | 6534199,99969 |
| 4   | Point | 352      | 8/V        | Mn         | 1000       |           | 4889039,99988 | 6529009,99998 |
| 5   | Point | 363      | 9/VI       | Mn         | 1000       |           | 4888899,99975 | 6529049,99982 |
| 6   | Point | 374      | 11/VI      | Mn         | 1000       |           | 4888750       | 6529850,00009 |
| 7   | Point | 387      | 12/VI      | Mn         | 1000       |           | 4888649,99971 | 6529819,99986 |
| 8   | Point | 202      | 7/10       | Mn         | 1000       |           | 4889899,99991 | 6530440,00016 |
| 9   | Point | 222      | 8/11       | Mn         | 1000       |           | 4889770,00009 | 6530480       |
| 10  | Point | 235      | 10/VIII    | Mn         | 1000       |           | 4889869,99969 | 6530069,9999  |
| 11  | Point | 247      | 9/VII      | Mn         | 1000       |           | 4889739,99986 | 6530120,00005 |
| 12  | Point | 259      | 7/XXIII    | Mn         | 1000       |           | 4889320,00015 | 6531590,00007 |
| 13  | Point | 270      | 10/XXIV    | Mn         | 1000       |           | 4889009,99965 | 6531550,00023 |
| 14  | Point | 281      | 11/XXV     | Mn         | 1000       |           | 4888890,00014 | 6531579,99976 |
| 15  | Point | 292      | 12/XXXV    | Mn         | 1000       |           | 4888750       | 6531590,00007 |
| 16  | Point | 307      | 4/XXXV     | Mn         | 1000       |           | 4889134,99968 | 6532840,00028 |
| 17  | Point | 151      | BO-6/80    | Mn         | 1000       | ORTI      | 4890003,00023 | 6529630,99982 |
| 18  | Point | 173      | BP-3/79    | Mn         | 1000       | PRELJEV   | 4888737,99991 | 6528823,99996 |

Tabela 1 Sadržaja mikroelemenata na istraživanom prostoru



Prilog 3 Kriging model iz postojećih labaratorijkih podataka

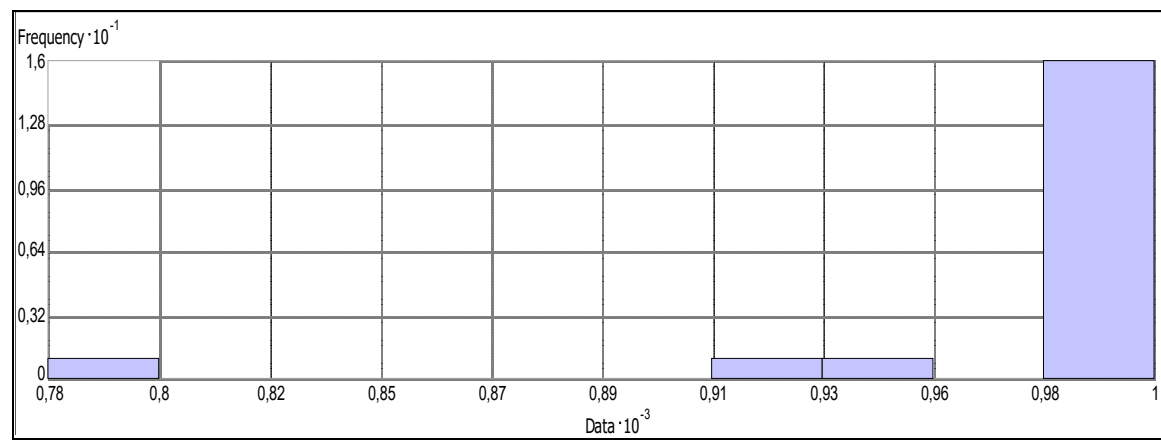
STATISTIČKA OCJENA

Broj uzoraka 19

Minimum 780 ppm

Maksimum 1000 ppm

Prosjek 981,58 ppm



Prilog 4. Histogram distribucije Mn na bazi laboratorijskih podataka

Vrijednosti iz tablice 1, variogramskim modeliranjem kreirali smo histogram kao na prilogu 5.

Variogramski model (Voronoi dijagram) predstavlja raspodjelu vrijednosti na regije, poligone, prema udaljenosti do određene tačke. Poligoni predstavljaju algoritmske vrijednosti određene u GIS programu.

Variogramski model je odredio lokaciju od sela Pržići do Brgula, kao uže područje Daštansko, općina Vareš. Područje pokriva pozicije uzorkovanja bušotinama i vrijednostima Mn u ppm oko kojih se formiraju poligoni. Variogramski poligoni su stvoreni, tako da svako mjesto unutar poligona je bliže tački uzorka u tom poligonu od bilo koje druge tačke uzorka. Koristeći ovu logiku, koncentracija mangana dobiva svoju srednju vrijednost a što se vidi na priložima 6 i 7.

Prostorna distribucija svake pojedinačne klase na karti prikazana je kao poligon u odgovarajućoj boji. Boje imaju raspon od plavi nijansi za niske koncentracije do crvenih sa visokim koncentracijama

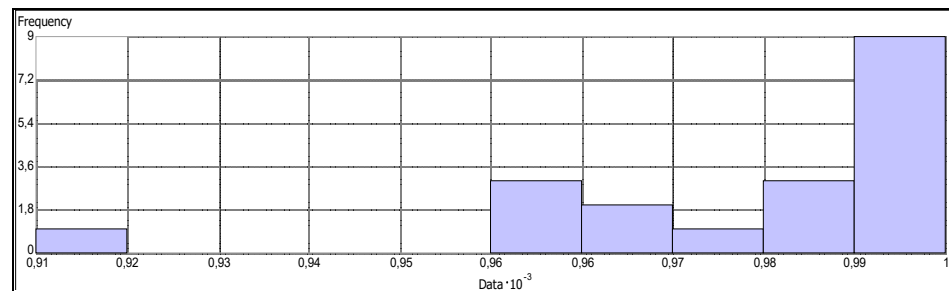
STATISTIČKA OCJENA

Broj uzoraka 19

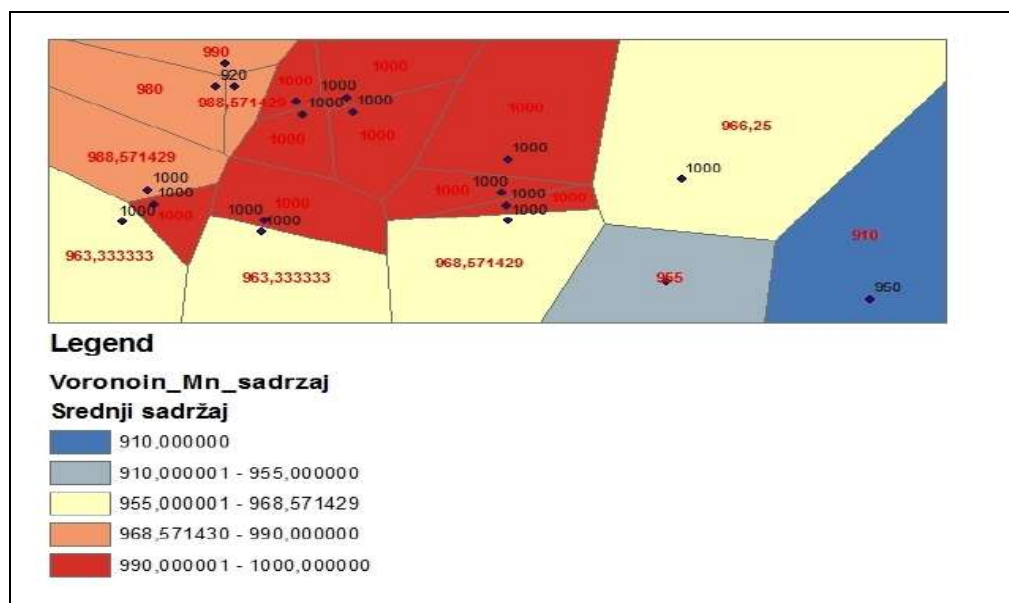
Minimum 910ppm

Maksimum 1000 ppm

Prosjek 982,82 ppm

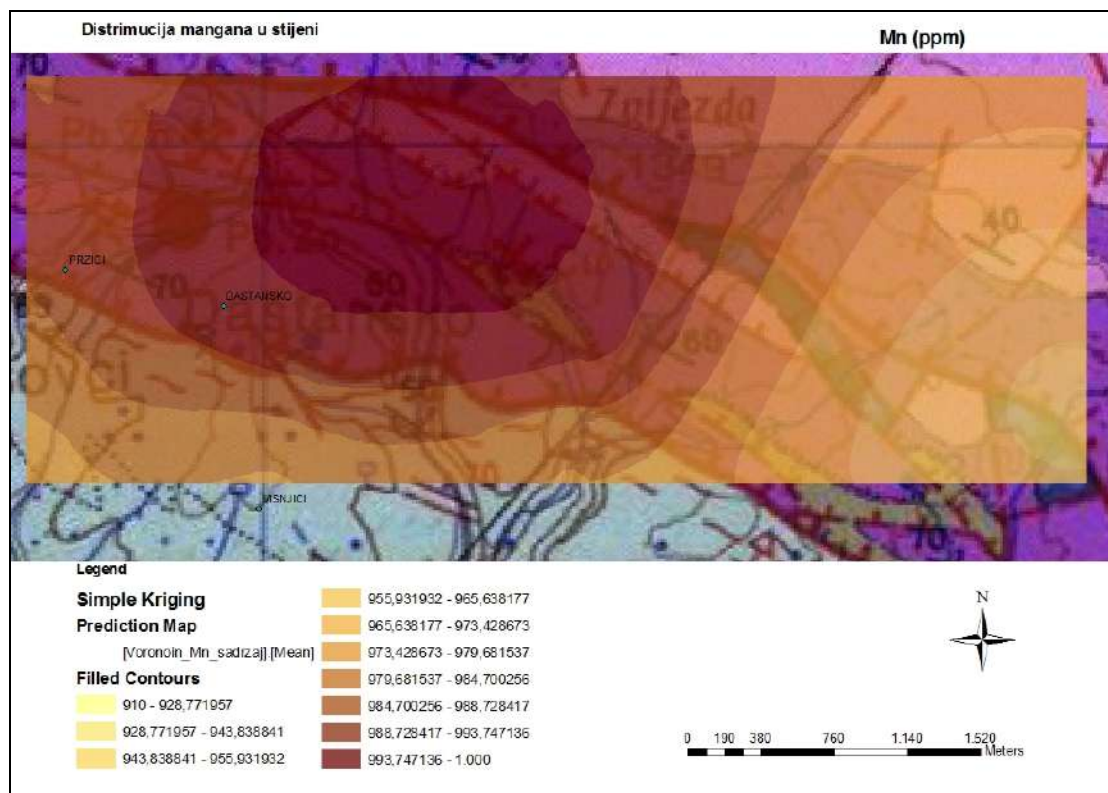


Prilog 5. Histogram distribucije Mn urađen u Variogramski model



Prilog 6. Variogramski model

Geostatičkom analizom, variogramskim modeliranjem koristeći date podatke provedena je interpolacija Kriging metodom kreirana prognozna karta ispitivanog područja sa ujednačenom distribucijom Mn, što se vidi na prilogu 7.



Prilog br.7. Prognozna karta distribucije Mn u ispitivanom području

Na prilogu 7 tamnosmeđa boja ukazuje na visoke koncentracije Mn, a svjetlije boje minimalne koncentracije. Visoke koncentracije su vezane za postojeće ležište Olova i cinka Veovača.

## Zaključak

Dobijene analitičke geohemijske i svake slične podatke bilo kojeg elementa, neophodno je iste prikazivati na više načina, a sve u cilju što objektivnije prikazivanje njihovog prostornog rasporeda.

Kriging model iz postojećih laboratorijskih podataka se znatno razlikuje od prognozne karte distribucije Mn u ispitivanom području po Kriging metodi, što se vidi na prilogima 3 i 7.

Dakle, geološke, geohemijske i svake druge podatke preporučljivo je prikazivati preko više načina grafičke obrade. Time se u mnogome eliminišu subjektivna shvatanja obrađivača, a dobija se više objektivnosti /više varijanti shvatanja prostiranja datog elementa u prostoru.

## Literatura:

R.Kurtanovic,O.Nermina:Stanje ekološke sredine u funkciji napuštene eksploatacije ležišta željeza i olova i cinka u općini vareš u Bosni i Hercegovini(2008)

E.Ramović:Metalogenija Bosne i Hercegovine(1991)

Applied Geochemistry. Wiley, 353 p. Fergusson J. E. (1990): The Heavy Elements: Chemistry,



Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press. Kabata-Pendias A., Pendias H. (1984)  
Atef Al-Mashagbah, 1Rida Al-Adamat and 2  
Elias Salameh: The use of Kriging Techniques With in GIS Environment to Investigate

Groundwater Quality in Amman-Zarqa Basin/Jordan(2012)

Halmić, Josip & Mirko, slobodan :Geohemijski Atlas R Hrvatske(2009)

Jović V., Prelević D. (2002): Primenjena geohemija – praktikum. Rudarsko-geološki fakultet,  
Beograd, 204 str.

Jović V. (2000): Površinsko raspadanje vulkanskih stena u Srbiji. Savremena administracija,  
Beograd, 302 str.

Robert Šajn, Milan Bidovec, Mišo Andjelov: Geokemični atlas Ljubljane in okolice (1998)

## Mineraloško-petrografske karakteristike tercijarnih vulkanskih stijena okoline Srebrenice, sjeveroistočna Bosna

ZEHRA SALKIĆ<sup>1</sup>, BOŠKO LUGOVIĆ<sup>†2</sup>, ELVIR BABAJIĆ<sup>3</sup>, ALISA BABAJIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dr.sc. Zahra Salkić, vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina, salkicz@yahoo.com

<sup>2</sup> Boško Lugović<sup>†</sup>, redovni profesor, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;

<sup>3</sup> Dr.sc. Elvir Babajić, docent, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina, elvir.babajic@untz.ba

<sup>4</sup> Mr.sc. Alisa Babajić, viši asistent, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina, alisa.babajic@untz.ba

**Ključne riječi:** mineralni sastav, petrografija, dacit, andezit, bazalni andezit, trahiandezit, Srebrenica

### Sažetak

Tercijarne vulkanske stijene okoline Srebrenice, locirane u sjevernom segmentu centralnih Dinarida, dio su složene i raznovrsne tercijarne vulkanske aktivnosti koja se odigravala duž Perijadriatskog lineamenta, Vardarske zone, Dinarida i sjevernih Helenida, te unutar Panonskog bazena. Izotopna starost od 30,4-28,5 Ma definira ispitivane stijene kao najstarije stijene postorogene tercijarne vulkanske formacije sjevernih Dinarida. Glavno srebreničko vulkansko tijelo, sastavljeno od vulkanskih i piroklastičnih stijena sa manjim hipabisalnim tijelima smješteno je u sjeveroistočnoj Bosni južno od Savsko-varcarske zone, unutar drinsko-ivanjičkog kompleksa.

Makroskopski stijene su uglavnom svijetlosive do tamnosive boje, masivne teksture i jasne porfirne strukture. Mineraloško-petrografske karakteristike uzoraka stijena određene su pomoću polarizacijskog mikroskopa i metodom rendgenske difrakcije na prahu uzorka (XRD). Stijene pokazuju uglavnom holokristalastu, rjeđe hipokristalastu porfirsku strukturu sa fenokristalima plagioklasa, sanidina, kvarca, biotita, amfibola, hiperstena i podređeno augita. Dominantni su fenokristali plagioklasa, dok je biotit najobilniji feromagnezijski mineral. Amfiboli su predstavljeni hornblendom i oksihornblendom. Pirokseni, hipersten i augit, su mnogo rjeđi od biotita i amfibola. Mikrokristalasti do kriptokristalasti matriks u najvećem procentu sastavljen je od leukokratnih minerala: sanidina, plagioklasa i kvarca, a pored njih dolaze i biotit, hornblenda, rjeđe sitni kristali hiperstena, izuzetno rijetko augita i akcesorni minerali (apatit, cirkon, rutil, magnetit, pirit).

U poređenju sa genetski srodnim stijenama u centralnoj Bosni koje pripadaju kiselim stijenama (dacitima), rijetko neutralnim (andezitima), vulkanske stijene okoline Srebrenice, Bratunca i Ljubovije predstavljene skoro podjednako kiselim (daciti) i neutralnim stijenama među kojima se mogu izdvojiti dominantni andeziti uz bazaltne andezite i trahiandezite. Vulkanske stijene sjeveroistočne Bosne sadrže klinopiroksen i ortopiroksen, čije prisustvo nije utvrđeno u stijenama centralne Bosne, a takođe sadrže manje K-feldspata i kvarca i više plagioklasa.

Iz prikazanih mineraloško-petrografskih karakteristika dobijen je uvid u neke procese koji su se odvijali u toku geneze stijena. Prisustvo primarnih magmatskih minerala: klinopiroksena, ortopiroksena, hornblende i biotita od femskih minerala, te plagioklasa, sanidina i kvarca, upućuje na činjenicu da je frakciona kristalizacija odigrala značajnu ulogu u genezi stijena. Bazalni andezit Dimnića čini najranije kristaliziranu stijenu ove vulkanske oblasti, dok su daciti najmlađi diferencijati ove serije. Izgleda da se trahiandeziti ne uklapaju u ovu seriju stijena. Neki alterirani andeziti Srebrenice sadrži enklave starijih, jako alteriranih stijena što ukazuje na višefazne erupcije. Reakcijski rub na mnogim zaobljenim fenokristalima kvarca ukazuje na mogućnost miješanja magmi kod nastajanja tercijarnih vulkanskih stijena sjeveroistočne Bosne. Na miješanje magmi različite temperature i hemijskog sastava ukazuje takođe i postojanje zonalnih fenokristala plagioklasa i amfibola.

**Keywords:** mineral composition, petrography, dacite, andesite, basaltic andesite, trachyandesite, Srebrenica

### Summary

Tertiary volcanic rocks surrounding Srebrenica, located in the northern segment of the central Dinarides, are part of a complex and diverse tertiary volcanic activity that took place along Perijadriatic lineaments, Vardar Zone, Dinarides and northern Helenides and within the Pannonian Basin. Isotopic age of 30.4 to 28.5 Ma defines the analyzed rock as the oldest rock of postorogene Tertiary volcanic formations of northern Dinarides. Main Srebrenica volcanic body, composed of volcanic and pyroclastic rocks with minor hypabyssal bodies located in northeastern Bosnia south of the Sava-Vardar Zone, within the Drina-Ivanjica complex.

The rocks are generally light gray to dark gray, massive textures and clear pophyritic structure. Mineralogical and petrographic characteristics of rock samples were determined using a polarizing microscope and by X-ray powder diffraction pattern (XRD). The rocks show mainly holocrystalline, rarely hipocrystalline pophyritic structure with phenocrysts of plagioclase, sanidine, quartz, biotite, amphibole, hypersthene and subordinate augite. Dominant phenocrysts are plagioclase, while biotite is most abundant ferromagnesian mineral. Amphibole presented with hornblende and oxyhornblende. Pyroxenes, hypersthene and augite, are much less common than biotite and amphibole. Microcrystalline to criptocrystalline matrix in the largest percentage is made up of minerals: sanidine, plagioclase and quartz, and next to them come biotite, hornblende, rarely fine crystals of hypersthene, rare augite and accessory minerals (apatite, zircon, rutile, magnetite, pyrite).

Compared with genetically related rocks in central Bosnia belonging acidic rocks (dacite), rarely neutral (andesites), volcanic rocks surrounding Srebrenica, Bratunac and Ljubovija represented almost equally with acidic (dacite) and neutral rocks among which can extract dominant basaltic andesites with andezite and trahiandezite. Volcanic rocks of the northeast Bosnia contain clinopyroxene and orthopyroxene, the presence of which is not found in rocks of central Bosnia, and also contain minor K-feldspar and quartz and plagioclase more.

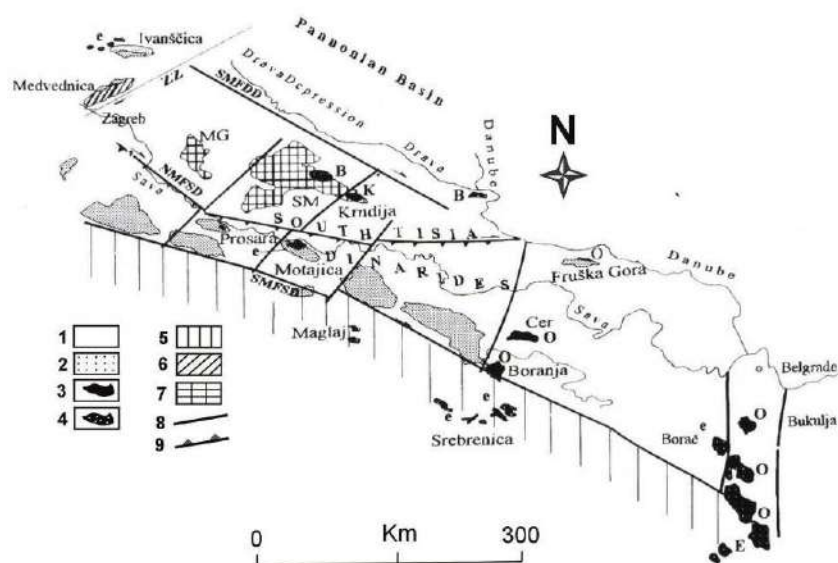
It appears from the mineralogical and petrographic characteristics obtained some insight into the processes that occurred during the genesis of the rocks. The presence of primary igneous minerals: clinopyroxene, orthopyroxene, hornblende and biotite from ferromagnesian minerals, and plagioclase, sanidine and quartz, indicates that the fractional crystallization played a significant role in the genesis of the rocks. Basaltic andesite from Dimnići are earliest crystalline rocks of this volcanic field, while the youngest differentiator of this series are dacites. Looks like trachyandesite not fit in this series of rocks. Some altered andesites of Srebrenica containing enclave of older, very altered rocks indicating multiphase eruption. Reaction edge on many rounded quartz phenocrysts indicates the possibility of magma mixing with the formation of Tertiary volcanic rocks of the northeast Bosnia. On magma mixing different temperature and chemical composition also indicates the existence of zoned plagioclase and amphibole phenocrysts.

### 1.0. Uvod

Tercijarne magmatske formacije Dinarida, uključujući i Vardarsku zonu, nastale su uglavnom u rasponu od srednjeg oligocena do srednjeg miocena, s tim da je vulkanska aktivnost lokalno započela u eocenu (Dojran), a trajala sve do pliocena (Kožuf). U odnosu na prostorno udruženi granitni plutonizam, tercijarni vulkanizam je započeo nešto kasnije, ali je trajao znatno duže, sve do pliocena. Produkte najstarijih vulkanskih faza trebalo bi vezati za završne dijelove subdukcijskih (kompresijskih) i nadolazećih transpresijskih procesa, dok se kasnija vulkanska aktivnost odigravala već u postorogenetskoj fazi, odnosno u ekstenzijskim uvjetima (Pamić, 1996).

Tercijarne vulkanske stijene veoma su rasprostranjene unutar Dinarida, a u najvećoj mjeri zastupljene su u suturnoj Savsko-vardarskoj zoni (SVZ) (Boev et al., 2000). U manjem stepenu javljaju se u susjednim

tektonostratigrafskim jedinicama, odnosno, u rubnim sjeverozapadnim dijelovima susjedne Dinaridske ofiolitske zone i u južnom Panonskom bazenu. Tercijarne vulkanske stijene okoline Srebrenice, locirane u sjevernom segmentu centralnih Dinarida, dio su složene i raznovrsne tercijarne vulkanske aktivnosti koja se odigravala duž Perijadranskog lineamenta (Alther et al., 1995; Slapansky et al., 1999; Pamić & Palinkaš, 2000), Vardarske zone (Boev & Yanev, 2001), Dinarida i sjevernih Helenida (Eleftheriadis et al., 1989), te unutar Panonskog bazena (Pamić & Balen, 2001) (Sl. 1.1.).



**Slika 1.1. Uproštena geološka karta sjeverozapadnog dijela Savsko-varđarske zone i južnog Panonskog bazena (Pamić & Balen, 2001).**

1- Neogeni sedimenti Panonskog bazena, uključujući i NW dio egersko-egenburških sedimenata; 2- Savsko-varđarska zona; 3- Tercijarne granitoidne formacije: E- eocenski sinkolizioni, O- oligocenski postkolizioni, e- egersko-egenburgški kalcijsko-alkalijski vulkaniti; 4- Tercijarne vulkanske formacije: O- oligocenski šošoniti i kalcijsko-alkalijska vulkanska tijela, K- karpatski šošoniti, B- badenski kalcijsko-alkalijske vulkanske formacije; 5- Dinaridska ofiolitska zona uključujući paleozojsko-trijasku navlaku; 6- oblast austrijskih Alpa; 7- tisijsko-varisijski kristalasti kompleks; 8- rasjed; 9- navlaka.

U Dinaridima i južnom Panonskom bazenu tercijarne vulkanske stijene predstavljene su sa nekoliko, geohronološki različitih, asocijacija koje se karakterišu različitim petrološkim i geochemijskim odlikama: 1) rano-oligocenski trahandeziti (36,2-31,6 Ma); 2) egersko-egenburški andeziti i daciti (25,9-22,8 Ma); 3) karpatski trahandeziti (16,8-15,4 Ma); 4) badenski bazalti, andeziti, daciti i rioliti (14,5-12,4 Ma) i 5) post-badenski alkalni bazalti (11,6-8,4 Ma). Geochemijski podaci klasifikuju ih u dvije grupe: toleitske do kalcijsko-alkalijske asocijacije i visoko kalijske (šošonitne) asocijacije.

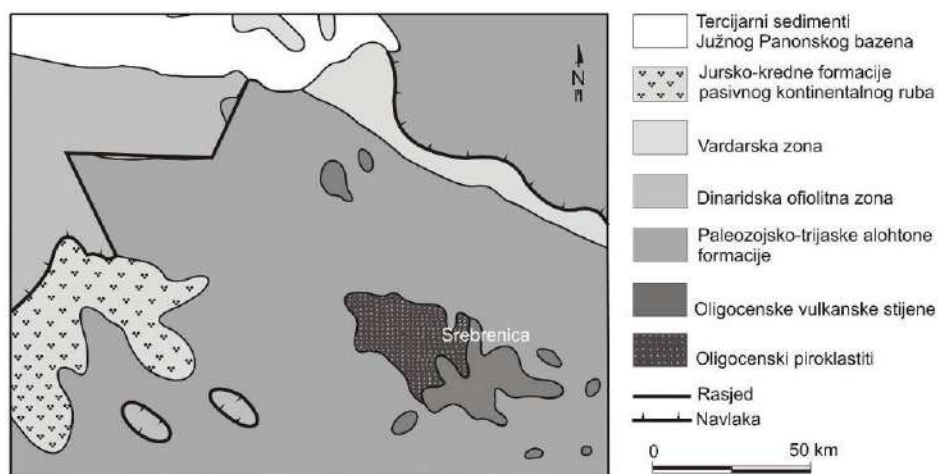
Vulkanske stijene andezitsko-dacitne asocijacije u BiH su rasprostranjene u centralnoj Bosni u području Maglaja, Teslića i Nemile i u sjeveroistočnoj Bosni u široj okolini Srebrenice. Stijene pripadaju vulkanskoj formaciji šošonitnih i visoko-kalijskih kalcijsko-alkalijskih stijena oligocenske starosti, izdvojenoj unutar tercijarnih formacija magmatskih stijena koje su sukcesivno nastajale između 55 i 29 Ma povezano sa dinamikom kolizije afričke i euroazijske kontinentalne ploče u dinaridskom segmentu (Pamić et al., 2002). Pamić i Balen (2001) smatraju da je magmatska aktivnost, koja je proizvela tercijarne vulkanske stijene BiH, postkolizijska i da je uzrokovana prelazom iz kompresijskog režima tokom eocena u transpresijsko-transtenzijsku fazu početkom oligocena. Pamić et al. (2000) datirali su K-Ar metodom uzorke iz okoline Maglaja i Srebrenice. Dobili su starost od 30,4-28,5 Ma i dokazali da predstavljaju najstarije stijene i volumetrijski najvažnije članove post-orogenih vulkanskih formacija SVZ, Dinarida i Helenida (Balen & Pamić, 2001).

Tercijarne vulkanske stijene sjeveroistočne Bosne bile su predmet proučavanja i istraživanja brojnih geologa više od jednog stoljeća. Zbog prisustva polimetaličnog cinkano-olovnog ležišta, tercijarne vulkanske stijene metalogenetskog reiona Srebrenice znatno su bolje istražene od genetski srodnih vulkanskih stijena centralne Bosne. Publicirani radovi o ovim stijenama uglavnom su vezani za manje izdvojene oblasti, a publikovani su u lokalnim žurnalima te nisu bili dostupni internacionalnom geološkom društvu.

U ovom radu prezentirani su rezultati zadnjih mineraloško-petrografskih ispitivanja tercijarnih vulkanskih stijena okoline Srebrenice, Bratunca i Ljubovije na vlastitim, nanovo skupljenim uzorcima, s ciljem mineraloško-petrografskog definisanja analiziranih stijena i njihove korelacije s genetski srodnim stijenama centralne Bosne. Takođe, pokušat će se dobiti uvid u neke procese koji su se odvijali u toku geneze stijena.

## 2.0. Lokalne geološke karakteristike

Prema postojećim geotektonskim šemama tercijarna vulkanska oblast sjeveroistočne Bosne pripada sjevernom obodu Unutrašnjih Dinarida. Na slici 2.1. data je šematska geološka karta šireg područja Srebrenice (Salkić et al., 2008). Cjelokupno područje priložene geološke karte pripada geotektonskoj jedinici "unutrašnje paleozojske zone". Najveći dio terena priložene karte izgrađen je od paleozojskih i tercijarnih, a znatno manje od mezozojskih tvorevina. Od mezozojskih tvorevina najveće rasprostranjenje imaju trijaski, dok se jurske i kredne naslage javljaju podređeno. Vulkanogeno-sedimentne tvorevine srednje i gornje jure veoma su malo zastupljene (oko Crnog vrha) i leže diskordantno preko trijaskih. Južno od Nazde i sjeverno od Ljutice podređeno se javljaju, diskordantni i transgresivni, sedimenti gornje krede. Kenozoik je predstavljen tercijarnim magmatskim i podređeno slatkovodnim stijenama i kvartarnim tvorevinama.



Slika 2.1. Šematska geološka karta šire okoline Srebrenice (Salkić et al., 2008).

Intenzivni tercijarni vulkanizam i obilje njegovih produkata skoro potpuno su maskirali starije strukturne oblike. Najčešći oblici pojavljivanja magmatskih stijena na ovom području su žile i ploče. Vulkanske stijene javljaju se takođe i u formi kupa, npr. između Bratunca i Srebrenice. U kontaktnim oreolima izdvojene su kontaktno-metamorfne i turmalizirane stijene (Đorđević, 1969).

Glavno srebreničko tijelo proteže se preko, približno, 250 km<sup>2</sup> i predstavlja djelimično erodovan subaeralni stratovulkan izgrađen od vulkanskih i piroklastičnih stijena (Kišpatić, 1904a, 1904b; Tajder, 1953, 1960; Tajder & Zebec, 1975; Karamata, 1960; Trubelja, 1971, 1972; Trubelja & Paškvalin, 1962; Pamić, 1976, 1996, i dr.). Vulkanske stijene predstavljene su: dacitima, andezitima, kvarclatitima, piroklastitima, bazaltima i turmaliziranim stijenama. Kompleks ovih stijena pruža se pravcem SZ-JI, dug

je oko 28 km i dolaze na površini od oko 80 km<sup>2</sup>. Glavni krater ovog rejona nalazio se u užem području Srebrenice, a nekoliko sporednih kratera u sjeverozapadnom dijelu (Kubat, 1966). Srebrenički kompleks vulkanskih stijena može se podijeliti na dva dijela, linijom koja ide dolinom rijeke Križevice. Istočno od ove linije prevladavaju daciti, a zapadno piroklastiti.

Daciti i andeziti uzorkovani su u rejonu gradića Srebrenice (S-2, S-7 i S-8) i sjeveroistočno od Srebrenice na lokalitetima: Kvarac (S-1), Ažlice (S-3, S-4, S-5 i 88-42.), Sase i Lisac (88-43). Veće ili manje pojave ovih stijena javljaju se između Srebrenice i Potočara (88-50), kao i u potoku iznad Potočara (88-48, 88-49). Otkrivene i relativno dobro očuvane mase dacita nalaze se južno (88-54) i jugozapadno od Bratunca u blizini Čauša (88-51 i 88-52) i mjesta Skakavac (88-53). Jedna izolovana masa dacita nalazi se na lijevoj strani rijeke Drine, sjeverno od Bratunca i Ljubovije (88-41). U zoni orudnjenja-piritizacije kod Crnog Gubera, u blizini Srebrenice, utvrđena je pojava trahandezita (S-6 i S-9). Na putu prema Dimnićima, gdje se javljaju rijetki proboji bazalta, pored andezita (S-10 i S-12) pronađen je i bazaltni andezit mafitnog izgleda (S-11). Spomenuti bazalti su najvjerojatnije najmlađe efuzivne stijene ove oblasti.

### 3.0. Metode ispitivanja stijena

Tabela 3.1. Oznake uzoraka, mjesta uzorkovanja i makroskopski opis stijena

| Oznaka uzorka | Mjesto uzorkovanja   | Terenska odredba                               |
|---------------|--|--|
| S-1           | Sjeverozapadna padina brda Kvarac, put Gostilja-Sase       | Zelenosivi, propilitizirani, andezit (?)       |
| S-2           | Srebrenica   | Sivi, znatno alterirani, andezit               |
| S-3           | Između Srebrenice i Ažlice                                 | Tarnosivi, umjereno alterirani, andezit        |
| S-4           | Put ispod Ažlice, prema Sase                               | Sivosmeđi, znatno alterirani, dacit            |
| S-5           | Ispod Ažlice, 50 m ispod lokacije S-4                      | Sivi, umjereno alterirani, andezit             |
| S-6           | Crni Guber   | Sivozelenkasti, propilitizirani, andezit       |
| S-7           | Srebrenica   | Svijetlosivi, umjereno alterirani, dacit       |
| S-8           | Srebrenica   | Svijetlosivi, umjereno alterirani, dacit       |
| S-9           | Crni Guber (iz zone orudnjenja-piritizacije)               | Zelenosivi, znatno alterirani, andezit (?)     |
| S-10          | Put za Dimniće   | Tarnosiva svježa stijena, mafitnog izgleda (?) |
| S-11          | Put za Dimniće   | Tarnosiva svježa stijena, mafitnog izgleda (?) |
| S-12          | Put za Dimniće   | Tarnosiva svježa stijena, mafitnog izgleda (?) |
| 88-41         | 4 km prije Ljubovije, cesta od Zvornika ka Ljuboviji       | Dacitni štok                                   |
| 88-42         | Kod mjesta Ažlice  | Dacit s magmatskim granatom                    |
| 88-43         | Blizu mjesta Lisac, (sjeveroistočno od Kvaraca)            | Sivi dacit s puno biotita                      |
| 88-48         | Iznad Potočara (u potoku), između Bratunca i Srebrenice    | Andezit  |
| 88-49         | Iznad Potočara (u potoku), između Bratunca i Srebrenice    | Andezit  |
| 88-50         | Između Potočara i Srebrenice                               | Valutica efuziva                               |
| 88-51         | Čauš, jug-jugozapadno od Bratunca, iz buš. br. 1, dub. 28m | Relativno svjež dacit                          |
| 88-52         | Čauš, jugozapadno od Bratunca, iz buš. br.3, dub. 44m      | Umjereno alteriran dacit                       |
| 88-53         | Buš. blizu mjesta Skakavac, tj. Sanik, 3 km južno od Čauša | Relativno svjež dacit                          |
| 88-54         | 3-4 km južno od Bratunca, na cesti Lokve-Loznik            | Svjež do umjereno alterirani dacit             |

U sjeveroistočnoj Bosni sistematski su uzorkovane vulkanske stijene Srebrenice i lokaliteta u okolini Srebrenice (Sase, Kvarac, Ažlica, Crni Guber, Lisac, Dimnići), okoline Bratunca (Čauš, Skakavac, Potočari) i Ljubovije. Uzorci različitih varijeteta tercijskih vulkanita prikupljeni su u više navrata iz svježih izdanaka, otvorenih profila pored puteva, zasjeka-etaža kamenoloma, iz potoka i iz bušotina kako bi se dobila što vjernija slika rasprostranjenja različitih mineraloških i strukturno-teksturnih varijeteta na terenu. Oznake uzoraka, uže lokacije mjesta uzorkovanja i makroskopski opis uzoraka stijena dati su u tabeli 3.

Optičkim metodama istraženo je stotinjak na terenu prikupljenih uzorka stijena. Na temelju optičkih ispitivanja izvršena je selekcija uzoraka i odabir 22 reprezentativna uzoraka za detaljna mikroskopska ispitivanja i 6 uzoraka za rendgenografska ispitivanja.

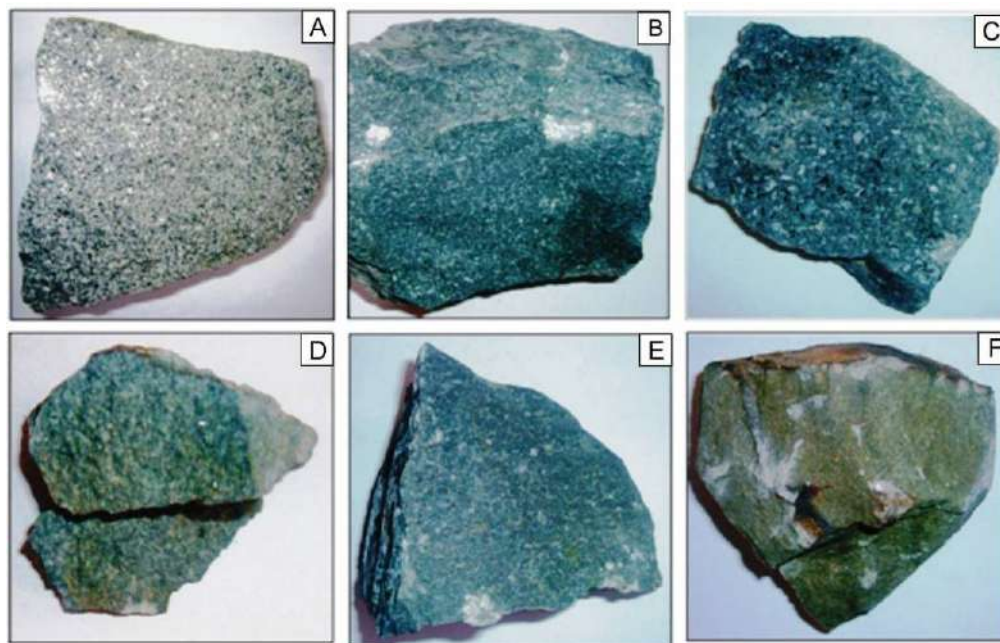
Za određivanje mineralnog sastava te strukturno-teksturnih karakteristika stijena izrađeni su mikroskopski preparati standardne debljine 0,02 - 0,03 mm, dimenzija 2,8x4,8x0,1 cm. Kao vezivno sredstvo i kao

unutrašnji standard za indeks loma korišten je Canada balzam. Mikroskopska ispitivanja su rađena sa polarizacijskim mikroskopom OLYMPUS C-35AD-4 s rasponom povećanja  $2,5 \times 10$  ( $1 \text{ mm} = 26 \mu$ ) i  $10 \times 10$  ( $0,025 \text{ mm} = 25 \mu$ ) na Institutu Maden Tetkik ve Arama (MTA) u Ankari u Turskoj i polarizacijskim mikroskopom marke Carl Zeiss Jena s povećanjima  $16 \times 10$  u Laboratoriji za mineralogiju i petrografiju na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu u Tuzli. Na Institutu MTA urađeno je oko pedesetak mikrofotografija na kojima su predstavljene mikrofiziografske karakteristike stijena. Mikroskopiranje je urađeno u prolaznoj svjetlosti u ortoskopskim uslovima bez i sa uključenim analizatorom, pri čemu je korišten standardni mikroskopski pribor. Kao izvor svjetlosti korištena je "bijela" svjetlost mikroskopske žarulje.

Za 6 reprezentativnih uzoraka stijena mineralni sastav određen je i metodom rendgenske difrakcije na prahu uzorka (XRD: *X-Ray Diffraction*) u rendgenskom laboratoriju Instituta MTA u Ankari, na X-ray difraktometru japanske marke Rigaku. Rendgenskim difraktogramima određen je sastav krajnje finih zrna u matriksu, kao i sekundarni minerali koji nisu mogli biti pouzdano identifikovani pomoću mikroskopa.

#### 4.0. Mineraloško-petrografske karakteristike stijena

Vulkanske stijene sjeveroistočne Bosne čine diferencijacijsku seriju od bazaltnih andezita preko andezita do dacita.

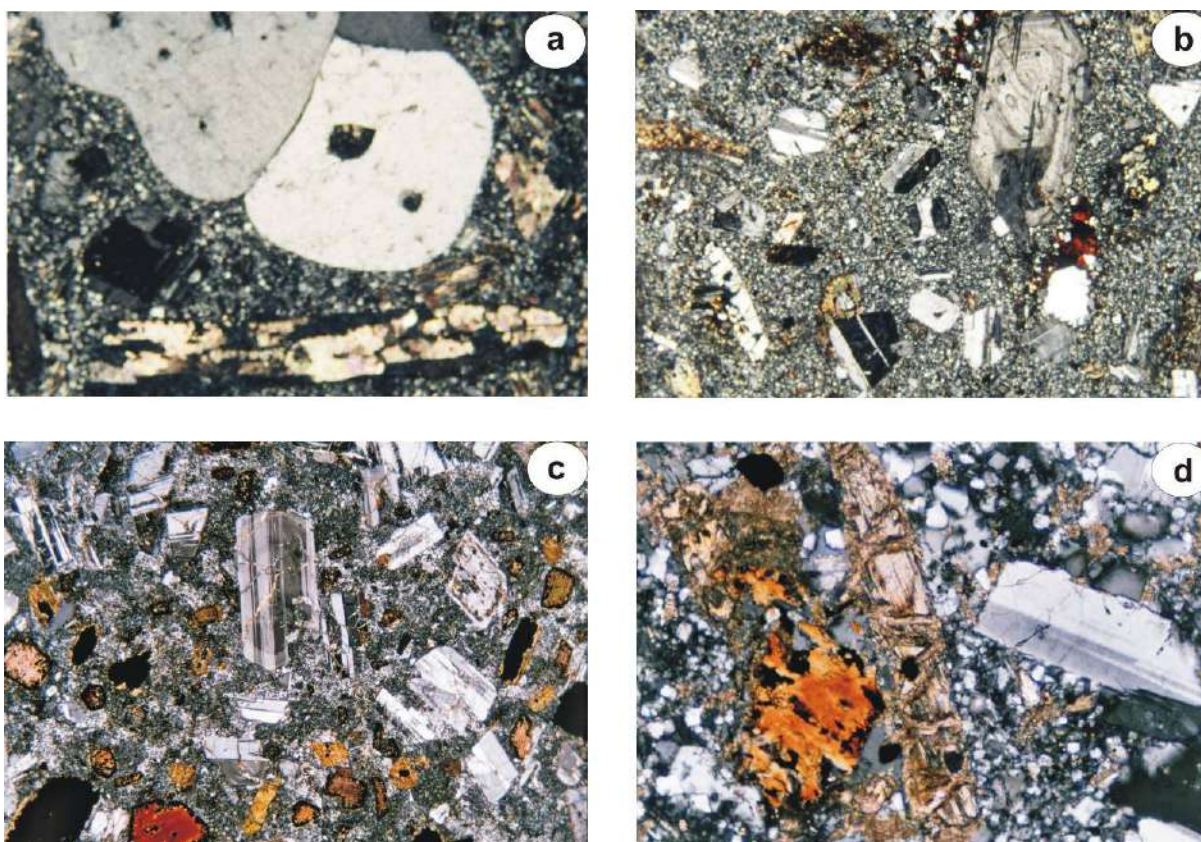


Slika 4.1. Fotografije makroskopski različitih varijeteta tercijskih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice: A) biotitni dacit Srebrenice (uzorak S-7); B) hornblenda-biotitni andezit Srebrenice (uzorak S-2); C) piroksen-hornblenda-biotitni andezit okoline Dimnića (uzorak S-12); D) trahiandezit Crnog Gubera (uzorak S-9); E) bazaltni andezit okoline Dimnića (uzorak S-11); F) propilitizirani biotitni andezit brda Kvarac (uzorak S-1).

#### 4.1. Daciti Srebrenice

Daciti Srebrenice su svijetlosive do tamnosive boje sa jasnom za porfirskom strukturom. U gustom matriksu ističu se tamni biotit, zamućeni fenokristali plagioklasa, a rjeđe kvarc i sanidin u obliku idiomorfih kristala. (Sl. 4.1.A). U nekim stijenama primjećuju se i štapići svježeg amfibola, kao i limontizirana zrna feromagnezijskih minerala.

U polarizacijskom mikroskopu stijene pokazuju holokristalasto-porfirsku, a rjeđe hipokristalasto-porfirsku strukturu. Kao fenokristali javljaju se plagioklas, biotit, rjeđe kvarc, amfibol i hipersten i klinopiroksen. Svježiji do umjereno alterirani *plagioklasi* dolaze u idiomorfnim do hipidiomorfnim kristalima, najčešće kao sraslaci i u formi polisintetskih lamela (Sl. 4.2.a, Sl. 4.2.b i Sl. 4.2.c). Neki su zonalno građeni s uskim zonama. U većini preparata prisutni su zamućeni i ispucali, umjereno do znatno alterirani plagioklasi. U nekim uzorcima (Sl. 4.2.c) plagioklasi imaju tanki gusti rub. Od uklopaka sadrže sitne kristale rutila, apatita, kvarca i sitne listove biotita. *Sanidin* dolazi rijetko u obliku fenokristala i manjih je dimenzija od plagioklasa i kvarca. Znatno više je zastupljen u matriksu. Svježiji je od plagioklasa. Pukotine u sanidinu su obično ispunjene sericitom. Sadrži uklopljen plagioklas, biotit, kvarc, apatit i rutil. *Kvarc* dolazi u obliku krupnih fenokristala veličinom sličan plagioklasu ili veći (Sl. 4.2.a). Neki uzorci ne sadrže fenokristale kvarca, ali ga ima puno u matriksu. Kvarc je najčešće zaobljen usljed magmatske resorpcije, a u nekim dacitima ima gusti "sitasti" rub. Često je ispucan a pukotine su ispunjene mineralima matriksa. Sadrži uklopke plagioklasa, hloritiziranog biotita i akcesorne apatit, cirkon i rutil.



**Slika 4.2. Mikrofotografije tercijarnih dacita šire okoline Srebrenice:** **a) Biotitni dacit** (uzorak S-7; Srebrenica): krupni zaobljeni fenokristali kvarca (uklopljen apatit i cirkon), relativno svježiji hipidiomorfni fenokristali plagioklasa i intenzivno sericitizirani biotit u holokristalastom matriksu (salski minerali, hloritizirani biotit i akcesorni). N+.10x10; **b) Hipersten-hornblenda-biotitni dacit** (uzorak S-4; ispod Ažlice): zonalni i bližnjeni fenokristali plagioklasa, crvenkastosmedeg biotita i alteriranog amfibola i hiperstena u holokristalastom matriksu (uglavnom kvarc). N+.2,5x10; **c) Piroksen-hornblenda-biotitni dacit** (uzorak 88-48; potok iznad Potočara): fenokristali plagioklasa, biotita, hloritiziranog amfibola, hiperstena i augita u hipokristalastom matriksu (salski, alterirani femski minerali i vulkansko staklo). N+.2,5x10; **d) Hipersten-biotitni dacit** (uzorak 88-53; blizu mjesta Skakavac): fenokristali plagioklasa, umjereno alteriranog hiperstena i biotita (uklopljen magnetit) u holokristalastom matriksu (salski minerali i alterirani biotit). N+.2,5x10.



Idiomorfni i hipidiomorfni *biotit* je najčešći i najobilniji obojeni mineral. Prisutan je, u različitom procentu, u svim ispitivanim stijinama. U nekim uzorcima (Sl. 4.2. c) javljaju se dvije vrste biotita: svijetlosmeđe do crvenkastosmeđe i tamnosmeđe boje pleohroizma. Biotiti crvenkastosmeđe boje, u pravilu, manje su alterirani od smeđeg biotita. U mnogim preparatima zajedno su prisutni svježiji, umjereno alterirani i potpuno alterirani biotiti. Biotit je hloritiziran, ilitiziran, limonitiziran, rijetko karbonatiziran (?) (Sl. 4.2.a). Magmatska korozija fenokristala biotita praćena je opacitizacijom ili stvaranjem opacitiskog ruba (Sl. 4.2.c i Sl. 4.2.d). Česte su pukotine u biotitu ispunjene sitnozrnim mineralima matriksa. Od uklopaka sadrži: plagioklas, kvarc, rutil i apatit. *Amfiboli*, zastupljeni hornblendom i oksihornblendom, najčešće su idiomorfni. Hornblenda pokazuje svijetlosmeđe do tamnosmeđe boje pleohroizma. Fenokristali hornblende često imaju debeli opacitiski ovoj oko kristala, dok su neka zrna potpuno opacitizirana. Često su prisutne pseudomorfoze hlorita koji je agregiran s kalcitom i rijetko epidotom (Sl. 4.2.b i Sl. 4.2.c). *Pirokseni* su mnogo rjeđi od biotita i amfibola. Ortopiroksen, *hipersten* je više zastupljen od augita. Obično je razvijen u tanjim idiomorfnim štapićastim kristalima, neravnomjerno raspoređenim u stijeni. Najčešće je bezbojan i bez pleohroizma, a rijetko pokazuje slab pleohroizam žutosmeđe i zelenkaste boje. Relativno je svjež. Pojedina zrna su zahvaćena izmjenom u različitom stepenu (Sl. 4.2. d). Alteracija je najčešće prisutna na rubovima i duž poprečnih pukotina kada zrna prelaze u hlorit. Pukotine u hiperstenu su nekad ispunjene limonitom. Neki u sebi uklapaju magnetit ili u veoma malim količinama i kalcit (?). *Klinopiroksen* je veoma rijedak mineral u ispitivanim dacitima i odgovara augitu. Dolazi u kratko-stubićastim kristalima. Češće se javlja u obliku prizmatskih zrna oko amfibola i biotita. Bezbojan je ili blijedozelene boje i slabog pleohroizma. Većinom je znatno alteriran u agregat hlorita, kalcita, magnetita i rjeđe epidota (Sl. 4.2.c).

**Tabela 4.1.** Klasifikacija tercijarnih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice na temelju mikrofiziografskih karakteristika i semikvantitativnog udjela fenokristala.

| Uzora<br>k | Lokalitet           | Varijetet stijene                             | F E N O K R I S T A L I |                |                |                |    |                |     |
|------------|---------------------|---|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|-----|
|            |                     |   | Opx                     | Cpx            | Hbl            | Bt             | Pl | Sa             | Qtz |
| S-1        | Brdo Kvarac         | <i>Biotitni andezit</i>                       |                         | + <sup>?</sup> | + <sup>P</sup> | +              | +  | + <sup>P</sup> | +   |
| S-2        | Srebrenica          | <i>Hornblenda-biotitni andezit</i>            |                         |                | +              | +              | +  |                |     |
| S-3        | Sase-Ažlice         | <i>Biotitni andezit</i>                       |                         |                | + <sup>P</sup> | +              | +  |                |     |
| S-4        | Ispod Ažlice        | <i>Hipersten-hornblenda-biotitni dacit</i>    | +                       |                | +              | +              | +  | +              |     |
| S-5        | Ispod Ažlice        | <i>Hornblenda -hipersten-biotitni andezit</i> | +                       |                | +              | +              | +  |                |     |
| S-6        | Crni Guber          | <i>Hipersten-biotitni andezit</i>             | +                       |                | + <sup>P</sup> | +              | +  | + <sup>P</sup> | +   |
| S-7        | Srebrenica          | <i>Biotitni dacit</i>                         |                         |                |                | +              | +  | +              | +   |
| S-8        | Srebrenica          | <i>Biotitni dacit</i>                         |                         |                |                | +              | +  | +              | +   |
| S-9        | Crni Guber          | <i>Trahiandezit</i>                           | + <sup>?</sup>          | +              | + <sup>P</sup> | + <sup>P</sup> | +  | +              | +   |
| S-10       | Kod Dimnića         | <i>Piroksen-hornblenda-biotitni andezit</i>   | + <sup>P</sup>          |                | +              | +              | +  |                |     |
| S-11       | Kod Dimnića         | <i>Bazaltni andezit</i>                       |                         |                | + <sup>P</sup> | +              | +  | +              |     |
| S-12       | Kod Dimnića         | <i>Piroksen-hornblenda-biotitni andezit</i>   | + <sup>P</sup>          | +              | +              | +              | +  |                |     |
| 88-41      | Okolina Ljubovije   | <i>Hornblenda-biotitni andezit</i>            |                         |                | + <sup>?</sup> | +              | +  | +              | +   |
| 88-42      | Kod Ažlice          | <i>Hipersten-hornblenda-biotitni andezit</i>  | +                       | + <sup>?</sup> | +              | +              | +  |                |     |
| 88-43      | Lisac               | <i>Hipersten-hornblenda-biotitni dacit</i>    | +                       |                | +              | +              | +  |                | +   |
| 88-48      | Iznad Potočara      | <i>Piroksen-hornblenda-biotitni dacit</i>     | +                       | +              | +              | +              | +  |                |     |
| 88-49      | Iznad Potočara      | <i>Hiperstensi andezit</i>                    | +                       | + <sup>P</sup> | + <sup>P</sup> | + <sup>P</sup> | +  |                |     |
| 88-50      | Potočari-Srebrenica | <i>Piroksen-biotitni dacit</i>                | +                       | +              | + <sup>?</sup> | +              | +  |                |     |
| 88-51      | Čauš                | <i>Biotitni dacit</i>                         |                         |                |                | +              | +  | +              | +   |
| 88-52      | Čauš                | <i>Biotitni dacit</i>                         |                         |                |                | +              | +  | +              | +   |
| 88-53      | Skakavac            | <i>Hipersten-biotitni dacit</i>               | +                       | + <sup>P</sup> | + <sup>?</sup> | +              | +  |                |     |
| 88-54      | Kod Bratunca        | <i>Biotitni dacit</i>                         |                         |                |                | +              | +  | + <sup>P</sup> | +   |

Opx-hipersten; Cpx-klinopiroksen; Hbl-hornblenda; Bt-biotit; Pl-plagioklas; Sa-sanidin; Qtz-kvarc  
 +<sup>P</sup> - mineral se javlja u podređenoj količini; +<sup>?</sup> - usljed alteracije identifikacija minerala nije potpuno pouzdana

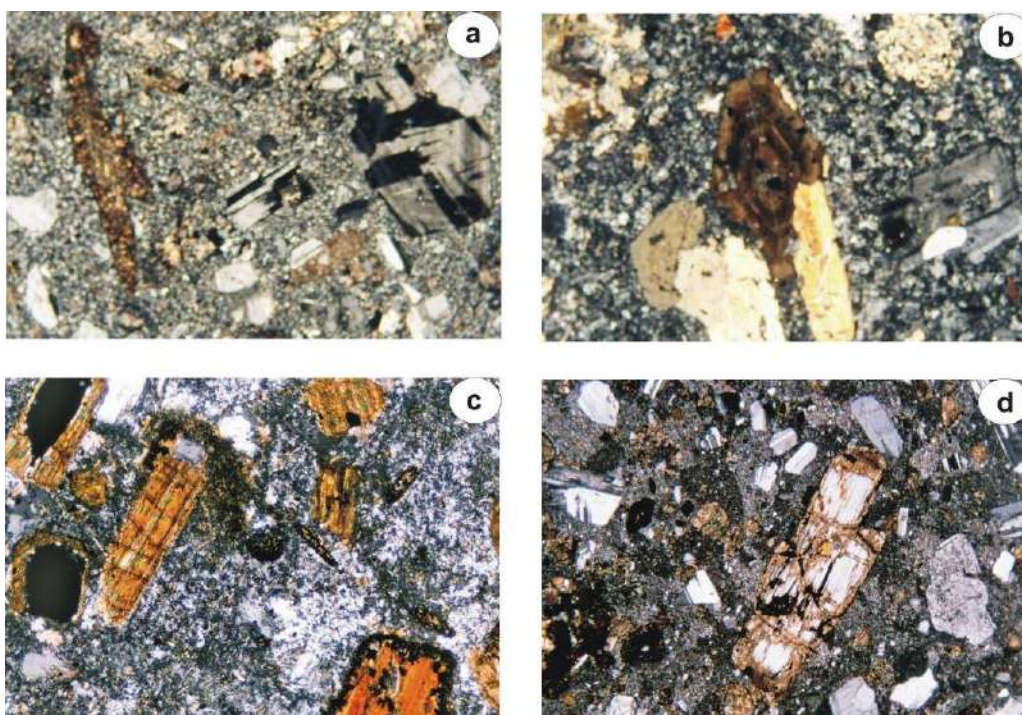
Od akcesornih sastojaka u dacitima Srebrenice javljaju se: *magnetit*, *apatit*, *rutil* i *cirkon*, a od sekundarnih minerala: *hlorit*, *kalcit*, *kaolinit*, *ilit*, *sericit*, rjeđe *limonit* i *epidot*.

Daciti sjeveroistočne Bosne većinom imaju holokristalasti *matriks* (Sl. 4.2.a, Sl. 4.2.b i Sl. 4.2.d), a rjeđe hipokristalasti sa nešto vulkanskog stakla (Sl. 4.2.c). Matriks je uglavnom sitnozrn, mikrokristlast. Neki uzorci imaju gusti kriptokristalasti matriks. Mikrokristalasti matriks sastoji se uglavnom od svježeg kvarca i sanidina i svježeg do umjereno alteriranog kiselog plagioklasa. Pored ovih salskih minerala javlja se često i umjereno do znatno alterirani biotit, rjeđe sitni kristali hiperstena i akcesorni minerali (Sl. 4.2.c). Po matriksu se često nalaze rasute smeđe mrlje čiji se sastav nije mogao pozdano identifikovati.

Na osnovu preovladavajućeg sadržaja feromagnezijskih minerala među vulkanskima stijenama šire okoline Srebrenice mogu se izdvojiti slijedeći varijeteti dacita (Tabela 4.1.): *biotitni* (Sl. 4.2.a), *hipersten-hornblenda-biotitni* (Sl. 4.2.b), *hornblenda-biotitni*, *piroksen-hornblenda-biotitni* (Sl. 4.2.c), *hipersten-biotitni* (Sl. 4.2.d) i *piroksen-biotitni daciti*.

#### 4.2. Andeziti Srebrenice

Andeziti Srebrenice su svijetlosive do tamnosive boje, homogene teksture i jasne porfirne strukture (Sl. 4.1.B, Sl. 4.1.C i Sl. 4.1.D). Od fenokristala u gustom matriksu, raspoznaju se izometrični feldspati, listići biotita i prutičasti amfiboli. U andezitima Ažlice i okoline Dimnića (Sl. 4.1.C) vide se i stubićasti kristali klinopiroksena. Ponegdje se vide limonitizirana zrna feromagnezijskih minerala.



**Slika 4.3. Mikrofotografije tercijarnih andezita šire okoline Srebrenice:** a) **Hornblenda-hipersten-biotitni andezit** (uzorak S-5; ispod Ažlice): fenokristali bližnjelog plagioklasa, zaobljenog kvarca, alteriranog hiperstena i kompletno alteriranog amfibola u mikrokristalastom matriksu (salski i hloritizirani femski minerali, magnetit). N+.2,5x10; b) **Piroksen-hornblenda-biotitni andezit** (uzorak S-10; okolina Dimnića): fenokristali zonalnog amfibola (pseudoheksagonski presjek), zonalnog i bližnjelog plagioklasa i biotita. Holokristalasti matriks sadrži feldspate, manje kvarc i biotit. N+.2,5x10; c) **Hipersten-hornblenda-biotitni andezit** (uzorak 88-42; kod Ažlice): umjereno alterirani fenokristali hiperstena, umjereno do znatno alterirani fenokristali biotita i hornblende u hipokristalastom matriksu (svježi salski minerali i alterirani biotit). N+.2,5x10; d) **Hiperstenski andezit** (uzorak 88-49; iznad Potočara): relativno svježi idiomorfni do hipidiomorfni fenokristali hiperstena i bližnjelog plagioklasa u kriptokristalastom matriksu (salski i akcesorni minerali i vulkansko staklo). N+.2,5x10.

U preparatima stijene pokazuju tipičnu porfirsku strukturu. Holokristalasto-porfirska struktura (Sl. 4.3.a i Sl. 4.3.b) je češća nego hipokristalasto-porfirska (Sl. 4.3.c). Matriks je uglavnom mikrokristalast (Sl. 4.3.a), rijetko kriptokristalast (Sl. 4.3.d). U svim stijenama utvrđeno je prisustvo fenokristala plagioklasa, u različitom procentu biotita, amfibola i hiperstena, dok je prisustvo klinopiroksena podređeno.

*Plagioklasi* dolaze u brojnim, idiomorfim do hipidiomorfim, rjeđe nepravilnim kristalima. Najčešće se javljaju kao sraslaci (Sl. 4.3.a i Sl. 4.3.d). U nekima se opaža slaba zonalna građa (Sl. 4.3.b). Uglavnom su relativno svježiji. Po nepravilnim pukotinama su neznatno alterirani u sericit i minerale glina, a kalcijem bogati plagioklasi u kalcit i sosirit. Kod zonalnih plagioklasa neke zone su jače alterirane od drugih. U andezitima Dimnića (Sl. 4.3.b) prisutni su i svježiji i znatno alterirani fenokristali plagioklasa. Sadrže uklopljene sitne listove biotita, a kao akcesorne: apatit, rutil i cirkon. *Biotit* se javlja u idiomorfim do alotriomorfim kristalima. U većini preparata prisutne su dvije vrste biotita: smeđe i crvenkastosmeđe boje. U većini stijena biotit je relativno svjež do umjereno alteriran. U nekim andezitima (Sl. 4.3.c) primijećeni su zajedno svježiji i umjereno do znatno alterirani kristali biotita. Često imaju tanji ili deblji crni opacitski rub, a u nekim uzorcima postoje pseudomorfoze magnetita po biotitu. Rijede su umjereno hloritizirani, ilitizirani ili vermikulitizirani (?). Obično sadrže uklopke plagioklasa, nekad kvarca. *Amfibol* pripada hornblendi i oksihornblendi. Najčešće je hipidiomorfno prizmatski razvijen. U andezitima Dimnića utvrđeno je prisustvo zonalnog i bližnjelog amfibola (Sl. 4.3.b). U većini stijena hornblenda pokazuje jak pleohroizam u svijetložutoj do tamnosmeđoj boji, dok su veoma rijetke blijedo zelene, zelenosmeđe i tamnozeleno boje pleohroizma. Redovno imaju crni opacitski rub. Česte su pseudomorfoze agregata kalcita, magnetita i hlorita, sa reliktima amfibola. Ponekad sadrže uklopljen magnetit, plagioklas i listiće biotita. *Hipersten* se javlja u skoro svim ispitivanim andezitima, dok je u andezitu Potočara (Sl. 4.3.d) najobilniji Fe-Mg mineral. Najčešće se javlja idiomorfno do hipidiomorfno. Bezbojan je ili blijedo zelene boje i slabog pleohroizma (žutosmeđe i zelenkaste boje). Relativno je svjež i neznatno ispucao. Rijetko je potpuno alteriran u agregat magnetita, karbonata i opala. Klinopiroksen je *augit*, i znatno je manje zastupljen od hiperstena (Tabela 4.1). Javlja se u hipidiomorfim, kratkostubičastim kristalima. Bezbojan je ili blijedo zelene boje, kada pokazuje slab pleohroizam. Rijetki su relativno svježiji kristali augita. Uglavnom je umjereno do znatno alteriran u hlorit i kalcit.

Od akcesornih minerala utvrđeni su *magnetit*, *apatit*, *rutil* i *cirkon*, a od sekundarnih *hlorit*, *kalcit*, *kaolinit*, *epidot* i *limonit*.

*Matriks* je sastavljen od leukokratnih minerala: plagioklasa, sanidina i kvarca. Od feromagnezijskih minerala najzastupljeniji je biotit, dok su amfibol i pirokseni znatno rijedi. Feldspati matriksa su uglavnom svježiji, dok su feromagnezijski minerali, umjereno do znatno alterirani. Pored ovih minerala u matriksu se javljaju i sitna zrna magnetita, a u manjem procentu akcesorni minerali i smeđe vulkansko staklo (Sl. 4.3.d).

Prema preovladavajućem sadržaju prisutnih feromagnezijskih minerala među vulkanskim stijenama okoline Srebrenice mogu se izdvojiti slijedeći varijeteti andezita: *biotitni andeziti*, *hornblenda-hipersten-biotitni andezit* (Sl. 4.3.a), *hipersten-biotitni andezit*, *piroksen-hornblenda-biotitni andezit* (Sl. 4.3.b), *hipersten-hornblenda-biotitni andezit* (Sl. 4.3.c) i *hiperstenski andezit* (Sl. 4.3.d).

### 4.3. Trahiandezit Crnog Gubera

Stijena je sive do sivozelene boje i porfirske strukture s fenokristalima plagioklasa, svijetloružičastih fenokristala sanidina i tamnozelenih hloritiziranih Fe-Mg minerala (Sl. 4.1.D). Sitni blijedožuti do zlatnožuti pirit rasut je po cijeloj masi stijene, a negdje se primjećuju impregnacije pirita duž pukotina.

Pod mikroskopom stijena je hipokristalasto-porfirske strukture. U mikrokristalastom matriksu izdvajaju se fenokristali plagioklasa, sanidina, podređeno biotita, hornblende i piroksena.

*Plagioklas* dolazi u brojnim, hipidiomorfim, rijede idiomorfim kristalima. Česti su sraslaci i samo u nekima se zapaža slaba zonalna građa. Uglavnom su znatno do potpuno alterirani u kalcit, sericit, kaolinit. Većina plagioklasa je nepravilno ispucala. *Sanidin* se u stijeni javlja dosta često i zastupljen je skoro isto kao i plagioklasi. Svi kristali su samci. Često su zaobljeni usljed magmatske resorpcije i rijetko su ispucali (Sl. 4.4.a). Fenokristali sanidina su umjereno sericitizirani, uglavnom po pukotinama i rubovima. U stijeni

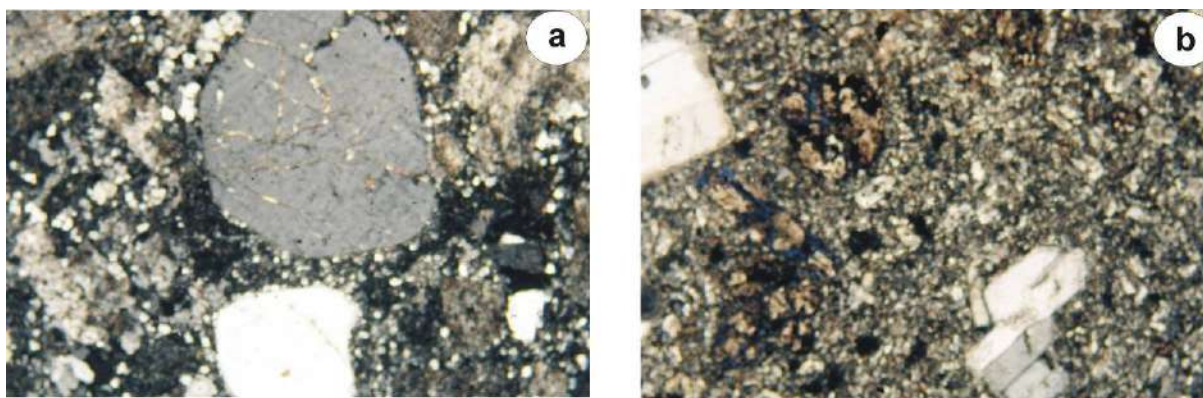
se pored sitnih alotrimorfnih zrna *primarnog kvarca* javljaju i sitna zrna *sekundarnog kvarca*. Sekundarni kvarc je nastao u procesu sericitizacije feldspata i plagioklasa, koji je redovno prati i proces silifikacije.

*Hornblenda* se javlja vrlo rijetko, ali u krupnim idiomorfnim kristalima. Slabog je pleohroizma u svijetlozelenoj do smeđezelenoj boji. Znatno je do potpuno alterirana, najčešće hloritizirana i opacitizirana, rijede kalcitizirana. *Biotit* je vrlo rijedak i znatno alteriran u hlorit, opacit i sericit i samo su rijetko sačuvani sitni relikti biotita. *Hipersten* se javlja u krupnijim idiomorfnim do hipidiomorfnim kristalima. Bezbojan je ili svijetlosmeđe boje i bez pleohroizma. Umjereno je do znatno zahvaćen alteracijama na rubovima i uz pukotine cjepljivosti. Uglavnom je hloritiziran. Klinopiroksen je vrlo rijedak i sitan fenokristal. Bezbojan je i odgovara *diopsidu*. Znatno je alteriran u agregat magnetita, kacita i aktinolita.

Od akcesornih minerala javljaju se *magnetit*, *pirit*, *apatit* i *cirkon*, a od sekundarnih: *sericit*, *kalcit*, *hlorit*, *kaolinit* i *kvarc*.

*Matriks* stijene je izgrađen od mikrolita alkalijskog sanidina i plagioklasa koji su znatno svježiji od fenokristala istih minerala. Sasvim podređeno sadrži sitne kristale apatita, cirkona, sitna nepravilna zrna magnetita i veoma malo vulkanskog stakla.

Prema svom mineralnom sastavu ova stijena nalazi se između trahita i andezita te je stoga klasificirana kao *trahiandezit*.



**Slika 4.4. Mikrofotografije trahiandezita i bazalnog andezita iz šire okoline Srebrenice: a) Trahiandezit (uzorak S-9; Crni Guber, iz zone orudnjenja): zaobljeni, relativno svježiji (sericitisani po pukotinama) fenokristali sanidina u hipokristalastom matriksu koji sadrži primarni i sekundarni kvarc. N+.2,5x10; b) Bazalni andezit (uzorak S-11; okolina Dimnića): relativno svježiji, hipidiomorfnih fenokristali bližnjeg plagioklasa, znatno alterirani fenokristali hiperstena i augita (?) u hipokristalastom matriksu. N+.2,5x10.**

#### 4.4. Bazalni andezit okoline Dimnića

Stijena je tamnosive boje i podsjeća na bazalt (Sl. 4.1.E). U gustom tamnom matriku su plagioklasi, hloritizirani štapičasti fenokristali feromagnezijskih minerala i crna zrna magnetita. Stijena ima hipokristalasto-porfirsku strukturu. Tamna boja dolazi od afanatične osnovne mase koja sadrži krupne fenokristale hornblende, biotita i augita (Sl. 4.4.b). Kao fenokristal javlja se još i plagioklas, koji je zastupljen manje od femskih minerala.

*Plagioklasi* se javljaju kao fenokristali, ali su češći u matriksu. Hipidiomorfnih su, idiomorfna zrna su rijetka. Uglavnom su bližnji, ali ih ima i zonalnih. Rijetki su relativno svježiji, većinom su umjereno do znatno alterirani u kalcit i sericit i/ili kaolin (Sl. 4.4.b).

Svi femski fenokristali su pretrpjeli intenzivne promjene, te su identificirani na temelju relikta u njihovim pseudomorfozama. *Amfibol* je najzastupljeniji femski mineral. Predstavljen je hornblendom, a rijetko se javljaju i kristali oksihornblende. Javlja se u obliku krupnih hipidiomorfnih kristala. Alteracije su dovele do nastanka hlorita, biotita, kalcita, magnetita i kriptokristalaste mase. *Biotit* se javlja u hipidiomorfnim do alotrimorfnim listićima koji su često potpuno alterirani i ispunjeni sekundarnim hloritom i magnetitom.

Klinopiroksen *augit* je relativno rijedak i manjih dimenzija. Boje je svijetlosmeđe, bez pleohroizma. Znatno je svježiji od ostalih femskih minerala i umjereno je hloritiziran i kalcitiziran.

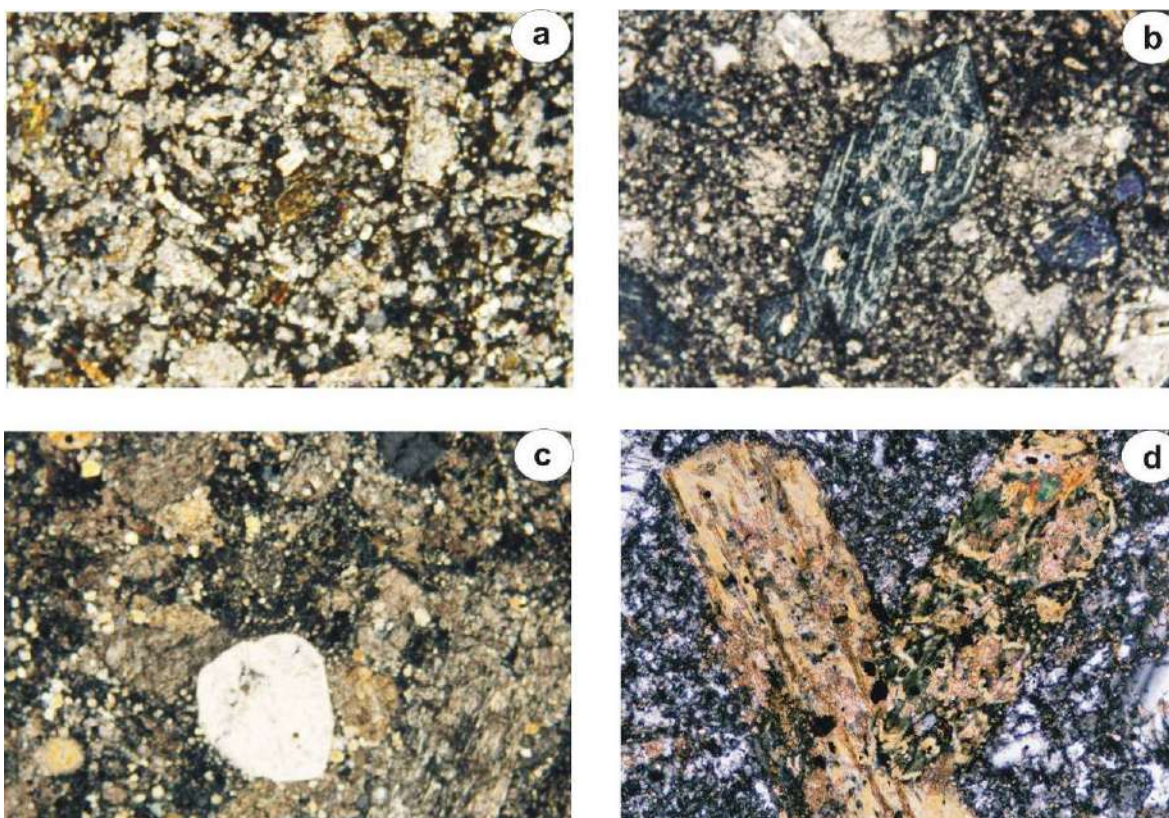
Kao akcesorni minerali dolaze *magnetit* i u manjem procentu *rutil* i *apatit*. Stijena je znatno alterirana i od sekundarnih minerala javljaju se: *kalcit*, *hlorit*, *sericit* i minerali glina.

*Matriks* je hipokristalast. Sastoji se od isprepletenih mikrolita plagioklasa, svježeg vulkanskog stakla, sitnih zrna magnetita i rijetkih akcesornih minerala.

Ispitivana stijena predstavlja prelazni varijetet između bazalta i andezita i klasificirana je kao *bazaltni andezit*.

#### 4.5. Propilitizirani andeziti Crnog Gubera, brda Kvarac i Srebrenice

Makroskopski posmatrano stijene su svijetlosive, sivozelenkaste do tamnosive boje, homogene teksture i porfirne strukture. Vidljivi su štapićasti fenokristali femskih minerala, zamučeni bijeli feldspati, sitna zrna kvarca i veoma sitna zrna piritita i magnetita. Matriks je sivozelene boje. Propilitisani andezit brda Kvarac je tamnozelenke boje, sa limonitiziranim Fe-Mg mineralima, a sama stijena je mjestimično prekrivena žutosmeđim limonitnim prevlakama. Makroskopski se ne prepoznaje porfirna struktura (Sl. 4.1.F).



**Slika 4.5. Mikrofotografije tercijarnih propilitiziranih andezita i dacita šire okoline Srebrenice:** a) **Propilitizirani andezit brda Kvarac** (uzorak S-1): plagioklasi znatno ispucali i alterirani u kalcit, sericit i kaolinit. Potpuno alterirani femski minerali. Relativno obilno prisutan sekundarni kvarc. N+. 2,5x10; b) **Propilitizirani andezit Srebrenice** (uzorak S-2): hloritizirani fenokristali amfibola i alterirani fenokristali plagioklasa u holokristalastom matriksu koji relativno obilno sadrži sekundarne minerale (hlorit, kaolinit, kalcit, limonit). N+. 2,5x10; c) **Propilitizirani andezit Crnog Gubera** (uzorak S-6): potpuno alterirana stijena u kojoj su plagioklasi i femski minerali prešli u sitnozrne agregate minerala glina, hlorita, magnetita i magnezita. N+. 2,5x10; d) **Piroksen-hornblenda-biotitni dacit iznad Potočara, između Bratunca i Srebrenice** (uzorak 88-48): hloritizirani biotit sa pukotinama ispunjenim sitnozrnim agregatom matriksa i karbonatiziran, hloritiziran i limonitiziran fenokristal hornblende. N+. 10x10.

Pod mikroskopom se vidi porfirna struktura mada nejasna zbog alteracije, posebno fenokristala. Fenokristali su plagiklasi, potpuno alterirani feromagnezijski minerali, rijetko sanidin a sasvim podređeno i kvarc. *Plagioklasi* su sačuvali idiomorfni do hipidiomorfni habitus. Znatno su ispućali i alterirani (Sl. 4.5.a, Sl. 4.5.b). Sekundarni minerali su kalcit, sericit i kaolinit. Pojedini dijelovi plagioklasa su relikti u rastrošenom materijalu i ne pokazuju sraslačke lamele i zonalnu strukturu (Sl. 4.5.c). *Sanidin* se u obliku fenokristala javlja znatno rijede. U većem procentu javlja se u matriksu. Fenokristali sanidina su znatno svježiji. U stijenama ima rijetkih zaobljenih zrna primarnog *kvarca*, a relativno obilno prisutan je i sekundarni kvarc (Sl. 4.5.a).

*Biotit* je prešao u hlorit sa rijetkim reliktima. Osim hlorita u njemu se nalaze i zrnca ilita i magnetita (Sl. 4.5.d). *Hornblenda* je najzastupljeniji feromagnezijski mineral. Ponegdje su sačuvani relikti svježeg kristala unutar agregata hlorita, kalcita i opacita (Sl. 4.5.d). U propilitiziranom andezitu Crnog Gubera javljaju se pseudomorfoze hlorita i magnetita po *hiperstenu* (Sl. 4.5.c).

Aksesorni su magnetit, apatit, manje cirkon i rutil. Stijene su veoma bogate sekundarnim mineralima: hlorit, kalcit, magnezit, minerali glina, sericit, pirit i kvarc. Minerali *matriksa* su izmijenjeni u hlorit, kaolinit i kalcit.

Na osnovu mikrofiziografskih karakteristika u mikroskopskim preparatima ocijenjen je i kvalitet uzoraka stijena, na osnovu kojih je izvršen odabir reprezentativnih uzoraka za dalje analize:

Kategorija I obuhvata najsvježije uzorke i to: S-10, S-12 i 88-49.

Kategorija IIA obuhvata relativno svježije do umjereno alterirane uzorke: 88-42, 88-43, 88-48, 88-51, 88-52 i 88-53.

Kategorija IIB obuhvata umjereno do znatno alterirane uzorke: S-3, S-4, S-5, S-7, S-8, S-9, 88-41 i 88-50.

Kategorija III obuhvata znatno alterirane uzorke S-2 i S-6.

Kategorija IV obuhvata znatno hidrotermalno izmijenjene uzorke S-1 i S-11.

Rendgenografska ispitivanja urađena su na 6 uzoraka iz svih kategorija s ciljem identifikacije krajnje finih zrna u matriksu i alteracijskih produkata. Za određivanje hemijskog sastava minerala, metodom elektronske mikroanalize uzeti su reprezentativni, relativno svježiji do umjereno alterirani uzorci iz kategorija I, IIA i IIB.

## 5.0. Mineralni sastav stijena određen XRD metodom

Analize stijena metodom rendgenske difrakcije urađene su kao dopuna mikroskopskim istraživanjima u polarizacijskom svjetlu. Mineralni sastav određen pomoću XRD dat je u tabeli 4.2., a neki rendgenski difraktogrami prezentirani su na slici 5.1. Identifikacija minerala izvršena je na osnovu položaja pikova, a na osnovu intenziteta pikova utvrđena je relativnoj količina identifikovanih minerala u uzorku.

Identificirane su slijedeće grupe minerala:

- 1) Petrogeni minerali koji se smatraju primarnim: kvarc, feldspat, biotit, hornblenda i vulkansko staklo (amorfna tvar) i
- 2) Sekundarni (alteracijski) minerali: a) minerali glina: smektit i miješanoslojni minerali glina; b) hlorit i karbonatni minerali: kalcit.

**Tabela 5.1.** Mineralni sastav vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice određen XRD metodom.

| Mineral                       | S-1             | S-2             | S-6             | S-9             | S-10            | S-11            |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Kvarc</b>                  | +               | +               | +               | +               | +               | +               |
| <b>Feldspat</b>               | + <sup>vm</sup> | +               | + <sup>m</sup>  | + <sup>m</sup>  | +               | + <sup>m</sup>  |
| <b>Liskun</b>                 | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> | +               |                 |
| <b>Amfibol</b>                | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> |                 |                 | +               | +               |
| <b>Smektit</b>                |                 |                 |                 |                 | + <sup>m</sup>  | + <sup>vm</sup> |
| <b>MLCM</b>                   |                 | + <sup>vm</sup> |                 | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> | + <sup>vm</sup> |
| <b>Hlorit</b>                 | +               | +               | +               | +               | + <sup>m</sup>  | +               |
| <b>Kalcit</b>                 |                 | +               | + <sup>m</sup>  |                 | + <sup>m</sup>  | +               |
| <b>Amorf. SiO<sub>2</sub></b> |                 | + <sup>m</sup>  | + <sup>m</sup>  | + <sup>vm</sup> | + <sup>m</sup>  | + <sup>vm</sup> |

<sup>m</sup> označava malo, a <sup>vm</sup> veoma malo prisustvo minerala prema intenzitetu rendgenskih pikova; MLCM= miješanoslojni minerali glina (*Mixed-Layered Clay Minerals*)

Hlorit je najzastupljeniji alteracijski mineral i identificiran je u najvećem broju uzoraka. Slijede miješanoslojni minerali glina, kalcit i smektit (Tabela 5.1.).

Malo ili veoma malo prisustvo amorfno materijala, najvjerojatnije vulkanskog stakla, utvrđeno je u skoro svim uzorcima.

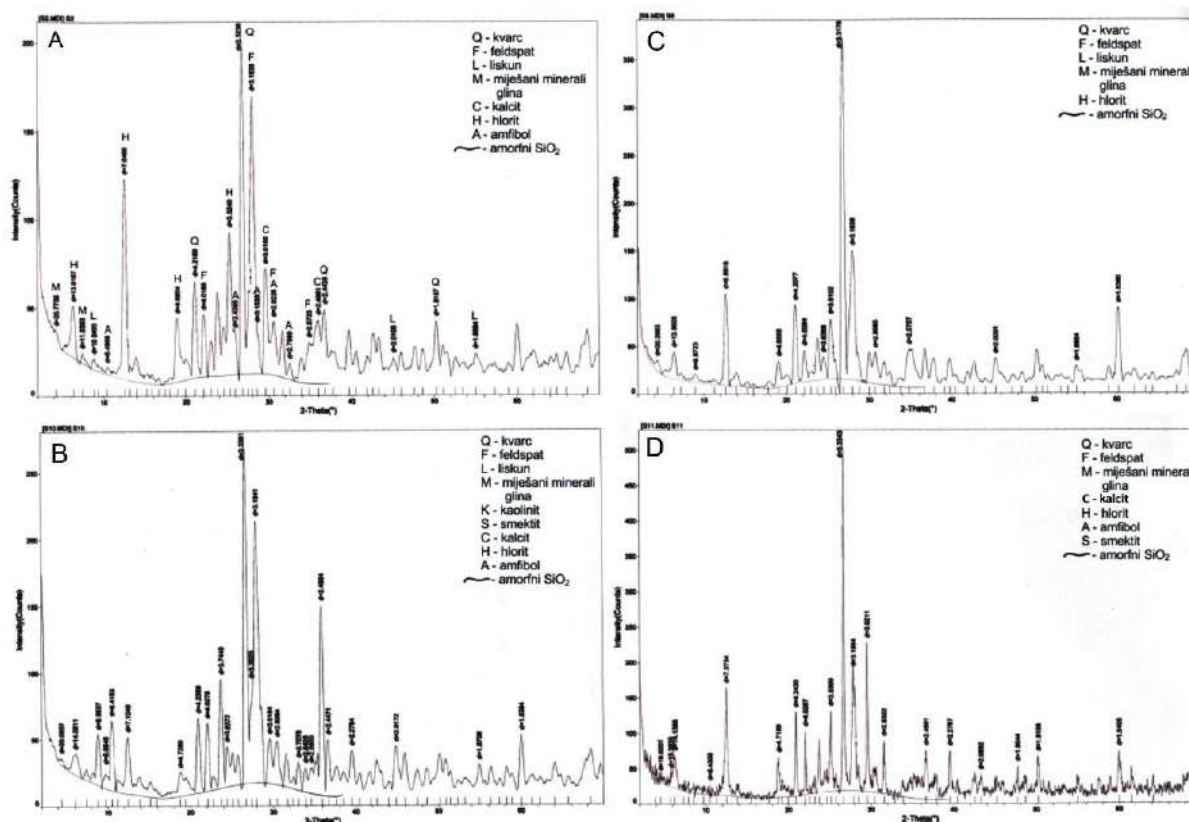
Kvarc je najobilnije zastupljen u svim ispitivanim stijenama što potvrđuje činjenicu da je u velikom procentu zastupljen i u matriksu stijene.

Poslije kvarca po zastupljenosti dolaze feldspati koji su najviše zastupljeni u andezitima Srebrenice i Dimnića (Sl. 5.1.A i Sl. 5.1.B). Ovo može značiti da su feldspati, uglavnom plagioklasi, nekih uzoraka svježiji, što potvrđuje odsustvo minerala kaolinita.

U ostalim analiziranim stijenama feldspati su umjereno do znatno alterirani i prešli u minerale glina (smektit i MLCM) i kalcit.

U propilitiziranim andezitima i znatno alteriranom trahandezitu Srebrenice (Sl. 5.1.C) biotit je skoro potpuno prešao u hlorit.

U bazaltnom andezitu (Sl. 5.1.D) kalcit je nastao procesom kaolinizacije plagioklasi i hidrotermalnom alteracijom amfibola.



Slika 5.1. Rendgenski difraktogrami terciarnih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice: **A)** Znatno alterirani andezit Srebrenice; **B)** relativno svježiji andezit okoline Dimnića; **C)** znatno alterirani andezit Crnog Gubera (iz zone orudnjenja-piritizacije); **D)** relativno svježiji bazaltni andezit okoline Dimnića.

## 6.0. Procesi alteracije stijena

Na mineralni sastav terciarnih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice u različitom obimu uticali su procesi hidrotermalne alteracije stijena.

Najveće izmjene pretrpjeli su andeziti brda Kvarac (Sl. 4.5.a), Srebrenice (Sl. 4.5.b) i Crnog Gubera (Sl. 4.5.c). Asocijacija minerala identifikovana u ovim stijenama govori da su stijene najvećim dijelom pretrpjele intermedijarnu argilitisku alteraciju. Stijene su prvo pretrpjele propilitiske promjene pri kojima su biotit i hornblenda opacitizirani, hloritizirani i kalcitizirani, a plagioklas slabo kalcitiziran. Početak propilitizacije pada još u prvo, intratelurno doba kristalizacije magme. Ove promjene su minimalne kod onih stijena koje su efuzijom naglo došle na površinu ili blizu površine, jer su volatili i fluidi brzo otišli u atmosferu. Matriks ovakvih stijena je kriptokristalast, gust i redovno sadrži promjenljivu količinu smeđeg vulkanskog stakla.

Kasnijim dejstvom hidrotermalnih rastvora, u različitim temperaturnim intervalima, plagioklas je dodatno kalcitiziran, sericitiziran i argilitiziran dok su bojeni minerali uglavnom hloritizirani, kalcitizirani, argilitizirani i sericitizirani. Pored ovih izmjena došlo je i do znatne silifikacije, koja redovno prati proces sericitizacije. Ovakve promjene u većem obimu prisutne su u stijenama koje su se izlile u dubljim dijelovima ispod površine, gdje su uz pomoć volatila i fluida dobili „zrnastiji“, odnosno holokristalasti matriks.

Pirit i pirhotin mogu biti dijelom primarnog porijekla ali su u nekim hidrotermalno izmijenjenim vulkanskim stijenama, kao u trahandezitu iz zone orudnjenja Crnog Gubera, u većem procentu sekundarni i nastali u procesu piritizacije. Stvaranje piritu predstavlja drugu etapu hidrotermalnog djelovanja na



vulkanske stijene. Ova etapa više ne spada u procese propilitizacije i prije bi se mogla nazvati mineralizacijom.

## 7.0. Diskusija i zaključak

Tercijarne vulkanske stijene šire okoline Srebrenice, sjeveroistočna Bosna, čine diferencijacijski niz bazaltni andezit-andezit-dacit i pripadaju vulkanskoj formaciji šošonitnih i visoko-kalijskih kalcijsko-alkalijskih stijena oligocenske starosti, čiji je nastanak povezan sa geodinamikom kolizije afričke i euroazijske ploče u segmentu Dinaridskog orogena.

Mineralni sastav stijena određen je, osim u polarizacijskom mikroskopu, i metodom rendgenske difrakcije na prahu uzorka (XRD). Ovim ispitivanjima uglavnom je potvrđen mineralni sastav stijena dobijen ispitivanjem u propuštenom svjetlu. Kvantitativno određivanje nije bilo moguće zbog finoće zrna matriksa, te je klasifikacija stijena urađena na osnovu semikvantitativnih procjena.

Mineraloško-petrografske karakteristike tercijarnih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice pokazuju da polovinu ispitivanih stijena čine različiti varijeteti dacita: biotitni dacit (Srebrenica, Ljubovija, Čauš, Skakavac); hipersten-hornblenda-biotitni dacit (Ažlica, Lisac) i augit-hipersten-biotitni dacit (Potočari, Srebrenica, Skakavac). Prema preovladavajućem sadržaju bojnih minerala među andezitima se mogu izdvojiti: biotitni andezit (Srebrenica-Ažlica); hipersten-biotitni andezit (Srebrenica, Crni Guber); hipersten-hornblenda-biotitni andezit (Ažlica), hornblenda-hipersten-biotitni andezit (Ažlica) i hiperstenski andezit (Potočari).

Na mineralni sastav tercijarnih vulkanskih stijena šire okoline Srebrenice u različitom obimu uticali su procesi hidrotermalne alteracije stijena. Asocijacija minerala identifikovana u andezitima brda Kvarac i trahandezitu Crnog Gubera upućuje da su stijene najvećim dijelom pretrpjele intermedijarnu argilitsku alteraciju. Pirit i pirhotin su vjerovatno dijelom primarnog porijekla, ali su u trahandezitu iz zone orudnjenja Crnog Gubera u većem procentu sekundarni i nastali u drugoj etapi hidrotermalnog djelovanja na vulkanske stijene, koja bi se mogla nazvati mineralizacijom.

Korelacijom vulkanskih stijena sjeveroistočne Bosne sa genetski srodnim stijenama u centralnoj Bosni uočeno je slijedeće:

- daciti i andeziti centralne Bosne ne sadrže klinopiroksen i ortopiroksen (Salkić, 2005, Salkić et al., 2006);
- vulkanske stijene sjeveroistočne Bosne sadrže manje K-feldspata i kvarca, a generalno imaju veći sadržaj plagioklasa;
- stijene centralne Bosne pripadaju kiselim stijenama (dacitima), rijetko neutralnim (andezitima), dok su vulkanske stijene okoline Srebrenice, Bratunca i Ljubovije predstavljene skoro podjednako kiselim (daciti) i neutralnim stijenama među kojima se mogu izdvojiti dominantni andeziti uz bazaltne andezite i trahandezite (Salkić, 2005; Salkić et al., 2006).

Iz prikazanih mineraloško-petrografskih karakteristika može se dobiti uvid u neke procese koji su se odvijali u toku geneze stijena:

- Prisustvo primarnih magmatskih minerala: klinopiroksena, ortopiroksena, hornblende i biotita od femskih, te plagioklasa, sanidina i kvarca od salskih minerala upućuje na činjenicu da je frakciona kristalizacija odigrala značajnu ulogu u genezi stijena.
- Bazaltni andezit Dimnića ima najbazičniji hemijski sastav, sadrži najbazičniji plagioklas i četiri vrste feromagnezijskih minerala, te čini najranije kristaliziranu stijenu ove vulkanske oblasti. Najmlađi diferencijati ove serije su daciti koji sadrže kisele plagioklase, fenokristale kvarca i jedino biotit od feromagnezijskih minerala. Izgleda da se trahandeziti ne uklapaju u ovu seriju stijena.
- Propilitizirani andezit Srebrenice sadrži enklave starijih, jako alteriranih stijena što ukazuje na višefazne erupcije.
- Reakcijski rub na mnogim zaobljenim fenokristalima kvarca ukazuje na mogućnost miješanja magmi kod nastajanja tercijarnih vulkanskih stijena sjeveroistočne Bosne. Ovakve karakteristike

fenokristala kvarca mogu ukazivati da su oni ksenokristali uključeni u magmu iz okolnih krustalnih stijena, ili da su frakcionirani iz neke kiselije magme koja se primiješala manje kiseloj magmi u zajedničku, homogeniziranu magmu u kojoj ranije frakcionirane faze mogu postati nestabilne. Na miješanje magmi različite temperature i hemijskog sastava ukazuje takođe i postojanje inverсно zonalnih fenokristala plagioklasa i zonalnih fenokristala amfibola zajedno sa resorbiranim fenokristalima kvarca. Zajedničko prisustvo svježih i znatno alteriranih fenokristala plagioklasa u nekim andezitima Srebrenice takođe upućuje na miješanje magmi.

Pouzdaniji zaključci o genezi stijena mogu se dobiti iz rezultata detaljnih geohemijskih i izotopnih analiza stijena. Na primjer, količina pojedinih magmi u miješanju ne može se odrediti bez preciznih analiza izotopnog sastava stijena.

### Literatura:

- Altherr, R., Lugović, B., Meyer, H.-P. & Majer, v. (1995): Early Miocene post-collisional calc-alkaline magmatism along the easternmost segment of the Periadriatic fault system (Slovenia and Croatia). *Mineral. Petrol.*, 54, 225-247.
- Balen, D. & Pamić, J. (2001): Tertiary shoshonite volcanic associations from the adjoining area of the South Pannonian Basin and Dinarides. *Acta Vulcan.*, 113(1-2), 117-125.
- Boev, B. & Janev, Y. (2001): Tertiary magmatism within the Republic of Macedonia: a review. *Acta Vulcan.*, 13, 57-71.
- Boev, B., Lepitkova, S., & Bermanec, V. (2000): Tertiary volcanic activity in the Inner Dinarides (Republic of Macedonia). *Vijesti hrv. geol. društva* 37/2, Dubrovnik, 26-28.
- Dorđević, D. (1969): Turmalinsko-kvarcne stijene područja rudnika Srebrenice, *Geološki glasnik* 13, Sarajevo.
- Eleftheriadis, G., Christofides, G., Mavroudchiev, B., Nedyalkov, R., Andreev, A. & Hristov, L. (1989): Tertiary volcanic rocks from the East Rhodope in Greece and Bulgaria. *Geol. Rhodop.*, 1, 280-289.
- Karamata, S. (1960): Izvještaj o rezultatima analiziranja eruptivnih stijena okoline Srebrenice. Dokumenti fonda Geološkog zavoda, Sarajevo.
- Kišpatić, M. (1904a): Hiperstenski andezit i dacit iz srebreničke okolice u Bosni. 159 knjiga "Rada"JAZU, Zagreb, 1-27.
- Kišpatić, M. (1904b): Petrografske bilješke iz Bosne. *Rad Jug. Akad. znan.i umjet.*, Knjiga 159, Zagreb.
- Kubat, I. (1966): Problem rudarenja I određivanja zaštitnog polja mineralnog vrela Veliki (crni) Guber kod Srebrenice u Istočnoj Bosni. *Geološki glasnik* 11, Sarajevo.
- Pamić, J. (1976): Alpski magmatsko-metamorfni procesi i njihovi produkti, kao indikatori geološke evolucije terena sjeverne Bosne. *Geološki glasnik*, knjiga 22, Sarajevo.
- Pamić, J. (1996): Magmatske formacije Dinarida, Vardarske zone i južnih dijelova Panonskog bazena. Nacionalna i sveučilišna biblioteka, Zagreb.
- Pamić, J. & Balen, D. (2001): Tertiary magmatism of the Dinarides and the adjoining South Pannonian Basin: an overview. *Acta Vulcanol.*, 13, 9-24.
- Pamić, J. & Palinkaš, (2000): Petrology and geochemistry of Paleogene tonalites from the easternmost parts of the Periadriatic Zone. *Mineral. Petrol.*, 70, 121-141.
- Pamić, J., Pécskay, Z. & Balen, D. (2000): Lower Oligocene K-Ar ages of high-K calc-alkaline and shoshonite rocks from North Dinarides in Bosnia: Short Communication. *Mineral. Petrol.*, 70, 313-320.
- Pamić, J. & Balen, D. & Herak, M. (2002): Origin and geodynamic evolution of Late Paleogene magmatic associations along Periadriatic-Sava-Vardar magmatic belt. *Geodinamica Acta*, 15, 209-231.
- Salkić, Z. (2005): Petrologija i geohemija tercijarnih vulkanskih stijena u Bosni i Hercegovini. Doktorska disertacija, RGGF Tuzla, Tuzla.
- Salkić, Z., Lugović, B., Trubelja, F., Salihović, S. (2006): Geohemijske i geotektonske karakteristike tercijarnih vulkanskih stijena centralne Bosne. *Zbornik radova I savjetovanja geologa BiH*, Kladanj, 185-197.
- Salkić, Z., Lugović, B. & Babjić, E. (2008): Hemijska klasifikacija i nomenklatura tercijarnih vulkanskih stijena sjeveroistočne Bosne. *Zbornik radova III Savjetovanja geologa BiH*, Neum, 503-511.
- Slapansky, P., Belocky, R., Fröschl, H., Hradecky, P. & Spindler, P. (1999): Petrographie, Geochemie und Einstufung des miozänen Vulkanismus im Steirischen Becken (Österreich). *Abh.Geol. B.-A. Wien*, 56/1, 419-434.
- Tajder, M. (1951-1953): Biotitski dacit od Sasa kraj Srebrenice u Bosni. *Geol. Vjesnik*, 5/7, Zagreb, 63-72.
- Tajder, M. (1960): Dacit od Potočara kraj Srebrenice (Bosna). *Geol.vjesnik*, 13, Zagreb, 145-148.

- Tajder, M. & Zebec, V. (1975): Hornblendski andezit kod Sikirića i propilitizirani andezit kod Fojhara, Srebrenica (Bosna). Acta geologica, VIII/15, Zagreb, 277-285.
- Trubelja, F. (1971): Mineraloško ispitivanje kaoliniziranog dacitoida iz okolice Bratunca. Emajl-keramika-staklo, 1, Zagreb, 38-44.
- Trubelja, F. (1972): Kaolinizirani sanidinski dacit u blizini Bratunca (okolica Srebrenice) u Bosni. VII Kongres geologa SFRJ, Zagreb.
- Trubelja, F. & Paškvalin, Lj. (1962): Lamprofirska žica iz okolice Sasa kod Srebrenice u Bosni. Geološki glasnik br.6, Sarajevo, 61-64.

## **RUDNA LEŽIŠTA – EKONOMSKA GEOLOGIJA**

## Uticaj eksploatacije uglja na površinu terena, u naselju Jagodići, Zenica

Mr.sc. ecc. Hamid Begić dipl.ing.geologije  
Federalni Zavod za Geologiju

### UVOD

Naselje Stranjani, udaljeno je oko 10 km od grada Zenica, a povezano je Regionalnim putem Zenica- Vitez. Rudnik Stranjani je lociran, između korita potoka Kočeva i padine brda, uzvodno od predmetnih parcela tužitelja. U naselju Jagodići nalazi se i ulazno okno za podzemne rudarske radove na Rudniku Stranjani, dakle navedeni Rudnik je lociran u samom naselju.

Predmetne lokacije, ulazno okno i podzemna eksploatacija pripada jako složenim i razgranatim morfološkim tvorevinama. Savaki morfološki oblik, njen uži ili širi oblik, stvoren je posredno radom eroziono – akumulacionih-denudacionih tvorevina i procesa, takve morfološke tvorevine, odnosno pojave, su uglavnom su nadjahale ranije morfološke cjeline, neke stoje kao relikti, neke su i danas aktivne u svom postojanju. Antropogenim zahvatima degradirano tlo se sve više i više pospješuje u smislu destrukcije, te kao takvo postaje trajno nestabilno, odnosno totalno je deformisano, te njgova vrijednost se samnjuje, odnosno praktično da i nema pozitivne ekonomske vrijednosti.

Najniži morfološki oblik je potok Kočeva koji drenira okolne vode sa viših hipsometrijskih nivoa.

Od aluvijalne ravni, ka nižem erozionom nivou, nalazi se eroziono terasasti pregib , uži ili širi u zavisnosti od erozije i akumulacije zemljanog materijala. Na nižem erozionom nivou, navedenog potoka predstavlja relik terase. Od nižeg erozionog nivoa, širim terasnim pregibom nastaje relik srednje terasa potoka dosta uišten erozino denudacionim procesima. Na tom nivou dominantna je ilovača, One imaju svoj oslonac u nižem erozionom nivou. Potkopavanjem ili preopterećenja navedenog oslonca nastaje njihovo kretanje, kao npr. Depo jalovišta.

Padine su građene su od ilovača, moćnosti od 10-12 m, koje postepeno prelaze u trošno osnovno tlo. Debela serija ilovača brda Križ oslanja se na ilovače navedene zavale koje su imale karakter uslovno stabilnih materijala.

Glavni ugljeni sloj razvijen je u čitavom produktivnom dijelu Srednjobosanskom basenu, počev od Breze do Bile. Na zeničkom području u prosjeku njegova moćnost je oko 6,0 m, što se približno može reći i za područje Starnjani.<sup>22)</sup>

Krovinski sedimenti Glavnog ugljenog sloja čine žuti tvrdi krečnjaci i lapori, mjestimično prožeti tankim proslojcima uglja, na većoj visini navedeni krečnjaci postepeno prelaze u bituminozne lapore navedena litostratigrafska jedinica konkordantno preko Glavnog ugljenog sloja.

Povlatni ugljeni sloj, koji je uložen u navedenoj zoni krečnjaka, razvijen je na većem prostoru unutar bazena. Na području Stranjana moćnost ovog sloja iznosi oko 3 ,0 m.

Prelaznu seriju čine laporci, lapori, pješćari i konklomerati. Navedena litostratigrafska jedinica leži konkordantno preko krovinskih krečnjaka i moćnosti je u prosjeku oko 500 m. Na području Stranjani izgrađena je odzdo na gore od glinovitih mekih lapora, zatim istih tih lapora sa proslojcima pješćara, a na kraju se pojavljuju još i proslojci konglomerata, tj. sedimenti finog habitusa tj. sedimenti finog habitusa prema tzv. glavnim konglomeratima - tipičnim gruboklastičnim sedimentima.

Karakteristično je istaći da su nastala klizišta na suprotnoj strani padine terena naselja Jagodići u odnosu na otkopno polje jame „Stranjani“.

Uvidom u Inženjerskogeološku kartu evidentan je veći broj rasjednih struktura čije je pravac kretanja je različit i to više rasjeda paralelnih toku rječice u naselju Jagodići i pravca pružanja ugljenih slojeva, kao i okomito na navedene pravce.

---

<sup>22</sup> SOUR 2TITTOVI RUDNICI Uglja“, Tuzla , RO Rudarskogeološki institut i fakultet, Tuzla, OOUR Institut za rudarska istraživanja Tuzla ,“ Studija o uzrocima pomjeranja terena oštećenja površinskih objekata na području Zenica“Stranjani“ -, selo Jagodići- RMU Zenica“, Tuzla, maj 1981.godine

## II UZROCI NASTANKA DEFORMACIJA NA POVRŠINI TERENA U NASELJU JAGODIĆI, ZENICA

Uzroci nastanka klizišta u naselju Jagodići, općina Zenica treba posamtrati sa više aspekata, a generalno se mogu svrstati na:

- 2.1. Geološke uzroke nastanka klizišta
- 2.2. Geomorfološke uzroke
- 2.3. Fizičke uzroke i
- 2.4. Tehnogene uzroke

### **2.1. Geološki uzroci**

U vrijeme savremenog reljefa, nezamislivo je nepoznavanje geološka građa određenog prostora, kao radne sredine na kojoj se planiraju ili izvode građevinski zahvati. Ukoliko se želi pripremiti radna sredina za izvođenje građevinskih zahvata potrebno je u potpunosti poznavati inženjerskogeološka svojstva stijena, jer one zavise uglavnom od materijalnog sastava, strukture i teksture koji se formiraju u procesu njihove geneze, a mijenjaju pod uticajem postgenetskih procesa.

Područje Stranjani u geološkom smislu predstavlja jedan mali dio srednjobosanskog ugljenog basena. Prema tome, geološki sastav navedenog područja identičan je sa ostalim dijelovima Srednjobosanskog basena.

Unutar basena razvijeno je više litostratigrafskih jedinica, odnosno.

#### **- Oligomiocensen**

Podinski pješčari i konglomerati, laporoviti krečnjaci, lapori, pješčari, podni ugljeni slojevi, donja molasolika serija (konglomerati, laporci i gline).

#### **- Miocen**

Glavna ugljonosna serija krovni krečnjaci, prelazna serija (laporci, lapori, pješčari i konglomerati), glavna molasolika serija, (konglomerati, pješčari, lapori i gline) – krečnjaci i orlački sitnozrni konglomerati.

#### **- Pliocen**

Pliocen je predstavljen krečnjacima, lignitom, gline, pješčari i šljunkovi.

### **Glavni ugljeni sloj**

Razvijen je skoro u čitavom produktivnom dijelu Srednjobosanskog basena, počev od Breze do Bile. Na zeničkom području u prosjeku je deo oko 6,0 m; što se približno može zaključiti i za područje Stranjani. U ovom sloju je karakterističan jedan veći laporoviti umetak po sredini sloja koji se mjestimično gubi. Neposredno podina je mekši žučkasti krečnjaci i lapori i karakteristične zelenkasto sive gline ispod kojih je tzv. „geološki sloj“. Debljina navedene serije od glavnog do geološkog sloja kreće se oko 45,0 m.

Krovinu sloja sačinjavaju žuti tvrdi krečnjaci i lapori, a višu krovinu sivi slakovodni krečnjaci i lapori, mjestimično protkani tankim proslojcima uglja.

Na većoj visini navedeni krečnjaci postepeno prelaze u bituminozne lapore.

Krovinski krečnjaci; Ova litostratigrafska jedinica leži konkordantno preko Glavnog ugljenog sloja i debela je oko 60,00 m. Značajna je po tome što je u njoj uložen tzv. krovinski (povlatni) ugljeni sloj na rastojanju oko 50,0 m iznad Glavnog ugljenog sloja. Ovaj horizont karakterističan je po svom petrografskom sastavu i predstavljen je krečnjacima koji su djelimično laporoviti ili pjeskoviti. Takvi krečnjaci se na terenu lako uočavaju i služe kao vodič

koji ukazuju na blisko prisustvo ugljenih slojeva. To su uglavnom bankoviti i slojeviti krečnjaci reletivno otporni na atmosferilije i vjerovatno su predstavljali najpogodniji materijal za zasip.

U svom gornjem dijelu tj. iznad povlatnog sloja oni su nešto svjetliji i postepeno prelaze u glinovite lapore.

Povlatni ugljeni sloj, koji je uložen u ovoj zoni krečnjaka, razvijen je na većem prostoruprostoru unutar bazena. Na području Stranjana cijeni se da je njegova moćnost iznosi oko 3 m;0 m.

Prelazna serija: Loaporci, lapori, pješčari i konglomerati. Ova litostrafska jedinica leži konkordantno preko krovinskih krečnjaka i moćnosti je u prosjeku oko 500 m,0m. Na području Stranjani izgrađena je odozdo na gore od glinovitih mekanih lapora, zatim istih tih lapora sa proslojcima pješčara, a na kraju se pojavljuju još i prosse pojavljuju još i proslojci konglomerata, tj, sedimenti finog habitusa prema tzv. glavnim konglomeratima – tipičnim gruboklasničnim sedimentima.

U „stariju juru“ se mogu uvrstiti serija sedimenata u kojoj najčešće dolaze laporci, zatim kristalasti i pseudoolitni krečnjaci, laporoviti krečnjaci, kalkarniti, rožnjaci i rjeđe glinci.<sup>23</sup> Tlo koje je zahvaćeno klizanjem predmetnog lokaliteta Suljakovića je Jurske satrosti.

U strukturi „mlađe jure“ najznačajniju ulogu ima vulkanogeno – sedimentna formacija za područje koje pokriva list Zavidovića i izgrađuje najvažnije strukturne jedineice. Sedimenti vulkanogene -formacije leže normalno preko sedimenata starije jure. S druge strane, utvrđeni su nedovoljno karakteristični mikrofosili. Među sedimentnim članovima vulkanogene -sedimentne formacije izrazito prevladavaju klastične stijene, posebno pješčari predstavljeni kvarcno – feldspatskim grauvakama, feldspatsko – grauvaknim kvarcnim pješčarima i bezfeldspatskim kvarcnim grauvakama. Dosta često pokazuju jasne znakove epigenetskih promjena. Dosta često sadrže proslojke alevrolit-pelitskih stijena. Rjeđe su breče s fragmentnim stijenama iz same vulkanogeno – sedimentne formacije. Rožnjaci su dosta rijedak litološki član, dok se krečnjaci, obično laporoviti, izuzetno rijetko susreću. Izuzetak predstavlja deblja serija izgrađena pretežno od rožnjaka s vrlo rijetkim proslojcima krečnjaka i glinaca koja se prostire na krajnim južnim područjima lista zavidovića.

U konkretnom predmetu i lokalitetu geološki pokrivač uglavnom čini glinovito pjeskoviti sedimenti . Dakle, navedeni sedimenti su uglavnom prekriveni deluvijalnim sedimentima kore raspadanja, sa rijetkim profilima otkrivenošću supstrata.

Neposredni supstrat deluvijalnim sedimentima čine raspadnuti pješčari i laporci. Mladi deluvijalno glinovito – prašinsto pjeskoviti sedimenti, iznad kore raspadanja, sadrže obilje uklopaka trošnog sitnozrnog pješčara. Dakle, može se usvojiti da je geološki pokrivač uglavnom čini humusni sloj i prašinsto glinovito laporovite čestice, a supstrat pješčari i laporci.

U geološkoj građi prostor, odnosno tlo koje pripada površini i dubini navedene makro lokalcije je jako složen i komplikovano . Posmatrano sa aspekta inženjerskogeoloških uslova takođe se može definisati kao složeno, jer odnos pokrivača i supstrata je jako nepovoljan. Dakle, u osnovi pokrivač čine gline sa dosta primjesa pijeska u svojoj strukturi, te kao takve podložne su primanju značajnijih količina podzemnih i oborinskih voda, pri čemu slabe kohezionesile , koje nisu bile u stanje da pruže otpore silama koje su izazvale lom u tlu.

## **2.2. Geomorfološki uzroci**

Geomorfološki uslovi i uzroci su direktno povezani sa morfogenetskim razvojem padine, odnosno oblikovanjem savremenog reljefa pod uticajem egzogenih geoloških faktora, prije svega usjecanje savremene drenažne mreže; vododerina, jaruga, povremenih i stalnih tokova.

Geomorfološka građa terena je vrlo kompleksna zbog heterogene geološke građe, složenih tektonskih odnosa, neotektonske aktivnosti i različitog ponašanja stijenskih masa u površinskoj zoni raspadanja pod uticajem egzogenih – geoloških agenasa. Geohronološki posmatrano proizilazi, da su osnovne morfogenetske forme nastale u toku neogenog ubiranja, makro i mezo morfološke cjeline u toku neotektonske aktivnosti kroz pleistocen i kvartar, a savremena forma eroziona – denudacionim procesima.

---

<sup>23</sup> Osnovna Geološka karta, L 34 -121 Zavidovići, Savezni geološki Zavod 1973, Beograd, str.11.

Prema geološkoj građi, na razmatranom terenu mogu se izdvojiti sljedeće genetske karakteristike reljefa:

1. Fluvijalno akumulacioni reljef
2. Eroziono-denudacioni reljef
3. Gravitaciono- deluvijalni reljef

Od pomenutih kategorija reljefa najveća zastupljenost je eroziono-denudacioni, dok se ostali sporadično pojavljuju. Eroziono-denudacioni reljef je determinisan sa dendritičnim drenovima, odnosno brazdama jaružanja, pri čemu je pokrivač kliznog tijela, naselja Jagodići na više mjesta usjecan do supstrata, pa čak i dijelom supstrat. Na taj način usljed anomalnih oborina izvršeno je prihranjivanje, podlokavanje supstrata, što je izrazito nepovoljno sa aspekta stabilnosti terena. Dakle, u uslovima prezasićenosti vlagom maksimalno je povećana zapreminska težina tla, pri čemu sile otpora kontakta supstrata i pokrivača su bile nedovoljne, kao rezultat tome jeste lom tla, kao i aktivno kretanje zemljane mase niz kosu strmu ravan, odnosno premještanje produkata raspadanja sa hipsometrijske više tačke na nižu. Znači da je fluvijalna erozija pri usjecanju primarne drenažne mrežedovela do burnih eroziono denudacionih procesa, naročito u gornjim, središnjim i bočnim dijelovima padine, te postepenog razvoja gravitacionih procesa.

### **2.3. Fizički uzroci**

Jedan od najznačajnijih fizičkih uzroka nastanka klizišta vezan je za klimatski režim: intenzivne padavine, otapanje snježnog pokrivača, uticaja površinskih i podzemnih voda i geodinamičke procese pri zamrzavanju i odmrzavanju vode u vodozasiceenom tlu, sa izraženim procesima erozije tla.

U vremenskom periodu od 2009 do 2010.godine na području općine maglaj, kao u čitavoj regiji

Erozija zemljišta predstavlja ispiranje i odnošenje najsitnijih i najplodnijih čestica iz rastresite podloge. Erozijska zemljišta je prirodan proces koji se može ubrzati nekontrolisanom sečom šuma i pogrešnim korišćenjem zemljišta. Usled ovakvih postupaka dolazi do ubrzane erozije, koja je veoma ozbiljan i nepovratan proces.

Erozija pomeranja mase dešava se kada dođe do velikog izlivanja kiše ili prilikom zemljotresa i tada dolazi do odronjavanja zemljišta. Sva brdovita područja pod nagibom većim od 15° su podložna ovoj vrsti erozije. Ovo je najčešći oblik erozije na brdovitim područjima.

Površinska erozija je karakteristična za bilo koju regiju izloženu vjetru i kiši. U proljeće, ljeti ili u jesen posle jačih kiša mogu se na neobrađenim i obrađenim njivama primjetiti stotine manjih ili većih brazdica koja svira tekuća voda koja ne uspije da se infiltrira u zemljišta, već otiče niz nagib. Voda koja otiče niz nagib useca brazde ili manje kanalce u trošnom zemljištu, njihova dubina ne prelazi 10 -20 centimetara. U zavisnosti od terena brazde mogu da se: granaju, spajaju u nešto veće, prerastaju u vododerine, kao što je u konkretnom slučaju lokaliteta Suljakovići, formiranjem vododerina, a koje završavaju u vodenim depresijama.

Četiri osnovna uslova za nastanak klizišta, po Panjukovu<sup>24</sup> su slabljenje čvrstine podloge, što može nastupiti usljed vlaženja, raspadanja, filtracionog i osmatskog rastvaranja; povećanje hidrauličnog pada i brzine filtracije podzemne vode; podsjecanje podnožja padine; suvišno opterećenje padine deluvijalnim ili proluvijalnim nanosom. Ovo je uslovljeno količinom mineraloškog sastava gline, jer klizanju uglavnom podlježu zemljišta bogata glinom, nestabilne strukture koji pokazuju veliku sklonost bubrenju i rasplinjavanju u vlažnom, odnosno skupljanju u suvom stanju. Zemljište u vlažnom stanju ima smanjenu koheziju i unutrašnje trenje tako da se mokre zemljišne čestice lako odvajaju i podležu kretanju. Na klizištima se razlikuje klizna površina po kojoj se zemljište kreće i klizno telo, koje čine zemljišni horizonti. Klizište je uglavnom neravno i obiluje manjim uzvišenjima i udubljenjima. Proces klizanja zemljišta je vrlo sporo i praćeno je pojavama smicanja.

### **2.4. Tehnogeni uzroci**

Tehnogene aktivnosti, često predstvaljaju jedan od najznačajnijih uzroka nestabilnosti u mnogim slučajevima pa i u konkretnom slučaju, tj. neplanska i nesihronizovana gradnja građevinskih objekata, dakle, ne racionalnog korištenja prostora, tj. izgradnja građevinskih objekata bez planske i stručne dokumentacije. U naselju

---

<sup>24</sup> <http://www.zivetisabiljkama.com/index.php/razno/erozija?start=1>



Jagodići, Zenica znatno ranije je indicirano postojanost klizišta, tj. fosilnih klizišta na kojem su građeni građevinski objekti, prije svega, stambeni objekti, infrastruktura, lokalni putevi, podzemna telefonska, kablovska i vodovodna mreža, kao i nadzemna elektro mreža niskonaponskog i visokonaponskog nivoa, a da prije toga nije zahtjevana izrada planske dokumentacije.

Eksploatacija uglja, odnosno, izradom i korištenjem rudarskih prostorija za eksploataciju uglja širokočelne metode otkopavanja sa samozasipavanjem, je u široj zoni imalo direktan uticaj na promjene geomehaničkih karakteristika na površini i u dubini tla. Prema navedenoj Studiji na str.65 navedeni su mogući uzroci oštećenja tla i objekata na prostoru gdje se vrši eksploatacija mineralne sirovine. Uzroci koji su doveli do pokretanja stijenskog masiva, a time i do deformacija površine, tačnije, do deformacija površinskih naslaga, koji predstavljaju reljef terena, mogu biti , kao što je navedeno ranije, dvojaki:

- prirodni i
- vještački

U prirodne uzroke ubrajaju se upliv podzemnih voda, ( njihovo mehaničko, fizičko i hemijsko djelovanje), kao i recntni pokreti zemljine kore ( tektonski pokreti – zemljotresi).

Vještački izazvano kretanje naslaga i slijeganja površine terena, na prvo mjesto dolazi, podzemna rudarska eksploatacija ležišta mineralnih sirovina, zatim, građevinski radovi većeg obima.

Jedni i drugi uzroci mogu dovesti do većih pokreta u stijenskom masivu, a time i do sličnih manifestacija deformisanja i oštećenja površine terena i objekata.

Kretanje stijenskog masiva započinje neposredno iznad otkopanih jamskih prostorija, u naslagama koje neposredno okružuju iskopani prostor.

Uticaj na proces kretanja neposredne i visoke krovine, kao i slijeganje površine terena, pored ostalog, imaju fizičko – mehanička svojstva zalijeganja litoloških krovinskih naslaga. Tako npr. Plastične stijene karakteristišu se time što po prekoračenju granice plastičnosti, većih trajnih deformacija, ne pucaju, ne lome se, dok krute stijene, po prekoračenju elastične granice, pucaju i lome se na komade.

Dakle, ako iznad otkopanog ugljenog sloja zaliježu plastične krovne naslage, nastaje lagano, postepeno slijeganje, tada forme reljefa na površini terena imaju izrazito strme strane.

Pored navedenog na proces kretanja neposredne i visoke krovine imaju rudarsko – tehnički faktori, odnosno:

- veličina otkopnog polja,
- debljina sloja, (visina otkopavanja),
- sistem otkopavanja,
- način upravljanja krovinskom naslagama,( zarušavanje ili zapunjavanje otkopnih prostora),
- način planiranja otkopavanja u vremenu i prostoru,
- čistoća otkopavanja,
- vrijeme spuštanja krovinskih naslaga,( napredovanje čela u odnosu na spuštanje krovine u otkopni prostor),
- brzina i ravnomjernost napredovanja otkopne fronte rudarskih radova.

Sobzirom na ranije poznate rudarsko – geološke uslove otkopavanja povlatnog ugljenog sloja u jami „Stranji“ na potezu sela Jagodići, na osnovu tih vrijednosti izvršena je ranije analiza uticaja jamske eksploatacije na površinu terena i površinskih objekata.

S obzirom naranije rađene analize parametara deformacije površine terena za uslove djelimično izvršenog otkopavanja povlatnog ugljenog sloja moćnosti  $d=2,00$  m u odnosu na određene vrijednosti, izvršena je analiza parametara deformacije površine terena za djelimično izvršeno otkopavanje povlatnog ugljenog sloja kako je to prikazano u tabeli br.13.navedene Studije na str.68. iskazane su maksimalne vrijednosti; slijeganja površine u tom mjernom periodu i iznosila je  $S_{max}= 1,40$  mm, horizontalna pomjeranja terena  $U_{max}= 560$  mm, maksimalni nagib terena  $T_{max}= 18,00$  mm/m i maksimalne specifične horizontalne deformacije  $E_{max}= 11,12$  mm/m.

Analiza parametara deformacije površine terena, prikazanih u tabeli 13, navedene Studije, vršena je na osnovu poznatih rudarsko- geoloških uslova otkopavanja povlatnog sloja, na profilu B-B moćnosti ugljenog sloja  $m_d = 7,0m$ ., maksimalne vrijednosti slijeganja površine terena u tom mjernom periodu na profilu B-B su iznosili;  $S_{max} = 4,90$  mm, horizontalna pomjeranja terena  $U_{max} = 1.960$  mm , maksimalni nagib terena  $T_{max} = 52,27$  mm/m i maksimalne specifične horizontalne deformacije  $E_{max} = 31,36$  mm/m.

### III POSLJEDICE EKSPLOATACIJE UGLJA

Najčešći geodinamički proces je **klizanje**, nakon kojega kao posljedica ostaju klizišta. I u slučaju kada nisu katastrofalna, klizanja predstavljaju ozbiljan problem gotovo u svim dijelovima svijeta, jer uzrokuju ekonomske ili socijalne gubitke, direktne ili indirektno , na privatnim i/ili javnim dobrima. Izravne štete nastaju u trenutku aktiviranja klizišta, oštećivanjem objekata i ljudskim gubicima (smrt ili povreda) unutar granica prostiranja klizišta. Indirektno štete se iskazuju i kroz duže vremensko razdoblje: reduciranjem vrijednosti nekretnina u ugroženim područjima, gubitkom produktivnosti zbog oštećenja na dobrima ili prekidom prometa, smanjenjem produktivnosti prouzročenim smrću ljudi, ozljedama ili psihološkim traumama i, konačno, troškovima sanacije šteta.

U konkretnom slučaju u toku nastanka loma tla i njegovog kretanja nastupili su geodinamički procesi koji su izazvali materijalne štete u naselju Jagodići, Zenica, dijelom kao proces redovnih geodinamičkih procesa, većim dijelom usljed direktnih i indirektnih uticaja eksploatacije uglja Jame stranjani, u naselju Jagodići. Koristeći Zakonske propise koji su definisali unificiranu metodologiju za procjenu šteta od prirodnih i drugih nesreća, te direktnog prikupljanja podataka na terenu, kao i na osnovu izrade analize svih elemenata, iskazana je ukupna nastala materijalna šteta.

U toku izvođenja terenskih radova sondažnih bušenja, registrovana aktivna klizanja padine terena na lokalitetu naselja Jagodići, određeni broj sonde je izveden i na dijelu aktivnih klizanja tla navedenih padina u naselju jagodići.

Dobivene vrijednosti fizičko – mehaničkih karakteristika prirodnog tla, poslužila su za donošenje određenih zaključaka s obzirom na izrazitu zastupljenost strukturnih deformacija tla kao i njihov odraz na brojne stambene objekte u naselju Jagodići.

Na osnovu istraživanja konstatovano je da je litološki članovi u temeljnom tlu, u navedenom naselju, da su pretežno zastupljene stijenske mase podložne fizičko - mehaničkim promjenama, pod uticajem egzogenih faktora u uslovima koji su bili nepovoljni za stambene objekte naselja Jagodići to:

- nepovoljni nagib površine terena,
- geotehničke osobine temeljnog tla,
- dubina do supstrata,
- neregulisana kanalizacija i odvod fekalnih voda.

Nagib terena područja naslje Jagodići nalazi se jednim dijelom na blagoj aluvijalnoj padini gdje je nagib oko  $5^\circ$  do  $15^\circ$  , u ovisnosti na tačku posmatranja. Nagib terena od  $0-5^\circ$  smatra se optimalno povoljan u takvom tetrnu lahko je obezbjediti izgradnju infrastrukture kao , (obezbjeđuje odvođenje površinskih i fekalnih voda) ,a u dijapazonu od  $5-10^\circ$  povoljan nagib terena, pogodan za izgradnju , ali je potrebno obezbijediti kosine terena i preko  $10^\circ$  nepovoljan nagib terena i kao takav je nepovoljan za individualnu stambenu izgradnju.

Tlo na kojem je locirano naselje Jagodići ima nepovoljne inženjersko - geološke karakteristike. Dakle, znači, geološki sastav i sklop terena, klimatološki i hidrogeološki faktori, kao i nestabilnost tla, predstavlja jako složen i komplikovan sklop prostora. U naslju nije izgrađena infrastruktura na nivu za jedno urabano naselje.

Stabilnost terena je utvrđivana analizom nabušenog tla u istraživanom području , nagibom terena, proračunom stabilnostiprirodnih padina.

Na profilu PP(2-2<sup>1</sup>) faktor sigurnosti je manji od 1 i kretao se u intervalu od 0,839 – o, 910.

Uvidom u raniju analizu kliznog procesa na padini terena naselja Jagodići deformacije površine terena nastupa kao rezultat slijeganja površine iznad otkopnih rudarskih prostora ( vidjeti na str.72 Studije o uzrocima pomjeranja terena i oštećenja površinskih objekat na području jame „Stranjani“ selo Jagodići – RMU Zenica, Tuzla, maj 1982.godine). Tereni koji se nalaze izvan zone jamskih otkopnih polja, a pogotovo ako su ti tereni nagnuti i ako su te padine

sastavljene od plastičnih materijala, kao rezultat dosadašnjih slijeganja terena iznad otkopnih prostora, nastupa klizanje površine terena niz padinu, kao što je to karakteristično za padinu u nasleju jagodići gdje je se reaktiviralo staro i pojavilo novo klizište (K-1) kao i više novih lokalnih klizišta (K-2).

Prema mišljenju autora gore navedene Studije za padinu naselja Jagodići klizanje je površinsko, neznatne moćnosti (2,50 -5,00 m). Ono se uglavnom javlja kada smičući naponi postaju veći od čvrstoće za smicanje.

Na uslove stabilnosti padine koje su građene od plastičnih materijala, osim zarušavanje krovinih naslaga u otkopne prostore iznad izvedenih jamskih radova, imaju i dodatna opterećenja površine deponije, mjenjanja hidrogeoloških uslova na predmenom području, kao i dinamičkih efekata unutar visoke krovine, kao i prirodni nagib površine terena. Padina naselja Jagodići je prekrivena glinama.

### **3.1 . Pomjeranje otkopnog masiva kao posljedica direktnog uticaja otkopavanja**

Na situacionom planu jame „Stranjani“ (R : 1: 2 500) prikazane su predmetne parcele tužitelja sa tačno naznačenim k.č.-evima, kao i raspored rudarskih prostorija i rudarskih radova kao i otkopna površina povlatnog i glavnog ugljenog sloja na navedenom ležištu. Povlatni ugljeni sloj je bio debljine od 3,5 do 7 m, zalijegao je pod uglom od 11°, na dubini oko 110 m na sjevernoj granici, a pod uglom od 30° i dubini oko 250 m na južnoj granici. Glavni sloj je debljine od 6 do 12 m, a ponderisane moćnosti oko 9 m, nalazi se oko 50 m ispod povlatnog sloja i konkordantno prati njegovo zalijeganje.

Geološki profili od površine terena do povlatnog ugljenog sloja čine laporci, lapori, između povlatnog i glavnog ugljenog sloja nalaze se krečnjaci.

Prema dostupnim izvorima, od 1964 do 1985 godine otkopavan je povlatni ugljeni sloj u dva pojasa, krovini i podini, sa takvim vremenskim razmakom koji omogućavaju konsolidaciju potkopanog terena između dva otkopavanja, što uslovljava pomjeranje masiva u „sekcijama“.

Glavni ugljeni sloj otkopavao se od 1975 godine komornim otkopima, širine 12-14 m, sa stubovima širine 6 – 8 m i prosječnom otkopnom visinom od 11,5 m. Pomjeranje otkopnog terena od otkopavanja glavnog sloja ostvaruje se u uslovima poslije dva ranijih potkopavanja, zarušavanje i konsolidacija krovinskog masiva.

Prema nekim analitičarima Vremenski tok uravnoteženja - slijeganja masiva traje ko tri godine nakon otkopavanja, aktivni dio procesa obavi u prvom dijelu posmatranog perioda u trajanju od tri godine, međutim, vrijeme potrebno za stalnu konsolidaciju tla iznad otkopnog prostora traje znatno duži period i može trajati nekoliko desetina godini.

U Mišljenju u vezi Izvještaja o nadvještačenju po pitanju oštećenja objekata na eksploatacionom polju Rudnika „Stranjani“ naselja Jagodići od strane grupe autora; Adem Salčinović i dr. Zenica, april 1985.godine da je;

Krovna ploča povlatnog sloja u krajnjem sjevernom i istočnom dijelu jame otkopavana je tokom 1966,67,68 i 71.godine.

Podna ploča povlatnog sloja u krajnjem sjevernom dijelu otkopavana je u 1973 i 1974.godini, a u krajnjem istočnom dijelu tokom 1974.godine

Glavni ugljeni sloj u centralnom dijelu jame je otkopavan u 1981.godini.

Takođe, ista grupa autora navedenog mišljenja su konstatovali:

1. Da je otkopavanje glavnog ugljenog sloja u centralnom dijelu jame vršeno pet godina nakon pojava oštećenja na objektima, tj. nakon pokretanja sudskog spora na velikoj horizontalnoj udaljenosti od sela jagodići, te se prema tome uticaj otkopavanja glavnog ugljenog sloja, te smatraju da se otkopavanje glavnog ugljenog sloja na oštećenje predmetnih objekata mora isključiti.
2. Da je u vrijeme pokretanje spora otkopavanje glavnog sloja vršeno u dijelu jame toliko udaljeno od objekata koji su bili predmet spora, da ne može biti govora o bilo kakvim uticajima navedenog otkopavanja na oštećene objekte.

3. Da je otkopavanje krovne ploče povlatnog sloja izvršeno prije šest godina prije utvrđivanja oštećenja objekata tj. pokretanja sudskog spora, Imajući u vidu da proces uravnoteženja masiva traje oko tri godine navedeno otkopavanje nije imalo uticaja na oštećenje predmetnog objekta. i
4. Da je otkopavanje podne ploče povlatnog sloja moglo imati uticaja na oštećenje objekata, ali svakako ne u onim granicama kako je to navedeno kod nadvještaka koji je iznio u svom izvještaju ( granični ugao uticaja od 35 do 42°).

Osnovna karakteristika pomjeranja masiva na sjevernom dijelu je otkopavanje slojeva veće moćnosti ( debljine), na malim dubinama, pri čemu je odnos debljine prema dubini bio u relacijama za povlatni sloj  $110:7=16$  i za glavni sloj  $250;11,5=22$ .

Pri ovim odnosima dubina prema debljini nastaju iznad otkopnih prostora grube degradacije terena, koje u sklopu određenih uslova su uvijek potencijalne opasnosti za objekte, prostor i ljude na površini terena, kao i rad rudara u jami.

U konkretnom slučaju sve sporne parcele se nalaze direktno iznad otkopnog polja, a značajan dio predmetnih parcela se nalazi direktno iznad otkopnog polja, pa su kao takve pretjele svoju morfološku formu, kao i geomehaničke karakteristike u strukturi tla, što je manifestovano raznim deformacionim oblicima, a što će kasnije u ovom Nalazu i mišljenju biti obrazloženo za svaku predmetnu parcelu.

U slučaju kod blago nagnutih slojeva dubina otkopavanja je manja od  $30 \times d$  (  $d$ - moćnost sloja ), a pomjeranje potkopanog masiva je bilo inzeivno, pri čemu su se pojavljivale pukotine na površini terena, a sa protokom vremena taj intezite je u porastu, pa na pojedinim parcelama imamo prisustvo u potpunosti deformisana površina terena kao i tlo po dubini, pri čemu je kao takvo nije više za korištenje u bilo kakvoj svrsi, dakle, radi se o totalnom oštećenju parcele, a kasnije u ovom nalazu i mišljenju izjasnjavaću se pojedinačno za svaku parcelu. Raspored parametara pomjeranja i deformacija u navedenim slučajevima se nije mogao prikazati , odnosno izraziti u neprekidnoj funkcionalnoj zavisnošću, kao što je slučaj pri većim dubinama otkopavanja ( $H= 50 \times d$ ), odnosno ne mogu se primjeniti rutinske metode računanja parametara pomjeranja.

U slučaju kada je se otkopavao isti sloj u više pojasa, ili više konkordantnih slojeva, pomjeranje potkopanog masiva je različito sa pojavom ponovljenih aktivizacija. Takav slučja na eksploatacionom polju je bio upravo kod jame Stranjani. Takav potkopani masiv je bio mehanički oslabljen od početka prvog potkopavanaj , te usljed ponovnog potkopavanja javljale su se u samom potkopnom prostoru u jami kao i na površini terena značajnije deformacije na površini terena i u dubini tla ispod površine terena, ito značajnijeg inteziteta nego kada je to bilo kod prvog potkopvanja.

Prilikom otkopavanja slojeva veće moćnosti ( debljine) zona uticaja u masivu i na površini terena znatno je se proširivala, odnosno povećavala zona uticaja, granični uslovi se smanjuju, a parametri pomjerajnja su se povećavali. Dosadašnjim analizama zapaženo je da su pojave vezane za ponovnu aktivizaciju masiva intezivnije kod pratećih naslaga veće čvrstoće. Granični uglovi se kod koeficijenta čvrstoće  $F > 5$  smanjuju i za 10° (Kuznjec).

Neposredno iznad otkopnog prostora evidentne su intezivne i velike pukotine i naboranje tla sa ratličitim geodinamičkim procesima, sa primjetnim deformacijama u obliku „pink“ ( ljevasto slijeganje tla). Prisustvo deformacija tla na površini terena su evidentne na površini terena i izvan granica otkopavanja i šire se ka perifernim dijelovima zone uticaja.

U Elaborati „1“ za povlatni sloj, za glavni sloj uzeto je da je stepen iskorištenja 50%. Vrijednosti vertikalnih i horizontalnih pomjeranja mogu se koristiti, kako bi se sagledao red veličina i intezitet pomjeranja pri svakom potkopavanju, takva pomjeranja su metarska, kako je prikazano u tabeli br.1.

Tabela br.1. prikaz inteziteta pomjeranja pri potkopavanju u rudarskim prostorijama jame „Stranjani“

|                             | d(m) | q    | $U_{max}$ (mm)-<br>ulijeganje | $P_{max}$ (mm)<br>pomjeranje |
|-----------------------------|------|------|-------------------------------|------------------------------|
| Povlatni sloj krovinski dio | 2,5  | 0,7  | 1.750                         | 700                          |
| Povlatni sloj podinski dio  | 5,5  | 0,7  | 3.850                         | 1. 540                       |
| Glavni sloj                 | 11,5 | 0,35 | 4. 025                        | 1. 610                       |

To se posebno odnosi na horizontalna pomjeranja (0,7m do 1,5 m, 1,6 m) uz zapažanje da se ona javljaju neposredno iznad granice otkopnog polja, a da su usmjerena ka otkopnom prostoru.

Ograničenje zone direktnih uticaja tokom otkopavanja se određuje pomoću uglovnih parametara, koji se dobijaju direktnim mjerenjama na terenu koji se potkopavaju, ili se usvoje na osnovu analogijom parametara kod nekih drugih basena, ali je uvijek potrebno prići metodi direktnih mjerenja, pri čemu se postave poligonske tačke na terenu, te pri tome se vrše geodetska mjerenja na terenu, povlači čitava nivelmanska mreža i vrši stalno mjerenje i opažanje, odnosno monitoring zone uticaja na deformacije u rudarskim prostorijama, kao i na površini i u dubini tla koje se nalazi iznad otkopnog polja.

Kao granica uticaja na površini terena može se smatrati linija koja je definisana tačkama u kojima su verikalna pomjeranja jednaka grešci određivanja istih. Kao bitan pokazatelj procesa pomjeranja je brzina, odnosno promjena brzine ulijeganja tačaka tokom vremena. O smirivanju terena u zoni uticaja rudarskih radova donosi se zaključak na bazi brzine ulijeganja tačaka površine terena. U tom cilju se razmatra tačnost određivanja vertikalnih pomjeranja i brzine ulijeganja. Na taj način bi se utvrdilo ne samo slijeganje, nego i izdizanje terena.

Vertikalna pomjeranja predstavljaju promjenu položaja tačke u vertikalnoj ravni. U zoni uticaja podzemne eksploatacije dolazi do spuštanja masiva i površine terena ka otkopanom - praznom prostoru u ležištu, pa se govori o slijeganju ili ulijeganju površine terena ( $U$ ). U određenim slučajevima može doći i do izdizanja terena na ograničenom području. Veličina Vertikalnog pomjeranja, za određeni vremenski period, računa se kao razlika visina tačke određene na početku ( $H_0$ ) i kraju posmatranog perioda ( $H_n$ ).

Pri proračun zone uticaja otkopavanja mineralne sirovine na površinu terena usvojeni su granični uglovi u vrijednosti od  $50 - 45^\circ$ , vrijednost od  $45^\circ$  je tretirana definitivna vrijednost graničnog ugla, a kontrolna metoda korištena je kao metoda analogije, po kojoj je dobivena vrijednost graničnih uglova za prvo potkopavanje između  $48 - 52^\circ$ . Dakle skoro isti rezultati, za ponovnu aktivizaciju ti uglovi su mnji za  $5^\circ$ . Kada se se za takvo usvojene uglove ucrtaju granice uticaja, dobije se razlika granica sa  $50$  i sa  $45^\circ$  je manje za  $20$  m. granični uglovi se određuju uglavnom sa greškom od  $+$ ,  $-$  od  $5^\circ$ .

Gore naveden granica graničnog ugla je utvrđena za dav otkopavanja povlatnog sloja jedno otkopavanje glavnog sloja, takvo usvajanje se smatra opravdanim, jer je granica uticaja od  $45^\circ$  vezana za prvo otkopavanje krovnog dijela povlatnog sloja. Poslje prvog otkopavanja stijenski masiv u okviru te granice izložen je pomjeranju i promjeni fizičko – mehaničkih osobina. Takav izmjenjen i već pokrenuti stijenski masiv aktivira će se pri svakom ponovnom otkopavanju, u okviru istih granica.

Na stani 6. Izvještaja o nadvještačenju jama “Stranjani” – naselje Jagodići koju je radio Rudarsko – geološki fakultet u Beogradu, rudarski odsjek, katedra za rudarska mjerenja, Beograd 1985<sup>25)</sup> opisane su nastale deformacije na stambenim objektima vlasnika fizičkih lica koji su živjeli ili žive u naselju Jagodići.

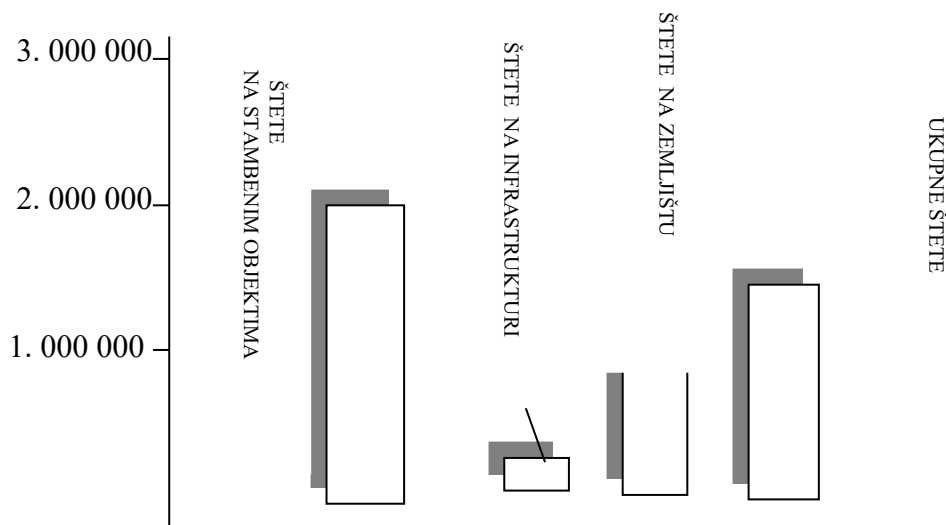
<sup>25)</sup> Izvještaja o nadvještačenju jama “Stranjani” – naselje Jagodići koju je radio Rudarsko – geološki fakultet u Beogradu, rudarski odsjek, katedra za rudarska mjerenja, Beograd 1985 godine.

Takođe, na strani 15. Istog izvještaja zaključkom u tački 3. Zaključka navedeni autori su zaključili da su izdvojene pukotine u terenu grubo iznad kote 510 -515 m n.v. poposljedica pomjeranja tla, terena usljed podzemne eksploatacije uglja, a u tački 4. Navedenog zaključka spominju se i opisuju klizišta koja su nastala na pojedinim padinama.

## 2.5. Procijenjena vrijednost nastalih oštećenja

Procjenu vrijednosti nastalih oštećenja radila je grupa stručnjaka različitih struka, geološke, poljoprivredne, građevinske id., te fer metodom došla do početnih vrijednosti nastale štete, a metodom tržišne vrijednosti kao kontrolnom metodom utvrđena je konačna procjena nastalih oštećenja na parcelama i stambenim objektima u naselju Jagodići, uz uzimanje u obzir prirodne i vještačke amortizacije objekata.

dijagram br.1. Prikaz



IZVOR; Kreacija autora

### GRAĐEVINSKI OBJEKTI INFRASTRUKTURA I ZEMLJIŠTE

#### 1. Stambeni objekti

- Totalna šteta na stambenim objektima, 42 objekata
- Djelimična šteta na stambenim objektima 10 objekta

PROCJENJENA ŠTETA 2.200.000,00 KM

#### 2. Infrastruktura

PROCJENJENA ŠTETA 150.000,00 KM

#### 3. Zemljište

- Uništeno poljoprivredno i građevinsko zemljište
- Uništeni voćnjaci, žitarice i dr.
- PROCJENJENA ŠTETA 1.000.000,00 KM

UKUPNO PROCJENJENA ŠTETA 3.350.000,00 KM<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Procjena nastalih štete od strane vještaka; mr.ecc.sc.Hamida Begića dipl.ing.geologije. ,jul

#### IV ZAKLJUČAK

Pri podzemnom načinu otkopavanja ugljenih slojeva, zavisno od primenjene metode, dubine i geometrije ležišta, dolazi do pojave manjih ili većih deformacija krovine i površine terena iznad otkopanih delova. Deformacije zemljine površine mogu degradirati zemljište iznad otkopanih prostora i izazvanih oštećenja na objektima infrastrukture područja, jer domet uticaja otkopanih prostora može biti znatan. Oštećenja zemljine površine mogu bitno uticati na ekonomičnost i sigurnost dalje eksploatacije ležišta. U radu se daje kritički osvrt na dosadašnji način prognoze uticaja podzemnog otkopavanja na površinu terena na našim rudnicima uglja, na osnovu dostupne dokumentacije iz RMU Zenica.

Široka potreba za mineralnim sirovinama i stepenom razvoja industrijalizacije, sve je viša potreba za mineralnim sirovinama, te se pri tome malo ili skoro nikako ne vodi računa o posledicama tokom i nakon eksploatacije mineralne sirovine, kao u uglja u RMU Zenica i drugim našim rudnicima. Svaki rezultat ispitivanja koji doprinosi ekonomičnosti rada u procesu eksploatacije tih sirovina osnovni je cilj istraživanja u oblasti rudarske nauke. Svakodnevna rudarska praksa potvrđuje potrebu i značaj poznavanja, s jedne strane prirodno-geoloških uslova eksploatacije mineralnih sirovina, a s druge strane, uticaja podzemne eksploatacije na površinu terena.

Nedovoljno poznavanje ovih uslova može znatno otežati eksploataciju, pogotovo kada nastupe štetne posledice na okolni teren i objekte u zoni uticaja rudarskih radova. Uprkos tome, u našim rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom su česti baš takvi slučajevi: geološka i geomehanička istraživanja nedostaju ili su neadekvatna i nepotpuna, a meračka opažanja su nepravovremena i nesistematska. Posledice koje nastaju, kao što su degradacije površine terena i oštećenja objekata u zoni uticaja rudarskih radova, obično se proglašavaju "višom silom".

Kakoa bi se u svakom trenutku poznavalo stanje procesa pomeranja masiva i oštećenja objekata potrebno je sistematski pratiti parametre vezane za uzrok - otkopavanje, odnosno vršiti merenja u jami, i pratiti parametre vezane za posledicu - merenja na površini.

Analizirajući stanja na našim rudnicima sa podzemnom eksploatacijom uglja možemo zaključiti da je to normativno nesređena problematika, koja se rešava od slučaja do slučaja i nije postavljena kao redovan zadatak rudničkih mjerništva. Osnovni cilj je da se po jednom minimalnom programu merenja dobije efekat maksimum, jer to uslovljavaju pre svega veoma nepogodni terenski uslovi za merenje, a donekle i kapacitet rudničkog mjerništva. Zbog toga postojeće mreže za opažanje procesa pomeranja treba dopuniti novim reperima po profilnim linijama a obim merenja postepeno prilagoditi intenzitetu procesa pomeranja.

U savremenom vremenu, nameće se potreba za monitoringom tokom i nakon eksploatacije, pa se sve više i više se koristi sofisticirana tehnologija za praćenje promjena na površini terena i u rudarskim prostorijama, te se nameće nužna potreba i za naše rudnike u BiH, tj. korišćenje sofisticirane opreme za praćenje uticaja na površinu terena tokom i nakon eksploatacije uglja.

#### V LITERATURA

1. Đorđević, D., (1989): Određivanje parametara pomeranja potkopanog terena u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

2. Đorđević, D., (2007): Metode za prognozni proračun pomeranja i deformacija potkopanog terena, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
3. SOUR“ Titovi Rudnici mrkog uglja“, Studija o uzrocima pomjeranja terena i oštećenja površinskih objekata na području Jame „Stranjani“ selo Jagodići- RMU Zenica, Tuzla ,maj 1981.godine.,
4. Srednjobosanski rudnici - Zenica, Projektni biro Sarajevo, Dopunski rudarski projekat daljnijg otvaranja i eksploatacije jame „Stranjani“, Anex, Sarajevo, maja 1969.godine.,
5. Srednjobosanski rudnici – Zenica , projektni biro Sarajevo, Dopunski rudarski projekat otkopavanja glavnog sloja u Jami Stranjani Komornom otkopnom metodom, Sarajevo, septembar 1974.godine.,
6. Srednjobosanski rudnici – Zenica , projektni biro Sarajevo, Rudarski projekat detaljnog otvaranja i eksploatacija jame Stranjani, Anex II, sarajevo avgusta 1970.godine.,
7. Mišljenje grupe autora Adem salčinović i dr. Zenica, april 1985.godine.,
8. Izvještaj nadvještačenja jama „Stranjani“ – naselje Jagodići.,
9. Izvještaj Muftić Nejazije, Zenica 1990.godine.,
10. I dr. stručna literatura.



## Ekonomski aspekti koncesije za flaširanje pitke vode sa izvora “Stari Djedovac“ Kladanj

mr.sc.ecc.Begić Hamid dipl.ing.geologije  
Federalni Zavod za geologiju

### I UVOD

Planiranje je prva funkcija menagementa, dakle proces menagementa započinje u pravo na funkciji planiranja. Planiranje je kreativan proces kojim se unaprijed utvrđuje smjer akcija kompanije. Cole(1990.str.16), smatra da je „planiranje aktivnost koja uključuje odluke o ciljevima, sredstvima, ponašanju i rezultatima“. Koontz/Weihrich (1988,str.58) smatraju da je „planiranje uključuje selekciju misija i ciljeva, te akcije za njihovo ostvarivanje; ono zahtijeva donošenje odluka, tj. izbor između alternativnih budućih pravaca akcija“.

Preduzeće d.o.o. „Čamdžić Komerc“ Kladanj, je u svojoj razvojnoj politici, postavila određene ciljeve, kako na nivou cjelokupnog preduzeća, tako i u pojedinim organizacionim jedinicama, radi kreativnosti preduzeća, odnosno, praćenja kuda ide preduzeće. Na taj način se osigurava da se ostvarenjem ciljeva nižih organizacionih jedinica ostvaruju ciljevi preduzeća kao cjeline. To je složeno preduzeće, koje se sastoji iz više organizacionih jedinica, od ugostiteljske do proizvodne djelatnosti.

U 2 000 godini u strateškom planu preduzeća, definisan je cilj obezbjeđenja proizvodnje i i ndustrializacije pitke izvorske vode sa izvora „Stari Djedovac- Podkonoško, Kladanj“ za potrebe vlastitih ugostiteljskih kapaciteta, tako i za potrebe domaćeg i ino tržišta.

Poštovanjem potrebnih procedura u okviru Zakonske legistative, koja definiše istraživanje i eksploataciju pitke vode, navedeno preduzeće je zatražilo 2012.godine dozvolu za koncesiju od strane nadležnog ministarstva Tuzlanskog kantona, te , izradilo „Studije o ekonomskoj opravdanosti koncesije“, na osnovu kojej je nadležno ministarstvo odobrilo koncesiju, odnosno koncesioni ugovor između stranaka u postupku.

### II SOCIO - EKONOMSKE PRILIKE BOSNE I HERCEGOVINE

Bosna i Hercegovina je na ekonomskom putu od zemlje sa srednjim k zemlji s visokim dohotkom i istodobnom postizanju veće društvene skladnosti. Na tom putu privržena je i punom integrisanju u Evropsku uniju, koja nastoji postati najdinamičnija i najkonkurentnija, na znanju, zasnovana ekonomija na svijetu, koja se nastoji staviti u središte globalizovanog svijeta, ne ostajući u njemu postranice.

Strategija razvoja BiH treba učvrstiti koncenzus u bh. zajednici o neophodnosti ekonomski efikasnog, okolinski održivog i socijalno pravednog razvoja u interesu sadašnjih i budućih generacija. Održivi razvoj je ideja vodilja za 21. vijek. U središtu koncenzusa je uvažavanje triju dimenzija: okolinske, ekonomske i socijalne, koje se moraju posmatrati s jednakim uvažavanjem u sklopu lokalnih, regionalnih i nacionalnih strategija održivog razvoja kao i međunarodnih sporazuma postignutih u okviru globalnog upravljanja radi postizanja održivog razvoja

U proteklih nekoliko godina godišnje stope realnog rasta u BiH su iznosile preko 5%. No, svjetska ekonomska recesija, koja je otpočela sredinom 2007, dovela je i do smanjenja BiH ekonomske aktivnosti u zadnjem kvartalu 2008. i recesije od 3% u 2009. Nagli pad bh. Izvoza te snažan pad privatne potrošnje bili su ključni Uzroci recesije. Smanjenje vrijednosti izvoza roba i usluga od 16,2% dovelo je do opšteg pada proizvodnje i zaposlenosti u realnom sektoru i izazvalo pad raspoloživog dohotka domaćinstava i javnih prihoda. Time je uzrokovan pad finalne potrošnje, posebno investicija, što je rezultovalo naglim padom domaće tražnje. Pad novčanih priliva iz inostranstva po osnovu doznaka i dohodaka je dodatno ugrozio raspoloživi dohodak, čije je smanjenje dovelo do nominalnog i realnog pada privatne potrošnje.

Situacija je dodatno pogoršana „paradoksom štednje“, prvenstveno zaoštavanjem kreditnih kriterija od strane poslovnih banaka, kao i pad profitabilnosti bh. preduzeća, što je zadalo udarac privatnim

investicijama, ali i potrošnji trajnih potrošnih dobara. U 2009. je došlo i do povećanja deficita vladinog sektora s obzirom na pad javnih prihoda i usporavanje porasta javne potrošnje i naglog pada javnih investicija.

Pad domaće tražnje je rezultovao rekordnim padom vrijednosti robnog uvoza od 24,2% g/g, odnosno padom vanjskotrgovinskog deficita roba za 28,8% g/g na kraju 2009. U proteklih nekoliko godina industrijska proizvodnja u BiH bilježila je pozitivne rezultate s godišnjim stopama rasta i do 10%. do 12% No, globalna ekonomska kriza se negativno odrazila i na BiH privredu, što je rezultovalo godišnjim padom proizvodnje od 3,0-4% u 2011. u odnosu na 2010. S obzirom da je sektor rudarstva bio nešto ispod, a sektor energije na nivou proizvodnje iz 2010. može se kazati da je slabljenje prerađivačke industrije od 4,5% odredilo kretanje ukupne industrijske proizvodnje u BiH u 2011. Smanjenje izvozne tražnje najviše je pogodilo prerađivačke industrijske grane koje imaju visok stepen integrisanosti u svjetske ekonomske tokove, a posebno metalnu industriju BiH, koja je prepоловила svoju proizvodnju tokom 2011. S obzirom na značajan udio metalne u ukupnoj industrijskoj proizvodnji BiH, ona je s negativnim doprinosom ukupnom rastu od 3,5 procentnih poena bila jedan od ključnih razloga pada industrijske proizvodnje BiH. Ostale grane prerađivačke industrije koje svoje proizvode plasiraju na inostrana tržišta (drvnaindustrija, proizvodnja namještaja, autoindustrija i mašinska industrija) su tokom 2011. zabilježile pad proizvodnje i dale negativan doprinos ukupnoj industrijskoj proizvodnji BiH.

Prosječna plata u BiH tokom 2011. je iznosila 816,00KM, u julu 2012.godine 827,00, što znači da je porast plaća u odnosu za 2011.godinu na godišnjem nivou bio za 1,34% viši u odnosu na 2011.godinu. Dakle, značajno sporije raste u odnosu na prethodne godine. Uzrok tome je prvenstveno smanjenje ekonomske aktivnosti i izvoza. Prosječna neto plata u BiH je u 2009. iznosila 790 KM s rastom od 5,1%. Prosječna neto plata u FBiH je iznosila 792 KM (5,4% rast), dok je u RS-u iznosila 788 KM (4,4% rast) i u BD-u 769 (5,3% rast).

Period 2012 – 2014. bi trebao obilježiti povratak bh. ekonomije na raniji trend realnog rasta sa stopama iznad 5%. Ponovno jačanje bh. vanjske trgovine i inostranih priliva kapitala uslijed znatno bolje situacije na globalnim finansijskim tržištima bi trebalo dovesti do jačeg intenziviranja ekonomske aktivnosti u poređenju s ranijim godinama. To znači intenzivnije povećanje proizvodnje i zaposlenosti tokom 2012 – 2014. koje bi trebalo rezultovati rastom dohodaka preduzeća i domaćinstava s jedne, i rastom javnih prihoda po osnovu vanjske trgovine i domaće potrošnje s druge strane. Veći dohodci i javni prihodi bi na kraju trebali uzrokovati oporavak privatne i javne potrošnje i investicija.

Očekuje se intenziviranje radova na izgradnji i početak proizvodnje u nekim energetske postrojenjima (termoelektrane i hidroelektrane), koji će poboljšati ukupni elektro-energetski bilans BiH za 25%. Očekivati je da BiH postane regionalni lider u izvozu električne energije u navedenom periodu. Prema projekcijama DEP-a, u periodu 2012 – 2014. očekuje se povećanje izvoza električne energije s godišnjim stopama rasta od preko 20%. Ako se ovome doda finalizacija integralne proizvodnje u metalnoj industriji, za očekivati je da bi se godišnja stopa rasta indeksa industrijske proizvodnje mogla kretati 107 – 109. Period 2012 – 2014. će obilježiti nešto snažniji privredni rast u BiH (veća investiciona ulaganja i obim proizvodnje u prerađivačkoj industriji) što će se pozitivno odraziti na tržište rada BiH i biti akcelerator rasta broja zaposlenih kao i nešto bržeg rasta plata kako u privatnom tako i u javnom sektoru.

Očekuje se u periodu 2012 – 2014. i povećanje rasta kako ponude tako i potražnje kredita i smanjenja aktivnih kamatnih stopa. Povećanje ekonomske aktivnosti i profitabilnosti preduzeća, rasta plata i zaposlenosti stanovništva te prodaja strateških državnih preduzeća dovest će i do rasta ukupnih depozita banaka (iznad 10% g/g).

U prijeratnom vremenu, ekonomsku sliku TK su dominatno formirali kapaciteti: industrije, energetike i rudarstva, koncentrisani, uglavnom, na područje *Tuzlanskog basena* (općine Tuzla, Banovići, Živinice i Lukavac). Nepovoljno ekonomsko - finansijsko stanje, posljedice devastiranja u ratu i zastarjelosti tehnologije (naročito u hemijskoj industriji) i ratom uslovljene migracije stanovništva, nedostatak kapitala, nisko korišćenje kapaciteta i znatan gubitak tržišta za industriju, učinile su bazno-sirovinsku proizvodnju Kantona „industrijama u zalasku“ i značajno su umanjili ekonomsku snagu Kantona, a ekonomske trendove usmjerili u drugim pravcima.

U odnosu na predratno stanje, nasuprot nešto povećanom broju stanovnika (za 0,7%) došlo je (stanje 2007.), u 2012.godina tred zaposlenosti je spor, ali rstao u odnosu na period 2007-2012.godina do smanjenja ukupnog broja zaposlenih (dostignuto je 81,7% registrirano zaposlenih iz 1991.), tako i do pogoršavanja strukture zaposlenosti i odnosa broja zaposlenih prema ukupnoj populaciji. Sa 15,5% broj zaposlenih u neprivrednim djelatnostima se popeo na 23,0%, dok je učešće broja zaposlenih u ukupnoj populaciji smanjeno sa 19,9 % na 16,1%. U 2007. godini, zaposlenost je najviše koncentrisana u privrednim sektorima, i to u prerađivačkoj industriji (23,7%), trgovini (14,6%) i rudarstvu (10,2%), a od neprivrednih sektora u obrazovanje i zdravstvo (15,2%) politike.

Današnjem formiranju ukupnog GDP TK najviše pridonose sektori sekundarnih djelatnosti s visokom novodatom vrijednošću (prerađivačka industrija, građevinarstvo i saobraćaj, koji zajedno daju cca 40% GDP, koliko je, npr. u predratnom periodu davao sam bazno industrijski sektor u Kantonu) i sektori s niskom novodatom vrijednošću: trgovina i poljoprivreda 26,3% GDP. U strukturama zaposlenosti i GDP raste učešće primarnog i tercijarnog sektora, a smanjuje se učešće sekundarnog sektora, dok u izvozu i direktnim stranim investicijama potpuno dominira sekundarni sektor.

Pa ipak, TK i dalje čini okosnicu rudarsko-industrijskih kapaciteta F BiH: Kanton ostvaruje više od četvrtine industrijske proizvodnje Federacije BiH, zapošljava četvrtinu zaposlenih industrijskih radnika Federacije (u rudarstvu je zaposleno više od polovinerudarskih radnika BiH) i registrirana petina industrijskih firmi Federacije BiH. U isto vrijeme, Kanton karakteriše nizak stepen korištenja poljoprivrednih površina, kao i niski prosječni efekti u primarnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Prirodni resursi (zemljište, šume, mineralni resursi, vode) su potencijal na koje ekonomski razvoj Kantona može i ubuduće računati, uz očuvanje i primjenu tzv. ekonomskim (endogenim) instrumentima zaštitne politike.

Skupština Tuzlanskog Kantona donijela je Zakon o koncesijama, kojim se utvrđuju uslovi pod kojima se domaćim i stranim pravnim licima mogu dodjeljivati koncesije za obezbjeđivanjeinfrastrukture i usluga, eksploataciju prirodnih resursa i finansiranje, projektovanje, izgradnja, održavanje i rukovođenje radom te infrastrukture i svih za nju vezanih objekata i uređaja u oblastima koje su u nadležnosti Tuzlanskog Kantona ("Službene novine Tuzlanskog Kantona" br.5/04 i 7/05).

Koncesiona djelatnost treba biti u funkciji postojećeg tehnicko-tehnološkog sistema, odnosno da pozitivno utice na njihovo unapređenje i razvoj, a nikako da predstavlja njegovu alternativu, drugim rijecima, da ne ugrožava postojece resurse vec da ih razvija i unapređuje. Koncesiona djelatnost ne smije imati za cilj iskljucivo ili pretežno komercijalno eksploataisanje prirodnih potencijala sa dugorocno štetnim posljedicama po domacu privredu.

### III FINASIJSKA SLIKA KONCESIONARA

Prije nego što se donesu zaključci o isplativosti investicije flaširanja pitke i gazirane vode sa izvorišta "Stari Djedovac - Podkonjsko" kod Kladanja potrebno je izanalizirati likvidnost i solventnost postojećeg pravnog subjekta, odnosno njegovu ekonomsku poziciju.

Iz dole navedenih tabela evidentne su pozicije bilansa stanja i bilans uspjeha, pa se mogu prikazati pokazatelji profitabilnosti firme,njene ekonomičnosti, likvidnosti i zaduženosti.

#### **3.1.Pokazatelji profitabilnosti**

marža bruto dobit (gubitak) = brutodobit(gubitak)/ukupni prihod x 100

$$2011= 806/192.776 \times 100 = 0,42\% \text{ smanjen}$$

$$2010= 1.234/184.034 \times 100= 0,67\%$$

U 2011.godini, za svakih 100 KM ukupnog prihoda , preduzeće ostavri 0,42 KM bruto dobiti ( gubitka). U istom periodu prošle godine, za savkih 100 KM ukupnog prihoda ostvarilo je 0,67 KM bruto dobiti ( gubitka). Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na prošlu godinu za 37,6%. Iz čega slijedi trend stabilizacije preduzeća.

marža brutodobit (gubitak) = bruto dobit(gubitak)/ prihodi od prodaje x 100

$$2011= 806/186.061 \times 100 = 0,43\% \text{ smanjen}$$

$$2010= 1.234/184.026 \times 100= 0,67\%$$

U 2011.godini, za svakih 100 KM prihoda od prodaje, preduzeće ostvari 0,43 KM bruto dobiti (gubitka). U istom periodu prošle godine, za svakih 100 KM prihoda od prodaje ostvarilo je 0,67 KM bruto dobiti (gubitka). Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na prošlu godinu za 35,4%.

### **3.2 Pokazatelji ekonomičnosti**

stopa ekonomičnosti = ukupan prihod/ukupni rashod x 100  
2011 = 192.776/191.979 x 100 = 100,42 smanjen  
2010 = 184.034/182.800 x 100 = 100,68

U 2011.godini, za svakih 100 KM rashoda, preduzeće ostvari 100,42 KM prihoda. U istom periodu predhodne godine, za svakih 100 KM rashoda ostvarilo je 100,68 KM prihoda. Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na predhodnu godinu za 0,3%.

stopa ekonomičnosti prodaje= prihod od prodaje/ ukupni rashodi x 100  
2011 = 186.061/191.970 x 100 = 96,92%  
smanjen  
2010 = 184.026/182.800 x 100 = 100,67%

U 2011.godini, za svakih 100 KM rashoda, preduzeće ostvari 96,92 KM prihoda od prodaje. U istom periodu predhodne godine, za svakih 100 KM rashoda ostvarilo je 100,67 KM prihoda od prodaje. Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na predhodnu godinu za 3,7%.

### **3.3 Pokazatelji likvidnosti**

Stopa trenutne likvidnosti = novac/kratkoročne obaveze x 100  
2011 = 213.940/570.899 x 100 = 37,47%  
povećan  
2010 = 187.281/506.437 x 100 = 36,98%

Na dan 31.12.2011.godine za plaćanje svakih 100 KM kratkoročnih obaveza, preduzeće ima 37,47 KM novčanih sredstava 31.12. predhodne godine, za ovu namjenu imalo je na raspolaganju 36,98 KM u novčanim sredstvima. Ovaj pokazatelj je povećan u odnosu na prošlu godinu za 1,3%.

stopa ubrzane likvidnosti = novac + potraživanja/kratkoročne obaveze x 100  
2011 = 380.220/570.899 x 100 = 66,60%  
povećan  
2010 = 336.804/506.437 x 100 = 66,50%

Na dan 31.12.2011.godine za plaćanje svakih 100 KM kratkoročnih obaveza, preduzeće ima 66,6 KM novčanih sredstava i potraživanja na dan 31.12. predhodne godine, za ovu namjenu imalo je 66,5 KM novčanih sredstava i potraživanja. Ovaj pokazatelj je povećan u odnosu na prošlu godinu za 0,1%.

stopa tekuće likvidnosti = tekuća sredstva/kratkoročne obaveze x 100 =  
2011 = 396.824/570.899 x 100 = 69,51 %  
smanjen  
2010 = 362.300/506.437 x 100 = 71,54%

Na dan 31.12.2011.godine za plaćanje svakih 100 KM kratkoročnih obaveza, preduzeće ima 69,51 KM tekućih sredstava, 31.12. predhodne godine, za ovu namjenu imalo je 71,54 KM tekućih sredstava. Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na prošlu godinu za 2,8%.

stopa finasijske stabilnosti = stalna sredstva/ kapital+ dugoročne obaveze x 100 =  
2011 = 1.292.610/1.118.535 x 100 = 115,56%  
povećan  
2010 = 1.301.466/1.157.329 x 100 = 112,45%

Na dan 31.12.2011.godine preduzeće je sa 115,56 KM vlasničkog kapitala i dugoročnih obaveza finasiralo svakih 100 KM stalnih sredstava (dugoročne imovine), 31.12. predhodne godine, za ovu namjenu imalo je 112,45 KM. Ovaj pokazatelj je povećan u odnosu na prošlu godinu za 2,8 %.

### **3.4. Pokazatelji zaduženosti**

stopa zaduženosti = ukupne obaveze/ukupnu imovinu x 100 =  
2011= 632.515/1.689.434 x 100 = 37,44 %

povećan

2010= 607.654/1.663.766 x 100 = 36,52%

Na dan 31.12.2011.godine ukupna imovina finansirana je iz tuđih sredstava sa 37,44 % ili sa 632.515 KM. 31.12. predhodne godine, zaduženost je bila 36,52%. Ovaj pokazatelj je povećan u odnosu na prošlu godinu za 2,5%. Ovaj trend je potrebno smanjiti.

stopa vlastitog finansiranja = glavnica(kapital)/ukupnu imovinu x100=  
2011= 1.056.919/1.689.434 x 100= 62,56%

smanjen

2010= 1.056.112/1.663.766 x 100= 63,48%

Na dan 31.12.2011.godine, ukupna imovina finansirana je iz vlastitih sredstava sa 62,56% ili sa 1.056.919 KM, 31.12.predhodne godine, vlastito finansiranje je bila 63,48 %. Ovaj pokazatelj je smanjen u odnosu na prošlu godinu za 1,4 %.

## **IV EKONOMSKI ASPEKTI KONCESIJE**

Potrebe za pitkom vodom na tržištu su velike, rijetko koji koncesionara plasira na tržište proizvodnju sa maksimalnim kapacitetom izdašnosti izvora . Odbitkom gubitka i drugih faktora, često taj procenat se svodi i na nivo od 5-10%, pa i u konkretnom slučaju, što znači da je potrebno uložiti dodatna sredstva u marketinšku snagu proizvoda.

- Planirani dnevni prihod na nivou maksimalnog proizvodnog kapaciteta (85%) po osnovu prodaje bio bi 979,00 KM/dnevno x 250 radnih dana =240.250,00 KM/godišnje.
- Planirani dnevni prihodi iskazani u neto izrazu prilikom korištenja kapaciteta od 25% jedan je 391 KM/dnevno, i ovaj stepen iskorištenja je upitan, ali ukoliko se ulože sredstva u marketing radi radi iznalaženje kupaca u razvojnoj fazi buduću koncesionara možda dostigne taj prag.
- Sadašnje stanje iskoristivosti izdašnosti izvora i tehnoloških kapaciteta je 2%, dakle u fazi istraživanja projekta realno ostvarivi neto dnevni prihod u iznosu od 92 KM./dnevno.

### **4.1 Tržište i konkurencija**

Trenutno tržište pitke vode u Bosni i Hercegovini pokriva oko 60% tržišta strane kompanije i ako postoje vlastiti izvori i pitke vode.

U Bosni i Hercegovini živi oko 4.500.000 stanovnika, a voda za piće je opće ljudska potreba, dakle svi stanovnici su potencijalni korisnici pitke vode. Prema tome, za budućeg koncesionara je izazov proizvesti i flaširanu pitku i gaziranu vodu, te je prilagoditi evropskim i svjetskim standardima, a uz kvalitetan marketing, od načina pakovanja, dizajniranje ambalaže i tehnološkog tretmana pitke i gazirane vode postoji stalna mogućnost za plasma proizvoda za tržište. Budući koncesionara u dosadašnjem ispitivanju tržišta distribuirao flaširanu pitku i gaziranu vodu indirektno preko trgovačkih centara kao što su Bingo, Interex; Rad-export Kladanj, i sl. Takođe direktno distribuirao u vlastite ugostiteljske objekte. U fazi projekta zrele dobi buduću koncesionara bi proširio tržišne kanale distribucije i distribuciju bi vršio prema, Trgovačkim centrima: d.o.o. „BINGO“, d.o.o. TUS“, d.d.o. „Draming“ Tuzla, D.o.o. „Ermiko“ Vlasenica i dr. Budući koncesionara se nije odrekao praćenja potreba i zahtjeva tržišta, te u svojoj strategiji marketinškog plana uvijek vodi računa o tržištu. Informacije sa tržišta obezbjeđivaće kako na direktan način tako in a indirektan način prikupljanja podataka.

BiH uvozi pet puta više vode nego što izvozi iako ima najbogatije prirodne resurse u regionu. To je posljedica nepostojanja izvozne strategije za vodu kao robu, a i druge robe široke potrošnje.

Samo za prva dva u 2011. godini, uvezla je vodu u vrijednosti od gotovo 350.000 eura<sup>27</sup>, „Kad je u pitanju godišnji uvoz vode u BiH, kad se radi o negaziranim, prirodnim mineralnim vodama, u toku 2011. godine uvezeno je 16.102 tone ukupne vrijednosti 6,5 miliona maraka, a kada su u pitanju ostale prirodne mineralne vode, dakle gazirane vode, ukupne vrijednosti 8,5 miliona maraka“, navodi isti izvor podataka.

Voda domaćeg porijekla je često puta kvalitetnija nego voda iz uvoza.

S druge strane ima znatno povoljnije uslove za uvoznike nego za proizvođače. Na uvoz vode iz susjedstva i zemalja EU, BiH je niz godina gubila godišnje više od 50 miliona eura.

U zemljama EU u 2011. je konzumirano 51,6 milijardi litara vode za piće i gazirane vode, prosječno 104 l po stanovniku. Vodeće zemlje po konzumaciji prirodne flaširane vode u Evropi su; Italija, Njemačka, Belgija i Španija.

Kako troškovi carine i djelimično transporta otpadaju, voda za piće i gazirana voda budućeg koncesionara u odnosu na inostranu konkurenciju, je znatno sa manjom cijenom, dakle, bez konkurencije. kada je u pitanju konkurencija na domaćem tržištu, kavalitet proizvoda i marketing će neutralizirati oštru konkurenciju na tržištu. Bez obzira na više proizvođača flaširanja pitke i gazirane vode na tuzlanskom kantonu, budući koncesionar svojim marketinškim planom neće imati velikih poteškoća na domaćem tržištu.

Budući, da se radi o kvalitetnoj pitkoj vodi budući koncesionar planira izvoziti proizvod na vanjsko tržište putem specijaliziranih izvoznih kuća.

#### **4.2. Naknada za koncesiji**

Naknade za koncesiju utvrđene ugovorom predstavljaju prihod Kantona i općina na čijem se području predmet koncesije nalazi, a u skladu sa odlukom Vlade Kantona na koju Skupština Kantona daje svoju saglasnost. Za dodijeljenu koncesiju, Koncesionar plaća naknadu u skladu sa ugovorom o koncesiji.

Iznos koncesione naknade utvrđuje Vlada Tuzlanskog kantona na prijedlog Komisije za koncesije i sastavni je dio ugovora o koncesiji. Koncesiona naknada mora biti određena u pogledu svoje visine i mora biti novčanog karaktera.

U konkretnom slučaju predlažemo da se vrši obračun na koncesionu naknadu u iznos iskazan za proizvodnju od 2% za tehnološki kapacitet i izdašnost izvora, jer objektivno koncesionar nije u mogućnosti distribuirati i prodati svoje gotove proizvode na domaćem tržištu, a niti ima snage da to plasira na vanjsko tržište. Dakle, ukupni neto prihod u toku dana za proizvodnju i plasman u od 2% bio bi 92KM/dan, što bi na mjesečnom nivou iznosilo 2.204 KM, a na godišnjem nivou 24.288,00 KM. Dakle, to bi bio osnov za koncesionu naknadu.

U nekoj od narednih faza u slučaju razvoja projekta budući koncesionar planira proširiti svoje tržište, te bi time nastojao da ostavri proizvodnju i plasman proizvoda u kapacitetu iskorištenja i do 25% u odnosu na maksimalni kapacitet.

Osnov za utvrđivanje koncesione naknade su podaci iskazani u studiji ekonomske opravdanosti, podaci navedeni dostavljenoj ponudi ponuđača, podaci o prihodu ostvarenom od obavljanja koncesione djelatnosti iskazanom u glavnoj knjizi i pomoćnim knjigama Koncesionara, koji je potvrđen u godišnjem izvještaju o reviziji finansijskih izvještaja neovisnog revizora Koncesionara, kao i podaci utvrđeni nadzorom i provjerom rada Koncesionara.

---

<sup>27</sup> Uprave za indirektno oporezivanje BiH.

Godišnja koncesiona naknada ne može biti manja od utvrđene godišnje naknade iskazane u studiji ekonomske opravdanosti, bez obzira na rezultate poslovanja iskazane u finansijskim izvještajima, glavnoj knjizi i pomoćnim knjigama Koncesionara.

Prihodi ostvareni iz odobrenih koncesija će biti namjenski utrošeni za istraživanja dobara koja su predmet koncesije, ekološku zaštitu okoliša, izgradnju infrastrukturnih objekata od općeg društvenog interesa.

Troškovi nastali u postupku pripreme i provođenja dodjeljivanja koncesije naknađuju se iz naknade za koncesiju.

Naknada za korištenje pitke vode sa izvorišta „Stari Djedovac- Podkonjsko“ će se prema količini zahvaćene vode i kapaciteta izdašnosti izvora, odnosno ukupnog ostvarenog prihoda i visine naknade (tarife). Naknada se plaća na osnovu ugovora o koncesiji koja se izdaje za ugovoreno razdoblje.

O zahvaćenoj pitkoj vodi korisnik mora voditi zapisnik u koji unosi podatke utvrđene mjerenjem na mjernim uređajima i te podatke dostavljati davaocu koncesije iz ugovora, Ti podaci se dostavljaju na kraju svakog mjeseca.

Finasijske obaveze korisnika koji koristi prirodnu pitku vodu radi prodaje na tržištu i proizvodnju drugih napitaka su minimalne 1% od prihoda ostvarene prodajom.

Plaćanje finasijske obaveze će se vršiti na kraju svakog mjeseca i to u vidu akontacije. Iznos mjesečne akontacije za prvu godinu koncesije ne može biti manji od 1/12 (1%) ukupnog procjenjenog prihoda.

Konačni obračun naknade za koncesiju izvršit će se nakon izrade Završnog računa za proteklu godinu.

Plaćanje će se izvršiti preko žiro računa u skladu sa zakonskim odredbama o finasijskom poslovanju.

Prijedlog za naknadu korištenja koncesije od 1% od ukupnog prihoda proizašao je iz razloga što se radi o novom koncesionaru, odnosno proizvodu, da su uložena znatna sredstva i da su potrebna nova ulaganja u objekte i postrojenje za korištenje koncesije

Planirani dnevni prihod po osnovu prodaje planirane proizvodnje flaširane vode je 979,00 KM x 250 radnih dana, očekivani godišnji prihod po osnovu prodaje pitke vode navedenog izvorišta bi iznosio oko 242.500,00 KM 1% od ukupnog prihoda iznosio bi 2.425,00 KM na godišnjem nivou ili 216,00 KM mjesečno.

#### **4.3 Ekonomski uticaj koncesije na Tuzlanski kanton**

Recesije je pogodila i tuzlanski kanton izračunati su društveni gubici koje stvara recesija na TK. Za period 2009-2013. godina oni se procjenjuju u gubitku GDP od 2.346 mil. KM i gubitku od 19.628 radnih mjesta. Recesija može, a i nemora značiti izgubljene godine u razvoju na TK ukoliko se racionalno priđe podsticaju razvoja privrede tuzlanskog kantona.

Na godišnjem nivou planira se oko 8 milna maraka unijeti u budžet TK-a po osnovu raznih koncesionarskih ugovora. Dobar dio koncesionara neizmiruje svoje obaveze, te sunadležni prinuđeni naplatu putem utuživanja. Budući koncesionar kojije predmet obrade svoje obaveze po osnovu koncesione naknade redovno uplaćivao na račun koji je određen u koncesionom ugovoru.

Tokom 2011.godine Komisija za kncesiju TK-a je zaprimila 41 zahtjev za rješavanje i odlučivanje i nakon razmatranja donijela 15 Odluka o odobravanju Studije tehno – ekonomske opravdanosti, 13 Odluka o davanju ovlaštenja za vođenje pregovora, 5 Prijedloga odluka za dodjelu koncesije upućenih prema Vladi TK, 4 Odluke o odobravanju ugovora i 4 Prijedloga odluka o davanju saglasnosti za zaključenje ugovora. Najveći broj privrednih društava koja imaju potpisane ugovore o korištenju predmeta koncesije su sa sjedištem u Tuzli i Gračanici (6), a najveći broj predmeta koncesije za koje je potpisan ugovor o eksploataciji i korištenju se nalazi na području općina Gračanica (6), Živinice (5), Tuzla, Lukavac i Srebrenik (4), ali treba napomenuti da se neki od predmeta koncesije, kao što su jezero "Modrac" i rudnici uglja, prostiru na više općina. Također, treba napomenuti da na području općina Dobož Istok, Čelić, Teočak i Sapna nema potpisanih ugovora o koncesiji. Najveći broj predmeta koncesije za koje su

zaključeni ugovori o eksploataciji i korištenju, odnosi se na eksploataciju nemetalnih mineralnih sirovina, kamena krečnjaka, korištenju voda i energetske mineralnih sirovina.

Značajno je istaći da još uvijek postoji određeni broj koncesionara koji svoje obaveze neredovno izmiruju, što značajno utiče na ukupne rezultate postignute prilikom ubiranja prihoda po osnovu naknada za koncesije.

Na teritoriji Tuzlanskog Kantona skoncentrisana su ekonomski značajna prirodna bogatstva, koja se već duže vrijeme koriste i daju ekonomski i društveno značajan doprinos razvoju Kantona.

Na osnovu privrednih i infrastrukturnih potencijala i njihovog do sada ostvarenog i planiranog korišćenja i realnih mogućnosti njihovog razvoja, broja zaposlenih i stepena njihove obučenosti, tehničke opremljenosti i dostignutog nivoa tehnološkog razvoja tih sektora, vrijednosti osnovnog kapitala, nivoa stručnih i drugih istraživanja, ostvarenog obima uvoza-izvoza, kao i drugih parametara, uočavaju se potrebe da se raspoloživi privredni potencijali moraju istraživati, eksploataisati i koristiti u skladu sa savremenim dostignućima nauke, tehnike i tehnologije uz optimalno upravljanje na osnovu savremenog menadžerstva.

Dakle, u socijalnoj sferi današnjice koja vlada prostorima tuzlanskog kantona potrenno je podržati u razvoju privrednih društava koja obezbjede i barem jedno novo radno mjesto. U konkretnom slučaju otvara se prostor za zaposlenje novih sedam radnih mjesta.

Proizvodnja i prodaja gotovih proizvoda pitke vode sa izvorišta „Stari Djedovac- Podkonjsko“ kod Kladnja će se odvijati na prostoru Općine Kladanj i tuzlanskog kantona. Prje svega, stanovništvo ima za potrebu kvalitetne pijaće i gazirane vode, prema tome proizvodnja i distribucija visokokvalitetne vode na tržištu tuzlanskog kantona biće dijelom obezbijedena od strane proizvođača d.o.o. „Čamdžić Komerc“ Kladanj kroz trgovačke centre kao što su; Bingo, Interex; Dramaring Tuzla, Rad-export Kladanj, Voće-tranzit-Gradačac i sl.

#### **4.4 Ekonomski uticaj koncesije na regiju**

BiH godišnje izdvaja preko 120 miliona KM na uvoz bezalkoholnih pića i flaširane vode. Izvozi tek oko 20 miliona KM. Unatoč bogatstvu prirodnog resursa vode u BiH, kupujemo tuđe, zanemarujući činjenicu da imamo kvalitetniju vodu već druge zemlje. Prema tome, nakon stečenog iskustva na domaćem tržištu, proizvođač planira asortiman svojih proizvoda plasirati in a Evropsko i Svjetsko tržište, pa makar i udruživanjem sa poznatim proizvođačima i prodaje pitke i gazirane vode, čime bi se na taj način smanjio uvoz, a povećao izvoz pitke vode na Evropsko i Svjetko tržište.

Ekonomski uticaj koncesije flaširanja pitke i gazirane vode sa izvorišta „Stari Djedovac – Podkonjsko“ kod Kladnja u regiji ima prije, svega značaj iz općeljudskih potreba za konzumiranjem kvalitetne pijaće vode, a s druge strane, sa aspekta protoka robe i novca na cjelokupnoj regiji.

Ekonomski pokazatelj i uticaj na regiju je mali, ali konstantnog prirasta. U toku jedne godine ako se napravi realizacija po osnovu proizvedene i prodane robe- pitke i gazirane vode u iznosu od 494.750,00 KM ili za deset godina u iznosu od 4.947.500,00 KM ili 30 godina za vrijeme trajanja perioda koncesije 14.842.500,00 KM je iteko od značaja.

#### **4.5. Uticaj koncesije na istraženost prirodnog bogatstva**

Eksploatacija pitke i gazirane pitke vode na navedenom izvorištu malo ili veoma malo ima uticaj na istraženost prirodnih bogastava. Prilikom istraživanja ne očekuje se neka nova otkrića prirodnog bogatstva, a s druge strane šuma koja se nalazi na istražnom prostoru neće se eksploataisati, prije svega iz razloga teže komunikacije, a s druge strane mali ilislab prirast novog fonda šume.



## V ZAKLJUČAK

Na osnovu člana 24. stava 1. tačka c) Ustava Tuzlanskog kantona ("Službene novine Tuzlanskopodrinjskog kantona", br. 7/97 i 3/99 i "Službene novine Tuzlanskog kantona", br. 13/99, 10/00 i 14/02), na prijedlog Vlade Tuzlanskog Kantona Skupština Tuzlanskog kantona, na sjednici od 30.3.2004. godine, donijela Zakon o koncesijama.

U smislu člana 3. stav 1 i 9. navedenog člana definisano je da predmet koncesija može biti korištenje izvorišta pitke vode u smislu flaširanja radi komercijalizacije. U svojoj razvojnoj politici d.o.o. „Čamdžić Komerc“ Kladanj ima viziju investirana u tehnološki proces flaširanja pitke i gazirane vode sa izvorišta „Stari Djedovac-Podkonjsko“ kod Kladnja. Prema tome, navedeno društvo želi da u skladu važeće legistative nalegalan i transparentan način sklopi ugovor o koncesiji za korištenje pitke vode uz određenu koncesionu naknadu kako je to regulisano navedenim Zakonom o oncesijama TK-a.

Izvorište „Stari Djedovac“ lokaliteta „Podkonjsko“ se nalazi na k.č. 1 257/1 K.O. Kladanj je rezervisano za individualno obezbjeđenje, obezbjeđenje poslovnih objekata u vlasništvu Čamdžić Senada i industrijalizaciju, radi komercijalizaciju pitke vode, pa isto mora biti zaštićeno od namjernog ili nenamjernog, odnosno slučajnog zagađivanja ili od drugih uticaja koja mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili njezinu izdašnost.

Na osnovu trenutne ekonomijske analize privrednog društva, može se konstatovati da je profitabilnost preduzeća u 2011. godini u odnosu na predhodnu smanjena, ali ne naglog skoka. Ekonomičnost preduzeća na osnovu pokazatelja ukazuje takođe, da je ekonomičnost smanjena za 0,3 % u odnosu na predhodnu godinu, stopa ekonomičnosti prodaje je u odnosu na predhodnu godinu smanjena za 3,7%.

Likvidnost preduzeća je povećana u 2011. godini u odnosu na predhodnu godinu i to u iznosu od 1,3%. Stopa ubrzane likvidnosti je povećana za 0,1% u 2011. godini u odnosu na 2010. godinu, a stopa tekuće likvidnosti je smanjena za 2,8% u odnosu na predhodnu godinu. Stopa finansijske stabilnosti je povećana za 2,8 % u odnosu na predhodnu godinu za 2,8%. Stopa zaduženosti je povećana za 2,5% u odnosu na 2010. godinu, a stopa vlastitog finansiranja je takođe smanjena u 2011. godini u odnosu na 2010. godinu u iznosu od 1,4 %.

Navedeno preduzeće je sposobno investirati u nove projekte. Prema tome, projekat industrijalizacije, tj. flaširanja pitke i gazirane vode je u većem procentu finansijski zaokružen, kako od nabavke Osnovnih sredstava, tako i sposobnosti vlastite likvidnosti.

Na bazi mjerene izdašnosti izvorišta „Stari Djedovac - Podkonjsko“ rezervi i obnovljivosti pitke vode maksimalna dnevna izdašnost vode sa navedenog izvorišta je 30,24 m<sup>3</sup> vode. Dinamičke rezerve vode u toku jednog dana odgovaraju izdašnosti izvora, a voda iz navedenih hidrogeoloških kolektora se konstantno obnavlja.

U svom proizvodnom asortimanu roba privredno društvo, budući koncesionar planira flaširati pitku i gaziranu vodu u nepovratnoj ambalaži i to, od 0.33 l, 0,5l, 1,5l, 2,0l i 5,0l l. U perspektivi se planira distribuirati voda u ambalaži od stakla.

Dosadašnja ulaganja u tehnološki proces i obezbjeđenja pitke vode sa navedenog izvorišta privredno društvo „Čamdžić Komerc“ je finansiralo iz sredstava vlastitih izvora, a takođe i nova ulaganja. Kako je vidljivo iz finansijske analize i opravdanosti projekta flaširanja pitke i gazirane vode sa navedenog izvorišta investiciona ulaganja bi se isplatila već u drugoj godini životnog vijeka proizvoda, odnosno izvršen bi bio povrat sredstava u drugoj polovini druge godine životnog vijeka proizvoda.

Na osnovu razmatranja razvojnog ciklusa projekta, odnosno, proizvodnje i distribucije pitke i gazirane vode budućeg koncesionara scenarij razvoja se može posmatrati u okviru realnih mogućnosti prodaje gotovih proizvoda, odnosno obima tržišta. Maximalni iskoristivi kapacitet punionice bi bio 85% u odnosu na projektovani, međutim, izdašnost izvorišta je manja, jer postoje određeni gubici vode u sistemu do 5%, kao i korištenje vode sa istog izvorišta za potrebe ugostiteljskih objekata „Jelen“ i „Amerika“ vlasništva Čamdžić komerc, kao i stambenog objekta istog vlasnika, tako da raspoloživi kapacitet vode sa izvorišta se umanjuje i njegova realna izdašnost je  $q_i = 0,2 \text{ l/sec}$ .

Koncesiona osnovica je posmatrana u fazi razvoja projekta pri čemu bi stepen iskoristivosti kapaciteta tehnološke linije i izvorišta iznosio oko 25%, tada bi koncesionar razvio projekat i na tom nivou mogao ostavirati dnevni prihod u neto iznosu od oko 391 KM/dnevno, odnosno 8. 602,00 KM/mjesečno. Dakle, na osnovu snimanja tržišta i ulaganja u marketing kompanije u ovaj program, moguć je i dostižan i ovaj stepen iskoristivosti, pa u nekoj narednoj fazi koncesiona osnova bila bi, na dnevnom nivou u neto iznosu od 391,00 KM ili 8.602,00 KM u neto iznosu na mjesečnom nivou.

Sadašnji stepen iskoristivosti izdašnosti izvora i tehnološke linije na nivou od 2%, i koncesionar ostvaruje dnevni neto prihod u iznosu od 92,00 KM ili mjesečno 2.024,00 KM, dakle to bi bila realna koncesiona osnova za ugradnju u ugovor između stana u postupku. Zaista budući koncesionar u fazi istraživanja tržišta nije realno moguće ostvariti veći prihod, je pri tome ima smetnu zbog toga što još nije obezbijedio koncesiju nad resursom.

Predlažemo Komisiji za koncesije Vladi tuzlanskog kantona, odnosno nadležnom ministarstvu da odobri koncesiju za flaširanje pitke i gazirane vode sa izvorišta „Stari Djedovac Podkonjsko“ d.o.o. „Čamdžić Komerc“ Kladanj, jer je na istraživanjima kroz tehničko- tehnološke i ekonomske pokazatelje prikazano opravdanost buduće koncesije po konkretnom predmetu. Budući, koncesionar svojom djelatnošću bi kako sa ekonomskog tako i sa socijalnog aspekta stvorio razvojni ambijent kako lokalne zajednice, tako i šire.

## VI LITERATURA:

1. Miomir M. Komatina „Hidrogeološka istraživanja“  
„Metode istraživanja“ I
2. Miomir M. Komatina „Hidrogeološka istraživanja“  
„Metode istraživanja“ II
3. Miomir M. Komatina „Hidrogeološka istraživanja“  
„Metode istraživanja“ IV
4. J.V.P. „Vodoprivreda BiH“,  
Sarajevo „Održavanje vodoprivrednih  
komunalnih sistema“
5. M.D. Dimitrijević „Geološko kotiranje“
6. S. Janković i D. Milanović „Ekonomska geologija i osnovi  
ekonomske mineralnih sirovina“
7. P. Ristić i M. Radoslav „Specijalna mineralogija“
8. P. Ristić „Specijalna petrografija“
9. M. Lazić „Istražno bušenje u hidrogeologiji“
10. M.E. Aljtovski „Hidrogeološki priručnik“
11. I. Kubat „Metalogenija“
12. H. Begić „Ekonomske aspekte reaktiviranja  
Rudnika „Konjuh“ Kladanj“
13. H. Hrvatović „Geološko kartiranje“
14. Geološki institut Ilidža „Osnovna geološka karta“
15. Sl. Novine FBiH „Zakon o vodama“
16. Sl. Novine FBiH „Pravilnik o zaštitnim zonama izvorišta“
17. Sl. Novine FBiH „Zakon o geološkim istraživanjima“
18. Sl. Novine FBiH „Pravilnik o geološkim istraživanjima“

## Informacione tehnologije u geologiji i primena u „EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari“, d.o.o.

TATJANA BLAGOJEVIĆ, ALEKSANDRA MITROVIĆ

### Sažetak

Primena informacionih tehnologija u geologiji je zastupljena u obradi i upravljanju podacima, korišćenjem programskih paketa za 3D projektovanje, modeliranje i integraciju baza podataka sa primenom dobijenih rezultata. U savremenoj praksi značajno je zastupljena primena računarskih programa u izradi određenih modela ležišta, proračun mineralnih resursa, - rezervi za određenu mineralnu sirovinu, kompletne grafičke dokumentacije, kao i primenljivost kod projektovanja istražnih radova, praćenja i planiranja eksploatacije sa svim parametrima koji ih prate.

U ovom radu su prikazane tradicionalne i savremene metode projektovanja u geologiji, kao i značaj primene geoloških softvera koji čine podršku u projektovanju i modeliranju.

Softverski paketi se u razvijenim zemljama koriste već više od 30 godina, dok je u zemljama jugoistočne i istočne Evrope njihova primena veoma mala. Projektovanje se uglavnom vrši tradicionalnim metodama. Geološki informacioni sistem Republike Srpske se neformalno razvija duži niz godina u okviru različitih institucija koje se bave geološkim istraživanjima. Uglavnom se zasnivalo na transformaciji tradicionalnog (analognog) zapisa u digitalnu formu. Formiranjem Odseka za Geološki Informacioni Sistem (GIS) i Centralni geoloski arhiv RS, 2009. godine počelo je i formiranje baze prikupljenih podataka i nastavak daljeg rada u ovom informacionom sistemu.

Upravljanje podacima (formiranje baze podataka) i pravljenje modela ležišta u privrednom društvu „EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari“, d.o.o. se vrši u softverskom paketu GDM (Geological Database Management) od 2007. godine.

**Ključne reči:** geologija, informacione tehnologije, projektovanje, modeliranje

### Abstract

Application of information technologies in geology is represented in data processing and data management, use of software packages for 3D design, modeling and integration of the database along with the application of the results. In modern practice, it is important to present the application of computer programs in the development of specific models deposits, calculation of mineral resources - reserves for certain minerals, complete documentation with graphics, and applicability in the design of research activities, monitoring and planning of the operation with the parameters that follow.

---

<sup>1</sup>Tatjana Blagojević, dipl.inž.geol., „EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari“ d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: [tatjana.blagojevic@eft-stanari.net](mailto:tatjana.blagojevic@eft-stanari.net)

<sup>2</sup>Aleksandra Mitrović, dipl.inž.geol., „EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari“ d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: [aleksandra.mitrovic@eft-stanari.net](mailto:aleksandra.mitrovic@eft-stanari.net)

This study presents both traditional and contemporary design methods in geology, as well as the geological significance of software that provide support to the design and modelling.

Software packages have been used in developed countries for more than 30 years, while in the South East and Eastern Europe, their use is very low. The design is mainly done by traditional methods. Geological Information System of the Republic of Srpska has informally been developed for a number of years within various institutions involved in geological research. It was mainly based on the transformation of traditional (analogue) record into digital form. The establishment of the Department of Geological Information System (GIS) and the Central Geological Archive in Republic of Srpska in 2009 triggered the creation of a database of collected data and continuation of the work in this information system.

Data management (database creation) and model making of deposits situated at "EFT-Mine and Thermal Power Plant of Stanari" Ltd has been performed in the software package GDM (Geological Database Management) since at 2007 year

**Keywords:** geology, information technology, design, modeling

## UVOD

U savremenim uslovima poslovanja nezamislivo je uraditi Elaborat o rezervama, ili pratiti eksploataciju bez informatičke podrške i softverske obrade podataka. Za sve ove namene danas je u primeni mnoštvo aplikativnih softvera kao što su Surpac, Datamine, Vulcan, Gemcom.

Svaki softverski paket ima svoju primenu, ali i prednosti i nedostatke u različitim uslovima. Da bi neki program bio uspešan programeri se moraju suočiti sa određenim ograničenjima svojih paketa pod različitim okolnostima. Među njima spada i GDM.

## 1. METODE ZA PROJEKTOVANJE I MODELIRANJE U GEOLOGIJI

Tradicionalne metode projektovanja obima istražnih radova, crtanje profila bušotina, geoloških profila, proračun rezervi, planiranje eksploatacije određene mineralne sirovine, zasnovane su na ručnim proračunima parametara i ručnoj grafičkoj interpretaciji profila bušotina, geoloških profila i crtanju izolacija krovine, podine, debljine slojeva određene mineralne sirovine. Osnovu ove metode čini duži vremenski period za obradu podataka, čime se rad značajno komplikuje.

Informacione tehnologije omogućavaju brži, kvalitetniji i kreativniji rad. Primenom IT u geologiji, kao i u rudarstvu došlo je do razvoja novih metoda projektovanja koje se bitno razlikuju od tradicionalnih metoda. Nazvane su savremenim metodama projektovanja i modeliranja.

Osnovna pretpostavka za njihovu primenu je da mora biti formirana odgovarajuća geološka baza, kao i model ležišta. Metode u savremenom projektovanju i modeliranju se zasnivaju na integraciji IT sa geološkim aktivnostima.

U razvijenim zemljama metode savremenog projektovanja i modeliranja se koriste već tridesetak godina, dok se u zemljama jugoistočne i istočne Evrope, projektovanje optimalnih kopova zasniva na tradicionalnim metodama.

Osnovne razlike između tradicionalnih i metoda savremenog projektovanja su date u tabeli 1.

**Tabela 1.** Uporedni prikaz metoda projektovanja i modeliranja u geologiji

| <b>Tradicionalne metode</b>                                   | <b>Savremene metode</b>   |
|---|---|
| – ručna obrada podataka,                                      | – računarski podržana obrada podataka,  |
| – dug vremenski period obrade podataka,                       | – značajno kraći vremenski period obrade podataka,  |
| – polazi se od geološki okonturenog rudnog tela, ili ležišta, | – polazi se od izrade računarskog modela rudnog tela (podele ležišta na blokove),                                       |
| – geometrijska analiza,                                       | – analiza blokova zasnovana na optimalnom redosledu otkopavanja,  |
| – veliki troškovi izrade projekta,                            | – niski troškovi izrade projekta, ali su potrebna veće investiciona ulaganja u računarsku opremu i računarske programe, |
| – mala investiciona ulaganja,                                 |   |
| – dobijanje približnih rezultata obrade podataka,             | – dobijanje preciznih podataka obrade podataka,   |
| – omogućavaju samo 2D prikaz.                                 | – omogućavaju 2D i 3D prikaz svih objekata.   |

Metode savremenog projektovanja imaju veće prednosti u odnosu na tradicionalne, tako da će se u budućnosti sve više primenjivati.

Nove IT su zasnovane na savremenim dostignućima u razvoju računarske opreme, računarskih programa, komunikacionih i satelitskih navigacionih tehnologija, robotike, veštačke inteligencije, merno-regulacione tehnike, fazi logike i sistemske analize. Suština primene IT u rudarstvu se ogleda u povezivanju funkcija planiranja i projektovanja istražnih radova, nadzora, analize ležišta, pouzdanosti, sigurnosti rada i operativnosti. Danas već postoji mnoštvo profesionalnih programskih paketa koji obuhvataju geologiju, ekonomsku ocenu ležišta itd. Broj proizvođača i stručnjaka za programske pakete za primenu u geologiji stalno raste.

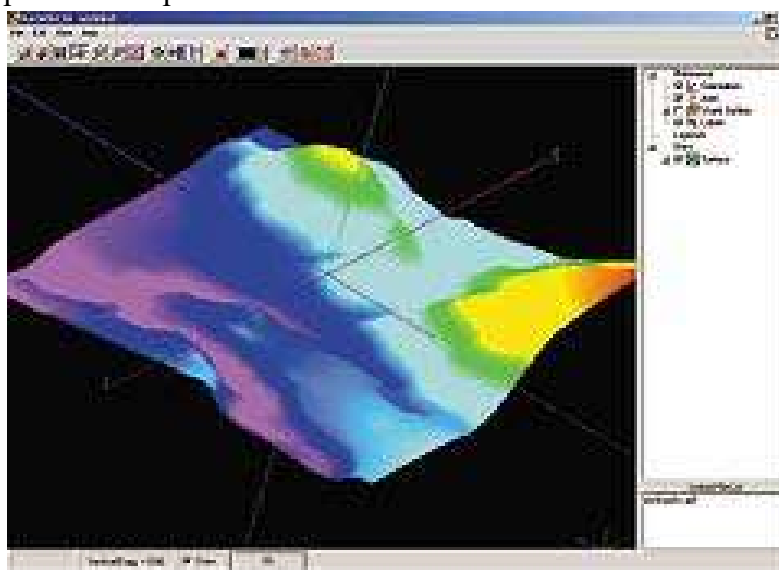
## 2. PROIZVOĐAČI RAČUNARSKIH PROGRAMA

Napretkom performansi savremenih računara i sve većeg broja programera koji stvaraju specijalizovani softver, geolozima se otvaraju novi izazovni aspekti ove discipline.

Postoji veliki broj različitih programa ([www.geologynet.com/computerlinks.htm#](http://www.geologynet.com/computerlinks.htm#)) koji nalaze svoje mesto u svim aspektima rada jednog geologa. Savremenim istraživačkim metodama vrši se prikupljanje podataka, analiza u čemu pomažu brojni softveri. Među najinteresantnijim primerima je *RockWorks* kompanije „RockWare Inc.” ([www.rockware.com](http://www.rockware.com)), namenjen vizuelizaciji različitih geoloških struktura, prikazivanju dijagrama, simulaciji naftnih rezervoara, modelovanju zemljine površine itd.

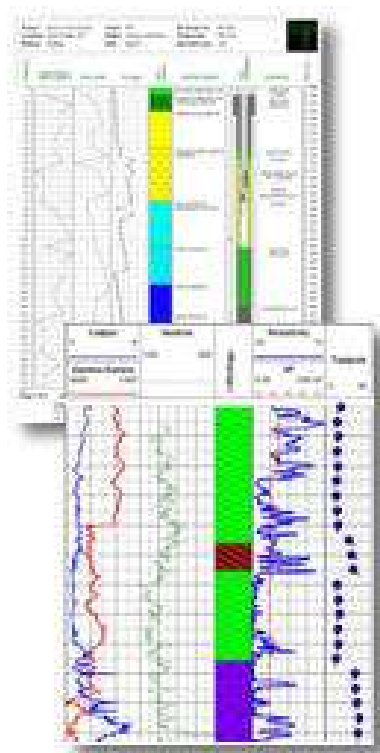
Kao i u drugim oblastima nauke, i u geologiji prikazivanje trodimenzionalnog modela predmeta proučavanja može veoma da pomogne u razumevanju zakona i procesa i u otkrivanju ranije neuočenih veza.

*RockWorks Utilities* predstavlja skup pomoćnih računarskih programa za kartiranje, modelovanje, analizu i prikazivanje koji se mogu koristiti samostalno ili uz program *RockWorks*. Ovim programima se mogu izraditi konture, 3D površine i modeli terena, mrežni modeli i izvršiti modeliranje tela i proračuni zapremine.



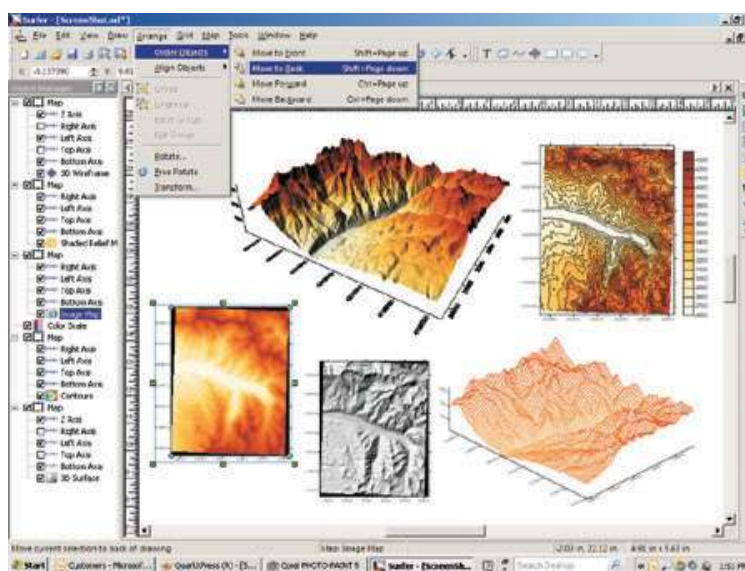
Slika 1. 3D model ležišta u programu *RockWorks*

*LogPlot* je namenjen za analiziranje i prikazivanje različitih slojeva zemljine površine, izradu i prikaz geotehničkih, geofizičkih, rudarskih i ostalih podataka u obliku grafičkih izveštaja za pojedine bušotine. Ovaj program koriste mnoge naftne i rudarske kompanije.



Slika 2. Dijagrami i bušotine prikazane u LogPlot 7

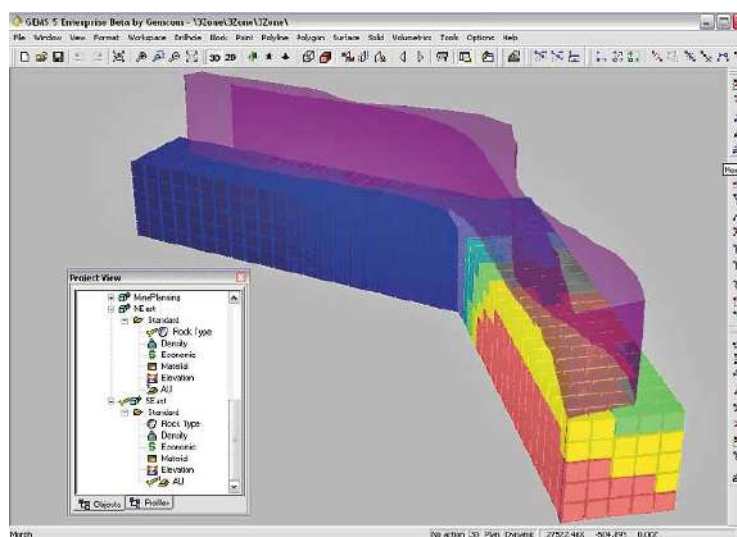
RockWare je izradila programsku podršku koja se može primeniti na sledeća područja: geologiju, inženjersko prikazivanje i vizuelizaciju podataka površinske i podzemne eksploatacije sa skupom RockWorks programa i područje geo-kartiranja sa skupom ArcGIS programa. Za izradu kontura, mreža i karata određenih površina, za projektante je posebno interesantan program *Surfer* (<http://www.rockware.com>).



Slika 3. Izrada modela ležišta u programu SURFER 11

Kao veliki proizvođači softvera u ovoj oblasti su „Golden Software” ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)) i „Gemcom” ([www.gemcomsoftware.com](http://www.gemcomsoftware.com)). Prva je poznata po programu *Grapher* koji se koristi za analizu i prikazivanje geoloških rezultata u vidu 2D i 3D dijagrama. Programi Gemcom se primenjuju za geološku interpretaciju i modeliranje slojevitih ležišta i projektovanje površinskih i podzemnih rudnika metala i nemetala ([www.gemcomsoftware.com](http://www.gemcomsoftware.com)).

*GEMS 5* – program objedinjuje u celinu više geološko-rudarskih softverskih alata i aplikacija. Ovaj program inženjerima omogućuje 3D modelovanje rudarskih kopava i rudarskih jama, ali i razne druge geološke analize. *Gems Whittle* je program koji je originalno razvijen u Australiji, a ima za zadatak da pomogne što efikasnije eksploataciju rudnika, sa što manje uloženog napora.



Slika 4. 3D model prikazan u GEMS 5

Računarski program Surpac je široko rasprostranjen. Služi za projektovanje rešenja površinske i podzemne eksploatacije, sa prikazom istražnih radova. Za rad u programu potrebno je stvoriti bazu podataka i ažurirati je tokom odvijanja procesa eksploatacije.

Ulazni podaci iz baze podataka služe za generisanje računarskih modela u 2D ili 3D okruženju. Surpac sadrži alate za upravljanje podacima, geostatistiku, modeliranje, proračun računarskih modela, definisanje kvantiteta i kvaliteta ležišta, planiranje eksploatacije mineralnih sirovina, primenom različitih vrsta računarskih modela (<http://www.gemcomsoftware.com>).





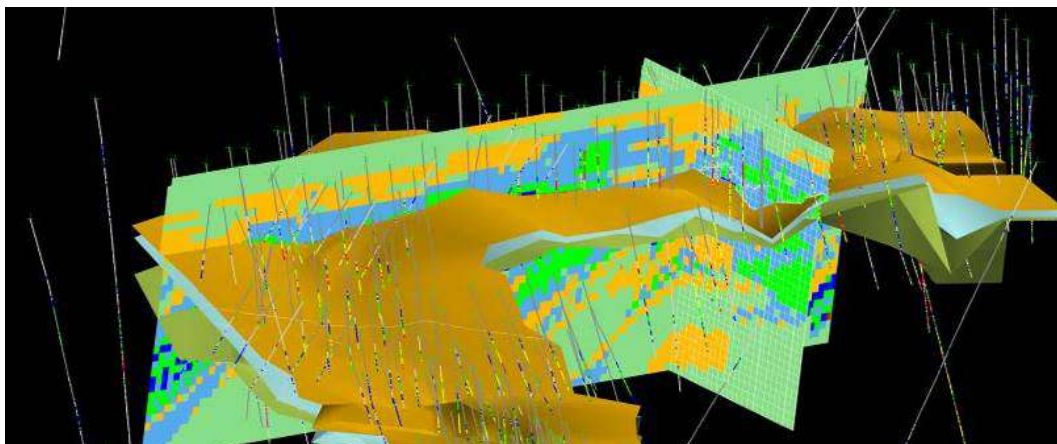
*Slika 5. 3D model ležišta u programu Surpac*

### Maptek

Računarski program Vulcan predstavlja skup alata za analizu geološke građe ležišta, izradu blok modela, proračun rezervi, projektovanje plana i praćenja eksploatacije, kao i za upravljanje tim procesima.

Programski paket se može proširiti dodatnim modulima za izradu baze podataka geodetskih merenja, za izradu rudničkih puteva, projektovanje bušačko–minerskih radova, određivanje troškova transporta na osnovu blok modela, geomehaničko modeliranje i dr.

Moguće ga je povezati sa *ArcGIS* programskim paketom (<http://www.maptek.com>).



*Slika 6. Modeliranje podzemnih prostorija u programu Vulcan*

## Mintec

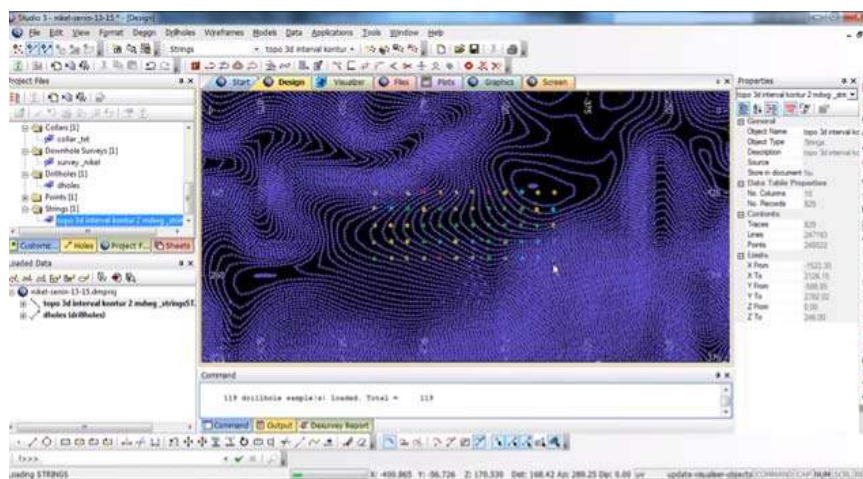
MineSight 3D koristi interaktivni interfejs za obradu i prikaz podataka iz istražnih i minskih bušotina, kompozitnih modela, 3D blok modela, stratigrafskih imodela površine terena, podataka merenja površinskih i podzemnih radova i dr.

Sadrži alate za interpretaciju geoloških podataka, određivanje topografskih kontura, mrežnih i trianguliranih površina (<http://www.minesight.com>).



Slika 7. Izgled programa MineSight

Datamine predstavlja sistem računarske podrške namenjene površinskoj eksploataciji mineralnih sirovina. Razvijen je sistem za upravljanje geološkim podacima (*Geological Data Management System – GDMS*) i sistem za upravljanje rezervama mineralnih sirovina, razvoj plana eksploatacije, projektovanje rudarskih objekata, upravljanje rudarskim radovima i praćenje proizvodnje (<http://technology.infomine.com/>)

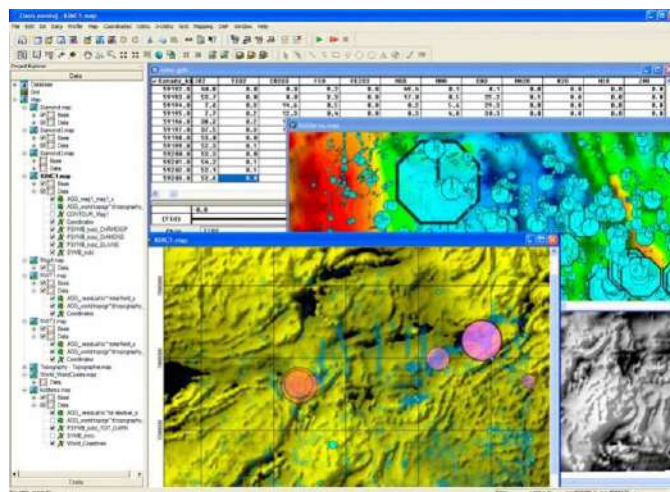


Slika 8. Model podzemnih prostorija u programu Datamine studio 3

Datamine studio 3 je program za geološko modeliranje, i upravljanje rezervama mineralnih sirovina. Pruža alate za rukovanje podacima iz istražnih bušotina i uzoraka, karata, laserski snimljenih 3D modela i dr. Služi za geostatističke i geomehaničke analize i izradu mrežnih i blok računarskih modela. Podržava koncept virtualne stvarnosti pri čemu se na geološkom i rudarskom modelu rudarskog objekta, npr. površinskom kopu, može virtualno pregledati objekat iz perspektive operatera koji će upravljati opremom, npr. kamionom, bagerom i slično. Ovim konceptom mogu se izvesti određene analize i poboljšanja sigurnosti rudarskog objekta. Geološki i rudarski podaci mogu se arhivirati i skladištiti u jednu datoteku od koje je uvek iznova moguće početi razvijati novu varijantu rešenja (<http://www.infomine.com/>).

### Geosoft

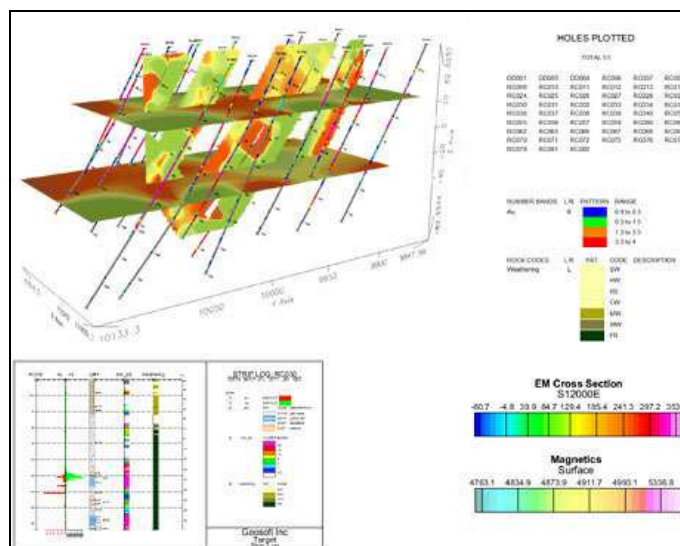
Računarski program Oasis Montaj služi za analizu, obradu, 2D i 3D interpretaciju geofizičkih, geohemijskih i geoloških podataka. Integracijom podataka sa površine terena i podataka iz bušotina, kao i geofizičkih modela olakšana je stručna interpretacija. U program mogu biti uneti različiti tipovi podataka npr. podaci u određenim tačkama, mreže i slike, vektorski i 3D podaci, podaci iz mernih instrumenata, GIS podaci, mrežni i blok modeli i dr. (<http://www.geosoft.com>).



Slika 9. Obrada podataka u programu OasisMontaj poređenjem karata

U programu je integrisana podrška za povezivanje sa spoljnim serverima baza podataka, kao i podrška za kreiranje, pregledanje i deljenje datoteka s korisnicima programa ArcGIS. Oasis Montaj se koristi u istraživanju ležišta mineralnih sirovina, geološkim istraživanjima i kartiranju, istraživanju ležišta nafte i gasa, zaštiti životne sredine, obrazovanju i dr.

Računarski program Target je namenjen prvenstveno za izradu i vizuelizaciju struktura ispod površine terena koristeći podatke iz istražnih bušotina.



Slika 10. Plan bušenja i povezivanje podataka u programu Target

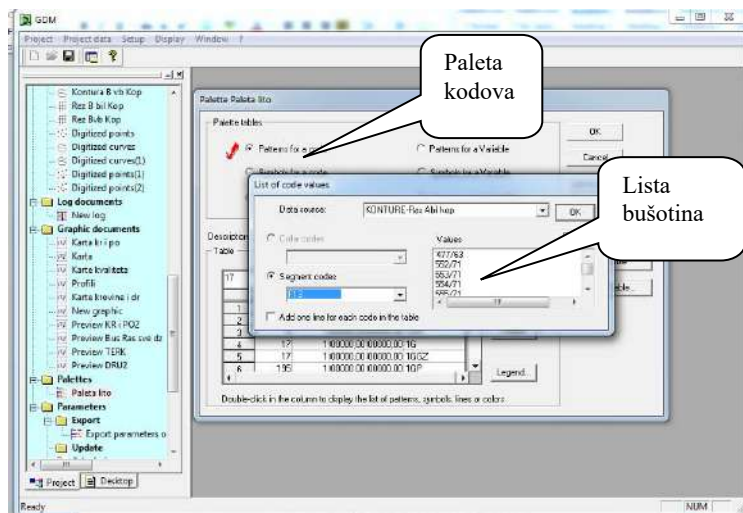
Sadrži alate za obradu mreža istražnih bušotina i geofizičkih modela predstavljenih 2D mrežama, *Surpac STR*, *DTM* ili *Datamine* mrežnim modelima. Podatke o istražnim bušotinama moguće je unositi iz različitih izvora podataka, a vizuelizacija tih podataka se može ostvariti izradom izveštaja o kartiranju bušotina i mrežnih dijagrama. Povezivanjem podataka sa površine terena i iz istražnih bušotina mogu se izraditi detaljne i integrisane karte za potrebe površinske i podzemne eksploatacije (<http://www.geosoft.com>).

Leapfrog je vodeći geološki softverski paket za 3D modelovanje gde geolozi prave modele i donose odluke u rudarstvu, hidrogeologiji i geotermalnoj industriji.

### 3. PRIKAZ PROGRAMA GDM I NJEGOVA PRIMENA U „EFT-RUDNIK I TE STANARI“

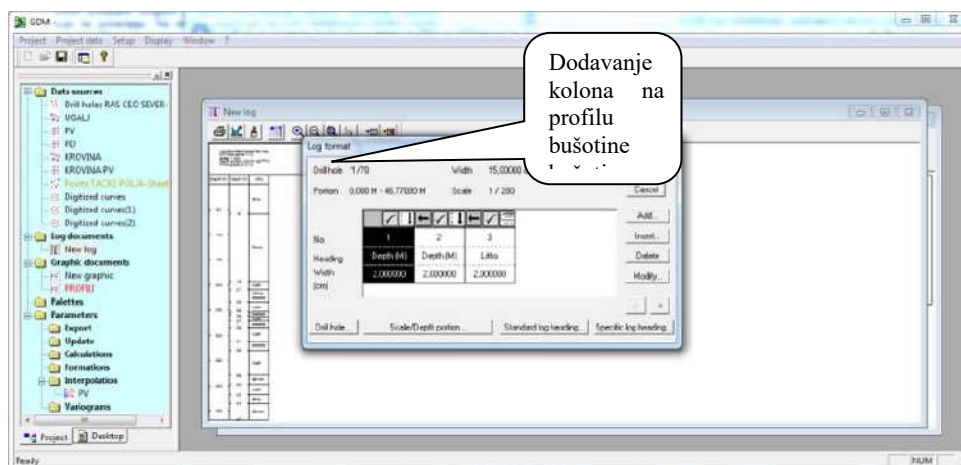
Jedan od programa koji se koristi u „EFT-Rudnik i TE Stanari“, d.o.o. je GDM (Geological Database Management). On služi za planiranje istražnih radova, crtanje profila bušotina, geoloških profila, kartata izolacija (debljine sloja, krovine, podine uglja, sadržaja DTE, sumpora, pepela), pravljenje modela ležišta, karata mini blokova i eksploatacije mineralnih resursa. Koristi se još kod projektovanja tunela, brana, podzemnih prostorija raznih namena, urbanističkog planiranja, dijagnostike zagađenja zemljišta, upravljanja prirodnim resursima i dr.

GDM je integralni 3D aplikativni softver, koji kao ulazne podatke koristi; tačke (Points data sources), slike (Images data sources), kartografske osnove (Base map data sources- WMF, BMAP, JPG, TIF idr.), mreže (Grid data sources- GDM, Arc/Info.ASEII), krive (Curves data sources), bušotine (Drill holes data sources, Drilling, Casing/screens). Zahvaljujući svom Windows interface-u, GDM je veoma produktivan softverski alat, koji se jednostavno integriše u informatičko okruženje kompanije.



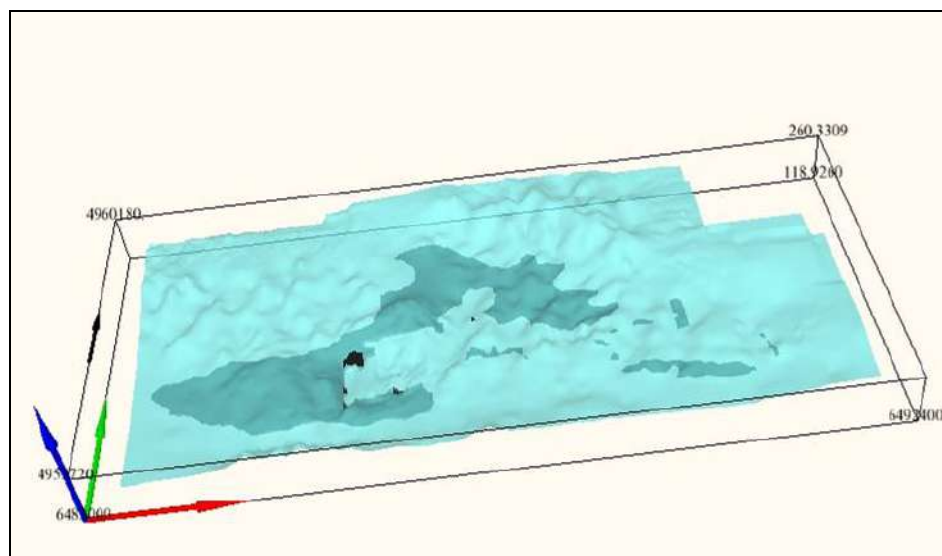
Slika 11. Određeni kodovi za paletu litoloških članova iz bušotina sa ležišta „Raškovac“

Fleksibilan i korisnički intuitivan, GDM omogućuje da se upravlja podacima bilo kog tipa: bušotine, profili, geološke i topografske osnove, rezultatima analiza, dijagramima, geološkim i strukturnim podacima, merenim, skeniranim, ili vektorskim podacima.



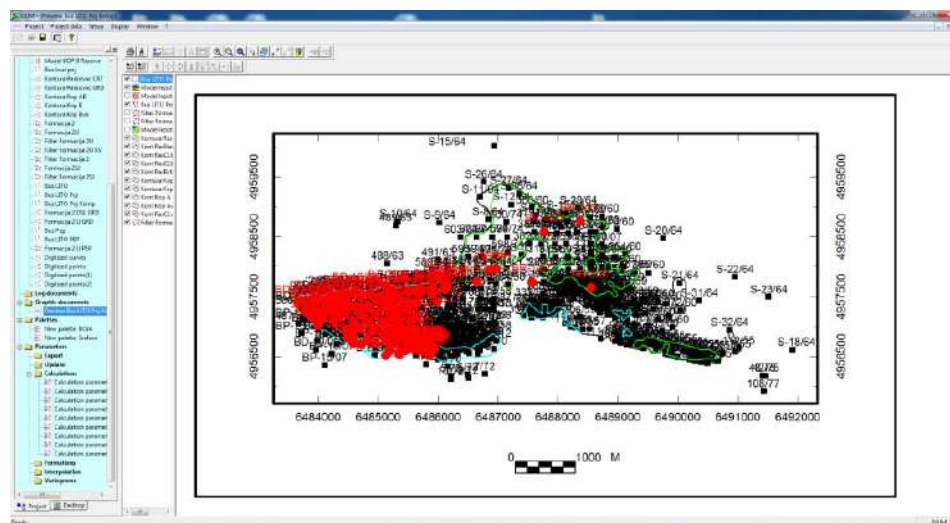
Slika 12. Crtanje profila bušotina na bazi unetih podataka

Na bazi unetih podataka program radi pouzdane analize i kvalitetnu grafičku dokumentaciju. Aplikativni softver je modularnog tipa i veoma otvoren, jer poseduje set drajvera za direktnu konekciju na baze podataka: Access, Oracle, Excel, dBase, Texte, neograničen broj unosa podataka (do 256 kolona), lokalnih geografskih koordinata, različitih jedinica. U „EFT-Rudnik i TE Stanari“, d.o.o. direktna konekcija se vrši sa bazom podataka iz Excel-a. GDM uzima u obzir rasede (mada oni moraju ručno da se koriguju), poligone granice, indikativne promenljive mrežu tačaka, ili blokova 2D, osam metoda interpolovanja, modeliranje ležišta u 3D.



Slika 13. 3D model ležišta Raškovac u GDM

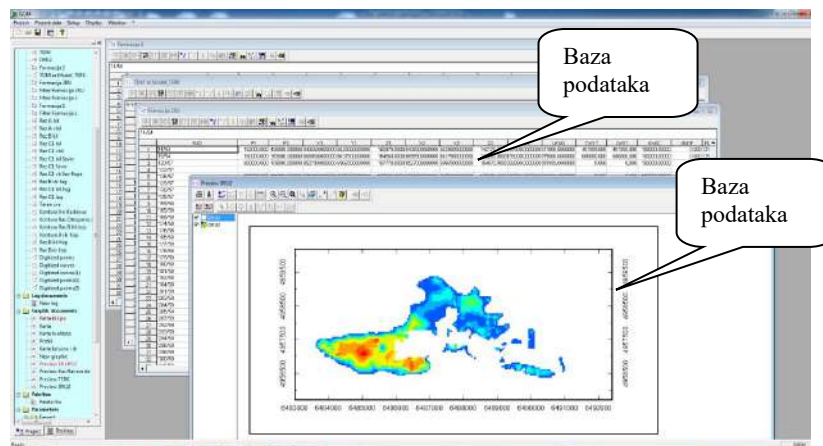
Na delu u kome nema drugih podataka osim podataka rukom crtanih geoloških profila, digitalizacijom istih, GDM vrši pretvaranje lokalnih u geografske koordinate i omogućava izradu geološkog modela realnih koordinata.



Slika 14. Model ležišta Raškovac u geografskom koordinatnom sistemu sa granicama ležišta i izbušenim bušotinama

### 3.1. Unošenje i ažuriranje podataka u baze GDM-a

U programu je omogućeno: brisanje, kopiranje, spajanje-lepljenje unetih podataka. Moguće je takođe vršiti traženje, zamenu i unošenje vrednosti koje se ponavljaju. Na ekranu može da se vrši digitalizacija tačaka, krivih, poligona 3D na planovima i profilima.



Slika 15. Model ležišta Raškovac sa bazom podataka iz bušotina

Od toga kako će model izgledati ne zavisi ni od baza podataka ni od softvera na kome se radi, makar on koštao i nekoliko desetina puta više od GDM-a. Sve zavisi od zahteva interpretacije i poznavanja, pre svega struke, a zatim i rada na datom softveru.

Od zahteva interpretacije direktno zavise kodovi koje samo interpretator poznavalac podataka može da definiše i isti nikada ne mogu biti unapred definisani, po nekom hronološkom redu, kako to neki rade, već samo na osnovu prekontrolisane pozicije litološkog člana u prostoru.

Samo od postavljenih zahteva i vizije interpretatora zavisi kako će model izgledati. Na modelu su prikazane mogućnosti jednostavnosti planiranja i praćenja eksploatacije, kako rude tako i jalovine, uz praćenje svih parametara sadržanih u modelu:

- količine po litoloskim članovima, sa istovremenim ažuriranjem grafičke dokumentacije,
- kvalitet rude prikazan različitim laboratorijskim parametrima, i izrade svih tipova karata definisanih na bazi podataka modela, i ograničenih parametrima debljina litoloških članova u modelu.

Profil koji predstavlja uobičajeni osnovni model ležišta ,koji skoro svako može da uradi i na osnovu kojeg se mogu sračunati osnovne mase i sveukupni kvalitet.

Hidrogeološki profil predstavlja jedan vid interpretacije kolektora i izolatora u kome su svi litološki članovi posmatrani kao sukcesivni prosljoci sedimentacije (možemo ih osmatrati i kao sočiva i tada bi interpretacija izgledala drugačije).

Izrada profila po klasama predstavlja moguću izradu modela kvaliteta uglja po klasama i po eksploatacionim etažama i podetažama. Na profilu mogu jasno da se vide granice kvaliteta klasa sa sračunatim srednjim vrednostima po klasama i to posebno za deo koji se nalazi u eksploatacionoj etaži, posebno (za istu klasu) u ostalim etažama, ili podetažama.

Uslovi za izradu ovakvih modela su:

- poznavanje podataka,
- poznavanje profesije,

- poznavanje potreba modela,
- poznavanja kompleksnosti lezista, geneze, tektonike itd.
- poznavanje funkcionisanja programa kako bi interpretator (geolog za geološki model, hidrogeolog za svoj model, geotehničar, ili odgovorni za praćenje kvaliteta za svoje modele) iz softvera izvršili izbor kodova za pojedine litološke članove, bez kojih se ne može napraviti kvalitetan model. To ni u kom slučaju ne mogu biti kodovi kartirajućeg geologa, jer isti ne definišu ni redosled ni pravo mesto u prostoru.

Nije dovoljno kupiti softver i poveriti ga informatičaru, jer isti ne poznaje geologiju. I obrnuto, poveriti softver geologu koji ne zna da radi na softveru, ili nema dovoljno iskustva u geološkoj interpretaciji podataka. Za dobar model je potrebna sinteza znanja iz oblasti informatike i geologije. To je osnovni problem.

Međutim, kada se jednom uradi kvalitetan model, rad na praćenju eksploatacije, količina, kvaliteta po litološkim članovima i ažuriranje grafičke dokumentacije (karte kvaliteta, debljina po definisanim blokovima i sl.), postaje lako, da to svako ko želi može lako savladati. Dovoljno je od novih podataka dostaviti samo novo stanje kopa u vidu tabele tacaka sa koordinatama X Y Z. Izrada geološke dokumentacije u ACAD-u za potrebe izrade modela (rudarskog- geološkog) nema niakvog smisla iz više razloga:

- posao je jako obiman, dugo traje i zbog toga je preskup;
- urađena dokumentacija je u najčešćim slučajevima relativno netačna, jer se spajanje litoloških članova vrši ručno, tako su projektovane bušotine uvek sa greškama;
- ne može se izvršiti interpolacija bilo kojih podataka, kvaliteta, debljina, podina, krovina itd;
- ne može se uraditi krigovanje,
- program ne radi sam ni pojedinačne profile bušotina, ni profile uopste; isti se moraju crtati, a to je kao da radite ručno.

Raditi geološku dokumentaciju u AutoCAD-u, a potom koristiti podatke za unos u neki rudarski softver kako bi se napravio model i u njemu izvršilo rudarsko projektovanje nema smisla.

Model urađen u GDM-u se lako eksportuje u bilo koji rudarski softver tipa Gemcoma, Minexa, Surpaka i sl. Rudarski projekat se može uneti u GDM preko koga se mnogo lakše mogu pratiti eksploatacioni parametri.

### **3.2. Upravljanje bazama podataka u GDM-u**

Da bi baza podataka bila dostupna svima, tj. da podatke mogu da koriste i drugi vrši se importovanje: XLS, DBF, MDB, CSV, DXF, Oracle, SQL-Server, a eksportovanje u Map Info (MIF), Autocad (DXF), Drawing files (BGN), Datamine databases (MDB), Esri Shapefiles (SHP), XML files (XML), Tekst files (CSV). Potrebno je definisati način i čuvanje modela da bi model mogao da se upotrebljava i ažurira baza podataka. Ažuriranje se vrši u određenim kolonama selekcijom. Na osnovu baze bušotina se vrši determinacija formacija i kompozita. Na osnovu projektovanih površina vrše se proračuni.



## ZAKLJUČAK

Informacione tehnologije u geologiji se primenjuju za projektovanje i modeliranje u cilju smanjivanja troškova izrade i vremena pripreme za eksploataciju, a povećanja produktivnosti. Uz pomoć računarskih programa, koji se zasnivaju na 3D grafičkom prikazu, omogućava se efikasno upravljanje procesima projektovanja istražnih radova, izrade profila bušotina i geoloških profila, različitih karata izolacija, proračun rezervi i drugih geoloških podataka.

Računarski programski paketi pružaju mogućnost određivanja i dobijanja podataka o mineralnim sirovinama. Grafički prikazi u računarskim programima su doprineli efikasnijem i kvalitetnijem pristupu planiranju, modeliranju i skraćivanju vremena obrade podataka.

GDM je jeftiniji od svakog rudarskog softvera čime se omogućava masovno-svakodnevno korišćenje. Kod nas u „EFT-Rudnik i TE Stanari“ d.o.o. se za sada koristi softverski paket GDM koji bi trebao da se nadograđuje-obnavlja. Očekuje se da će u narednim godinama primenu u rudniku naći još neki softverski paket, koji će olakšati i ubrzati rad geologa i rudara. Nakon završene obuke za rad u takvim programima, samim tim će se omogućiti efektivnije poslovanjenje i veća dobit.

## LITERATURA

- [1] 3D Engineering Design & Architecture CAD Software Solutions –BentleyProducts, <http://www.bentley.com/>
- [2] Autodesk 2D and 3D Design and Engineering Software, <http://usa.autodesk.com/>
- [3] Complete Mining Software Solutions, <http://www.minesight.com/>
- [4] Datamine Software Ltd., Software Mine Modeling, Other Software, [http://www.infomine.com/index/suppliers/Datamine\\_Software\\_Ltd.html](http://www.infomine.com/index/suppliers/Datamine_Software_Ltd.html)
- [5] Earth Science and GIS Software, <http://www.rockware.com/product/overview.php?id=164>
- [6] Exploring for Mineral Resources, <http://www.geosoft.com/products>
- [7] Simić, D. (2012.): Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi uglja u ležištu Raškovac kod Doboja, stanje na dan 31.05.2012., Jantar grupa, Bijeljina
- [8] GDM 5.1, (2004): Uputstvo za upotrebu, verzija 1.2
- [9] GDM 7, (2011): Uputstvo za upotrebu, verzija 1.3
- [10] GIS Best Practices, <http://www.esri.com/>
- [11] GIS Software that Gives You the Geographic advantage, <http://www.arcgis.com/home/>
- [12] Gold Mining Techniques, <http://www.mine-engineer.com/mining/mine3.htm>
- [13] InfoMine - Mining Intelligence and Technology, <http://www.infomine.com/>
- [14] Primijenjeni računalni programi, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, I.Galić, B. Farkaš, Zagreb, 2011.

- [15] Micromine, innovative software solutions and services to the mining,  
<http://www.micromine.com/products-downloads-1>
- [16] Mining Software Solutions,  
<http://www.gemcomsoftware.com/sites/default/files/products/>
- [17] The Geographic Advantage, GIS Solutions for Mining,  
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-sols-for-mining.pdf>

## Ležišta i pojave zeolita i tufova na prostoru Republike Srpske

EVICA DIVKOVIĆ-GOLIĆ, dipl. inž. geologije<sup>28</sup>  
LJUBOMIR GAJIĆ, dipl. inž. geologije<sup>1</sup>

### Sažetak

Intenzivno istraživanje zeolita u svijetu počelo je sredinom prošlog vijeka. Utvrđeno je da sadržaj zeolita u nekim sedimentnim stijenama vulkanskog porijekla iznosi i 90 % i da su zeoliti široko rasprostranjeni na cijeloj planeti. Istraživanje zeolita, kao nove nemetalične sirovine na prostoru Bosne i Hercegovine, počelo je tokom 1985. godine. Do tada su piroklastične stijene kod nas istraživane i korištene isključivo kao građevinski materijal. Istraživanja su obuhvatila područje Dubnice i Toljevića, a počela su prospekcijom terena i nastavljena istražnim bušenjem i izradom raskopa. Piroklastične stijene koje se nalaze u istočnom dijelu Republike Srpske nastale su kao produkt tercijarne vulkanske aktivnosti srebreničke oblasti i one su intermedijarnog, dacitsko-andezitskog porijekla. Ležište zeolitisanog tufa Novakovići je jedino istraženo ležište zeolitnog tufa u Republici Srpskoj. Rentgenskom difrakcijom na jednom uzorku bijelog zeolitnog tufa grubo je procjenjen sadržaj od 90 % klinoptilolita i oko 10 % šabazita. Tufitičnu seriju na ovom lokalitetu čine: svijetlosivi sitnozrnasti materijal, tufitična glina, bijeli tuf sa školjkastim prelomom i zeleni tuf sa tufitičnom glinom. Svi do sada istraživani lokaliteti sa ležištima i pojavama tufova interesantni su za dalja istraživanja, a vezano za zeolite. U Republici Srpskoj to su lokaliteti: Vukovići i Rajići kod Milića, Piplići kod Prnjavora, Kamenica kod Zvornika, Bastahovina i Viogor kod Srebrenice i Bikavac kod Višegrada.

KLJUČNE RIJEČI: zeoliti, zeolitizirani tuf, tuf, zeolitizacija, klinoptilolit, analcim

## Ore deposits and occurrences of tuffs in the territory of the Republic of Srpska

EVICA DIVKOVIĆ-GOLIĆ, dipl. inž. geologije<sup>1</sup>  
LJUBOMIR GAJIĆ, dipl. inž. geologije<sup>1</sup>

### Summary

Intensive explorations of zeolites had been started during the mid of the last century. It was determined that the content of some zeolite minerals, in some sedimentary rocks of volcanic origin reaches even 90% and that zeolites spread worldwide. The explorations of zeolites, as a new non-metallic mineral resource, in the territory of Bosnia and Herzegovina were performed for the first time in 1985. Heretofore, piroclastic rocks were explored and used only as a construction material. The first explorations covered areas of Dubnica and Toljevići. The explorations started with the terrain prospection and resumed with exploration drilling and exploration pits. Piroclastic rocks located in the eastern part of the Republic of Srpska had been created as the result of the Tertiary volcanic activities in Srebrenica area. Intermediate volcanic rocks are of andesite-dacite origin. Ore deposit of zeolitic tuff in Novakovići is the only one explored in the Republic of Srpska. By x-ray diffraction the content of 90% of clynoptilolite and 10% of chabasite were estimated roughly in one sample. Tuffitic rocks in this locality are represented by: light-gray fine grain material, tuffitic clay, white tuff with shelly fracture and green tuff with tuffitic clay. Each previously explored deposits and occurrences of tuff is interesting for resuming exploration regarding zeolite. In the territory of the Republic of Srpska the following localities are interesting: Vukovići and Rajići near Milića, Piplići near Prnjavora, Kamenice near Zvornika, Bastahovina and Viogor near Srebrenice and Bikavac near Višegra

KEY WORDS: zeolites, zeolitic tuff, tuff, zeolitization, clynoptilolit, analcyme

---

<sup>1</sup>Republički zavod za geološka istraživanja Republike Srpske, 75400 Zvornik, Vuka Karadžića 148b  
tel: +387 56 210 413, e-mail: geozavodrs@teol.net

## UVOD

Vulkanske stijene (piroklastiti) nastaju kada vulkanski materijal dospije u sedimentacionu sredinu ili ako se vulkanska aktivnost odigrava u vodenoj sredini, kada se sitni i prašinski materijal brzo hladi i povezuje nekim cementom iz vode. Vezani piroklastiti (vulkanska prašina i pepeo) su tufovi. Tufovi su kod nas istraživani i korišteni kao građevinski materijal. Jedan od dijagenetskih procesa u tufovima je proces zeolitizacije, kada se stvaraju zeolitski minerali. Istraživanje zeolita kao nove nemetalične sirovine, na prostoru Bosne i Hercegovine počelo je tokom 1985. godine, a u okviru srednjeročnog programa istraživanja mineralnih sirovina Istočne Bosne. Do tada su piroklastične stijene istraživane i korištene isključivo kao građevinski materijal.

Intenzivno istraživanje zeolita u svijetu počelo je sredinom prošlog vijeka, a bilo je povezano sa razvojem nuklearne industrije i potrebe za pronalaskom jonskih izmjenjivača za obradu voda kontaminiranih radionuklidima. Utvrđeno je da sadržaj zeolita u nekim sedimentnim stijenama vulkanskog porijekla iznosi i

90 % i da su zeoliti široko rasprostranjeni na cijeloj planeti. Zeoliti su složeni hidratizirani alumosilikati natrijuma, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma. U prirodi je pronađeno oko 50 zeolitskih minerala, a od toga samo šest se pojavljuje u znatnim količinama u sedimentnim naslagama i to su šabazit, klinoptilolit, mordenit, erionit, hojlandit i filipsit. Prvi prirodni zeolitski mineral, stilbit, otkrio je švedski mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt 1756. g. Dao mu je ime zeolit jer je mineral bubrio pri zagrijavanju (na grčkom lithos znači kamen a zeo kipjeti).

Piroklastične stijene rasprostranjene u istočnom dijelu Republike Srpske nastale su kao produkt tercijarne vulkanske aktivnosti srebreničke oblasti i one su intermedijarnog, dacitsko-andezitskog porijekla. Piroklastiti su se taložili u jezerskim bazenima gdje su kasnije bili zahvaćeni procesom dijageneze. Istraživanjima započetim 1985. godine obuhvaćeno je područje Vlasenice, tačnije područje Dubnice i Toljevića (po sadašnjoj administrativnoj podjeli to je područje opštine Milići). Istraživanja su počela prospekcijom terena, a kasnije je vršeno istražno bušenje i izrada raskopa (tokom 1986/87. godine). Ležište zeolitisanog tufa Novakovići kod Srednje Šnjegotine je jedino istraženo ležište zeolitskog tufa u Republici Srpskoj. Rentgenskom difrakcijom na jednom uzorku bijelog zeolitskog tufa grubo je procjenjen sadržaj od 90 % klinoptilolita i oko 10 % šabazita. Na Bikavcu i još nekoliko lokaliteta kod Višegrada, istraživanjima za branu hidroelektrane Višegrad i višegradsku banju, otkriveni su žični zeolitski minerali lomontit i analcim.

Svi do sada istraživani lokaliteti sa ležištima i pojavama tufova interesantni su za dalja istraživanja, a vezano za zeolite. U Republici Srpskoj ima više lokaliteta gdje je istraživan tuf. Na području Vukovića i Rajića u opštini Milići istraživan je tuf kao arhitektonski kamen. Veće mase tufova nalaze se u neogenu lješljansko-knežičkog i prnjavorskog basena. Ležište Piplići nalazi se u prnjavorskom basenu gdje se tufovi nalaze u sastavu slatkovodnih sedimenata burdigal-helveta i marinskih, sarmatskih naslaga. Područje Kamenice kod Zvornika istraživano je vezano za magmatizam i metalogenu ovog područja. Mikroskopski je ispitano 28 uzoraka vulkanskih stijena i pronađeni su i minerali zeolitske grupe. U okolini Srebrenice vršeno je regionalno istraživanje tufa koji se koristio kao građevinski materijal.

## 1. ZEOLITI I TUFOVI I NJIHOVA PRIMJENA

Tufovi su vezani piroklastiti. Sadrže preko 90 % piroklastičnog materijala, a nastaju cementacijom vulkanskog stakla, a ostali sastojci najčešće su montmorionit, kvarc, biotit i rjeđe epidot, hematit, amfiboli i pirokseni. Zavisno od čestica koje ih izgrađuju, razlikuju se: vitroklastični tuf, litoklastični tuf i kristaloklastični tuf. Tufovi se mogu koristiti kao građevinski kamen ili kao ukrasni kamen, u proizvodnji portland cementa, a koriste se i za prečišćavanje industrijskih i prehrambenih tečnosti. Jedna od dijagenetskih promjena tufova je i zeolitizacija, kada nastaju zeolitski minerali. U prirodi je pronađeno oko 50 zeolitskih minerala, a u sedimentnim naslagama najčešći su: šabazit, hojlandit, klinoptilolit, mordenit, filipsit, erionit, analcim. Zeoliti su složeni kristalni, hidratizirani alumosilikati natrijuma, kalijuma,

kalcijuma, magnezijuma. Strukturu zeolita čine trodimenzionalne mreže,  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  i  $[\text{AlO}_4]^{-5}$  tetraedara, spojenih atomima kiseonika, pa je odnos  $\text{O}/(\text{Al}+\text{Si})=2$ . Primarne strukturne jedinice  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  i  $[\text{AlO}_4]^{-5}$  tetraedara unutar strukture zeolita stvaraju dvodimenzionalne i trodimenzionalne sekundarne strukturne jedinice čijom kombinacijom nastaju trodimenzionalne prostorno mrežaste strukture karakteristične za zeolite. Razlika u strukturi zeolita u odnosu na ostale alumosilikate i druge kristalne materijala jeste u postojanju strukturnih šupljina međusobno povezanih kanalima određenog oblika i veličine. Šupljine i kanali u prirodnim zeolitima sadrže vodu, koja čini 10 — 25 % njihove mase. Zeolitska voda može se ukloniti zagrijavanjem zeolita na temperaturi od nekoliko stotina stepeni celzijusa. Klinoptilolit  $(\text{Na},\text{K})_6\text{Si}_{30}\text{Al}_6\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$  je najrasprostranjeniji prirodni zeolit nađen u sedimentnim stijenama vulkanskog porijekla. Ležišta klinoptilolitiziranih zeolita su interesantna jer su često prilično čista, sa 60-90 % klinoptilolita, a kao onečišćenja prisutne su gline i kvarc. Primjena zeolita u današnje vrijeme veoma je velika u: poljoprivredi, biohemiji, farmaceutskoj, nuklearnoj, tekstilnoj industriji itd. Koriste se u životinjskoj ishrani, kao gnojivo, kao građevinski materijal, kao sorbens mirisa, kao membrane i filteri za pročišćavanje voda gradskih i industrijskih otpadnih voda i za uklanjanje radionuklida iz voda nuklearnih postrojenja, kao katalizatori u nekim tehnološkim procesima. Zbog sposobnosti upijanja štetnih materija (teških metala i sl.) i zadržavanja istih zeoliti se nazivaju prirodna molekularna sita.

## 2. GENEZA PIROKLASTITA

Piroklastične stijene su grupa klastičnih sedimentnih stijena koje su nastale od materijala izbačenog vulkanskim erupcijama. Taloženje se obavlja bliže ili dalje od mjesta izbacivanja, što zavisi od veličine fragmenata i čestica, na kopnu ili u moru, sa izraženom slojevitošću i bez nje. Vulkanski materijal je različitog oblika i veličine, a najzastupljeniji je vulkanski pepeo koji, zbog malih dimenzija čestica, može biti transportovan daleko od mjesta postanka. Vulkanske breče nastaju od lave i zdrobljenog, nezaobljenog stijenskog materijala različitih dimenzija i uglavnom od materijala koji nije transportovan. Cementacijom vulkanskih bombi i lapila nastaje vulkanski konglomerat, a varijetet sa velikim blokovima je aglomerat i nastaje za vrijeme samih erupcija. Anklave su uklopci vulkanskih komada u većim masama magme. Tufovi su vezani piroklastiti, a nastali su cementovanjem vulkanskog pepela i prašine u vodenoj sredini i pod djelovanjem veziva iz vode. U njima je preko 90% vulkanskog materijala dok ostali dio čini sedimentni talog. Zavisno od veličine čestica i oblika čestica razlikuju se: vitroklastični tuf, u čijem su sastavu sitni smrvljeni komadići amornog vulkanskog stakla, litoklastični tuf, u čijem su sastavu sitni smrvljeni komadići stijena i kristaloklastični tuf, u čijem su sastavu sitni smrvljeni komadići različitih minerala. Jedna od dijagenetskih promjena tufova je i zeolitizacija kada se stvaraju zeolitski minerali.

Vulkanoklastiti rasprostranjeni u istočnom dijelu Republike Srpske nastali su magmatskim aktivnostima, od kraja oligocena i tokom miocena, kada su stvoreni intermedijarni subvulkaniti (dacitoandezitskog porijekla) i njihovi piroklastiti u podrinjskoj metalogenetskoj oblasti. Piroklastiti su u fazi dijagenoze alterisani. Mikroznasti matriks je zahvaćen hloritizacijom, ilitizacijom, limonitizacije, opacitizacijom, kalcitizacijom i zeolitizacijom. U ovom slučaju značajan je sekundarni proces zeolitizacije, jer od vrste i stepena alteracije zavisi da li se vulkanoklastiti mogu smatrati korisnom mineralnom (zeolitskom) sirovinom. Piroklastiti su ovdje najčešće predstavljeni tufovima i tufitima, a na nekim lokalitetima utvrđeno je da su zahvaćeni zeolitizacijom. Pojaljuju se u slojevima u kojima se zapaža ritmičnost što ukazuje na višefaznu vulkansku aktivnost, a leže preko paleozojskih klastita U vulkanogenom kompleksu Kamenice kod Zvornika piroklastične tvorevine, sa pojavama andezitsko-dacitskih tufova, vežu se za srebrenički magmatizam.

Nastanak Prnjavorskog bazena vezan je za tektonske pokrete koji su doveli do kidanja Dinarida i formiranja depresija, spuštanjem manjih i većih blokova duž uzdužnih i poprečnih rasjeda. Tako je nastao niz manjih i jedan veći jezerski bazen u kome je vršen neogeni ciklus sedimentacije. Neogeni sedimenti su najčešće rastresiti i dijagenetski slabije izmjenjeni. Pojave tufova kod Piplića, Vijačana i Šnjegotine vezuju se za najviše nivoe sedimentata slatkovodnog burdigal-helveta. Prema D. Stangačiloviću (1966) vulkanske erupcije na ovom području dešavale su se u jednom ciklusu, duž rasjednih zona na istočnom i zapadnom obodu serpentinskog masiva Ljubića. Efuzije su prethodile marinskoj transgesiji na šta

ukazuje položaj tufnog horizonta neposredno ispod tortona. D. Stangačilović (1966) i M. Eremija (1969) smatraju da su izlivi vulkanskog materijala bili nagli, a hlađenje i konsolidacija brzi jer je tuf formiran u plitkoj sredini sa intenzivnim pokretima vode i talasa. Tuf je ubrzo pokriven limničkim naslagama i zaštićen od prekonsolidacije. Kasnijim istraživanjima, na osnovu mjesta u stratigrafskom stubu, utvrđene su tri faze (tri ciklusa vulkanske aktivnosti) stvaranja piroklastita (tufova) na ovom prostoru: u toku burdigal-helveta, na granici helvet-torton i u tortonu.

### 3. ZEOLITI NA PROSTORU REPUBLIKE SRPSKE

Istraživanje zeolitonosnih vulkanoklastita na području BiH započeto je u periodu od 1985-1987. godine i to na području Dubnice i Toljevića kod Milića. Utvrđeno je da su pojedini dijelovi zelenih kristaloklastičnih tufova zahvaćeni alteracionim procesima zeolitizacije. Laboratorijskim analizama uzoraka piroklastita utvrđeno je prisustvo zeolitskih minerala analcima i klinoptilolita. Na početku istraživanja u području Dubnice istraženo je 6 pojava, a na 5 pojava su izvršena mineraloško-petrološka ispitivanja. Na lokalitetima: Megare, Rajići, Jerkovići nađeni su analcimizirani tufovi, a na lokalitetima Stanišići i Goli Brijeg nađen je klinoptilolit. Na lokalitetu Raskršće nađen je klinoptilolitizirani kristaloklastični tuf. U području Toljevića na lokalitetima Jezero, Kik, Trogir i Krčevina pronađen je kristaloklastični tuf, a na pojavi Kik nađeni su minimalni sadržaji klinoptilolita. U predjelu Jezera (Kandići, Dukići) na potezu oko 100 m nađeni su varijeteti pelitskih piroklastita sa značajnim sadržajem klinoptilolita. Istraživanje ovih lokaliteta nastavljeno je tokom 1986. godine kada je izvršeno detaljno kartiranje površine od 60 ha, u razmjeri 1:2.500 i geološko profilisanje (400 m) sa sistematskim oprobavanjem uzoraka koji se makroskopski međusobno razlikuju.

Nakon prvih dobijenih terensko-laboratorijskih analiza zeolitska pojava Raskršće-Francuskinja ocjenjena je kao perspektivna za dalja istraživanja. Petrološko-mineraloškim ispitivanjima utvrđeno je da su tufovi zahvaćeni procesom zeolitizacije i da kriptokristalasti matriks u većem broju preparata ima znatno učešće klinoptilolita. Klinoptilolitizirani alevritski tufovi, moćnosti 2 m, mogu se pratiti u profilu preko 50 m, a zatim dolazi druga mineralizovana zona analcimskih, psamitskih tufova. Slijedi zona sa klinoptilolitiziranim psamitskim, sivim i kompaktnim tufovima koji se na profilu mogu pratiti oko 60 m i čija je moćnost oko 5 m. Tekstura stijena sa ovog lokaliteta je masivna a struktura alevritska, rjeđe alevritsko-psamitska, psamitska, pelitska i kristaloklastična.

U nekoliko petropreparata sa lokaliteta Jezero-Dukići u psamitskim i alevritskim tufovima utvrđen je znatan stepen zeolitizacije jer je u mikroznastom matriksu utvrđeno dominantno učešće klinoptilolita. Klinoptilolit se pojavljuje sa kristaloklastima plagioklasa i kvarca, mjestimično kao preovlađujući sastojak. Na ovom lokalitetu klinoptilolit je utvrđen i u mikroprslinama u vidu sitnih kristalića što je omogućilo da on bude prvo dokazan u gotovo monomineralnoj zeolitskoj supstanci i da posluži kao etalon za ispitivanje prisustva ovog minerala na drugim lokalitetima.

Utvrđen je sadržaj zeolitske supstance od 50 % u stijenskoj masi. Na lokalitetu Kik usjekom puta otkrivene su piroklastične stijene koje se mogu pratiti oko 100 m, sa vidljivom moćnošću preko 2 m. Ispitivanjem je utvrđeno neznatno prisustvo klinoptilolita, kao fino dispergovane supstance u stijeni, a javlja se i kao pukotinski mineral. Tekstura kristaloklastičnog tufa je masivna, a struktura alevritska i psamitska. U sastavu zelenih tufova na lokalitetu Kostići, tačnije u mikroprslinama ovih tufova nađeni su sitni kristali klinoptilolita. Na lokalitetima Dubnica-Raskršće-Francuskinja i Kik-Jezero-Dukići izvršena su laboratorijska ispitivanja uzoraka tufova (tabele 1,2). U svim preparatima dominira matriks, mikroznast i kriptokristalast, nekad zeolitisan.

Tabela 1. Rezultati rentgensko-difrakcionih ispitivanja (vršena na separisanom materijalu), (Đorđević, 1987)

| Lokalitet   | Mineraloški sastav  |
|-------------|---|
| Raskršće    | Kvarc, klinoptilolit, plagioklas, analcim, ilit, motmorionit, muskovit, hlorit. |
| Goli Brijeg | Kvarc, plagioklas, muskovit, analcim.   |
| Jezero      | Plagioklas, kristobalit, klinoptilolit, ilit, montmorionit, kvarc.              |
| Kik         | Plagioklas, kvarc, kristobalit, ilit, montmorionit, muskovit, klinoptilolit.    |
| Toljevići   | Klinoptilolit, ilit, kristobalit.   |
| Strašnica   | Plagioklas, kvarc, ilit, kaolinit.  |
| Borovac     | Montmorionit, plagioklas, kvarc, ilit.  |

Tabela 2. Rezultati silikatno-hemijskih analiza, (Đorđević, 1987)

| Mjesto uzorkovanja | SiO <sub>2</sub> (%) | TiO <sub>2</sub> (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | FeO (%) | CaO (%) | MgO (%) | MnO (%) | Na <sub>2</sub> O (%) | K <sub>2</sub> O (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> (%) |
|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Raskršće           | 60,44                | 0,60                 | 2,99                               | 19,76                              | 0,19    | 4,67    | 0,28    | 0,00    | 2,33                  | 3,19                 | 0,12                              | 5,88                              |
| Strašnica          | 61,40                | 0,40                 | 0,89                               | 20,17                              | 0,22    | 5,69    | 0,22    | 0,11    | 2,38                  | 2,07                 | 0,06                              | 7,06                              |
| Jezero             | 63,36                | 0,40                 | 0,90                               | 17,01                              | 0,29    | 5,96    | 0,11    | 0,11    | 1,44                  | 2,86                 | 0,08                              | 7,99                              |

U nastavku istraživanja na lokalitetu Dubnica (Raskršće-Kremen) izbušeno je 7 istražnih bušotina dubine 10-30 m (ukupne dubine 151 m). Utvrđeno je nekoliko klinoptilolitiziranih tufnih-litoporitskih slojeva debljine 1-5,4 m. U 4 bušotine je, geološkim kartiranjem i laboratorijskim ispitivanjem, utvrđeno prisustvo zeolitskih minerala (klinoptilolit i analcim). Zeolit (klinoptilolit) se nalazi kao fino dispergovana mikrokristalasta supstanca u alevritskim (podređeno psamitskim) strukturnim varijetetima. Tokom bušenja uzimane su probe za mineraloško-rendgensko-difrakciona (tabela 3), silikatno-hemijska, spektrohemijska i optička proučavanja.

Tabela 3. Rezultati rentgensko-difrakcionih ispitivanja, (Đorđević, 1988)

| Bušotine sa mjestima uzorkovanja                            | Mineraloški sastav  |
|---|---|
| B – 1A<br>(0.03;1.6;2.1;4.4;5.8;6.3;7.0;3.8)                | Plagioklas, klinoptilolit, motmorionit, ilit, hlorit, kvarc, muskovit, kaolinit     |
| B – 1A (8.3;9.2;9.6)  | Klinoptilolit, plagioklas, kvarc, muskovit, ilit.                                   |
| B – 1 (1.3;2.7;3.5;5.5)                                     | Kvarc, klinoptilolit, plagioklas, ilit-muskovit.                                    |
| B – 1 (5.8;6.5-8.5;10.0)                                    | Plagioklas, muskovit, ilit-muskovit, klinoptilolit, kvarc, analcim, kaolinit(malo). |
| B – 2 (2.0; 3.3;3.7;4.5;6.5; 8.4; 13.5;15.5;15.8;18.4;24.3) | Kvarc, analcim, plagioklas, montmorionit, ilit-muskovit                             |
| B – 2 (10.6;26.8;28.0-29.0)                                 | Klinoptilolit, plagioklas, analcim, ilit-muskovit.                                  |
| B – 2 (25.0;21.1;22.325.0;29.5)                             | Plagioklas, klinoptilolit, kvarc, analcim, ilit-muskovit, montmorionit,             |
| B – 3<br>(5.9;7.9;8.0;10.2;14.6;17.8;20.5)                  | Plagioklas, kvarc, muskovit, klinoptilolit, ilit.                                   |
| B – 3 (12.8;13.5)   | Kvarc, plagioklas   |
| B – 4<br>(4.0-6.0;5.0;6.5;8.5;14.5;15.5;)                   | Plagioklas, kvarc, ilit-muskovit, klinoptilolit, analcim, ilit                      |
| B – 4 (12.5)  | Klinoptilolit, analcim, ilit-muskovit   |
| B – 4 (18.8)  | Kvarc, plagioklas   |
| B – 5 (7.5;10.4;13.5;15.7;18.7)                             | Plagioklas, analcim, kvarc, ilit-muskovit.  |
| B – 5 (9.9)   | Klinoptilolit, analcim, kvarc, ilit-muskovit  |
| B – 5 (21.4)  | Kvarc, plagioklas, analcim, montmorionit, ilit.                                     |

Silikatno-hemijske analize izvršene su na 5 uzoraka (tabela 4). Sadržaj silicijske komponente ( $\text{SiO}_2$ ) koji iznosi 57,00-69,28 %, ukazuje na intermedijarni karakter stijena. Utvrđeni sadržaj alkalija vezuje se uglavnom za pojavljivanje intermedijarnih plagioklasa, a dijelom i za zeolitske minerale. Sadržaj  $\text{K}_2\text{O}$  (1,47-4,50) vezuje se uz liskunovite minerale i klinoptilolit, a sadržaj Na-komponente (0,87-4,04 %) vezuje se za prisustvo analcima. Utvrđeni povećan sadržaj vezane vode ukazuje na prisustvo hidro-silikatnih minerala, uključujući i zeolite.

Rezultati silikatno-hemijskih analiza prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Rezultati silikatno-hemijskih analiza, (Đorđević, 1988)

| Mjesto uzorkovanja | $\text{SiO}_2$ (%) | $\text{TiO}_2$ (%) | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%) | $\text{Al}_2\text{O}_3$ (%) | $\text{FeO}$ (%) | $\text{CaO}$ (%) | $\text{MgO}$ (%) | $\text{MnO}$ (%) | $\text{Na}_2\text{O}$ (%) | $\text{K}_2\text{O}$ (%) | $\text{P}_2\text{O}_5$ (%) | $\text{H}_2\text{O}^+$ (%) |
|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| B-2 (3.7)          | 63,02              | 0,5                | 1,61                        | 19,07                       | 0,00             | 4,82             | 0,20             | 0,33             | 3,53                      | 4,50                     | 0,30                       | 2,25                       |
| B-1A (4.4)         | 57,00              | 0,5                | 3,13                        | 22,86                       | 0,00             | 7,02             | 0,00             | 0,11             | 3,11                      | 1,79                     | 0,05                       | 4,80                       |
| B-2 (25)           | 59,50              | 0,7                | 2,26                        | 19,37                       | 0,14             | 6,22             | 1,22             | 0,22             | 2,64                      | 1,48                     | 0,20                       | 6,48                       |
| B-2 (13.5)         | 64,38              | 0,7                | 2,26                        | 18,86                       | 0,00             | 1,69             | 0,00             | 0,10             | 4,04                      | 1,98                     | 0,10                       | 6,27                       |
| B-1A (1.6)         | 69,28              | 0,40               | 1,51                        | 14,66                       | 0,07             | 2,73             | 0,82             | 0,11             | 0,87                      | 1,47                     | 0,15                       | 8,10                       |

U sadržaju 20 uzoraka, spektrohemijskim analizama utvrđeno je prisustvo mikroelemenata: u svih 20 uzoraka utvrđeno je prisustvo bakra, barijum je nađen u 18 uzoraka, kobalt je nađen u 15 uzoraka, a u većini uzoraka nađeni su vanadijum, berilijum, stroncijum, hrom, mangan, olovo, nikal i cink. Prisustvo arsena nije utvrđeno, što je jako važno radi primjene zeolita. Nije utvrđeno prisustvo još nekoliko elemenata na koje je rađena analiza: srebro, antimon, volfram, kadmijum, bizmut, molibden, kalaj, cirkonijum, galijum i germanijum. Na 20 uzoraka piroklastita izvršeno je određivanje zapreminske mase i specifične težine. Zapreminska masa iznosi  $1,77 \text{ kg/m}^3$ , a specifična težina iznosi  $2,519 \text{ g/cm}^3$ . U vrijeme istraživanja (1985-1987. g.) zeolitske sirovine, kod nas nisu bili uspostavljeni standardi i uputstva o istraživanju, ispitivanju kvaliteta i mogućnosti primjene zeolita.

Istraživanja zeolitisanog tufa na lokalitetu Novakovići kod S. Šnjegotine vršena su od 1995-2005. godine. Na ovom lokalitetu utvrđene su značajne količine bijelog i zelenog zeolitisanog tufa. Sedimenti burdigal-helveta deponovani su u manjim, zatvorenim bazenima. Prema V. Malbašić i dr. (2011) geološki stub čine sljedeći članovi: transgresivno preko T,J roznaca zaliježu gruboklastične tvorevine, preko njih dolazi paket laporaca sa mrkim ugljem, a zatim prvi sloj amorfno tufa (2 m). Preko tufa dolaze gline i bentonitske gline, a konkordantno na glini je paket od tri sloja tufa: amorfni tufovi i slojevi bijelog i zelenog tufa. Krovinu tufovima čini serija glinovitih tufova, gdje se u visokoj krovini javlja još nekoliko tankih slojeva tufa. Procjena je da se izdanci tufova protežu na dužini od 9 km. Mineraloškim ispitivanjima utvrđeno je prisustvo zeolitskih minerala. Rentgensko-difrakcionim ispitivanjem utvrđeno je da uzorak zelenog zeolitisanog tufa sadrži 50% klinoptilolita, oko 30% kalcita i ostatak je uglavnom kvarc. Uzorak bijelog zeolitisanog tufa po gruboj procjeni sadržavao je 90% klinoptilolita i oko 10% šabazita.

Istraživanjem za potrebe višegradske banje kao i istraživanjem pri gradnji brane za hidrocentralu Višegrad, informativno je pregledano šire područje Višegrada. Tada su na Bikavcu i na desetak drugih lokaliteta otkriveni zeolitski minerali: lomontit i analcim. Debljina ovih žičnih mineralnih parageneza iz bazičnih stijena – dijabaza kreće se i do nekoliko cm (Đorđević & Stojanović, 1974).

#### 4. TUFOVI NA PROSTORU REPUBLIKE SRPSKE

Piroklastiti su na našem prostoru uglavnom istraživani radi primjene kao tehnički građevinski kamen.

Na području Kamenice kod Zvornika na velikom prostoru su zastupljeni piroklastiti dacito-andezita: andezitski tufovi, tufiti i aglomerati. Ovo područje je istraživano 1966. godine za potrebe izrade Studije magmatizma i metalogenije područja Drinjače i Kamenice kod Zvornika. Napravljeni su profili, uzeti uzorci i izvršena je makroskopska i mikroskopska odredba minerala. Dacitsko-andezitski tufovi sa uklopcima



krupnijeg vulkanskog materijala zauzimaju površinu od oko 18 km<sup>2</sup> na području: Velje Glave, Đafinog Kamena, Velike Njive, Kamenice, Glodi, Dugog Dela i Miljanovića. Po svom petrografskom sastavu piroklastiti Kamenice odgovaraju srednjoj fazi vulkanske aktivnosti, što odgovara najintenzivnijem stadijumu. Piroklastični materijal se odlikuje vrlo heterogenim granulometrijskim sastavom. Vrlo sitan vulkanski pepeo-tuf najčešće je izmješšan sa krupnijim vulkanskim materijalom (lapili, vulkanske bombe i blokovi) čije se dimenzije kreću od milimetarskih pa do (rijetko) metarskih. Krupni komadi ukazuju na blizinu starih vulkanskih kratera, a povećanjem razdaljine od njih povećava se učešće najsitnije frakcije-tufa. Mogu se naći i slijepljeni komadi starijeg tufa uklopljeni u mlađem tufu. Na lokalitetu u Jaseniću nađene su partije jako izmjenjenog tufa koji je sivo-zelen, ima specifičan habitus, pa po izgledu podsjeća na glinovite pješčare i koji je vjerovatno pretrpio hidrotermalne promjene. U tufu su rijetki krupniji odlomci vulkanske stijene. Najsitnije frakcije sadrže i neizmjenjeni tufovi kod sela Glodi. Na području Novog Sela otkriveni su slojevi tufita bijele boje i izrazito male zapreminske težine. Podinski dijelovi ovih naslaga imaju više sivo-zelenu boju, veću zapreminsku težinu i slabije izraženu slojevitost. Materijal je jako sitnozrn, a pored vulkanogenog ima i znatan procenat terigenog materijala. Ovaj tufit je uglavnom izgrađen od intermedijarnog plagioklasa. Mikroskopska ispitivanja, izvršena pretežno na uklopcima i manje na cementovanim tufovima, pokazala su da se radi o stijenama porfirske strukture sa hipokristalstom do hijalinskom (staklastom) osnovnom masom. Ovo istraživanje nije se odnosilo na zeolite, a i samo ispitivanje tufita nije bilo detaljno.

U 2000. godini ispitan je hemijski sastav na 4 uzorka uzeta u raznim dijelovima piroklastičnog kompleksa Kamenice, a predstavljaju krupnije uklopke u tufnom materijalu (tabele 5,6). Analiza je vršena s ciljem primjene ove sirovine u proizvodnji portland cementa (kao dodatak krečnjaku ili laporcu).

Tabela 5. Hemijski sadržaj žućkastog tufa sa lokaliteta „Novo selo-Čumori“ je sljedeći:

| Komponenta  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | S    | CaO  | MgO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | G.Ž.  |
|-------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------|
| Sadržaj (%) | 61.08            | 13.17                          | 3.84                           | 0.39 | 2.72 | 1.25 | 0.07             | 0.072             | 0.76             | 16,13 |

Tabela 6. Hemijski sadržaj zelenkastog tufa sa lokaliteta „Glođansko brdo“ je sljedeći:

| Komponenta  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | S    | CaO  | MgO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | G.Ž.  |
|-------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------|
| Sadržaj (%) | 53.88            | 18.04                          | 5.77                           | 0.48 | 0.86 | 3.00 | 0.23             | 0.28              | 4.97             | 12.38 |

U neogenu lješljansko-knežićkog i prnjavorskog basena utvrđeno je rasprostranjenje tufova. U prnjavorskom basenu, tufovi su otkriveni u sastavu slatkovodnih sedimenata burdigal-helvet i marinskih, tortonskih i sarmatskih naslaga na lokalitetima: Piplići, Mravići, Rudonjići, Tanasići, Tubakovo brdo i Raljevac. U ležištu Piplići kod Prnjavora slojevi tufa su interstratifikovani u višim, završnim, dijelovima slatkovodne serije (burdigal-helvet (M<sub>1</sub><sup>2</sup> M<sub>2</sub><sup>2</sup>)). Tokom 1968. godine ležište je istraživano raskopima i bušotinama. Istraženi dio ležišta bio je, u razdoblju 1946-1966. godine, povremeno eksploatisan u malom obimu. Prosječna debljina jedinog sloja tufa u ležištu je oko 10 m. Izdanci tufa mogu se pratiti, sa manjim prekidima, na dužini od oko 300 m. Prosječne vrijednosti zapreminske i specifične težine korisne supstance iznose 1,36 g/cm<sup>3</sup> i 2,52 g/cm<sup>3</sup>.

Sedamdesetih godina prošlog vijeka vršena su regionalna geološka istraživanja tufova u području Srebrenice. Andezitski tufovi su nađeni na području Viogora, Bastahovine i Borkovića. Cijelo područje je najvećim dijelom izgrađeno od tercijarnih vulkanita (tufovi, andeziti i daciti). Andezitski tufovi su najzastupljeniji, a javljaju se kao pepeli i aglomerati (vulkanske bombe i tufne breče). Boja im je najčešće sivo-pepeljasta, rjeđe crvenkasta i zelena. Laki su i upijaju vlagu. Imaju alevrolitsku strukturu. Izgrađeni su od staklaste osnove i kriptokristalastih silicijskih minerala kao dominirajućih sastojaka. U osnovu su uložene sitne ljuspice biotita a rjeđe zrna plagioklasa. Od akcesornih minerala prisutne su sitne prizme cirkona. Konture ležišta Viogor mogu se pratiti, uz neznatne prekide, u dužini od 2 km, a prostor je istraživan

raskopima. Tuf iz majdana površine 50x30x3 m korišten je za gradnju kuća. Ovaj tuf je sivo-pepeljaste do sivo-zelene boje. Na području sela Bastahovina izdvojena je veća masa andezitskog tufa. Tuf je brečolik, a boja mu je sivo-pepeljasta do sivo-zelena. Ležište tufa Borkovići erozijom je otkriveno na površini od oko 200x300 m. U usjecima Borkovičkog i Čumavičkog potoka procijenjena moćnost tufova iznosa 70-80 m. Kod tufova u Borkovićima mjestimično je vidljiva stratifikacija (tečenje lave). Vršena su petrografska ispitivanja na 4 uzorka uzeta sa izdanaka tercijarnih vulkanita (dacita i tufova) i na uzorku tufa u staklastoj osnovi utvrđeni su fragmenti lamelarno građenog plagioklasa kao i zrna kvarca i ortopiroksena. Biotit se javlja u pločastim formama i pokazuje izražen polihromizam.

Na području opštine Milići istraživani su zeleni tufovi na više lokaliteta, a oni su i eksploatisani i korišteni za građenje objekata. Ova istraživanja vršena su nezavisno od istraživanja zeolita koje je vršeno od 1985-1987. godine, a obuhvatala su isto područje: najjužnija je zona u području Vukovića, pa dalje ka sjeveru do Rajića i Jovića, ka zapadu do D.Zalukovika i Majdana, a na istok do Dubnice. Utvrđeno je da su zone zelenih tufova i tufobreča često heterogene. Čvrsti zeleni tufovi su sitnozrni a nekad prelaze u breče različite granulacije. Unutar njih dolaze i mekši, trošniji tufovi, pretežno zeleni, sitnozrni i srednjezrni, i bijeli vrlo sitnozrni. Pojedini homogeni dijelovi čvrstih tufova debeli su i preko 18 m. U petrografskom sastavu tufova i tufobreča učestvuju pretežno piroklastični minerali i stijenski detritus vulkanskog porijekla i manje klastični detritus sedimentnog porijekla koji je zastupljeniji u brečama. Lokalitet Vukovići istraživan je raskopima i bušotinama. Bušenjem je utvrđena tufitna zona dužine 600 m koja u pravcu sjevera nije ograničena (Živaljević, 1975). Debljina zone je preko 50 m, a izgrađena je od zelenih sitnozrnih do krupnozrnih tufova neujednačene tvrdoće, unutar koje se nalaze tanji slojevi tufobreča.

U 1987. godini istraživani su tufovi na području D. Zalukovik-Rajići-Vukovići, a radi primjene tufa kao arhitektonskog kamena. Nakon ovih istraživanja utvrđeno je da je ovaj lokalitet potencijalan za dalja istraživanja. Detaljnije su istraživane zone tufova i tufobreča u području Rajići (Megare). Debljina tufitne zone se kreće od 20 do preko 100 m. Tufovi dolaze u vidu ploča debljine do 5 cm, slojeva debljine do 60 cm i banaka do 2 m, a dalje prelaze u masivne. Prisutni su i proslojci listastih tufova debljine ispod 5 mm.

## 5. ZAKLJUČAK

Vulkanoklastične stijene su rasprostranjene na nekoliko područja u Republici Srpskoj. Istraživanje zeolita na prostoru Bosne i Hercegovine počelo je 1985. godine. Do tada su vulkanoklastične stijene (tufovi i tufiti) kod nas istraživane i korištene isključivo kao građevinski materijal. Istraživanje zeolita na prostoru Republici Srpskoj do sada je vršeno u području Milića (Dubnica i Toljevići), a u Novakovićima kod Srednje Šnjegotine vršeno je detaljno istraživanje zelenih i bijelih zeolitonosnih tufova. Svi do sada istraživani lokaliteti sa ležištima i pojavama tufova interesantni su za dalja istraživanja vezano za zeolite. U Republici Srpskoj ima više lokaliteta gdje je istraživan tuf. U području Kamenice kod Zvornika (lokaliteti: Velja Glava, Đafin Kamen, Velike Njive, Kamenica, Glođi, Dugi Deo, Miljanovići) na velikom prostoru su zastupljeni dacitsko-andezitski piroklastiti: andezitski tufovi, tufiti i aglomerati. Ležište tufa Piplići kod Prnjavora detaljno je istraženo, a poslije II svjetskog rata ovdje je povremeno vršena eksploataciji veoma skromnog obima. Andezitski tufovi su rasprostranjeni na području Viogora, Bastahovine i Borkovića. Na području opštine Milići, na više lokaliteta istraživani su, a mjestimično i eksploatisani, zeleni tufovi, koji su korišteni za gradnju objekata. Ovdje su istraživanja tufova vršena nezavisno od istraživanja zeolita, a obuhvatala su isto područje. Na Bikavcu i na još desetak lokaliteta kod Višegrada nađeni su zeolitski minerali lomontit i analcim. S obzirom na veliku upotrebljivost zeolita, vulkanoklastične stijene na prostoru Republike Srpske su interesantne za detaljna geološka istraživanja.

Literatura:

Panić, B. idr. (1966): Studija magmatizma i metalogenije područja Drinjače i Kamenice kod Zvornika; Rudarski fakultet u Tuzli.

Eremija, M. (1969): Neogen između Motajice i Ljubića (prnjavorski basen), Geološki glasnik br. 13; Geološki zavod u Sarajevu, Sarajevo

Đorđević, D. (1976): Rezultati ispitivanja žičnih zeolita-analcima i limontita sa područja Višegrada (istočna Bosna), Glasnik prirodnjačkog muzeja, Beograd.

Reljić, D. (1977): Konačni elaborat o radovima na regionalnom geološkom istraživanju ukrasnog kamena i tufa u okolini Srebrenice izvršenim tokom 1976. godine; Geoinženjering, Institut za geologiju – Ilidža, Sarajevo.

Đorđević, D. (1985,1986,1988): Izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima prirodnih zeolita u području Vlasenice za (1985, 1986, 1987) godinu; Geoinstitut-Ilidža, Sarajevo.

Malbašić, V. idr. (2011): Dosadašnji rezultati istraživanja ležišta zeolitisanog tufa „Novakovići“, Zbornik radova Zeoliti Republike Srpske i njihova upotreba u ishrani i poljoprivredi; Prijedor

Grupa autora, Republički zavod za geološka istraživanja (2011): Mineralne sirovine Republike Srpske, Zvornik.

## Geološke i kvalitativno-kvantitativne karakteristike uglja ležišta „Dimnjače“, Općina Gornji Vakuf-Uskoplje

Dž. FORČAKOVIĆ<sup>1</sup>, M. OPERTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dževad Forčaković, dipl. inž. geol.  
JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo  
ZD Rudnik lignita „Gračanica“, Gornji Vakuf  
dzevad7@live.com

<sup>2</sup> Dr. sc. Mevlida Operta, vanredni profesor  
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
opertamevlida@yahoo.com

### Sažetak

U ovom radu je obrađena geološka građa ležišta uglja „Dimnjače“, te kvalitativno-kvantitativne karakteristike bilansnih rezervi uglja, na bazi do sada interpretiranih podataka.

Rezultati imedijatnih analiza poslužili su kao baza za proračun srednjeg kvaliteta čistog oprobano g uglja. Metodom ponderisane sredine, srednji sadržaj kvaliteta određen je prema uticaju odgovarajućih debljina, rastojanja, površine.

Podaci imedijatnih analiza preuzeti su iz originalnih atesta hemijske laboratorije. Ponderisanjem pomoću debljina izvršen je proračun kvaliteta uglja na svakoj bušotini.

Ovi podaci se razlikuju od podataka dobijenih analizama uglja iz bušotina, jer su uzorci iz proizvodnje onečišćeni jalovinom koja umanjuje toplotnu vrijednost za oko 500-1000 kJ/kg, a radi se uglavnom o industrijskom uglju, odnosno o sitnim frakcijama.

Nakon izračunavanja kvaliteta uglja po bušotinama izračunat je ponder kvaliteta pojedinačno za bilansne rezerve A, B i C<sub>1</sub> kategorije prema ustaljenim formulama i to za svaki obračunski blok pojedinačno, te ukupno za određenu kategoriju rezervi i na kraju ukupno za ležište. Osnovna metoda za proračun rezervi uglja na ležištu „Dimnjače“ je metoda paralelnih profila, dok je kontrolna metoda blokova. Za donju eksploatacionu granicu uzeta je debljina ugljenog sloja od 1,0 m, ali obzirom da se ugljeni sloj sastoji iz više dijelova ili grana proračun rezervi uglja vršen je za debljine veće od 0,5 m.

**Ključne riječi:** ležište uglja „Dimnjače“, geološka građa, kvalitativno-kvantitativne karakteristike rezervi uglja, debljina ugljenog sloja.

### Abstract

In this work is farm geological structure deposits of coals „Dimnjače“, and qualitatively and quantitatives characteristics bilancs reserves of coals, based heretofore interpreted concentrator.

Results technicals analisis serves are as base for accounting averagees quality clear approveds of coals. Method weighted means, average contents quality assigned is accordin affect adequates fat, spaces, areas. Data technicals analisis accept are because of originals attestest chemical laboratory. Weightedes by fat accomplished is for accounting quality of coals a every bores.

These data fun varies away concentrator acquiredes analyses of coals because of bores, as data samples because of production contaminantes waste-rockes which reduce calorifics alue for about 500-1000 kJ/kg, and does had chiefly about industrials of coals, apropos about chores fractions.

After calculate quality of coals according boreholes calculated is weighted quality individually for bilanc reserves A, B i C<sub>1</sub> categories accordin stable formulaes and it after all billing bank individually, and altogether after assignedes categories reserves and a area altogether after deposit.

Base method after accounting reserves of coals a deposits "Dimnjače" is method paralleles prophyls, as is control method blocks.

After bottomes exploitationes boundary considers is fat of coal layer away 1,0 m, but regard ay does coala layer consisting because of above parts or arm accounting reserves of coals accomplished is after fates bigger away 0,5 m.

**Key words:** deposits of coals "Dimnjače", geological structure, qualitatively and quantitatives characteristics reserves of coals, fat of coal layer.

## 1.0. Uvod

Rudnik uglja lignita "Gračanica" nalazi se u jugoistočnom dijelu bugojanskog neogenog ugljonosnog basena, na desnoj obali Vrbasa, između Gornjeg Vakufa i Bugojna, na padinama Radovan planine, na prostoru sela Rosulje.

Po podacima rudnika od 1939. godine zaključno sa 01.03. 1977. godine izvađeno je 1 364 120 tona uglja podzemnim putem. Godine 1977. prestaje se sa jamskom eksploatacijom i prelazi na površinsko otkopavanje južno od sela Zanesovići. Ukupno od 1939. do 31.12.2010. godine otkopano je 12 035 550 tona uglja.

Na ležištu "Dimnjače" razvijen je samo jedan ugljeni sloj (glavni), a pripada složenom ugljenom sloju složene strukture, nehomogen je, te sadrži deblje ili tanje jalove proslojke i sočiva neorganske komponente: gline, ugljevite gline, ugljeviti laporci, šareni laporci /žučkasti, žuto-sivi i sivi/, preko 25 % jalovine, dužine je oko 2000 metara, a širine oko 800 metara. Stvaran je gornjem miocenu u uslovima neravnomjerne akumulacije biljnog materijala, pa stoga i ima promjenljivu debljinu i kvalitativne karakteristike.

Istražnim radovima (bušenje, detaljni geološki profili, instrumentalna geološka karta 1:1000, strukturalna karta za povlatu i debljinu produktivnog sloja otvorenim etažama i urađenim planom ležišta), utvrđeno je da se produktivni ugljeni sloj (bilansne rezerve uglja) rasprostire na površini od 416 420 m<sup>2</sup>. Na bazi do sada interpretiranih podataka, ukupna vlaga u ovim ugljevima se kreće oko 35,20%, a donja toplotna vrijednost 11 215 kJ/kg, što odgovara tipu lignita.

Na području ležišta Gračanica, lignitni sloj predstavlja, u ekonomskom smislu, najvažniji član gornjomiocenskih sedimenata. Na površini je registrovan jedino na PK "Dimnjače", dok je na ostalim dijelovima ležišta prekriven povlatnim krečnjacima, fluvijoglacijalnim ili kvartarnim naslagama.

Utvrđeno je da prosječna debljina čistog uglja na okonturenoj površini (površina koja je ušla u obračun) iznosi 14,06 m.

## 2.0. Geološka građa ležišta

Za interpretaciju geologije ležišta "Dimnjače" korištena je detaljna geološka karta 1:1000 koja je urađena na osnovu površinskog osmatranja i podataka istražnog bušenja, a inovirana je koncem 2010. godine.

Posebna pažnja prilikom izrade ove karte posvećena je odnosima (geološkim granicama) produktivne neogene serije sa okolnim obodnim dijelovima terena.



Sl.1. Snimak jugozapadnog krila sinklinale (raslojavanje i istanjivanje ugljenog sloja ka zapadnoj izdanačkoj zoni)

Znatna otkrivenost terena ležišta "Dimnjače", veliki broj izdanaka i profili geoloških bušotina poslužili su kao eliminatorij za interpretaciju geološke građe u ležištu.

U geološkoj građi terena užeg područja ležišta uglja "Dimnjače" učestvuju anizički sedimenti koji čine i podinu produktivnom neogenu i dio oboda (istočni i sjeveroistočni dio ležišta), a zatim sedimenti gornjeg miocena, pliocen-kvartara, te kvartara.

Za interpretaciju geologije šireg i užeg područja ležišta od velikog značaja su bili podaci brojnih i raznovrsnih analiza laboratorijskih ispitivanja kao: mineraloško-petrografske, paleontološke, polinološke, rudno-mikroskopske i hemijske iz ranijih godina.

### **Anizik (T<sub>2</sub><sup>1</sup>)**

Tvorevine anizičke starosti su izdvojene na istočnoj i sjeveroistočnoj strani ležišta i čine obod ležišta. Manji dio sedimenata anizika izdvojen je kod Krstova i najvjerovatnije je da je predstavljao manje ostrvo (za vrijeme taloženja neogenih sedimenata).

Sedimenti anizika su predstavljeni dolomitima i dolomitičnim krečnjacima i čine neposrednu podinu (osnovno gorje) miocenskim sedimentima. Petrografskim analizama ove stijene su identifikovane kao dolomiti, dolomitični krečnjaci i prekristalisali krečnjaci.

## Gornji miocen ( $M_3$ )

U odnosu na generalni stub neogenog ugljonošnog basena, stub neogenih sedimenata na području ležišta "Dimnjače" je reduciran. Naime, u ovom dijelu basena nedostaje bazalna zona ( $^1M_3$ ), drugi podinski ugljeni sloj ( $^2M_3$  II,P), zona glina, glinovitih pješčara i lapora ( $^3M_3$ ) kao i prvi podinski ugljeni sloj ( $^4M_3$  I,P).

Redukcija neogenih sedimenata je najvjerovatnije posljedica paleoreljefa, što bi značilo da je teren na prostoru na kome se nalazi ležište "Dimnjače" bio izdignut i da nije bio zajezeren sve do ( $^5M_3$ ). Ugljonošnu neogenu seriju u području ležišta "Dimnjače" čine sljedeći litološki članovi: podina ugljenog sloja ( $^5M_3$ ), ugljeni sloj ( $^6M_3$ ) i povlata ugljenog sloja ( $^7M_3$ ).

## Podina ugljenog sloja ( $^5M_3$ )

Naslage koje čine podinu ugljenog sloja leže neposredno na osnovnom gorju ( $T_2^1$ ) i predstavljaju bazalnu zonu ugljenog sloja. Podinske naslage su izgrađene gotovo isključivo od glinovito-laporovitih sedimenata, vrlo rijetko interkalisani tanjim prosljocima (0,2-1,0 m) pješčara i slabo vezanih pješčara.

Neposredno na osnovnom gorju su gotovo uvijek žute gline sa fragmentima krečnjaka, dolomitičnih krečnjaka ili dolomitskog grusa. Odlomci su uvijek slabo zaobljeni do uglasti.

Polutrošni lapori i više očvrslili laporci su u vertikalnom presjeku dosta jednolični sa manje ili više izraženom stratifikacijom.

Bližu ili neposrednu podinu ugljenom sloju uvijek čine gline, laporovite gline ili glinoviti lapori sa karakterističnom lateralnom i vertikalnom izmjenjivošću, gotovo uvijek zeleno-sive boje.

Ovaj stratigrafski član je na površini konstatovan kod Krstova i predstavljen je glinama sa slabo zaobljenim odlomcima dolomita. Leži diskordantno na sivim i svijetlosivim dolomitima ( $T_2^1$ ).

## Ugljeni sloj ( $^6M_3$ )

U litostratigrafskom stubu neogenih sedimenata ležišta "Dimnjače" razvijen je samo jedan ugljeni sloj. Na osnovu korelacije sa ostalim dijelovima u basenu identifikovan je kao glavni ugljeni sloj ( $^6M_3$ ). Razvijen je u okviru plitke sinklinale sa nešto strmije položenim sjeveroistočnim krilom. Zapadni dio ovoga ugljenog sloja je erodovala rijeka Vrbas, te je na tome dijelu ostatak ugljenog sloja prekriven aluvijalnim materijalom. U istočnom i sjeveroistočnom dijelu oko Krstova ugljeni sloj naliježe na obodne dolomitične krečnjake i isklinjava.

Na strukturnoj karti povlate ugljenog sloja 1:1000 utvrđeno je da razlika između najniže (582 m) i najviše (667 m) izohipse iznosi 85 m. Na najvisočijem dijelu ležišta sloj ima vrlo blago zalijeganje (0-5°) sa izuzetkom jugoistočnog dijela gdje je padni ugao sloja 32°.

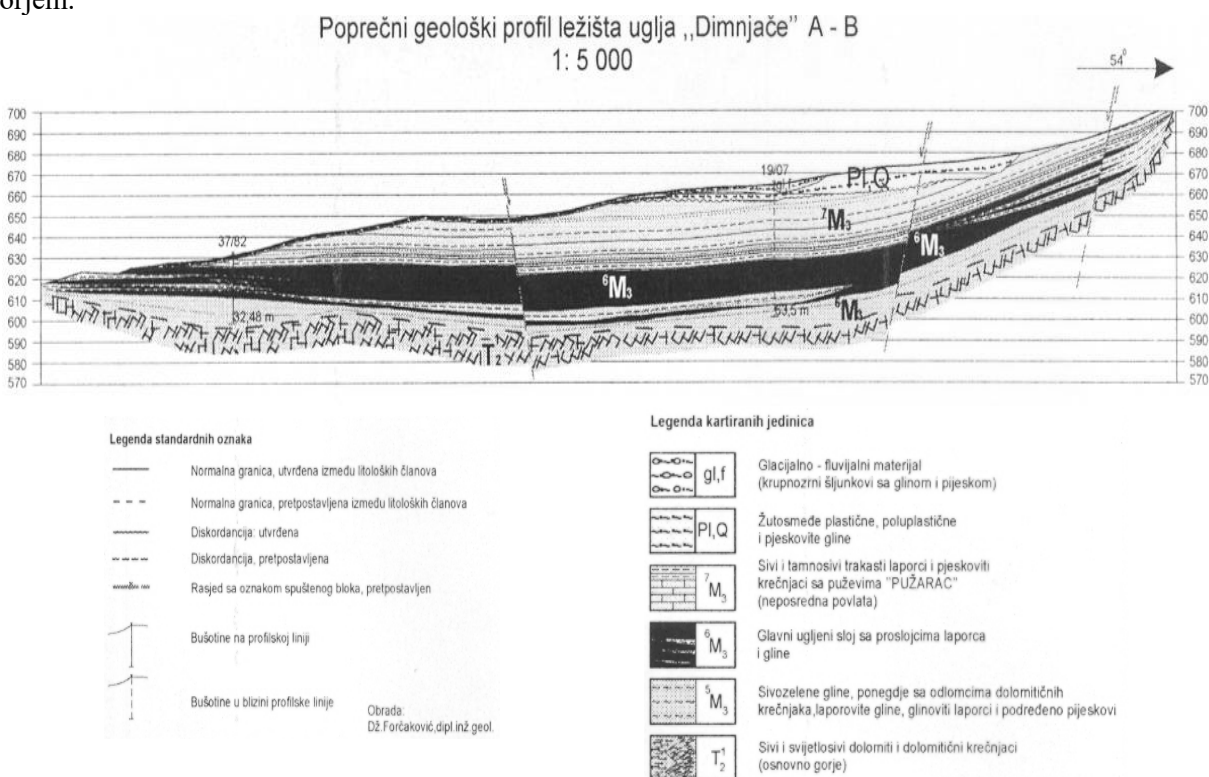
Debljina ugljenog sloja varira od 2 do 45,9 m. Smanjenje debljine ugljenog sloja je vezano za povećanje procentualnog učešća jalovine i obratno. Jalovi prosljoci su relativno česti u ugljenom sloju, što ima za posljedicu da se od prosječne debljine rovnog uglja u sloju od 16,16 m smanji na 14,06 čistog uglja. Jalovi prosljoci u uglju utvrđeni su približno cca 4,0

m. Prema podacima istraženih bušotina izbušenih na tretiranom ležištu srednja debljina ugljenog sloja iznosi 19,5 m od čega na čisti ugalj otpada 75 %, a na jalovinu unutar ugljenog sloja 25 %. Kao proslojci u uglju javljaju se gline, ugljevite gline, ugljeviti laporci i šareni laporci (žučkasti, žutosivi i sivi). Čistoća ugljenog sloja često varira. U istočnom dijelu, a što se pokazalo tokom eksploatacije tokom 2010. godine na području bušotina 1/09, 110/87 i 4/09, ugljeni sloj je čišći sa manje proslojaka jalovine, dok je u središnjem dijelu ležišta povećano učešće jalovine, najčešće u vidu proslojaka i sočiva. Laboratorijskim odredbama su u jalovim proslojcima u ugljenom sloju konstatovani ostaci faune: *Congerina zoisi* Brus., *Pisidium* sp., *Orygocenasp.* i dr. M. Muftić smatra da ovi sedimenti pripadaju donjopanonskim naslagama. Prema laboratorijskim odredbama palinoloških analiza (*Betula*, *Tila*, *Ulmus*, *Salix* i dr.), kao i prema ukupnom spektru utvrđenih spora i polena, može se zaključiti da je ugljeni sloj stvoren u srednjem i gornjem miocenu.

### Povlata ugljenog sloja ( ${}^7M_3$ )

Sedimenti ove zone predstavljaju normalan slijed sedimentacije u ovom dijelu basena. Imaju veće površinsko rasprostranjenje od podinskih sedimenata.

Izdvojeni su u neposrednoj blizini površinskog kopa "Dimnjače" zatim sjeveroistočno od kopa gdje su u kontaktu sa osnovnim gorjem (Dolovi, Rosulje) i jugoistočno od kopa također u kontaktu sa osnovnim gorjem.



Sl. 2. Poprečni geološki profil ležišta „Dimnjače“

Neposrednu povlatu ugljenog sloja gotovo uvijek čine tanje naslage (0,1 – 7 m) sivkastog dosta trošnog laporovitog krečnjaka sa dosta faunističkih ostataka (puževi). Često su i pjeskoviti, a primjesa je kvarc i rožnac.





Sl.3. Gornji dio ugljenog sloja sa neposrednom povlatom na PK "Dimnjače" (središnji dio ležišta)

Neposredno uz kontakt manja partija je jako silificirana, tako da se teško buši.

Ovaj silificirani krečnjak nabušen je na sljedećim bušotinama: 8/09, debljine 0,45 m; 7/09, debljine 1,7 m; 15/07, debljine 0,5 m; 11/07, debljine 0,2 m; 8/07, debljine 1,9 m; 5/07, debljine 1,0 m.

Petrološkom analizom utvrđeno je da se u krečnjaku nalazi proslojak vapnovitog rožnaca debljine do 5,0 cm tamnosive boje i da sadrže očuvane fosilne ostatke organizama.

Preko ovih naslaga dolazi znatno deblja serija laporaca, glinovitih laporaca i laporovitih glina. Preovladavaju laporci, a ostali litološki članovi zavise od povišenog ili smanjenog sadržaja karbonatne komponente ili primjese terigene materije.

Debljina kompletne serije povlatnih naslaga ugljenog sloja je dosta promjenljiva i u zavisnosti je od tektonskog položaja i stepena erodovanosti.

Na zapadnom obodu ležišta debljina povlate ugljenog sloja je svega nekoliko metara, dok je u središnjem dijelu i osi sinklinale oko 40 m.

Prosječna debljina je 17,5 m.

Na osnovu paleontoloških analiza iz ovih sedimenata je konstatovana fauna gasteropoda sa dosta tankim ljušturama tako da je i očuvanost dosta loša. Identifikovana je slijedeća makrofauna: *Melanopsis cf. pygmace* Brus, *Melanopsis* sp, *Bytinella* sp, *Planorbis* sp. Iz šljemovanog materijala određeni su samo radovi ostrakodne faune: *Candona* sp., *Pseudocaudona* sp., i *Ostracoda* sp., i kao rijetki fragmenti oogonija alga harafita. Na osnovu određenih ostataka faune može se samo konstatovati da sedimenti sa ovakvim spektrom faune najvjerovatnije pripadaju srednjem, a moguće jednim dijelom i gornjem miocenu.

## **Pliocen-kvartar (Pl,Q)**

U završnom dijelu limničkih tvorevina počinje ciklus taloženja sitno do grubo klastičnih sedimenata koji leže konkordantno preko završnog člana miocena.

Izdvojeni su sjeverno i sjeveroistočno od ležišta "Dimnjače". Ovi sedimenti su predstavljeni smeđim, žutosmeđim i sivim glinama, koje su gotovo uvijek alevrolitične, pjeskovite, zatim sitnozrnim pjeskovima i laporovitim glinama.

## **Kvartar (Q)**

Kvartarni sedimenti su predstavljeni glacijalnim, fluvijo-glacijalnim tvorevinama (pleistocena) i aluvijalnim nanosima.

Glacijalno – fluvijalni nanosi (gl,f) su dosta rasprostranjeni na ispitivanom terenu, jasno su uočljivi i bitno su uticali na uobličavanje današnjeg oblika reljefa u okolini ležišta. Predstavljeni su raznobojnim glinama, pjeskovito-šljunkovitim glinama, pijeskom, šljunkom i brečama. To su nanosi heterogenog granulometrijskog i materijalnog sastava. U terigenoj komponenti (detritusa) preovladavaju odlomci magmatskih stijena (dioriti, kvarcdioriti i dr.), zatim različiti varijeteti pješčara (subgrauvake, kvarcni pješčari i dr.).

Aluvijalni nanosi su konstatovani na zapadnom dijelu ležišta. Prekrivaju korito i bliže priobalne površine rijeke Vrbas kao i potoka i rječica pritoka Vrbasa. Predstavljeni su slabo sortiranim šljunkom i pijeskom koji su onečišćeni glinovitom komponentom.

### **3.0. Kvalitativne karakteristike ležišta**

Kao osnov za izvršeni obračun kvaliteta uglja poslužila su brojna i raznovrsna laboratorijska ispitivanja. U ovu svrhu korištena su sva laboratorijska ispitivanja urađena od 1958. do 2009. godine, a ista su rađena u skladu sa propisima u Pravilniku o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima ("Službeni list SFRJ" broj:53/79) koji je preuzela Bosna i Hercegovina.

Metode oprobavanja prilagođene su metodama istraživanja na predmetnom ležištu, a u skladu su sa spomenutim Pravilnikom. Šema oprobavanja uglja iz istražnih bušotina sastojala se u sljedećem:

- saglasno propisima dužina probe je iznosila maksimalno 5 m,
- probe su uzimane iz čistog uglja uključujući i proslojke jalovine do 20 cm, proslojci jalovine od 20 - 50 cm su odstranjivani,
- kad se nailazilo na proslojke veće od 50 cm, tada se proba uzimala do toga proslojka, a odatle pa dalje uzimana je nova proba pod sljedećim rednim brojem.

U funkciji vjerodostojnosti o kvalitetu uglja za probu je korišteno kompletno jezgro dobijeno bušenjem. Izuzetno kod 100% jezgrovanja, probe su skraćivane, odnosno polovljene po dužini jezgra. Jezgro je nakon bušenja najprije ispirano u čistoj vodi, zatim oprobavano, pa hermetizirano u najlonske vrećice putem zavarivanja i kao takvo dostavljano laboratorijama na dalju obradu.

Rezultati imedijatnih analiza poslužili su kao baza za sračunavanje srednjeg kvaliteta čistog oprobavanog uglja. Metodom ponderisane sredine, srednji sadržaj kvaliteta određen je prema uticaju odgovarajućih debljina, rastojanja, površine, te mase ugljenog sloja.

Podaci imedijatnih analiza očitavani su iz originalnih atesta hemijske laboratorije. Ponderisanjem pomoću debljina izvršen je proračun kvaliteta uglja na svakoj bušotini. Ukoliko je neka od imedijatnih (parcijalnih) analiza imala kvalitet ispod (7000 kJ/kg) nije uzimana u proračun kvaliteta.

Ponder kvaliteta uglja rađen je po formuli:  $C = \frac{C_1 x d_1 + \dots + C_n x d_n}{d + \dots + d_n}$ , gdje je:

$C$  - ponder kvaliteta

$C_1 \dots C_n$  = pojedinačan kvalitet (ponder bušotina)

$d \dots d_n$  = uticajno rastojanje u bušotinama ili debljina uglja u bloku

Nakon izračunavanja kvaliteta uglja po bušotinama (Tabela 1) izračunat je ponder kvaliteta pojedinačno za bilansne rezerve A, B i  $C_1$  kategorije (Tabela 2,3 i 4), prema naprijed datoj formuli i to za svaki obračunski blok pojedinačno, te ukupno za određenu kategoriju rezervi i na kraju ukupno za ležište.

Ovi podaci se razlikuju od podataka dobijenih analizama uglja iz bušotina, jer su uzorci iz proizvodnje onečišćeni jalovinom koja umanjuje toplotnu vrijednost za oko 500 - 1000 KJ/kg, a radi se uglavnom o industrijskom uglju odnosno o sitnim frakcijama. Gore naznačeni podaci se odnose na čist ugalj, odnosno na gorivo koje posjeduje najmanje 7000 kJ/kg toplotne energije.

Ovim kvalitetom obuhvaćeni su i proslojci jalovine do 20 cm debljine, koji se pri eksploataciji ne mogu odstraniti.

**PONDER KVALITETA PO BUŠOTINAMA NA OSNOVU REZULTATA PARCIJALNIH IMEDIJATNIH ANALIZA  
LEŽIŠTA UGLJA "DIMNJAČE" KOD GORNJEG VAKUFA**

**Tabela 1.**

| R.B. | Profili    | Buš.   | Obrač. debljina sloja (m) | V L A G A |       |        | Pepeo (%) | Isparljive materije (%) | Sagorljive materije (%) | C-fix (%) | Koks (%) | S U M P O R    |            |            | K A L O R I Č N A V R I J E D N O S T |                 | Zapremnska masa (t/m <sup>3</sup> ) |
|------|------------|--------|---------------------------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------------|------------|------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
|      |            |        |                           | Gruba     | Higro | Ukupna |           |                         |                         |           |          | Sagorljivi (%) | Vezani (%) | Ukupni (%) | Sagoriva (kJ/kg)                      | Ogrevna (kJ/kg) |                                     |
| 1.   | I I'       | 84/80  | 4,5                       | 27,00     | 8,69  | 35,69  | 16,77     | 30,63                   | 47,54                   | 16,91     | 33,68    | 1,30           | 1,78       | 3,08       | 11968                                 | 10817           | 1,30                                |
|      |            | 89/90  | 6,0                       | 26,00     | 3,57  | 29,57  | 32,44     | 31,81                   | 38,01                   | 6,21      | 38,64    | 0,08           | 1,80       | 1,88       | 5529                                  | 4570            | 1,59                                |
| 2.   | II II'     | 83/80  | 2,4                       | 21,00     | 9,55  | 30,55  | 28,51     | 31,91                   | 40,94                   | 9,03      | 37,54    | 0,36           | 1,82       | 2,18       | 7845                                  | 6819            | 1,57                                |
|      |            | 82/80  | 3,7                       | 28,00     | 7,18  | 35,18  | 23,30     | 29,44                   | 41,52                   | 12,08     | 35,38    | 0,35           | 1,89       | 2,24       | 8445                                  | 7377            | 1,36                                |
| 3.   | III III'   | 86/80  | 6,6                       | 41,94     | 8,53  | 50,47  | 18,91     | 20,56                   | 30,61                   | 10,05     | 28,96    | 0,04           | 1,11       | 1,15       | 6194                                  | 5081            | 1,31                                |
|      |            | 79/80  | 7,3                       | 32,14     | 8,02  | 40,16  | 19,04     | 26,64                   | 40,80                   | 12,27     | 30,91    | 0,35           | 1,49       | 1,84       | 8647                                  | 7459            | 1,36                                |
|      |            | 118/87 | 5,3                       | 28,00     | 13,06 | 41,06  | 40,81     | 42,23                   | 59,84                   | 18,18     | 54,42    | 0,23           | 2,27       | 2,50       | 8286                                  | 6766            | 1,34                                |
| 4.   | IV IV'     | 78/80  | 7,0                       | 26,29     | 10,97 | 37,26  | 20,46     | 28,60                   | 42,29                   | 13,69     | 34,15    | 0,70           | 2,15       | 2,85       | 10004                                 | 8842            | 1,37                                |
| 5.   | V V'       | 90/80  | 7,5                       | 26,00     | 7,65  | 33,65  | 17,33     | 30,34                   | 49,01                   | 18,67     | 36,00    | 1,45           | 2,24       | 3,69       | 12454                                 | 11350           | 1,30                                |
| 6.   | VI VI'     | 91/80  | 4,9                       | 25,00     | 8,48  | 33,48  | 13,38     | 29,77                   | 53,14                   | 23,37     | 36,75    | 2,15           | 2,08       | 4,23       | 12887                                 | 11782           | 1,29                                |
| 7.   | Vla Vla'   | 1/03   | 5,1                       | -         | -     | 34,82  | 16,75     | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | 13293                                 | 10426           | -                                   |
| 8.   | VII VII'   | 92/80  | 3,0                       | 28,00     | 5,00  | 33,00  | 24,81     | 31,93                   | 42,18                   | 10,25     | 35,06    | 1,25           | 2,56       | 3,81       | 9437                                  | 8361            | 1,51                                |
| 9.   | VIII VIII' | 8/06   | 2,96                      | 22,84     | 7,75  | 30,59  | 18,99     | -                       | 49,91                   | -         | -        | 3,62           | 0,60       | 4,22       | -                                     | 10291           | -                                   |
|      |            | 7/06   | 2,50                      | 22,80     | 10,28 | 33,08  | 22,03     | -                       | 44,89                   | -         | -        | 2,89           | 0,12       | 3,01       | -                                     | 8561            | -                                   |
| 10.  | IX IX'     | 1/87   | 3,3                       | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   |
|      |            | 57/78  | 5,26                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   |
|      |            | 4/07   | 0,7                       | 14,40     | 20,99 | 35,39  | 15,61     | 29,56                   | 49,00                   | 25,98     | 35,67    | 3,67           | 0,21       | 3,88       | 11765                                 | 11054           | 1,32                                |
|      |            | 21/06  | 2,90                      | 22,61     | 10,37 | 32,98  | 32,99     | -                       | 45,11                   | -         | -        | 2,82           | 0,17       | 2,99       | -                                     | 8265            | -                                   |
|      |            | 58/78  | 12,26                     | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   |
|      |            | 5/07   | 11,1                      | 11,18     | 13,39 | 24,57  | 23,75     | 33,25                   | 51,66                   | 13,37     | 36,71    | 4,10           | 0,23       | 4,33       | 11845                                 | 10562           | 1,30                                |
|      |            | 71/80  | 11,1                      | 19,93     | 10,93 | 30,86  | 22,75     | 33,45                   | 46,36                   | 12,91     | 35,66    | 0,94           | 1,93       | 2,87       | 9755                                  | 8659            | 1,33                                |
|      |            | 21/07  | 1,4                       | 11,00     | 22,96 | 33,96  | 13,44     | 34,23                   | 52,60                   | 15,60     | 35,65    | 3,36           | 0,20       | 3,56       | 14569                                 | 13874           | 1,29                                |
|      |            | 72/80  | 4,58                      | 13,34     | 17,13 | 30,64  | 14,55     | 34,16                   | 54,73                   | 20,56     | 35,35    | 1,64           | 2,12       | 3,76       | 12769                                 | 11617           | 1,35                                |
| 11.  | IXa IXa'   | 4/86   | 2,70                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   |
|      |            | 112/87 | 3,16                      | 29,40     | 6,06  | 35,46  | 12,91     | 29,48                   | 52,03                   | 22,55     | 35,46    | 0,69           | 2,41       | 3,10       | 13209                                 | 11836           | -                                   |
|      |            | 7/07   | 13,00                     | 12,46     | 24,07 | 36,53  | 13,12     | 31,69                   | 49,41                   | 16,83     | 35,21    | 3,15           | 0,18       | 3,33       | 12838                                 | 11635           | 1,31                                |
|      |            | 10/06  | 2,98                      | 19,6      | 8,70  | 28,30  | 24,22     | -                       | 47,48                   | -         | -        | 1,92           | 1,16       | 3,08       | -                                     | 7229            | -                                   |
|      |            | 8/09   | 5,01                      | 29,94     | 5,93  | 35,87  | 15,47     | 28,76                   | 48,72                   | 19,95     | 35,33    | 0,78           | 2,00       | 2,78       | 12480                                 | 11294           | 1,29                                |
|      |            | 11/06  | 3,41                      | 23,90     | 9,27  | 33,17  | 21,75     | -                       | 45,24                   | -         | -        | 3,22           | 0,16       | 3,38       | -                                     | 8042,5          | -                                   |
|      |            | 8/07   | 5,5                       | 11,82     | 15,50 | 27,32  | 33,67     | 32,34                   | 38,99                   | 12,40     | 35,27    | 2,89           | 0,17       | 3,06       | 11144                                 | 9377            | 1,31                                |
|      |            | 9/07   | 4,09                      | 11,00     | 23,45 | 34,45  | 26,08     | 32,47                   | 39,47                   | 18,85     | 35,06    | 2,22           | 0,12       | 2,34       | 8673                                  | 7389            | 1,30                                |



**Zbornik radova V savjetovanja geologa Bosne i Hercegovina sa međunarodnim učesćem**

|     |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |       |       |      |
|-----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
|     |        | 7/58   | 21,00 | 18,69 | 12,08 | 30,77 | 10,47 | 32,81 | -     | 25,89 | 36,36 | -    | -    | 3,44 | 15660 | 14135 | 1,38 |
|     |        | 105/87 | 17,65 | 27,24 | 7,15  | 34,39 | 13,41 | 11,54 | 52,19 | 20,65 | 34,06 | 1,44 | 1,61 | 3,05 | 13945 | 11078 | 1,28 |
|     |        | 3/85   | 2,40  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -     | -     | -    |
| 20. | XV XV' | 100/87 | 7,40  | 21,60 | 6,80  | 28,41 | 20,17 | 28,54 | 51,41 | 22,88 | 43,05 | 1,68 | 1,43 | 3,11 | 12120 | 10877 | -    |
|     |        | 101/87 | 4,74  | 19,00 | 7,85  | 26,85 | 13,11 | 36,19 | 60,05 | 23/85 | 36,96 | 1,54 | 2,23 | 3,77 | 14448 | 13226 | 1,24 |
|     |        | 102/87 | 6,60  | 25,19 | 4,83  | 30,02 | 15,20 | 30,42 | 54,97 | 24,55 | 46,05 | 1,53 | 1,38 | 2,91 | 15023 | 13760 | 1,28 |

**PONDER KVALITETA UGLJA PO BLOKOVIMA I KATEGORIJAMA – BILANSNE REZERVE**

**A KATEGORIJA**

**Tabela 2.**

| R.B. | Broj bloka | Buš.   | Obruč. debljina sloja (m) | V L A G A |       |        | Pepeo (%) | Isparljive materije (%) | Sagorljive materije (%) | C-fix (%) | Koks (%) | S U M P O R    |            |            | K A L O R I Č N A V R I J E D N O S T |                 | Zapremnska masa (t/m <sup>3</sup> ) |   |
|------|------------|--------|---------------------------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------------|------------|------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
|      |            |        |                           | Gruba     | Higro | Ukupna |           |                         |                         |           |          | Sagorljivi (%) | Vezani (%) | Ukupni (%) | Sagoriva (kJ/kg)                      | Ogrevna (kJ/kg) |                                     |   |
| 1.   | OB-1       | 8/06   | 2,96                      | 22,84     | 7,75  | 30,59  | 18,99     | -                       | 49,91                   | -         | -        | 3,62           | 0,60       | 4,22       | -                                     | 10291           | -                                   |   |
|      |            | 7/06   | 2,50                      | 22,80     | 10,28 | 33,08  | 22,03     | -                       | 44,89                   | -         | -        | 2,89           | 0,12       | 3,01       | -                                     | 8561            | -                                   |   |
|      |            | 1/87   | 3,3                       | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 57/78  | 5,26                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 4/07   | 0,7                       | 14,40     | 20,99 | 35,39  | 15,61     | 29,56                   | 49,00                   | 25,98     | 35,67    | 3,67           | 0,21       | 3,88       | 11765                                 | 11054           | 1,32                                |   |
|      |            | 21/06  | 2,90                      | 22,61     | 10,37 | 32,98  | 32,99     | -                       | 45,11                   | -         | -        | 2,82           | 0,17       | 2,99       | -                                     | 8265            | -                                   |   |
|      |            | 58/78  | 12,26                     | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 5/07   | 11,1                      | 11,18     | 13,39 | 24,57  | 23,75     | 33,25                   | 51,66                   | 13,37     | 36,71    | 4,10           | 0,23       | 4,33       | 11845                                 | 10562           | 1,30                                |   |
|      | OB-1       | 71/80  | 11,1                      | 19,93     | 10,93 | 30,86  | 22,75     | 33,45                   | 46,36                   | 12,91     | 35,66    | 0,94           | 1,93       | 2,87       | 9755                                  | 8659            | 1,33                                |   |
| 2.   | OB-2       | 52,08  | 17,45                     | 11,62     | 29,07 | 23,48  | 33,23     | 48,40                   | 13,53                   | 36,17     | 2,70     | 0,85           | 3,55       | 10829      | 9498                                  | 1,31            |                                     |   |
|      |            | 1/87   | 3,3                       | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 57/78  | 5,26                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 4/07   | 0,7                       | 14,40     | 20,99 | 35,39  | 15,61     | 29,56                   | 49,00                   | 25,98     | 35,67    | 3,67           | 0,21       | 3,88       | 11765                                 | 11054           | 1,32                                |   |
|      |            | 21/06  | 2,90                      | 22,61     | 10,37 | 32,98  | 32,99     | -                       | 45,11                   | -         | -        | 2,82           | 0,17       | 2,99       | -                                     | 8265            | -                                   |   |
|      |            | 58/78  | 12,26                     | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 5/07   | 11,1                      | 11,18     | 13,39 | 24,57  | 23,75     | 33,25                   | 51,66                   | 13,37     | 36,71    | 4,10           | 0,23       | 4,33       | 11845                                 | 10562           | 1,30                                |   |
|      |            | 71/80  | 11,1                      | 19,93     | 10,93 | 30,86  | 22,75     | 33,45                   | 46,36                   | 12,91     | 35,66    | 0,94           | 1,93       | 2,87       | 9755                                  | 8659            | 1,33                                |   |
|      |            | 4/86   | 2,70                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                   | - |
|      |            | 112/87 | 3,16                      | 29,40     | 6,06  | 35,46  | 12,91     | 29,48                   | 52,03                   | 22,55     | 35,46    | 0,69           | 2,41       | 3,10       | 13209                                 | 11836           | -                                   |   |
|      |            | 7/07   | 13,00                     | 12,46     | 24,07 | 36,53  | 13,12     | 31,69                   | 49,41                   | 16,83     | 35,21    | 3,15           | 0,18       | 3,33       | 12838                                 | 11635           | 1,31                                |   |
|      |            | 10/06  | 2,98                      | 19,6      | 8,70  | 28,30  | 24,22     | -                       | 47,48                   | -         | -        | 1,92           | 1,16       | 3,08       | -                                     | 7229            | -                                   |   |
|      |            | 8/09   | 5,01                      | 29,94     | 5,93  | 35,87  | 15,47     | 28,76                   | 48,72                   | 19,95     | 35,33    | 0,78           | 2,00       | 2,78       | 12480                                 | 11294           | 1,29                                |   |
|      |            | 11/06  | 3,41                      | 23,90     | 9,27  | 33,17  | 21,75     | -                       | 45,24                   | -         | -        | 3,22           | 0,16       | 3,38       | -                                     | 8042,5          | -                                   |   |
|      |            | 8/07   | 5,5                       | 11,82     | 15,50 | 27,32  | 33,67     | 32,34                   | 38,99                   | 12,40     | 35,27    | 2,89           | 0,17       | 3,06       | 11144                                 | 9377            | 1,31                                |   |
| 9/07 | 4,09       | 11,00  | 23,45                     | 34,45     | 26,08 | 32,47  | 39,47     | 18,85                   | 35,06                   | 2,22      | 0,12     | 2,34           | 8673       | 7389       | 1,30                                  |                 |                                     |   |
|      | OB-2       | 86,47  | 17/09                     | 14,53     | 31,62 | 24,82  | 3207      | 47,27                   | 15,75                   | 35,64     | 2,46     | 0,79           | 3,25       | 11478      | 10867                                 | 1,30            |                                     |   |

|       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |        |      |   |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------|---|
| 3.    | OB-3  | 4/86   | 2,70  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -      | -    |   |
|       |       | 112/87 | 3,16  | 29,40 | 6,06  | 35,46 | 12,91 | 29,48 | 52,03 | 22,55 | 35,46 | 0,69 | 2,41  | 3,10  | 13209 | 11836  | -    |   |
|       |       | 7/07   | 13,00 | 12,46 | 24,07 | 36,53 | 13,12 | 31,69 | 49,41 | 16,83 | 35,21 | 3,15 | 0,18  | 3,33  | 12838 | 11635  | 1,31 |   |
|       |       | 10/06  | 2,98  | 19,6  | 8,70  | 28,30 | 24,22 | -     | 47,48 | -     | -     | 1,92 | 1,16  | 3,08  | -     | 7229   | -    |   |
|       |       | 8/09   | 5,01  | 29,94 | 5,93  | 35,87 | 15,47 | 28,76 | 48,72 | 19,95 | 35,33 | 0,78 | 2,00  | 2,78  | 12480 | 11294  | 1,29 |   |
|       |       | 11/06  | 3,41  | 23,90 | 9,27  | 33,17 | 21,75 | -     | 45,24 | -     | -     | 3,22 | 0,16  | 3,38  | -     | 8042,5 | -    |   |
|       |       | 8/07   | 5,5   | 11,82 | 15,50 | 27,32 | 33,67 | 32,34 | 38,99 | 12,40 | 35,27 | 2,89 | 0,17  | 3,06  | 11144 | 9377   | 1,31 |   |
|       |       | 9/07   | 4,09  | 11,00 | 23,45 | 34,45 | 26,08 | 32,47 | 39,47 | 18,85 | 35,06 | 2,22 | 0,12  | 2,34  | 8673  | 7389   | 1,30 |   |
|       |       | 56/78  | 18,56 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -      | -    | - |
|       |       | 10/07  | 13,00 | 12,62 | 20,67 | 33,29 | 15,03 | 31,17 | 51,67 | 17,87 | 35,07 | 3,34 | 0,19  | 3,53  | 13562 | 12938  | 1,30 |   |
|       |       | 5/58   | 17,80 | 24,00 | 10,76 | 34,76 | 9,72  | 30,62 | -     | 24,94 | 34,66 | -    | -     | 3,32  | 14654 | 13033  | 1,38 |   |
|       |       | 59/78  | 30,03 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -      | -    | - |
|       |       | 7/09   | 9,30  | 25,16 | 6,59  | 31,75 | 10,06 | 30,20 | 55,63 | 25,35 | 35,90 | 1,10 | 2,24  | 3,34  | 14834 | 13685  | 1,30 |   |
|       |       | 11/07  | 21,70 | 12,79 | 19,44 | 32,23 | 16,38 | 35,31 | 47,95 | 15,36 | 35,35 | 4,21 | 0,25  | 4,46  | 12908 | 11812  | 1,32 |   |
|       |       | 74/80  | 22,40 | 15,32 | 13,04 | 28,36 | 24,40 | 35,60 | 47,25 | 11,65 | 36,05 | 0,81 | 2,33  | 3,04  | 9961  | 8877   | 1,42 |   |
| 73/80 | 17,80 | 16,55  | 12,82 | 29,37 | 23,79 | 33,24 | 46,84 | 13,61 | 37,40 | 1,17  | 2,07  | 3,24 | 10511 | 9417  | 1,41  |        |      |   |
| 23/07 | 7,60  | 15,99  | 16,38 | 32,37 | 28,37 | 35,25 | 39,24 | 15,53 | 35,14 | 2,79  | 0,16  | 2,95 | 10006 | 9076  | 1,32  |        |      |   |
|       | OB-3  | 198,04 | 17,15 | 14,91 | 32,06 | 18,60 | 32,87 | 47/63 | 17,10 | 35,47 | 2,61  | 1,10 | 3,71  | 12026 | 10870 | 1,37   |      |   |
| 4.    | OB-4  | 56/78  | 18,56 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -      | -    |   |
|       |       | 10/07  | 13,00 | 12,62 | 20,67 | 33,29 | 15,03 | 31,17 | 51,67 | 17,87 | 35,07 | 3,34 | 0,19  | 3,53  | 13562 | 12938  | 1,30 |   |
|       |       | 5/58   | 17,80 | 24,00 | 10,76 | 34,76 | 9,72  | 30,62 | -     | 24,94 | 34,66 | -    | -     | 3,32  | 14654 | 13033  | 1,38 |   |
|       |       | 59/78  | 30,03 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -      | -    |   |
|       |       | 7/09   | 9,30  | 25,16 | 6,59  | 31,75 | 10,06 | 30,20 | 55,63 | 25,35 | 35,90 | 1,10 | 2,24  | 3,34  | 14834 | 13685  | 1,30 |   |
|       |       | 11/07  | 21,70 | 12,79 | 19,44 | 32,23 | 16,38 | 35,31 | 47,95 | 15,36 | 35,35 | 4,21 | 0,25  | 4,46  | 12908 | 11812  | 1,32 |   |
|       |       | 74/80  | 22,40 | 15,32 | 13,04 | 28,36 | 24,40 | 35,60 | 47,25 | 11,65 | 36,05 | 0,81 | 2,33  | 3,04  | 9961  | 8877   | 1,42 |   |
|       |       | 73/80  | 17,80 | 16,55 | 12,82 | 29,37 | 23,79 | 33,24 | 46,84 | 13,61 | 37,40 | 1,17 | 2,07  | 3,24  | 10511 | 9417   | 1,41 |   |
|       |       | 23/07  | 7,60  | 15,99 | 16,38 | 32,37 | 28,37 | 35,25 | 39,24 | 15,53 | 35,14 | 2,79 | 0,16  | 2,95  | 10006 | 9076   | 1,32 |   |
|       |       | 3/09   | 17,0  | 25,86 | 7,51  | 33,37 | 13,70 | 33,97 | 53,06 | 19,08 | 32,64 | 0,98 | 2,19  | 3,17  | 14012 | 12863  | 1,29 |   |
|       |       | 2/09   | 8,40  | 26,04 | 4,51  | 30,68 | 15,39 | 33,25 | 54,04 | 20,78 | 36,17 | 1,44 | 2,26  | 3,70  | 13785 | 12701  | 1,30 |   |
|       |       | 1/09   | 3,17  | 32,30 | 4,78  | 37,08 | 10,48 | 29,97 | 52,45 | 22,48 | 32,96 | 1,00 | 2,32  | 3,32  | 13997 | 12795  | 1,29 |   |
|       | OB-4  | 186,76 | 18,98 | 12,80 | 31,78 | 17,35 | 33,34 | 49,36 | 17,63 | 35,30 | 1,97  | 1,51 | 3,48  | 12592 | 10973 | 1,34   |      |   |
| 5.    | OB-5  | 3/09   | 17,0  | 25,86 | 7,51  | 33,37 | 13,70 | 33,97 | 53,06 | 19,08 | 32,64 | 0,98 | 2,19  | 3,17  | 14012 | 12863  | 1,29 |   |
|       |       | 2/09   | 8,40  | 26,04 | 4,51  | 30,68 | 15,39 | 33,25 | 54,04 | 20,78 | 36,17 | 1,44 | 2,26  | 3,70  | 13785 | 12701  | 1,30 |   |
|       |       | 1/09   | 3,17  | 32,30 | 4,78  | 37,08 | 10,48 | 29,97 | 52,45 | 22,48 | 32,96 | 1,00 | 2,32  | 3,32  | 13997 | 12795  | 1,29 |   |
|       |       | 76/80  | 27,10 | 15,64 | 17,31 | 32,95 | 12,60 | 32,91 | 54,44 | 21,53 | 34,13 | 1,31 | 2,00  | 3,31  | 12346 | 11187  | 1,30 |   |
|       |       | 13/07  | 25,80 | 14,86 | 19,93 | 34,79 | 20,38 | 34,97 | 44,78 | 13,50 | 35,30 | 2,98 | 0,17  | 3,15  | 11210 | 10385  | 1,31 |   |
|       |       | 75/80  | 27,10 | 15,79 | 13,17 | 28,96 | 22,37 | 35,73 | 48,65 | 12,92 | 35,29 | 0,69 | 2,02  | 2,71  | 9480  | 8436   | 1,41 |   |
|       |       | 109/87 | 13,33 | 28,01 | 7,53  | 35,54 | 12,78 | 31,41 | 51,70 | 20,28 | 33,04 | 1,57 | 1,67  | 3,24  | 12759 | 11651  | 1,26 |   |
|       |       | 110/87 | 9,080 | 26,06 | 6,57  | 32,63 | 19,22 | 29,77 | 48,27 | 18,51 | 37,79 | 1,27 | 1,93  | 3,20  | 12386 | 11063  | 1,33 |   |
|       | OB-5  | 130,98 | 19,89 | 12,83 | 32,73 | 16,90 | 33,61 | 50,40 | 17,48 | 34,65 | 1,49  | 1,65 | 3,14  | 11922 | 10852 | 1,32   |      |   |

Zbornik radova V savjetovanja geologa Bosne i Hercegovina sa međunarodnim učesćem

|                     |       |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |      |
|---------------------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 6.                  | OB-6  | 76/80  | 27,10   | 15,64 | 17,31 | 32,95 | 12,60 | 32,91 | 54,44 | 21,53 | 34,13 | 1,31 | 2,00 | 3,31  | 12346 | 11187 | 1,30 |
|                     |       | 13/07  | 25,80   | 14,86 | 19,93 | 34,79 | 20,38 | 34,97 | 44,78 | 13,50 | 35,30 | 2,98 | 0,17 | 3,15  | 11210 | 10385 | 1,31 |
|                     |       | 107/87 | 15,50   | 24,29 | 6,67  | 30,96 | 21,85 | 33,10 | 47,18 | 14,08 | 35,93 | 0,56 | 2,41 | 2,97  | 11020 | 9789  | 1,31 |
|                     |       | 36/82  | 15,90   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -    |
|                     |       | 8/58   | 3,8     | 24,06 | 10,63 | 34,69 | 12,92 | 30,36 | -     | 22,32 | 35,24 | -    | -    | 3,41  | 13508 | 11932 | 1,38 |
|                     |       | 14/07  | 19,45   | 12,66 | 20,74 | 33,40 | 20,74 | 34,40 | 41,25 | 19,01 | 34,28 | 2,61 | 0,15 | 2,76  | 10344 | 9625  | 1,30 |
|                     |       | 77/80  | 21,20   | 16,57 | 16,25 | 32,82 | 16,54 | 33,09 | 50,83 | 17,54 | 34,08 | 1,29 | 2,09 | 3,38  | 11434 | 10263 | 1,28 |
|                     |       | 6/58   | 20,00   | 24,60 | 11,13 | 35,73 | 9,72  | 29,77 | -     | 24,72 | 34,44 | -    | -    | 3,43  | 14654 | 13008 | 1,38 |
|                     | 37/82 | 11,14  | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -     | -     | -     |      |
|                     | OB-6  |        | 159,89  | 17,80 | 15,78 | 33,58 | 16,58 | 33,03 | 48,06 | 18,59 | 34,65 | 1,82 | 1,31 | 3,19  | 11912 | 10787 | 1,31 |
| 7.                  | OB-7  | 13/07  | 25,80   | 14,86 | 19,93 | 34,79 | 20,38 | 34,97 | 44,78 | 13,50 | 35,30 | 2,98 | 0,17 | 3,15  | 11210 | 10385 | 1,31 |
|                     |       | 6/58   | 20,00   | 24,60 | 11,13 | 35,73 | 9,72  | 29,77 | -     | 24,72 | 34,44 | -    | -    | 3,43  | 14654 | 13008 | 1,38 |
|                     |       | 75/80  | 27,10   | 15,79 | 13,17 | 28,96 | 22,37 | 35,73 | 48,65 | 12,92 | 35,29 | 0,69 | 2,02 | 2,71  | 9480  | 8436  | 1,41 |
|                     |       | 15/07  | 14,80   | 17,38 | 14,84 | 32,22 | 21,29 | 34,84 | 46,48 | 12,34 | 35,50 | 4,0  | 0,23 | 4,23  | 13149 | 11237 | 1,30 |
|                     |       | 6/09   | 18,00   | 19,77 | 7,34  | 27,11 | 13,29 | 29,79 | 53,77 | 23,98 | 37,27 | 0,87 | 2,19 | 3,06  | 14156 | 13014 | 1,29 |
|                     |       | 109/87 | 13,33   | 28,01 | 7,53  | 35,54 | 12,78 | 31,41 | 51,70 | 20,28 | 33,04 | 1,57 | 1,67 | 3,24  | 12759 | 11651 | 1,26 |
|                     | 1/85  | 20,00  | 24,00   | 9,36  | 33,36 | 17,54 | 31,02 | 49,10 | 17,97 | 35,62 | 1,08  | 1,93 | 3,01 | 12475 | 11123 | 1,36  |      |
|                     | OB-7  |        | 139,03  | 19,92 | 14,18 | 34,10 | 17,27 | 32,77 | 48,73 | 20,63 | 35,28 | 2,10 | 1,36 | 3,19  | 12611 | 11041 | 1,34 |
| 8.                  | OB-8  | 109/87 | 13,33   | 28,01 | 7,53  | 35,54 | 12,78 | 31,41 | 51,70 | 20,28 | 33,04 | 1,57 | 1,67 | 3,24  | 12759 | 11651 | 1,26 |
|                     |       | 1/85   | 20,00   | 24,00 | 9,36  | 33,36 | 17,54 | 31,02 | 49,10 | 17,97 | 35,62 | 1,08 | 1,93 | 3,01  | 12475 | 11123 | 1,36 |
|                     |       | 110/87 | 9,080   | 26,06 | 6,57  | 32,63 | 19,22 | 29,77 | 48,27 | 18,51 | 37,79 | 1,27 | 1,93 | 3,20  | 12386 | 11063 | 1,33 |
|                     |       | 2/85   | 15,30   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -    |
|                     | OB-8  |        | 57,71   | 25,70 | 8,18  | 33,88 | 17,97 | 30,87 | 49,74 | 18,81 | 35,27 | 1,27 | 1,81 | 3,08  | 12545 | 11276 | 1,32 |
| <b>A kategorija</b> |       |        | 1010,24 | 22,35 | 13,71 | 36,06 | 18,40 | 32,92 | 48,69 | 17,77 | 35,24 | 2,06 | 1,31 | 3,37  | 12109 | 10857 | 1,33 |



**B KATEGORIJA**

**Tabela 3.**

| R.B.                | Broj bloka | Buš.   | Obruč. debljina sloja (m) | V L A G A    |              |              | Pepeo (%)    | Isparljive materije (%) | Sagorljive materije (%) | C-fix (%)    | Koks (%)     | S U M P O R    |             |             | KALORIČNA VRIJEDNOST |                 | Zapreminska masa (t/m <sup>3</sup> ) |   |
|---------------------|------------|--------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|---|
|                     |            |        |                           | Gruba        | Higro        | Ukupna       |              |                         |                         |              |              | Sagorljivi (%) | Vežani (%)  | Ukupni (%)  | Sagoriva (kJ/kg)     | Ogrevna (kJ/kg) |                                      |   |
| 1.                  | OB-1       | 52/78  | 16,35                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 34/82  | 10,60                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 35/82  | 4,15                      | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 106/87 | 10,72                     | 26,70        | 7,54         | 34,24        | 18,27        | 31,29                   | 47,45                   | 16,24        | 34,45        | 0,45           | 2,58        | 3,03        | 11471                | 10149           | 1,37                                 |   |
|                     |            | 8/58   | 3,8                       | 24,06        | 10,63        | 34,69        | 12,92        | 30,36                   | -                       | 22,32        | 35,24        | -              | -           | 3,41        | 13508                | 11932           | 1,38                                 |   |
|                     | OB-1       |        | 45,62                     | 26,0         | 8,34         | 34,34        | 16,87        | 31,04                   | 47,45                   | 17,83        | 34,65        | 0,45           | 2,58        | 3,12        | 12004                | 10615           | 1,37                                 |   |
| 2.                  | OB-2       | 35/82  | 4,15                      | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 106/87 | 10,72                     | 26,70        | 7,54         | 34,24        | 18,27        | 31,29                   | 47,45                   | 16,24        | 34,45        | 0,45           | 2,58        | 3,03        | 11471                | 10149           | 1,37                                 |   |
|                     |            | 8/58   | 3,8                       | 24,06        | 10,63        | 34,69        | 12,92        | 30,36                   | -                       | 22,32        | 35,24        | -              | -           | 3,41        | 13508                | 11932           | 1,38                                 |   |
|                     |            | 37/82  | 11,14                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     | OB-2       |        | 29,81                     | 2,60         | 8,34         | 34,34        | 16,87        | 31,04                   | 47,45                   | 17,83        | 34,65        | 0,45           | 2,58        | 3,12        | 12004                | 10615           | 1,37                                 |   |
| 3.                  | OB-3       | 2/85   | 15,30                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     | OB-3       |        | 15,30                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
| 4.                  | OB-4       | 37/82  | 11,14                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 36/82  | 15,90                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 16/07  | 8,30                      | 12,43        | 21,54        | 33,97        | 35,37        | 33,95                   | 52,19                   | 15,66        | 35,00        | 3,38           | 0,198       | 3,58        | 12523                | 12260           | 1,29                                 |   |
|                     |            | 17/07  | 7,80                      | 15,27        | 18,23        | 33,50        | 22,40        | 36,57                   | 44,53                   | 10,20        | 35,80        | 2,98           | 0,17        | 3,15        | 11130                | 10850           | 1,29                                 |   |
|                     |            | 20/07  | 9,50                      | 16,81        | 19,6         | 36,41        | 15,23        | 35,20                   | 48,35                   | 14,77        | 35,09        | 3,41           | 0,2         | 3,61        | 12659                | 11611           | 1,29                                 |   |
|                     | OB-4       |        | 54,64                     | 14,92        | 19,81        | 34,73        | 24,49        | 35,21                   | 48,43                   | 13,66        | 35,27        | 3,26           | 0,19        | 3,45        | 12149                | 11589           | 1,29                                 |   |
| 5.                  | OB-5       | 37/82  | 11,14                     | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     |            | 16/07  | 8,30                      | 12,43        | 21,54        | 33,97        | 35,37        | 33,95                   | 52,19                   | 15,66        | 35,00        | 3,38           | 0,198       | 3,58        | 12523                | 12260           | 1,29                                 |   |
|                     |            | 18/07  | 16,50                     | 13,20        | 21,45        | 34,65        | 12,22        | 35,56                   | 53,12                   | 14,13        | 35,45        | 3,13           | 0,182       | 3,31        | 13818                | 13140           | 1,30                                 |   |
|                     |            | 17/07  | 7,80                      | 15,27        | 18,23        | 33,50        | 22,40        | 36,57                   | 44,53                   | 10,20        | 35,80        | 2,98           | 0,17        | 3,15        | 11130                | 10850           | 1,29                                 |   |
|                     |            | 20/07  | 9,50                      | 16,81        | 19,6         | 36,41        | 15,23        | 35,20                   | 48,35                   | 14,77        | 35,09        | 3,41           | 0,2         | 3,61        | 12659                | 11611           | 1,29                                 |   |
|                     |            | 7/58   | 21,00                     | 18,69        | 12,08        | 30,77        | 10,47        | 32,81                   | -                       | 25,89        | 36,36        | -              | -           | 3,44        | 15660                | 14135           | 1,38                                 |   |
|                     | OB-5       |        | 74,24                     | 15,72        | 17,66        | 33,38        | 16,39        | 34,50                   | 50,26                   | 17,85        | 35,68        | 3,21           | 0,25        | 3,41        | 13754                | 12842           | 1,32                                 |   |
| 6.                  | OB-6       | 19/07  | 15,80                     | 12,57        | 22,12        | 34,69        | 11,28        | 35,15                   | 54,00                   | 13,50        | 34,96        | 3,30           | 0,19        | 3,49        | 14246                | 13375           | 1,30                                 |   |
|                     |            | 18/07  | 16,50                     | 13,20        | 21,45        | 34,65        | 12,22        | 35,56                   | 53,12                   | 14,13        | 35,45        | 3,13           | 0,182       | 3,31        | 13818                | 13140           | 1,30                                 |   |
|                     |            | 123/87 | 17,00                     | 25,64        | 8,10         | 33,74        | 12,33        | 31,13                   | 53,93                   | 22,80        | 35,05        | 1,23           | 1,98        | 3,21        | 14396                | 13045           | 1,34                                 |   |
|                     |            | 7/58   | 21,00                     | 18,69        | 12,08        | 30,77        | 10,47        | 32,81                   | -                       | 25,89        | 36,36        | -              | -           | 3,44        | 15660                | 14135           | 1,38                                 |   |
|                     |            | 105/87 | 17,65                     | 27,24        | 7,15         | 34,39        | 13,41        | 11,54                   | 52,19                   | 20,65        | 34,06        | 1,44           | 1,61        | 3,05        | 13945                | 11078           | 1,28                                 |   |
|                     | OB-6       |        | 87,95                     | 19,61        | 13,88        | 33,49        | 11,89        | 29,15                   | 53,28                   | 19,80        | 35,22        | 2,24           | 1,01        | 3,30        | 14471                | 12449           | 1,32                                 |   |
| 7.                  | OB-7       | 123/87 | 17,00                     | 25,64        | 8,10         | 33,74        | 12,33        | 31,13                   | 53,93                   | 22,80        | 35,05        | 1,23           | 1,98        | 3,21        | 14396                | 13045           | 1,34                                 |   |
|                     |            | 3/85   | 2,40                      | -            | -            | -            | -            | -                       | -                       | -            | -            | -              | -           | -           | -                    | -               | -                                    | - |
|                     | OB-7       |        | 19,40                     | 25,64        | 8,10         | 33,74        | 12,33        | 31,13                   | 53,93                   | 22,80        | 35,05        | 1,23           | 1,98        | 3,21        | 14396                | 13045           | 1,34                                 |   |
| <b>B kategorija</b> |            |        | <b>309,70</b>             | <b>19,81</b> | <b>14,10</b> | <b>33,91</b> | <b>16,34</b> | <b>32,04</b>            | <b>50,34</b>            | <b>18,00</b> | <b>35,18</b> | <b>2,14</b>    | <b>1,13</b> | <b>3,27</b> | <b>13297</b>         | <b>11986</b>    | <b>1,33</b>                          |   |

**C<sub>1</sub> KATEGORIJA**
**Tabela 4.**

| R.B. | Broj bloka                      | Buš.                | Obruč. debljina sloja (m) | V L A G A |       |        | Pepco (%) | Isparljive materije (%) | Sagorljive materije (%) | C-fix (%) | Koks (%) | S U M P O R    |            |            | K A L O R I Č N A V R I J E D N O S T |                 | Zapreminska masa (t/m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------------|------------|------------|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
|      |                                 |                     |                           | Gruba     | Higro | Ukupna |           |                         |                         |           |          | Sagorljivi (%) | Vežani (%) | Ukupni (%) | Sagoriva (kJ/kg)                      | Ogrevna (kJ/kg) |                                      |
| 1.   | OB-1                            | 9/58                | 4,90                      | -         | -     | -      | -         | -                       | -                       | -         | -        | -              | -          | -          | -                                     | -               | -                                    |
|      |                                 | 103/87              | 8,50                      | 27,27     | 5,44  | 32,71  | 18,22     | 31,51                   | 48,22                   | 16,71     | 35,78    | 1,36           | 1,70       | 3,06       | 12208                                 | 10894           | 1,33                                 |
|      |                                 | 20/07               | 9,50                      | 16,81     | 19,6  | 36,41  | 15,23     | 35,20                   | 48,35                   | 14,77     | 35,09    | 3,41           | 0,2        | 3,61       | 12659                                 | 11611           | 1,29                                 |
|      |                                 | 100/87              | 7,40                      | 21,60     | 6,80  | 28,41  | 20,17     | 28,54                   | 51,41                   | 22,88     | 43,05    | 1,68           | 1,43       | 3,11       | 12120                                 | 10877           | -                                    |
|      | OB-1                            |                     | 30,30                     | 21,70     | 11,13 | 32,83  | 17,87     | 32,02                   | 49,19                   | 17,78     | 37,63    | 2,21           | 1,06       | 3,27       | 12351                                 | 11157           | 1,30                                 |
| 2.   | OB-2                            | 20/07               | 9,50                      | 16,81     | 19,6  | 36,41  | 15,23     | 35,20                   | 48,35                   | 14,77     | 35,09    | 3,41           | 0,2        | 3,61       | 12659                                 | 11611           | 1,29                                 |
|      |                                 | 7/58                | 21,00                     | 18,69     | 12,08 | 30,77  | 10,47     | 32,81                   | -                       | 25,89     | 36,36    | -              | -          | 3,44       | 15660                                 | 14135           | 1,38                                 |
|      |                                 | 105/87              | 17,65                     | 27,24     | 7,15  | 34,39  | 13,41     | 11,54                   | 52,19                   | 20,65     | 34,06    | 1,44           | 1,61       | 3,05       | 13945                                 | 11078           | 1,28                                 |
|      |                                 | 100/87              | 7,40                      | 21,60     | 6,80  | 28,41  | 20,17     | 28,54                   | 51,41                   | 22,88     | 43,05    | 1,68           | 1,43       | 3,11       | 12120                                 | 10877           | -                                    |
|      |                                 | 101/87              | 4,74                      | 19,00     | 7,85  | 26,85  | 13,11     | 36,19                   | 60,05                   | 23,85     | 36,96    | 1,54           | 2,23       | 3,77       | 14448                                 | 13226           | 1,24                                 |
|      |                                 | 102/87              | 6,60                      | 25,19     | 4,83  | 30,02  | 15,20     | 30,42                   | 54,97                   | 24,55     | 46,05    | 1,53           | 1,38       | 2,91       | 15023                                 | 13760           | 1,28                                 |
|      | OB-2                            |                     | 66,89                     | 21,66     | 10,24 | 31,90  | 13,64     | 27,06                   | 52,48                   | 22,31     | 37,31    | 1,90           | 1,32       | 3,29       | 14240                                 | 12508           | 1,31                                 |
|      | OB-3                            | 105/87              | 17,65                     | 27,24     | 7,15  | 34,39  | 13,41     | 11,54                   | 52,19                   | 20,65     | 34,06    | 1,44           | 1,61       | 3,05       | 13945                                 | 11078           | 1,28                                 |
|      |                                 | 102/87              | 6,60                      | 25,19     | 4,83  | 30,02  | 15,20     | 30,42                   | 54,97                   | 24,55     | 46,05    | 1,53           | 1,38       | 2,91       | 15023                                 | 13760           | 1,28                                 |
|      | OB-3                            |                     | 24,25                     | 26,68     | 6,52  | 33,20  | 13,89     | 30,57                   | 52,95                   | 21,71     | 37,32    | 1,46           | 1,54       | 3,00       | 14238                                 | 11808           | 1,28                                 |
|      | OB-4                            | 100/87              | 7,40                      | 21,60     | 6,80  | 28,41  | 20,17     | 28,54                   | 51,41                   | 22,88     | 43,05    | 1,68           | 1,43       | 3,11       | 12120                                 | 10877           | -                                    |
|      |                                 | 101/87              | 4,74                      | 19,00     | 7,85  | 26,85  | 13,11     | 36,19                   | 60,05                   | 23,85     | 36,96    | 1,54           | 2,23       | 3,77       | 14448                                 | 13226           | 1,24                                 |
|      |                                 | 102/87              | 6,60                      | 25,19     | 4,83  | 30,02  | 15,20     | 30,42                   | 54,97                   | 24,55     | 46,05    | 1,53           | 1,38       | 2,91       | 15023                                 | 13760           | 1,28                                 |
|      | OB-4                            |                     | 18,74                     | 22,20     | 6,37  | 28,57  | 16,63     | 31,13                   | 54,85                   | 23,71     | 42,56    | 1,59           | 1,61       | 3,20       | 13731                                 | 12486           | 1,26                                 |
|      | <b>C<sub>1</sub> kategorija</b> |                     | 140,16                    | 22,61     | 9,27  | 31,88  | 15,00     | 29,28                   | 52,17                   | 21,41     | 38,08    | 1,85           | 1,34       | 3,19       | 13765                                 | 12094           | 1,30                                 |
|      | Ležište Dimnjače                | A kat.              | 1010,24                   | 22,35     | 13,71 | 36,06  | 18,40     | 32,92                   | 48,69                   | 17,77     | 35,24    | 2,06           | 1,31       | 3,37       | 12109                                 | 10857           | 1,33                                 |
|      |                                 | B kat.              | 309,70                    | 19,81     | 14,10 | 33,91  | 16,34     | 32,04                   | 50,34                   | 18,00     | 35,18    | 2,14           | 1,13       | 3,27       | 13297                                 | 11986           | 1,33                                 |
|      |                                 | C <sub>1</sub> kat. | 140,16                    | 22,61     | 9,27  | 31,88  | 15,00     | 29,28                   | 52,17                   | 21,41     | 38,08    | 1,85           | 1,34       | 3,19       | 13765                                 | 12094           | 1,30                                 |
|      | Ležište                         | A+B+C <sub>1</sub>  | 1460,1                    | 21,83     | 13,37 | 35,20  | 17,63     | 32,38                   | 49,37                   | 18,17     | 35,50    | 2,06           | 1,27       | 3,33       | 12520                                 | 11215           | 1,33                                 |

Na osnovu rezultata 14 proba uzetih iz bušotina na kojima je izvršeno ispitivanje elementarnog sastava uglja određen je srednji elementarni sastav uglja (proračunat na sadržaj sa vlagom i pepelom):

Tabela 5.

| Vlaga (%) | Pepeo (%) | C (%) | H (%) | N (%) | O <sub>2</sub> (%) | S – sag. (%) |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
| 32,6      | 15,0      | 31,09 | 2,98  | 0,38  | 17,02              | 0,93         |

Iz 17 proba urađene su silikatno - hemijske analize pepela uglja sa sljedećim prosječnim vrijednostima:

Tabela 6.

| SiO <sub>2</sub> (%) | TiO <sub>2</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | MnO (%) | MgO (%) | CaO (%) | K <sub>2</sub> O (%) | SiO <sub>3</sub> (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | Na <sub>2</sub> O (%) |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 7,66                 | 0,35                 | 4,51                               | 2,60                               | 0,22    | 1,95    | 48,53   | 0,21                 | 33,33                | 0,31                              | 0,32                  |

Određivanje topivosti pepela izvršeno je na 9 uzoraka, a prosječne vrijednosti iznose:

Tabela 7.

| Temperatura sinterovanja (C <sup>0</sup> ) | Temperatura deformacije (C <sup>0</sup> ) | Temperatura polulopte (C <sup>0</sup> ) | Temperatura razlijevanja (C <sup>0</sup> ) |
|--|---|---|--|
| 1214                                       | 1237                                      | 1255                                    | 1258                                       |

Petrološka ispitivanja uglja izvršena su na 11 uzoraka uglja. Na osnovu tih ispitivanja dobijeni su sljedeći prosječni rezultati:

Tabela 8.

| Tekst. (%) | Ulm. (%) | Art. (%) | Deks. (%) | Gel. (%) | Lipt. (%) | Inert. (%) | Glina (%) | Karb. (%) | Pirit (%) | Org.mat. (%) |
|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 2,97       | 10,40    | 19,08    | 11,43     | 5,34     | 4,06      | 6,91       | 14,65     | 12,97     | 1,34      | 70,02        |

Jasno se zapaža da ugalj sadrži visok procenat mineralne materije (oko 30 %), dok organske materije sadrže oko 70 %. Na osnovu naprijed navedenih analiza svrstava se u grupu mekih lignita i srednje tvrdih mrkih ugljeva.

Na 14 proba izvršen je proračun sadržaja karbonata u uglju i pepelu. Dobijeni su sljedeći srednji sadržaji u procentima:

Tabela 9.

| Sadržaj pepela (%) | CO <sub>2</sub> u pepelu (%) | CaCO <sub>3</sub> u pepelu (%) | CaCO <sub>3</sub> u uglju (%) | MgCO <sub>3</sub> u uglju (%) | FeCO <sub>3</sub> u uglju (%) |
|--------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 22,50              | 17,81                        | 40,44                          | 10,36                         | -                             | -                             |

Meljivost uglja je ispitivana na 5 uzoraka, a prosječna vrijednost Hardgroverovog indeksa iznosi 41,21.

Ispitivanje zapreminske mase uglja vršeno je na istom broju uzoraka kao za imedijatne analize. Zapreminska masa uglja u ovim uzorcima je 1,33 t/m<sup>3</sup>.

Nakon obračuna kvaliteta po bušotinama i blokovima, dobijen je sljedeći prosjek vrijednosti uglja na ležištu "Dimnjače - Gračanica":

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| Gruba vlaga            | 21,83 %               |
| Higro vlaga            | 13,37 %               |
| Ukupna vlaga           | 35,20 %               |
| Pepeo                  | 17,63 %               |
| Ispaljive materije     | 32,38 %               |
| Sagorljive materije    | 49,37 %               |
| C-fix                  | 18,17 %               |
| Koks                   | 35,50 %               |
| Sumpor sagorljivi      | 2,06 %                |
| Sumpor vezani          | 1,27 %                |
| Sumpor ukupni          | 3,33 %                |
| Gornji toplotni efekat | 12 520 kJ/kg          |
| Donji toplotni efekat  | 11 215 kJ/kg          |
| Zapreminska masa       | 1,33 t/m <sup>3</sup> |

#### 4.0. Kvantitativne karakteristike ležišta

Osnovna metoda proračuna rezervi uglja na ležištu "Dimnjače" izvršena je metodom poprečnih paralelnih vertikalnih profila, postavljenim pravcem (54<sup>0</sup>), a kontrolna metodom blokova.

Na osnovu Pravilnika o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima ("Službeni list SFRJ" broj:53/79) koji je preuzela Bosna i Hercegovina, ležište uglja "Dimnjače", svrstano je u ležište II grupe, a II podgrupe,

Zapremine uglja u pojedinim blokovima između profila računane su pomoću formule za izračunavanje zapremine zarubljene prizme koja glasi:

$$V = P_{sr.} \cdot d$$

$V$  - zapremina rezervi uglja između profila u (m<sup>3</sup>)

$P_{sr.}$  - srednja vrijednost površina ugljenog sloja između profila u (m<sup>2</sup>)

$d$  - rastojanje između profila u (m)

Rastojanje između profila  $d$  mjereno je direktno sa karte.

**Obračun površina ugljenog sloja između profila je rađen po formulama:**

$$P_{sr.} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \text{ ako se površine između profila ne razlikuju više od 40 \%}$$

$$*P_{sr.} = \frac{1}{3} [(P_1 + P_2) + \sqrt{P_1 \cdot P_2}], \text{ ako se površine između profila razlikuju preko 40 \%}$$

-  $P_1, P_2, P_n$  - površine obračunskih profila po kategorijama

Na osnovu primjenjenih metoda obračuna rezervi na ležištu "Dimnjače", stanje bilansnih rezervi sa 31.12.2010. godine iznosi:

Tabela 10.

| Kategorija rezervi       | Bilansne rezerve (t) | Eksploatacioni gubici (%) | Eksploatacioni gubici (t) | Eksploatacione rezerve (t) |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| A                        | 3 974 168            | 15                        | 596 125                   | 3 378 043                  |
| B                        | 1 656 082            | 15                        | 248 412                   | 1 407 670                  |
| A+B                      | 5 630 250            | 15                        | 844 538                   | 4 785 712                  |
| C <sub>1</sub>           | 372 159              | 15                        | 55824                     | 316 335                    |
| <b>A+B+C<sub>1</sub></b> | <b>6 002 409</b>     | <b>15</b>                 | <b>903 498</b>            | <b>5 098 911</b>           |

## 5. Mogućnost upotrebe

Lignit iz ležišta "Dimnjače" ima široku primjenu, ovisno o kvalitetu i asortimanu:

- sitni ugalj sa više od 7 000 kJ/kg koristi se u termoenergetici,
- komad, kocka i orah za industrijske i gradske toplane i široku potrošnju u domaćinstvima.

## 6. Zaključak

Rudnik uglja lignita "Gračanica" nalazi se u jugoistočnom dijelu bugojanskog neogenog ugljonosnog basena, na desnoj obali Vrbasa, između Gornjeg Vakufa i Bugojna.

Teren užeg područja ležišta uglja "Dimnjače" izgrađuju anizijski sedimenti koji čine i podinu produktivnom neogenu i dio oboda (istočni i sjeveroistočni dio ležišta), te sedimenti gornjeg miocena, pliocen-kvartara i kvartara.

Ugljunosna neogena serija u području ležišta "Dimnjače" sastoji se od podine ugljenog sloja (<sup>5</sup>M<sub>3</sub>), ugljenog sloja (<sup>6</sup>M<sub>3</sub>) i povlate ugljenog sloja (<sup>7</sup>M<sub>3</sub>).

Pri proračunu rezervi uglja na ovom ležištu kao osnovna metoda korištena je metoda poprečnih paralelnih vertikalnih profila, a kao kontrolna metoda blokova. Ukupne bilansne rezerve uglja na ležištu „Dimnjača“ iznose 6 002 409 t.

Prosječne vrijednosti uglja na ležištu "Dimnjače" dobijene obračunom kvaliteta po bušotinama i blokovima su slijedeće:

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| Gruba vlaga            | 21,83 %               |
| Higro vlaga            | 13,37 %               |
| Ukupna vlaga           | 35,20 %               |
| Pepeo                  | 17,63 %               |
| Ispaljive materije     | 32,38 %               |
| Sagorljive materije    | 49,37 %               |
| C-fix                  | 18,17 %               |
| Koks                   | 35,50 %               |
| Sumpor sagorljivi      | 2,06 %                |
| Sumpor vezani          | 1,27 %                |
| Sumpor ukupni          | 3,33 %                |
| Gornji toplotni efekat | 12 520 kJ/kg          |
| Donji toplotni efekat  | 11 215 kJ/kg          |
| Zapreminska masa       | 1,33 t/m <sup>3</sup> |

Dosadašnjim rudarsko-geološkim istraživanjima i laboratorijskim ispitivanjima potvrđeno je da se lignit iz ležišta "Dimnjače" može koristiti kao sitni ugalj (sa više od 7 000 kJ/kg) u termoenergetici, a komad, kocka i orah za industrijske i gradske toplane kao i u domaćinstvima.

## Literatura

- Butorac, Đ., (1986): Elaborat o rudnim rezervama na ležištu "Odžak – Zenesovići" "Geoinstitut" - Sarajevo.
- Butorac, Đ., (1986): Elaborat o rudnim rezervama ležišta "Donja Ričica" "Geoinstitut" Sarajevo.
- Butorac Đ., i Žugić M., (1988): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Geoinstitut"- Sarajevo.
- Džindo M., Forčaković Dž.,(2009): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2009. godini, "Rudarski institut"d.d. Tuzla.
- Džonlagić Dž. i Butorac Đ. (1988): Konačni izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima u bugojanskom basenu u 1985.godine. "Geoinstitut"- Sarajevo.
- Džonlagić Dž., (1988): Konačni izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima u zapadnom dijelu bugojanskog basena do kraja 1987. god. "Geoinstitut"- Sarajevo.
- Čičić,S. (1976): Bugojanski basen, Edicija mineralne sirovine BiH, prvi tom. "Geoinženjering"- Sarajevo.
- Forčaković Dž., (2009): Konačni izvještaj o detaljnim geološkim istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2009. godini, "JP Rudnik uglja Gračanica" d.o.o. Gornji Vakuf – Uskoplje.
- Forčaković Dž., Selimović E., Musić A., (2011): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja na lokalitetu "Dimnjače" – Gračanica kod Gornjeg Vakufa, stanje 31.12.2010.godine, "Geotehnos" d.o.o. Sarajevo.
- Forčaković Dž., Operta M., (2011): Rekultivacija devastiranih površina rudnika uglja na primjeru „Gračanica“ Gornji Vakuf –Uskoplje – IV Savjetovanje geologa BiH.
- Giljan N., (1988): Elaborat o inženjersko-geološkim i geomehaničkim karakteristikama ležišta uglja "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa – "Geoinženjering" - Sarajevo.
- Jovanović L., (1988): Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima na području ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa – "Geoinženjering" - Sarajevo.
- Kličić I., Brkić Emina., Hajdarević I., (2005): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Zavod za geologiju" - Sarajevo.
- Kličić I., Puljarga H., (2006): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2006. godini, "Pigip" d.o.o. Sarajevo.
- Kurtanović R., (1996): Istraživanja ležišta mineralnih sirovina Zavod za geologiju - Sarajevo.
- Kurtanović R., i Kovačević R., (1996): Analiza sirovinske baze uglja u bugojanskom basenu i pravci daljih istraživanja, "Zavod za geologiju" - Sarajevo.
- Kurtanović R., Kovačević R.,Halilčević N., (1997): Elaborat o rezervama uglja ležišta "Dimnjače" (Gračanica) kod Gornjeg Vakufa - "Zavod za geologiju"- Sarajevo.
- Levi, S., (1986): Aneks Elaboratu o rezervama uglja ležišta Gračanica kod Bugojna, sa stanjem 1.6.1986. godine "Geoinženjering" – Sarajevo
- Muftić, M., i Behlilović, S., (1966): Prikaz geološkog poznavanja ugljonosnih naslaga Gračanice kod Bugojna, Geološki glasnik br.11 Sarajevo.
- Vujnović, et.all (1975): OGK i Tumač osnovne geološke karte list Bugojno, "Geoinstitut"- Sarajevo.
- Pržulj M., (1991): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja na području Čipuljić-Šumelja, "Geoinstitut" - Sarajevo.
- Suljagić A., Halilčević N., (2007): Tehnički projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta uglja u eksploataciji na PK "Dimnjače" u 2007. godini, Pigip d.o.o. Sarajevo.
- Tomić, B., (1981): Elaborat o rezervama uglja ležišta Gračanica kod Bugojna – "Geoinženjering" - Sarajevo.
- Žugić, M., (1984/1985): Konačni godišnji izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima uglja bugojanskog basena izvršenim u 1983. god., "Geoinstitut"- Sarajevo.
- Vujnović, et.all (1975): OGK i Tumač osnovne geološke karte list Bugojno, "Geoinstitut"- Sarajevo.

## Резултати најновијих геолошких истраживања лежишта угља "Мариово"

Ласте ИВАНОВСКИ дипл.инг.геолог<sup>1</sup>, М-р Златко ИЛИОВСКИ дипл.инг.геолог<sup>2</sup>,  
Елизабета РАЛЕВА дипл.инг.геолог<sup>3</sup>, Владимир КОСТОВСКИ дипл.инг.геолог<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
laste.ivanovski@gim.com.mk

<sup>2</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија, geozlatko@gim.com.mk

<sup>3</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
elizabetha.raleva@gim.com.mk

<sup>4</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
vladimir.kostovski@gim.com.mk

### АБСТРАКТ

*Истраживање лежишта угља и њихова припрема за експлоатацију представља захтеван и комплексан задатак, који захтева мултидисциплинарни приступ. У фази истраживања од посебног значаја су истражно бушење, геолошка проспекција и геомеханичка испитивања.*

*У овом раду је приказана методологија која је примењена за доистраживање лежишта угља у Мариову, који представља потенцијални рударско-површински коп, где би у будућности могла да се врши и подземна експлоатација.*

### ABSTRACT

*Studies of coal mines and their preparation for exploitation is an extremely complex, task that requires a multidisciplinary approach. In the research phase of particular importance are drilling, geological, geomechanical and hydrogeological investigations. These studies are based on the following principles: gradation, completeness, smoothness and rationality.*

*This paper shows the results of the performed calculations for quality and coal reserves in the Mariovo coal deposits. The type and the scope of investigations in this site comprehensively treats all the geological and geotechnical aspects.*

*The deposit is a potential coal mine, which in future could be opened by underground mining method.*

### KEYWORDS

*угаљ, лежиште, квалитет, резерве*

### УВОД

#### Опште карактеристике

Лежиште угља-лигнита се простире на око 30 км ваздушног растојања југоисточно од града Прилепа у региону Мариово, између сеоских насеља Витолиште, Полчиште, Бешиште и Манастир где су извршена обимна геолошка истраживања, инжењерско-геолошка, хидрогеолошка, и геомеханичка истраживања и испитивања.

Терен који је био обухваћен са досадашњим истраживањима и испитивањима захвата простор од око 15 км<sup>2</sup>. Истражна област у суштини представља део Мариовског неогеног басена.

Од досадашњих истраживања константовано је да се ради о слоју лигнита-угља који је развијен у источном и централном делу неогеног Мариовског басена. Са морфолошког аспекта терен представља плато окружен планинама.

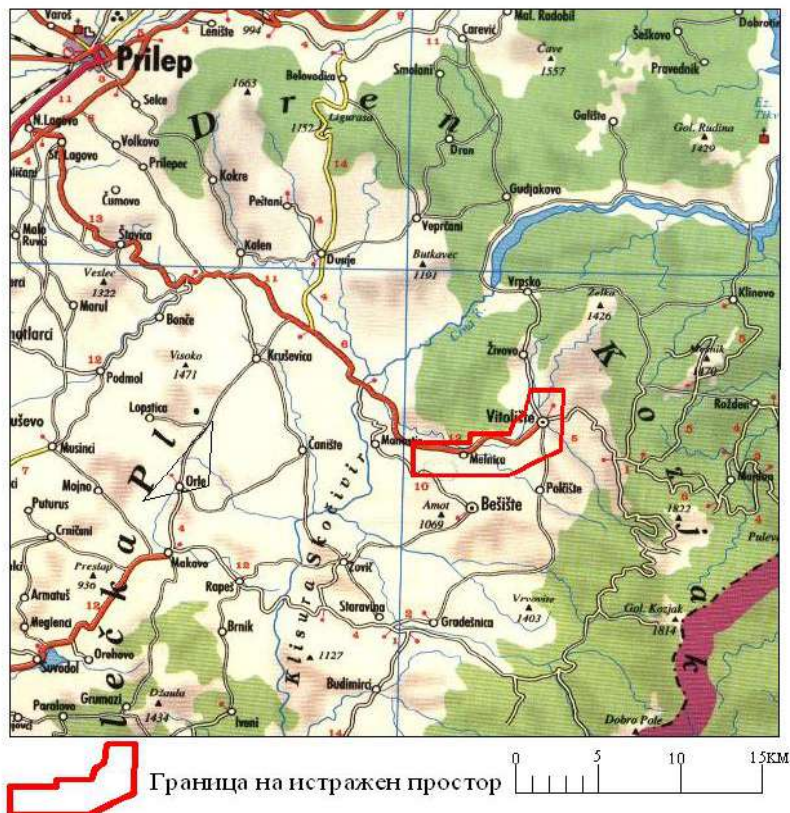


Figure 1: Слика 1: Географска карта ширег простора истраживања

### Геолошка грађа лежишта

У погледу геолошке грађе лежиште, издвајају се следеће литолошке формације:

- Подинска формација шљункова, пескова и глина (GP-M<sub>3</sub>)
- Слој угља (J-M<sub>3</sub>)
- Формација алевролита, алевролитских лапораца, глиници (TR-M<sub>3</sub>)
- Формација пескова, алевролита, суглина и шљункова (AL-P - Pl)
- Вулканогено-седиментне творевине ( $\omega$ -Pl, Q)
- Кварцлатитски агломерати и туфови ( $\omega$ )
- Кварцлатитске брече ( $\omega$ □)
- Кречњаци са бигром, бигар, травертин и оникс (Bi- Pl, Q)
- Пролувијум (pr)
- Делувијум (d)
- Алувијум (al)



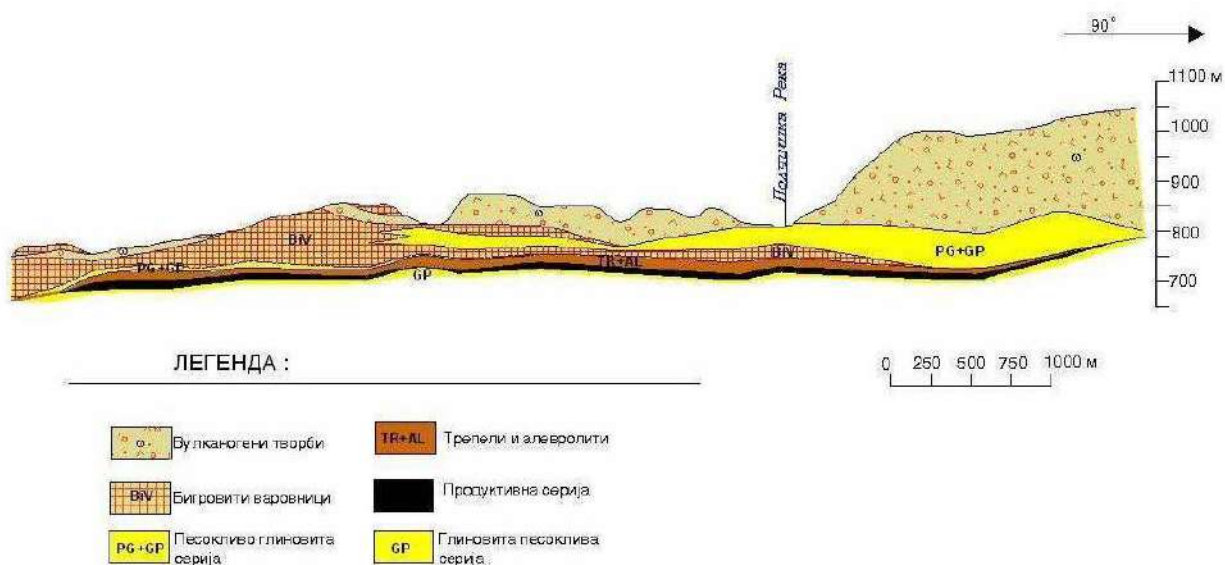


Figure 2: Слика 2: Карактеристични подужни профил у зони лежишта угља

### Претходна истраживања и испитивања

У прошлости Мариовски неоген басен био је предмет различитих геолошких истраживања, а изведен је и одређен број рударских радова.

Почетак првих наменских истраживања угља на подручју Мариова датира од 1974 године. Истраживања су вршена од стране на Геолошког завода - Скопље у четири фазе. Укупно је изведено 55 истражних бушотина, од којих позитивне 36, а негативне 19, са укупном дужином бушења од 6730 метара. Као резултат истраживања добијени су следећи резултати:

- Слој угља, смештен у источном и централном делу плиоценског басена
- Слој генерално благо тоне ка западу
- Слој угља се протеже правцем ССИ-ЈЈЗ
- Дебљина угљеног слоја се креће од 1,3 - 14,9 метара или просечно 8,1 метар
- Средња доња калорична вредност износи 1,824 килокалорија.
- утврђена старост – средњи плиоцен
- утврђене резерве -  $V + C1 = 111.264.840$  тони угља на површини од  $13,86 \text{ km}^2$
- просечна угљоносност -  $8.025.300$  тони угља на површини од  $1 \text{ km}^2$

Током 1984 године од стране Рудника и фабрика "Партизан" Прилеп, по други пут је направљено истраживање, али овог пута на делу од лежишта Мариово, односно на локацији Ревир Манастир и око села Витолиште. Истраживан је простор од 340 хектара, број изведених структурних бушотина у Ревир Манастиру је 56, од којих су позитивне 39, негативне 7, (односи се на 46 бушотине за које постоји документација), са укупном

дубином од 4780,4 м ( односи се на укупно 56). Као резултат ових истраживања добијени су следећи резултати:

- просечна дебљина слоја угља се креће 8-12 метара
- утврђене резерве  $A+B+C_1= 21.695.472$  тона угља, од којих локацији Ревир Манастир припадају 20.635.160 тона угља, док лежиште угља Витолиште ПК1 и ПК2 није економски исплативо.

У погледу хидрогеолошке истражености, лежиште је истражено веома мало, и добијени резултати дају само општу слику и показатеље хидрогеолошких услова лежишта.

Table 1: Табела 1: Табела резерве истражних радова обављени у прошлости

| <b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1974/77<br/>(пресметките се извршени на целото наоѓалиште)</b> |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|
| категија резерви  | количина на јаглен |                    |
|   | (м <sup>3</sup> )  | (т)                |
| А категорија  | –                  | –                  |
| Б категорија  | 17 562 500         | 22 831 250         |
| Ц <sub>1</sub> категорија   | 68 029 690         | 88 438 590         |
| <b>Вкупно Б+Ц<sub>1</sub></b>   | <b>85 592 190</b>  | <b>111 269 840</b> |
| <b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1983/84<br/>(пресметките се извршени на ревив “Манастир”)</b>  |                    |                    |
| категија резерви  | количина на јаглен |                    |
|   | (м <sup>3</sup> )  | (т)                |
| А категорија  | 1 221 229          | 1 487 599          |
| Б категорија  | 7 845 084          | 10 198 613         |
| <b>Вкупно А+Б</b>   | <b>9 066 313</b>   | <b>11 686 212</b>  |
| Ц <sub>1</sub> категорија   | 2 433 072          | 3 162 998          |
| <b>Вкупно А+Б+Ц<sub>1</sub></b>   | <b>11 499 385</b>  | <b>14 949 200</b>  |
| <b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1983/84<br/>год. (за целото наоѓалиште, Елаборат 1985г.)</b>   |                    |                    |
| категија резерви  | количина на јаглен |                    |
|   | (м <sup>3</sup> )  | (т)                |
| А категорија  | –                  | 1 487 600          |
| Б категорија  | –                  | 33 029 860         |
| Ц <sub>1</sub> категорија   | –                  | 76 752 378         |
| <b>Вкупно А+Б+Ц<sub>1</sub></b>   | –                  | <b>111 269 840</b> |

## ВИДОВИ, ОБИМ И МЕТОДОЛОГИЈА ДОПУНСКИХ ИСТРАЖИВАЊА ФАЗЕ 2009-2010 год.

### Концепција и методологија истраживања

Постојећа проблематика лежишта заслужује свеобухватни третман од свих аспеката. У том смислу, допунска истраживања и испитивања од ове фазе у методолошком смислу су постављена са циљем да се добију релевантни параметри за рационално и сигурно пројектовање технологије подземног откопавања. Концепција која је примењена у овим истраживањима се заснива пре свега на следећим принципима: поступност, целовитост, рамномерност и рационалност односно економичност. Са сагласносношћу ових принципа, вид и обим истражних радова овог лежишта свеобухватно третира све геолошке, хидрогеолошке и

геотехничке аспекте. Реализирана су комплексна теренска, лабораторијска и кабинетска истраживања.

**Вид и обим геолошких истраживања и испитивања**

Табела 2: Табеларни преглед обима важнијих истражних радова

| Поз.     | Опис обављених радова   | Јед.мера        | Укупна количина |
|----------|---|-----------------|-----------------|
| <b>А</b> | <b>БУШАЧКИ РАДОВИ</b>   |                 |                 |
| 1        | Геолошко, хидрогеолошко и геомеханичко истраживање, бушење 90 истражних бушотина са дубина од 50-260м                 | м'              | 10 620          |
| <b>Б</b> | <b>ГЕОЛОШКИ РАДОВИ</b>  |                 |                 |
| 1        | Картирање (реамбулација) ширег простора у размеру 1:10.000  | km <sup>2</sup> | 20              |
| 2        | Геолошко картирање језгра, опробавање и скрачење проба  | м'              | 10 500          |
| <b>В</b> | <b>ГЕОЛОШКИ ЛАБОРАТОРИСКИ РАДОВИ</b>  |                 |                 |
| 1        | Техничке анализе угља   | анализа         | 170             |
| 2        | Елементарне анализе   | анализа         | 55              |
| 3        | Састав и топлјивост   | анализа         | 30              |
| 4        | Мељивост  | анализа         | 20              |
| 5        | Петрографска испитивања   | анализа         | 15              |
| 6        | Петрографска анализа околних стена  | анализа         | 20              |
| 7        | Хемиска анализа околних стена (ретки ел.)   | анализа         | 10              |
| <b>Г</b> | <b>ХИДРОГЕОЛОШКИ И ИНЖЕЊЕРСКО ГЕОЛОШКИ РАДОВИ</b>   |                 |                 |
| 1        | Хидрогеолошко и инжењерско геолошко картирање   | km <sup>2</sup> | 20              |
| 2        | Уграђивање пиезомертара у 64 структурне бушотине и у 11 јалове бушотина, укупно 75, кровински, подински и међуслојне. | м'              | 7 800           |
| 3        | Испитивање водопропусност у теренски услови по метод Le Franc   | опит            | 35              |
| <b>Д</b> | <b>ИНЖЕЊЕРСКО ГЕОЛОШКИ ЛАБОРАТОРИСКИ РАДОВИ</b>   |                 |                 |
| 1        | Чврстоћа на протисак на угљ, бигар, туф и друге стене   | опит            | 70              |
| 2        | Чврстоћа на затезањ е- бразилски метод  | опит            | 70              |
| 3        | Индекс јакости угља, бигар, туф и друге полукамените стене  | опит            | 150             |
| 4        | Цврстоћа на смицање на контакту или дуж пукнотина   | опит            | 12              |
| 5        | Сила резања угља  | опит            | 10              |
| 6        | Трајање угља  | опит            | 10              |
| <b>Ђ</b> | <b>ГЕОМЕХАНИЧКИ ЛАБОРАТОРИСКИ АНАЛИЗИ</b>   |                 |                 |
| <b>Е</b> | <b>ГАСОНОСНОСТ И САМОЗАПАЉИВОСТ</b>   |                 |                 |
| 1        | Одређивање самозапаљивост угља  | проба           | 22              |
| 2        | Запаљиви и експлозивни карактеристике угљове прашине  | проба           | 22              |
| 3        | Агресивни карактеристике угљове прашине   | проба           | 22              |
| 4        | Дефинисање гасоносност проба угља   | проба           | 22              |

**КВАЛИТАТИВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ УГЉА**
**Техничка анализа угља**

При Техничкој анализи угља извршена је детаљна обрада свих до сада реализираних истрага, односно анализа. Са циљем, да се што детаљније прикажу сви досадашњи резултати од техничких анализа угљева обрађених за укупно 132 позитивне бушотине, са укупно 288 проба.

Као критеријум за позитивну пробу узета је калорична вредност од 1000 ссаl/kg, односно 4170 kJ/kg

Табела 3: Табеларни преглед прорачуна квалитета угља

Вредност на ДТВ >4170kJ/kg

|  | Број на пос. дупнатини | Бр. проба | Дебелина (м) | Влага % | Пепел % | Сулфур   |       | Кокс % | С-фикс % | Исп. мат. % | Сог. мат. % | Топлотна вредност |              |
|--|------------------------|-----------|--------------|---------|---------|----------|-------|--------|----------|-------------|-------------|-------------------|--------------|
|  |                        |           |              |         |         | Вкупно % |       |        |          |             |             | Горна(kJ/kg)      | Долна(kJ/kg) |
| вкупен пондерисан просек 74/77         | 31                     | 56        | 174.00       | 39.53   | 20.34   | 0.97     | 42.88 | 21.89  | 18.10    | 40.12       | 9306.35     | 7838.61           |              |
| вкупен пондерисан просек 84/85         | 29                     | 85        | 219.70       | 28.47   | 26.22   | 1.54     | 40.83 | 16.38  | 36.06    | 45.12       | 10766.38    | 9451.98           |              |
| вкупен пондерисан просек 2009/10       | 72                     | 147       | 536.28       | 39.27   | 23.15   | 1.11     | 35.84 | 12.82  | 24.68    | 37.57       | 8313.87     | 6874.88           |              |
| вкупен пондерисан просек од трите фази | 132                    | 288       | 929.98       | 36.77   | 23.35   | 1.18     | 38.34 | 15.36  | 26.14    | 40.71       | 9078.95     | 7664.01           |              |

8738.93

Вредност на ДТВ >6500kJ/kg

|  | Дебелина (м) | Влага % | Пепел % | Сулфур   |       | Кокс % | С-фикс % | Исп. мат. % | Сог. мат. % | Топлотна вредност |              |
|--|--------------|---------|---------|----------|-------|--------|----------|-------------|-------------|-------------------|--------------|
|  |              |         |         | Вкупно % |       |        |          |             |             | Горна(kJ/kg)      | Долна(kJ/kg) |
| вкупен пондерисан просек 74/77         | 129          | 39.49   | 18.28   | 1.06     | 42.20 | 23.17  | 18.93    | 42.31       | 10166.23    | 8667.45           |              |
| вкупен пондерисан просек 84/85         | 194          | 27.85   | 24.91   | 1.57     | 39.97 | 17.06  | 38.25    | 47.05       | 11156.35    | 9982.09           |              |
| вкупен пондерисан просек 2009/10       | 350          | 40.45   | 20.09   | 1.24     | 34.40 | 14.32  | 25.03    | 39.72       | 9158.14     | 7718.76           |              |
| вкупен пондерисан просек од трите фази | 674          | 36.63   | 21.13   | 1.30     | 37.51 | 16.81  | 27.67    | 42.33       | 9927.52     | 8553.14           |              |

9456.56

Техничка анализа со вкупна влага

| Резерви   | Вкупна маса (t) | Техничка анализа со вкупна влага |           |                   |            |                      |                      |          |             |
|-----------|-----------------|----------------------------------|-----------|-------------------|------------|----------------------|----------------------|----------|-------------|
|           |                 | Вкупна влага (%)                 | Пепел (%) | Вкупен сулфур (%) | С-фикс (%) | Испарл. материји (%) | Согорл. материји (%) | Кокс (%) | ДТВ (kJ/kg) |
| пондер А  | 41,150,787      | 36.14                            | 23.45     | 1.26              | 16.94      | 23.47                | 40.41                | 38.23    | 7761.11     |
| пондер Б  | 45,797,125      | 36.70                            | 23.04     | 1.14              | 16.82      | 23.44                | 40.26                | 40.60    | 7571.68     |
| А+В       | 86,947,911      | 36.44                            | 23.23     | 1.20              | 16.87      | 23.46                | 40.33                | 39.48    | 7661.08     |
| пондер Ц1 | 9,779,965       | 37.69                            | 22.68     | 1.17              | 16.67      | 22.96                | 39.63                | 39.06    | 7593.88     |
| Вк.пондер | 96,727,876      | 36.56                            | 23.18     | 1.20              | 16.85      | 23.41                | 40.26                | 39.44    | 7654.27     |

**РЕЗЕРВЕ УГЉА**

Коначни циљ сваког истраживања је поред свега осталог и да се изврши прорачун количина корисне супстанце која представља основни параметар при утврђивању вредности лежишта, одређивања инвестиционих средстава за отварање рудника, као и утврђивања годишњег капацитет производње. Приликом тога је извршен прорачун укупних рудних резерви са којим располаже лежиште без да се узме у обзир њихова могућност искоришћавања. Овако прорачунате резерве у суштини представљају геолошке рудне резерве. Ако се резерве посматрају од техничко- економског аспекта,

јасно је да један део од геолошких резерви због различитих разлога (методе откопавања, техничко-технолошки услови, ниска калорична вредност, начин прераде и сл.) ће бити неискоришћен, *то су ванбилансне резерве*, док резерве које могу да се искористе су *билансне рудне резерви*.

Табела 4: Табеларни преглед прорачун резерви угља

| Табела за пресметка на прекатегоризирани геолошки рудни резерви (ДТВ > 4 170 kJ/kg)<br>по метода на блокови - Наоѓалиште јаглени Мариово 2009/10 |               |               |                 |                |
|--|---------------|---------------|-----------------|----------------|
|  | А резерви (t) | Б резерви (t) | А+Б резерви (t) | Ц1 резерви (t) |
| Ревир<br>Манастир-<br>Бешиште  | 14,692,740.73 | 9,076,404.91  | 23,769,145.64   | 9,779,964.84   |
| Ревир<br>Полчиште  | 11,138,631.78 | 24,414,566.46 | 35,553,198.24   |                |
| Ревир<br>Витолиште   | 15,319,414.01 | 12,306,153.48 | 27,625,567.49   |                |
| Вкупно за -ело<br>наоѓалиште   | 41,150,786.52 | 45,797,124.85 | 86,947,911.37   | 9,779,964.84   |
| Вкупно резерви А+Б+Ц1 (t)  |               |               | 96,727,876.20   |                |
| Табела за пресметка на прекатегоризирани билансни рудни резерви (ДТВ > 6 500 kJ/kg)<br>по метода на блокови - Наоѓалиште јаглени Мариово 2009/10 |               |               |                 |                |
|  | А резерви (t) | Б резерви (t) | А+Б резерви (t) | Ц1 резерви (t) |
| Ревир<br>Манастир-<br>Бешиште  | 12,353,660.17 | 6,762,007.02  | 19,115,667.19   | 6,994,525.22   |
| Ревир<br>Полчиште  | 9,668,875.84  | 16,730,857.07 | 26,399,732.91   |                |
| Ревир<br>Витолиште   | 8,654,960.91  | 9,104,152.66  | 17,759,113.57   |                |
| Вкупно за -ело<br>наоѓалиште   | 30,677,496.92 | 32,597,016.76 | 63,274,513.67   | 6,994,525.22   |
| Вкупно резерви А+Б+Ц1 (t)  |               |               | 70,269,038.90   |                |

Код прорачуна геолошких рудних резерви угља лежишта Мариово осим резултата од тренутних истраживања, узети су у обзир и резултати од свих досадашњих истраживања и испитувања. При подели рудних резерви у овом елаборату, пресудан параметар је ДТВ угља. Угаљ са калоричним вредностима већим од 4170 kJ/kg је узет у обзир при прорачуну ткз. геолошких рудних резерви, док угаљ са калоричним вредностима већим од 6500 kJ/kg представља ткз. билансне рудне резерве. Рудне резерве су прорачунаване по методи блокова и по контролној методи паралелних профила.

Са методом паралелни блок профили, где су коришћени попречни геолошки профили од 6-6' до 36-36'. добијени су следеће вредности:

Укупне геолошке резерве А+Б+Ц1= **99,100,843 т.** разлика у односу на методу по блоковима је 2.39%.

Укупне билансне резерве (ДТВ>6500кј/кг) А+Б+Ц1= **73,324,068 т.** разлика у односу на методу по блоковима је 4.16%.

## ТЕХНИЧКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА

При анализи техничко-економске оцене су узете у обзир сви значајни фактори и показатељи карактеристични за лежиште Мариово. Прорачуни економске (вредносне) оцене су извршени на основу следећих показатеља:

- Билансне резерве од 70.269.039 су умањене за 10%, у суштини експлоатацијски губитци;
- Време (рок) експлоатације је прорачунавано на 38,7 година добијено на основу геолошких рудних резерви од 96.727.876т. и годишњег капацитета од 2.500.000 тона.
- Приликом прорачуна економске оцене узето је у обзир време експлоатације од 25,3 година добијено од експлоатационих рудних резерви (билансне резерве умањене за 10%) од 63.242.135тони, и годишњег капацитета од 2.500.000т.
- Профит прорачунат у вредности од 3,16 евро/тон, добијен је од продајне цене умањен за трошкове експлоатације и др.;
- Прорачун вредносне (економске) оцене је извршен по Хосколд-овој формули и износи 73.831.776 евра, која претставља тренутну вредносну (економску) оцену која даје слику о будућем профиту лежишта Мариово.

## ЗАКЉУЧАК

Изведена допунска истраживања у фази 2009-2010 године представљају комплексна истраживања. У фази реализације ових истраживања били су укључени и аутори главног рударског пројекта који су имали увид на сам процес истраживања, а у појединим фазама давали своје предлоге и сугестије. Реализирана теренска, лабораторијска и кабинетска геолошка, хидрогеолошка, инжењерско-геолошка и геомеханичка истраживања и испитивања на солидном нивоу направила су анализу и обрадила предметну проблематику. Добијени резултати су квалитетна подлога за израду главног рударског пројекта за отварање подземног копа за експлоатацију лежишта угља Мариово.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Проект за геолошки и геомеханички истражувања, доистражувања и испитувања на јагленовото наоѓалиште “Мариово”-Универзитет “Свети Кирил и Методиј”-Градежен Факултет Скопје, мај 2009;
- [2] Завршен извештај за истражувањата на јаглен во Мариово 1974-77 Книга 1- Геолошки завод- Скопје,1977;
- [3] Извештај за постигнатите резултати при истражувањето на лежиштето “Мариово” со преглед за понатамошните активности-Рудници и ф-ка “Партизан” Прилеп, септември 1984;
- [4] Документација од тековна анализа и обработка на податоците во рамките на реализацијата на дополнителните истражувања и испитувања фаза 2009-2010 год.

## Architectural - construction stone in Eastern Macedonia

Kulakov Ljupče, BSc Geological engineer.

*St.Kole Nedelkovski No:22 Stip, R.Macedonia*  
*Civil Engineering Institute MACEDONIA J.S. - Skopje*  
*ljupce.kulakov@gim.com.mk; Kulakov1978@hotmail.com,*  
*tel:+38972204253, +38970956802*

**A b s t r a c t:** This paper presents most part of rock mass appearances in Eastern Macedonia that are suitable or interesting for further investigations as an architectural - construction or decorative stone material. All the material that is presented in this scientific effort is based on quondam and present field and laboratory examinations which were carried out by the previously mentioned authors of this scientific effort, as well as others numerous authors and institutions. Main goal of this issue is to present and promote the qualitative and quantitative attributes for all noted rock appearance in role of their usage and exploitation. Parts of presented stone appearances are detailed explored and defined which makes them highly qualified and suitable for exploitation. The rest of the stone appearance is defined by its basic geologic characteristics and appearances.

**Key word:** stone, characteristics, appearance, usage

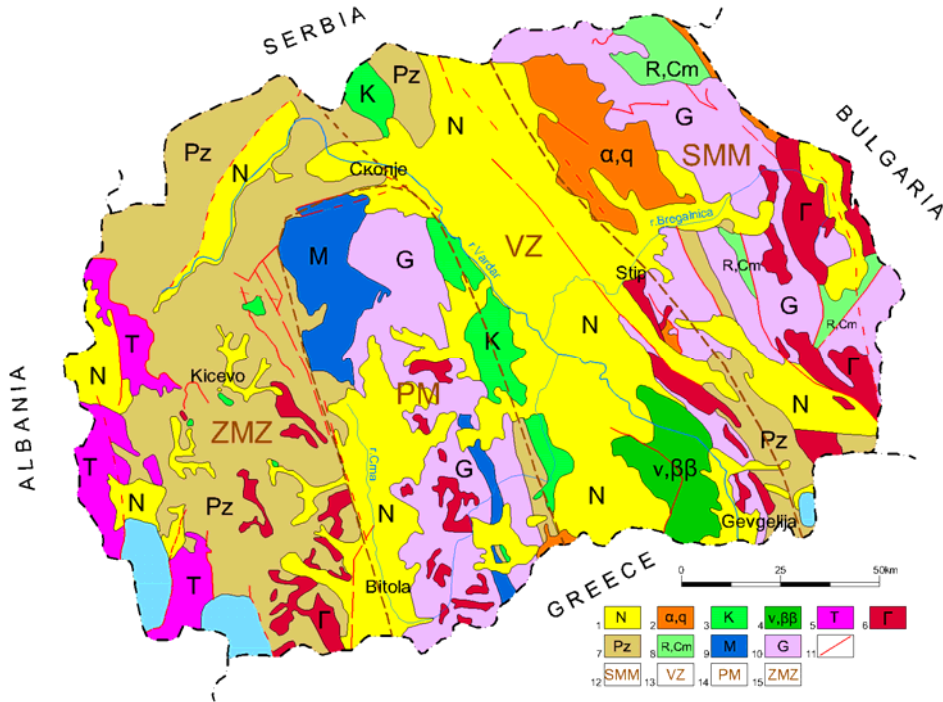
### 1. INTRODUCTION

Eastern part of R.Macedonia is region that is defined by geographical division of the country by the flow of river Vardar. Total geological characteristics for all rock mass occurrences in this part of the country are defined by the two geotectonic units (Vradar zone and Serbo-Macedonian mass) that compose the appearing rock formations [M.Arsovski 1979] (Figure 1). Its specific historical development manifested with characteristic petrologic and structural rock mass appearance makes base for further research and evaluation of appearing rock mass occurrences as architectural-construction stone. Most part of these interesting rock appearances are presented and defined in this scientific effort. Their partial or total definition is based on numerous field and laboratory examinations that were carried out by the previously mentioned authors of this scientific effort, as well as others numerous authors and institutions. Main goal of this issue is to present and promote the qualitative and quantitative attributes for all noted rock appearances in role of their usage and exploitation. Parts of presented stone appearances are detailed explored and defined which makes them highly qualified and suitable for exploitation. The rest of the stone appearance is defined by its basic geologic characteristics and appearances that are known mostly from previously implemented researches [Basic Geology Maps of R.Macedonia in scale 1:100000].

### 2. RESULTS AND DISCUSSION

Based upon numerous explorations and research examinations it is established that the territory of eastern Macedonia is composed of various magmatic, metamorphic and sedimentary rock formations which could be interesting for usage as architectural-construction stone material. Their form and appearance is closely related with geological development of Vardar zone and Serbo-Macedonian mass. Main characteristic of these two geotectonic units is the dominant appearance of certain rock types [Figure 1]. According to this,

Serbo-Macedonian mass is mostly significant by dominance of metamorphic and granite rock formations, throughout all of the unit, as well as significant volcano-sedimentary appearance in the northern parts. Opposite to this, Vardar zone as younger unit is mainly composed of magmatic rock formations with ultrabasic to acidic chemical composition, different types of sedimentary rock formations, as well as smaller particles of metamorphic rock types that have almost no relevance.



**Figure 1.** Geologic and geotectonic composition of R.Macedonia [Basic geology map of R.Macedonia]

1. Neogene sediments, 2. Volcanic sedimentary rock, 3. Cretaceous rocks, 4. Basic and ultra basic rocks, 5. Triassic rocks, 6. Granit rocks, 7. Paleozoic rocks, 8. Green schist's, 9. Marbles, 10. Gneiss, 11. Faults, 12. Serbo-Macedonian mass, 13. Vardar zone, 14. Pelagonian massif, 15. Western Macedonian zone [Basic geology map of R.Macedonia]

According to petrologic classification, the following types of rock appearances are registered as most suitable for usage as architectural-construction and decorative stone material in Eastern Macedonia: [B.Boev 1997]

| <u>Magmatic</u> | <u>Metamorphic</u> | <u>Sedimentary</u> |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| Basalts         | Gneiss             | Travertines        |
| Gabbros         | Green schists      | Lime stones        |
| Andesites       |                    | Sand stones        |
| Ignimbrites     |                    |                    |

Based upon all previously performed explorations, it is established that almost all previously noted types of rock appearances have very low percent of block excavation. This mostly regards metamorphic rock mass occurrences. However, some types of magmatic rock formations like andezites and ignimbrites have bigger block excavation percentage. This also regards some basalts and partially gabbro appearances.



As very suitable exploitation factor, it is important to mention the good road approach coverage of the terrain where most of previously noted significant rock appearances were established. This situation is mostly result of good rural infrastructure and significant amount of mountain and field roads.

Also, as very important suitable exploitation factor, it is noted that all of these significant locations have electrical power supply nearby. Some locations even have opportunity for local water supplying connectivity, or some other type of local water utilization.

All of these previously mentioned preferences are mainly result of contiguity with the surrounding villages.

### 3. BASALTS

These types of rock formations mainly appear in Vardar zone. They are considered as one of the most significant architectural-construction rock types in eastern Macedonia. Most often along with these basalts there are significant amounts of kayanite occurrences that have special role in usage as architectural-construction rock material. They appear mostly among the route between Stip - Sveti Nikole - Kumanovo at locations that form direction NW-SE (Madzarica, Ezovo Brdo, Govedarov Kamen, v.Penus-Tisa Bair, as well as v.Trstenik, v.Preod, v.Divlje, v.Malino, v.Mlado Nagoricane, Zebrnjak and Gradiste) The section between Madzarica - Ezovo Brdo - Govedarov Kamen have significant appearance of kayanites [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, section Stip, Titov Veles and Kumanovo]. One of the most important basalt quarries in eastern Macedonia is “Ezovo Brdo” deposit near Stip [Architectural-construction stone, Part I B.Boev, S.Lepitkova 2008] [Figure 2].



**Figure 2.** Basalt deposit a) Ezovo Brdo b) Zebrnjak [Lj.Kulakov 2011]

This deposit is situated about 10 km west from Stip, and 1,5 km north of “Tri Cesmi” settlement. It is none by its high quality basalt appearance that had been exploited for more than three decades. During previous basic geological investigations, it was established that these basalt exposures comprehend about 2 km<sup>2</sup>. The rest is covered with variable layers of Eocene sediments.

As a result of long exploitation period, significant amount of field and laboratory data about this deposit is well known today. This makes it highly suitable for long term investment. Bock excavation percentage does not exceeds 2%. Usually these blocks are no more than 1m<sup>3</sup> large. Another advantage for this deposit is the possibility for secondary usage of waste material as construction-technical stone. This is result of highly suitable geomechanical characteristics of these basalts [Table 1]. Their main usage is as architectural-

construction material for walls, floor lining, macadam roads, sculpture production and else [Figure 3].



**Figure 3.** Basalt a) Wall b) Macadam road construction - Stip [Lj.Kulakov 2011]

According to macroscopic description, these basalts mostly have dark gray color, rarely brown, noticeable high weight and shelly fragility. Their texture is mostly massive and hollowish, and structure low grained porphyric. Very often inside the basalt distinctive druse made of quartz and calcite crystals can be found. This gives the rock special decorative attribute.

During numerous petrologic research, it was established that basalts from “Ezovo Brdo” deposit have basic microlitic basis with following mineralogical composition: biotite, magnetite, augite, olivine, apatite, feldspar, nepheline, melilite, chlorite, calcite and glass matrix with phenocrystals large up to 1mm. Kayanites are mainly composed of sanidine, plagioclase, leucite, magnetite, biotite, olivine, augite, and carbonate material. Phenocrystals of biotite can be large up to 3mm. Sanidine appears in grains that polyclinic frames grains of other minerals [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, section Stip, Titov Veles and Kumanovo].

According to structure-textural characteristics basalt and kayanites mostly have massive texture (rarely shally) and porphyry structure. Based upon numerous chemical examinations following chemical composition was established for basalts and kayanites [Table 1] [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip].

Table 1. Chemical composition of basalts

| Composition [%]                | Kayanite | Basalt |
|--------------------------------|----------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 44.5     | 40.88  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.72     | 1.40   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.34    | 15.40  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.67     | 5.86   |
| FeO                            | 3.68     | 3.51   |
| MnO                            | 0.19     | 0.28   |
| MgO                            | 7.57     | 8.08   |
| CaO                            | 8.50     | 10.15  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.56     | 3.71   |
| K <sub>2</sub> O               | 5.74     | 1.03   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.22     | 0.80   |
| CO <sub>2</sub>                | 1.00     | 4.31   |
| H <sub>2</sub> O+              | 0.50     | 4.51   |
| H <sub>2</sub> O-              | 0.20     | 0.06   |

All of previously noted makes these basalts one of the most required types of architectural-construction rock in Eastern Macedonia.

#### 4. GABBROS

Gabbros are types of rock that have similar importance as basalts. Their most significant characteristics are high pressure strength and chemical resistance.

Significant gabbro rock appearance in eastern R.Macedonia is registered around v.Pantelej, about 10 km NW from Kocani on approximately 10km<sup>2</sup> area [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip]. These types of rock have similar importance as basalts. Their high volume weight, pressure strength and low wearing resistance makes them very suitable for floor lining [Table 12]. This makes them one of the most commonly used rock material for squares and macadam roads. Besides v.Pantelej, they are also registered near v.Bogoslovec, around 15km west from Štip. However these appearances have almost no significance as result of small appearance and high rupture level.

By some previously performed explorations these two types of gabbros have very different chemical composition [Table 2] [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip].

Table 2. Chemical composition of gabbros

| Composition [%]                | v.Pantelej | v.Bogoslovec |
|--------------------------------|------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 45.14      | 36.56        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.26       | 0.34         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24.50      | 19.19        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.20       | 4.58         |
| FeO                            | 4.59       | 2.25         |
| MnO                            | 0.22       | 0.19         |
| MgO                            | 2.91       | 17.02        |
| CaO                            | 15.80      | 10.70        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.71       | 4.15         |
| K <sub>2</sub> O               | 0.69       | In traces    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -          | 0.12         |
| CO <sub>2</sub>                | -          | 2.25         |
| H <sub>2</sub> O+              | 2.48       | 3.01         |
| H <sub>2</sub> O-              | 0.02       | 0.04         |

Relatively different chemical composition of previously presented gabbros is result of bigger olivine appearance in those gabbros that come from v.Bogoslovec. Opposite to that, gabbros from around v.Pantelej have more unified mineral composition that is mainly composed of basic plagioclase and monoclinic pyroxene. Olivine concentration is very low. They have gray to green color, massive texture, and hypidiomorphic grain structure. Near surface part of the rock mass is highly transformed. Most of the primary minerals like plagioclase and pyroxene are transformed in to epidote-coisite and secondary amphibole.

During different stages of borehole investigation drilling it was established that rock excavation percentage does not exceeds 5%. However this percentage is enough to note these gabbro rock appearance as suitable for exploitation as architectural-construction stone.

## 5. ANDESITES

Andesites are types of rocks that by their structure-textural and physic-mechanical qualifications are very interesting for usage as architectural-construction stone. They are widely spread in the northern part of eastern Macedonia, throughout all of the Kratovo-Zletovo volcanogenic sedimentary area, as well as near v.Brest. Beside these two places, they are established also west from Kriva Palanka and v.Bucim but here they don't have any exploitation value. Basically they appear in two different mineralogical variations.

- Hornblenda-augite-biotite andesites

These types of andesites appear in several locations within Kratovo-Zletovo volcanic sedimentary area. Mostly they lay over volcanic tuffa sediments and frequently are covered with volcanic breccias. They appear widely in the eastern parts of the complex, mostly along r.Kriva Reka. Their color is gray to dark green considering the level of mineral alteration. They have holocrystal-porphiric structure and are compact. The matrix is composed of idiomorphic phenocrystals of plagioclase, hornblende, augite and decomposed biotite, as well as low concentration of apatite, sfen, magnetite, limonite, volcanic glass and frequently calcite. Their thickness is variable and it goes from 10 to around 100m. As a result of suitable geotechnical characteristics, as well as their fine structure and texture features, they are widely used and as architectural-construction stone material [Figure 5]. [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip and Kratovo]



**Figure 4.** Andesitic wall construction - Public School "Vanco Prke" in Štip [Lj.Kulakov 2011]

- Hornblenda-augite andesites

Hornblenda-augite andesites lay over ignimbrites and other older volcanic rock masses west from Probitip and several other locations north of Stracin and east of v.Barbarevo. They have high level of solidity, specific holocrystal porphyric structure that gives special decoration value, and coarse shale fracture suitable for sculpture arrangements. Usually their color is gray-green and light to dark gray. In rare occasions they also appear in shade red colors. In the matrix there are plagioclase crystals (oligoclase - andesine) with up to 30 - 33% of anortite. Also there is significant amount of hypidomorphic grains of augite, hornblende, and biotite. The matrix is hypocristallic, made of luster alkali feldspar mixed with frictions of metallic minerals and alteration of colored minerals. Most of the microlites are oriented towards flow direction which can be concluded by hornblende crystals. Also monmorilonite, kaolinite, chlorite, sericite, calcite, limonite and opal-calcid material can be determinate as secondary minerals, especially in near surface part of the rock mass

appearances. It is estimated that they have 20 to 200m thickness. Similar to them are those around Pilav Tepe, Ruevo Brdo, v.Brest, v.Sopur, and other places inside this andesitic area [Figure 5]. [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip and Kratovo]



**Figure 5.** Andesitic offset appearance near v.Brest [Lj.Kulakov 2011]

They are characteristic by their significant porphyry structure and massive texture. Phenocrystals of plagioclase (andesine) large up to 2-3 cm makes them distinctive towards all previous noted. Also there is significant amount of amphibole crystals represented mostly by hornblenda, as well as streaks of biotite large up to 3mm. The structure is mostly hypocrystalic porphyry, really holocrystalic porphyry.

During some laboratory researches while making the basic geological maps of R.Macedonia, it was established that there is almost no big chemical composition difference between andesites from distant locations. [Table 3] [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kavadarci and Kratovo].

Table 3. Chemical composition of Andesites in Eastern Macedonia

| Composition [%]                | v.Barbarevo | v.Bucim |
|--------------------------------|-------------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 59.54       | 59.97   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.95        | 0.54    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.22       | 17.98   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.69        | 4.50    |
| FeO                            | 1.05        | 2.28    |
| MnO                            | 3.50        | 0.03    |
| MgO                            | 0.12        | 1.95    |
| CaO                            | 2.60        | 3.28    |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.25        | 2.85    |
| K <sub>2</sub> O               | 3.35        | 4.75    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.44        | 0.46    |
| CO <sub>2</sub>                | -           | -       |
| H <sub>2</sub> O+              | 0.72        | 1.23    |
| H <sub>2</sub> O-              | 0.05        | 0.43    |

Specific texture occurrence, different colors, high level of chemical resistance, and suitable geotechnical characteristics makes this type of rock suitable and very required material.

## 6. IGNIMBRITES

Andesitic ignimbrites are type of rock that have special value as architectural-construction material. Their occurrence is connected with Kratovo - Zletovo volcanogenic-sedimentary region. They are established in the area between v.Zletovo- v.Stalkovci - v.T.Rudare, as well as Kratovo - v.Blizanci - v.Lesnovo. [Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip and Kratovo] Their occurrence is mostly related with three main types that are basically distinct by their color:  $^3\Theta\alpha q$  - laminated gray to green ignimbrites with dacitic composition,  $^2\Theta\alpha q$  - gray to purple ignimbrites with dacitic composition, and  $^1\Theta\alpha q$  - dark gray ignimbrites with dacitic composition. As most interesting for usage are considered gray to purple ignimbrites that are located near v.Lesnovo, about 5km east from Probistip. [Figure 6]



**Figure 6.** Ignimbrite offset appearance near v.Lesnovo [Google Earth Photo]

During previous mineralogical research of ignimbrites it was established that they are basically composed of plagioclase, biotite, and little pyroxene, amphibole and magnetite. In some samples chlorite, limonite and opal was registered. Their average modal composition is 17.5-23.5% plagioclases, 2-5% colored minerals, 71-74% basic matrix, and 1% other components. Comparing the chemical composition of ignimbrites and andesites in eastern Macedonia it is evident that they have almost same composition. [Table 4] [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Štip]

Table 4. Chemical composition of Ignimbrites in Eastern Macedonia

| Composition [%]                | Hor.-bio.ign | Pyr.-bio.ign |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 58,1         | 58,39        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,63         | 0,68         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,51        | 16,41        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,24         | 4,36         |
| FeO                            | 3,03         | 2,41         |
| MnO                            | 0,15         | 0,11         |
| MgO                            | 4,34         | 2,40         |
| CaO                            | 5,19         | 5,60         |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,30         | 3,84         |
| K <sub>2</sub> O               | 2,75         | 3,39         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,18         | 0,18         |
| S                              | 0,06         | 0,04         |
| CO <sub>2</sub>                | 0,87         | 0,98         |
| H <sub>2</sub> O+              | 2,77         | 1,42         |
| H <sub>2</sub> O-              | -            | -            |

Their structure is vitro-clastic to litho-crystalic psamitic with high level of alotriomorphic grains.

Gray to purple ignimbrites with dacitic composition are the most commonly exploited type of ignimbrites. Their specific zonal color construction and relatively low rupture degree makes them highly valuable as architectural-construction stone material. As their only negative characteristic is consider their high level of wearing resistance which makes them suitable only for vertical inner and outer facade lining [Table 12]. Their high polishing level and suitable processing characteristics makes them easy to use and manage. Some of them that are overtaken with certain level of silification have better geotechnical characteristics that makes them especially useful for outer facade lining. [Figure 7]



**Figure 7.** Ignimbrite facade decoration from, v.LesNOVO [URBANTEK-Radovis]

The usual commercial dimensions of the ignimbrite plates are 3x5x20 or 3x5x30cm. Those that have bigger level of silification and are more compact can be produced in larger dimensions up to 50cm in length and 5 to 10 cm width. These types of lining plates can be found in numerous stone manufacturing facilities in Eastern Macedonia. One of them is “URBANTEK” which is situated about 20km south from Štip.

Considering the beautiful texture forms and suitable and easy arrangement, ignimbrites make one of the most required decorative stone for inner facade lining in eastern Macedonia.

## 7. GNEISS

Gneiss are one of the most widely spreaded types of rock masses in Eastern Macedonia. Their usage as architectural-construction stone is limited basically considering their low level of block excavation as well as their poor geotechnical and decorative attributes.

“Radibush” near v.Rankovce is considered as one of the most famous gneiss deposits in Eastern Macedonia (Figure 8). It is known for by the significant quantity and specific color and textire attributes of the gneiss. Their color is mostly gray, to light brown, depending of mineralogic variability.



**Figure 8.** Former gneiss exploitation of “RADIBUSH” - Rankovce deposit

Considering the numerous terrain and laboratory examinations in the past that are mostly related with the development of Basic geologic maps of R.Macedonia, as well as more detailed researches of the gneiss, makes this stone material one of the most defined. By their macro and microscopic petrographic analysis, following uniform mineral composition is established [Table 5]:

Table 5. Mineralogical composition of gneiss “Radibush” – Rankovce

| Mineral                  | %         |
|--------------------------|-----------|
| Quartz                   | 31,0      |
| Microc.&Orthoc           | 11,5      |
| Albite                   | 34,7      |
| Muscovite                | 9,5       |
| Biotite                  | 5,0       |
| Epydote, coisite, ortite | 4,0       |
| Sericite                 | 3,5       |
| Fe – oxides              | 0,8       |
| Apatyte                  | In traces |

By detail microscopic analysis of “Radibush” gneiss, it is established that quartz, microcline, albite, and liscune are main mineral components, and coisite, ortite, secondary sericite, and apatite are accessory minerals. Specific concentration of feldspar and liscune in form of thin streaks can be commonly registered in this gneisses. This gives them their specific chaplet structure that has certain decorative value. Feldspar is mainly albite (plagioclase), as well as microcline and small amount of orthoclase. Albite mainly appears in alotriomorphic crystals, rarely hipydeomorphic with unified grain size. Partially it is altered with small crystals of sericite that are chaotically arranged inside albite crystals. Frequently in central parts of albite crystals small epydote occurrence is registered, which tells us of more basic plagioclase presence. Microcline also appear in alotriomorphic crystal forms with poorly exposed lattice construction. Quartz is alotriomorphic with characteristically billow darkening. Liscunes are presented with biotite and muscovite around which most commonly epydote, coisite and ortite appear as accessory minerals.

Their structure is mainly granoblastic which is defined by the equable crystal size of quartz and feldspar grains that goes up to 300 $\mu$ m. Muscovite crystals are up to 2 mm large, and biotite around 350 $\mu$ m. Their texture is pleaty to shally with inexplicit thin streak forms that come from the specific quartz and feldspar rows mixed with ones composed of muscovite and biotite.



According to previously noted, “Radibush” gneisses are defined as “thin streak double liscune gneiss” [Figure 9]



**Figure 9.** “Radibush” Gneiss facade decoration [URBANTEK-Radovis]

Their distinctive texture, high chemical resistance, suitable geotechnical characteristics [Table 12], and low price, makes them one of the most used architectural-construction stone material in eastern Macedonia. Mostly they are used for outer facade decoration with dimensions 3x5x20 or 3x5x30cm [Figure 9], or as floor lining material with inordinate shape.

## 8. GREEN SCHIST’S

Green Schist’s are one of the most interesting materials for usage as architectural-construction stone in Eastern Macedonia. This comes from the fact that during the last few years green schist’s, together with gneiss and lime stones, are most widely used for this purpose in Eastern Macedonia. Their specific structure, chemical resistance and attractive green color makes them very suitable for outer facade lining. They are low cost - highly decorative stone material that is continuously required.

The biggest part of these high quality green schist deposits are situated in northern parts of Eastern Macedonia, near town of Kriva Palanka. This whole area pertain to the Serbo-Macedonian mass. Albite-epidote-chloritic, albite-chloritic and abite-biotite-chloritic schist’s are one of the most significant types that are commonly used.

- Albite-epidote-chloritic schists

This type of rock formation is most widely speeded in this area. Mostly they appear on mountains German and Osogovo. They have typical green color and schisty texture with imposing concentration of feldspar in shape of berries or porphyroblasts large up to 3mm. Albite concentration inside them is variable (0-70%) [Table 6]. Characteristically for them is that superficial parts of the rock formations have lower percentage of albite component. [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kratovo]

Table 6. Mineral composition of al-ep-ch sch.

| Mineral  | %     |
|----------|-------|
| Albite   | 30-75 |
| Chlorite | 15-40 |
| Epidote  | 5-30  |
| Quartz   | 2-10  |

Albite grains are diverse oriented towards the shale surface. Their main characteristic is the poycilitic embedment of previously created minerals, such as epidote, granate, quartz, and liscune. Hire albite is created afterwards with sincinematic process.

Chlorite is the most present colored mineral in these schists. He appears in form of scale with variable dimensions, mostly oriented towards foliation direction. In those types that have porphyroblastic structure he usually appears transversal to foliation.

Inside these types of rock mass very often quartz-albite-muscovite, quartz-albite-shloritic, sericite-albite-chloritic and epydote-chloritic schists can be found as well as amphibolites with a gradual transition. [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kratovo]

During development of basic geologic maps for this region, numerous chemical analysis of albite-epidote-chloritic schists ware performed [Table 7].

Table 7. Chemical composition of albite-epidote-chlorite schists

|                                | v.Kozji Dol | v.Konopnica | v.Mozdivnjak |
|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 44.34       | 48.82       | 54.65        |
| TiO <sub>2</sub>               | 3.70        | 1.54        | 0.93         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.67       | 23.15       | 20.72        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.89        | 9.37        | 8.59         |
| FeO                            | 6.45        | 0.10        | 0.17         |
| MnO                            | 0.39        | 0.14        | 0.19         |
| MgO                            | 2.40        | 2.52        | 4.10         |
| CaO                            | 6.85        | 2.65        | 2.05         |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.80        | 5.12        | 4.51         |
| K <sub>2</sub> O               | 0.28        | 3.51        | 1.10         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.70        | -           | 1.33         |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 3.30        | 1.21        | 1.48         |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.10        | 0.40        | 0.44         |
| CO <sub>2</sub>                | -           | 1.89        | -            |

Terrain around v.Mozdivnjak is regarded as most significant deposit for exploitation of albite-epidote-chloritic schists in this area.

- Albite-biotite-chloritic schists

Significant appearances of Albite-biotite-chloritic schist are registered on locations between v.Knezevo - v.Opila, v.Mozdivnjak – v.Petralica, Krstov Dol – v.Luke and v.Krklja – v.Trnovo. Mostly they appear in form of lens with gradual transition to surrounding albite-epidote-chlorite schist's. According to numerous previous performed mineralogical-petrographic explorations the following modal composition is established [Table 8]:

Table 8. Mineralogical composition

| Mineral            | %     |
|--------------------|-------|
| Albite             | 30-35 |
| Biotite            | 25-30 |
| Quartz             | 10-25 |
| Accessory minerals | до 13 |

Their structure is mostly lepidoblastic and porphyroblastic. Besides biotite who comes in scale forms, albite, chlorite, epydote, granate, and spen also occur in these schist's. Usually apatite appear most often an indifferent mineral. [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kratovo]

By their geotechnical characteristics they are considered as very anisotropic rock types. This comes from their variable mineralogical composition and slate form. Mostly they are used in coarse form for outer facade cladding as well as floor lining. [Figure 10] Also they can be produced in proper shapes similarly as gneiss with dimensions 3x5x20, 3x5x30cm or as half robust [Figure 11] [B.Boev, S.Lepitkova 2008]



**Figure 10.** Green schist facade cladding [URBANTEK-Radovis]

Considering the fact that green schist's have unsuitable wearing resistance that mostly is over  $20 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ , makes them very unsuitable for floor lining. Besides that their beautiful green color, texture and low cost makes them one of the most used architectural-construction stone material.



**Figure 11.** Green schist facade cladding [URBANTEK-Radovis]

## 9. TRAVERTINE & TUFA

Travertine is considered as one of the most valuable architectural-construction stone material that has numerous advantages. Besides its beautiful streak texture form, low weight and suitable arrangement characteristics, he also have certain isolator values. This comes from his specific hollow structure. In eastern Macedonia there are only few locations where mostly it is already in active exploitation process. Hire travertine mostly appear in light brown color, rarely in darker shade. Mostly these travertine appearances are connected with

Pliocene carbonate sediments. Almost all of these occurrences are located around Kumanovo. Lipkovo and Rudine deposits are regarded as most famous ones.

- “Lipkovo” travertine deposit

Considering the size, quality of the material and other relevant factors, this deposit is considered as only one that have certain economic value. It overtakes about 1km<sup>2</sup> area where mostly carbonate tufa rock appear. Their maximum thickness is around 10m, which varies very often. Big part of tufa appearances have almost no value as result of big porosity and low geotechnical performances.

Travertine's appear in light brown to yellow color with beautiful shallow crystal structure and streak texture. This in combination with their good geotechnical characteristics makes them suitable for usage in many forms and pleases. Usually they are used for vertical outer lining, sculptures, and horizontal paving [Figure 12]. However, their porosity, high chemical reactivity and wearing index makes them unsuitable for horizontal floor lining.



**Figure 12.** Vertical and horizontal travertine lining [City Park - Skopje]

They have special value as facade decorative material that comes in different shapes and forms. Mostly they are produced in polished squared forms with dimension 20x20 cm or 50x50cm or half processed pellets 5x10x5, 5x20x5, 5x30x5cm or 10x20x5, 10x30x5cm [Figure 13 and 14].



**Figure 13.** Polished travertine for facade decoration lining [URBANTEK-Radovis]

Considering the fact that their porosity is variable, this makes also other physical-mechanical characteristics to be variable together with their geotechnical ones. This mostly regards their volume weight, raciness, icing as well as other. There for it is very important to have this in mind when planning to use travertine in certain locations.



**Figure 14.** Travertine half processed pellets (stone tile) from Lipkovo deposit [URBANTEK-Radovis]

## 10. LIMESTONES

Lime stones are one of the most widely used materials in Eastern Macedonia as architectural-construction stone. This comes from their suitable physical-mechanical characteristics and wide appearance. In this scientific effort only platy limestone's are presented as most significant types that occur in eastern Macedonia. Their appearance is mostly related to three significant deposits: "Shopur", "Kara Tarla" and "Kamnik". In these places they occur in highly coarse layers with cretaceous age, in red, yellow, gray and white color. [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kavadarci and Stip]

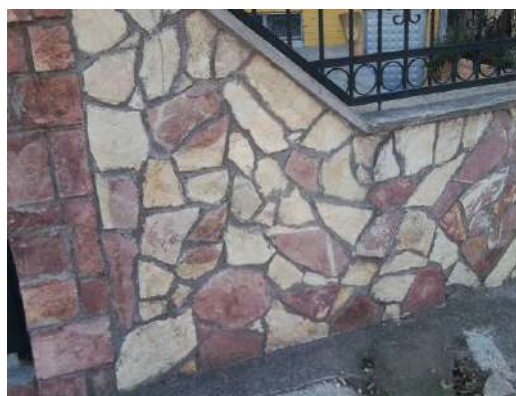
"Shopur" deposit is situated near v.Shopur in area that overtakes around 5km<sup>2</sup>. Here, platy limestone's together with sandstones, marls and clay stones occur in different color and variable geotechnical characteristics. Biggest and most significant part of these limestone's are situated in area none as "Mocarnik" where they are surrounded with carbonate sandstones with which they have gradual transition. Their chemical composition is very variable as result of frequent variations of clay and low grained sand component. [Interpreter for Basic Geology Map of R.Macedonia in scale 1:100000, Section Kavadarci]

This also considers their geotechnical characteristics, mainly pressure strength, which rarely exceeds 60MPa. [Civil Engineering Institute MACEDONIA - Skopje ]

"Kara Tarla" and "Kamnik" deposits near v.Gaber are considered as most valuable deposits of this kind [Figure 15]. Here lime stones occur in two colors, red and light yellow. Characteristically for these limestones is their high level of silification which increases their geotechnical parameters [Table 9].



a)



b)

**Figure 15.** a) "Kara Tarla" deposit near v.Gaber [Lj.Kulakov 2012]  
b) Wall facade lining with limestone from "Kara Tarla" deposit

"Kara Tarla" and "Kamnik" deposits near v.Gaber are considered as most valuable deposits of this kind [Figure 15]. Here lime stones occur in two colors, red and light yellow. Characteristically for these lime stones is their high level of silification which increases their geotechnical parameters [Table 9].

This makes them very suitable for outer floor and facade lining as well as inner vertical wall decoration. Usually they are used in inordinate shapes and for outer wall face decoration [Figure 15]. When processed they usually have standard pellet dimensions of 20x20cm, 30x30cm or 20x30cm.

## 11. SANDSTONES

This type of rock material is the most present sedimentary stone material in Eastern Macedonia. It appears mostly in Cretaceous and Eocene sediments in various colors and structure-textural characteristics. Considering their petrologic characteristics, sand stones can be defined as one of the most limited ones for usage as architectural-construction stone material. This partially comes from their unsuitable geotechnical characteristic which makes them incoherent for horizontal floor lining as well as decorative construction stone. However, in some places sand stones can be found in very beautiful shapes and colors which can be used as decorative stone material. Usually they are used for inner wall cladding as well as construction-decorative material when they have good geotechnical characteristics [Figure 16].



**Figure 16.** Usage of sand stones as architectural-construction stone material [URBANTEK-Radovis]

“Shopur” is considered as one of the most famous sand stone deposits in eastern Macedonia. Here they occur together with marls and platy lime stones with which they have gradual transition. Their color is mostly brown and pale yellow. They are easy to process which makes them very suitable for variable shape arrangements. Most often they are produced in thin plates in variable length. Their cohesion material is mostly carbonate with low percentage of clay component.

Besides “Shopur”, there are numerous other deposits that are also interesting for exploitation of sand stones. This mostly considers Cretaceous sediments near v.Gaber, as well as numerous Eocene sediments in “Ovce Pole” basin. Here sand stones appear in gray color as result of increased clay component in their matrix. These types of sand stones are one of the most widely used architectural-construction stone material in the past. This often can be recognized in construction of churches. Considering the low level of knowledge during construction at that time, most often sand stones had been used improperly. Capillary moisture is considered as one of the most influential destructive factor to sand stones. This makes sand stones to start to decomposing [Figure 17].



**Figure 17.** Destructive capillary moisture to sand stones at Sv.Nikola church in Stip  
[Lj.Kulakov]

Besides churches, sand stones also can be found as construction-decorative material at some bridge segments, sculptures (Baragala - Stip) and houses. Their suitable arranging characteristics and low cost makes them even today one of the most used materials for this purpose.

## 12. CONCLUSION

Considering previously noted, it is obvious that there are plenty of rock type occurrences in Eastern Macedonia that can be used as valuable architectural-construction rock material. Besides their attractive structural and textural attributes, as well as color occurrences, as one of the most relevant factor for their evaluation as architectural construction stone material is considered their geotechnical characteristics. This basically defines their way of usage for inner and outer purposes as well as horizontal and vertical lining. During numerous investigations of certain deposits, many relevant geotechnical data for various rock types are known today [Table 9].

Basalts, ignimbrites and gabbros can be considered as one of the most valuable architectural-construction stone materials in Eastern Macedonia. This comes from numerous relevant factors such as good geotechnical characteristics, attractive decorative and arranging preferences, suitable deposit occurrence and else. Among these three, basalts are most exploited type of rock material. Their extremely suitable geotechnical performances and texture occurrence, makes them one of the most used magmatic types of stone materials for various purposes. Considering the fact that there are several other basalt appearing locations that haven't been detail explored yet, makes these types of rock formation very interesting for further excavation.

Special attention must be given also to ignimbrites from Kratovo - Zletovo volcanic sedimentary area. Their special texture forms and color shade gives them high decorative value. They are also very easy for processing and usage, which makes them very suitable for inner and outer facade cladding.

Though gabbros appear only on one significant location around v.Panteley, they also have significant value. Their usage is similar to basalts which comes mostly from their suitable geotechnical preferences. Because of their high volume weight as well as low wearing resistance, they are used only for horizontal floor paving.

Table 9. Geotechnical characteristics of rock materials from some quarries in Eastern Macedonia

[Civil Engineering Institute MACEDONIA J.S. - Skopje]



The rest of metamorphic and sedimentary rock types have also certain value. Their main deficiency is poor block excavation percentage and low geotechnical characteristics.

| No : | Type of examination              | Measurement                        | Laminated Limestone's (Shopur) | Basalt (Ezovo Brdo & Zebrnjak) | Gneiss (Radibush) | Gabro (Pantelej) | Ingimbrites (Lesново) |
|------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 1.   | Pressure Strength (dry sample)   | MPa                                | 78.6                           | (E.Br.) 201,1<br>(Zeb.) 185.5  | 166,4             | 230.2            | 138.6                 |
| 2.   | Pressure Strength (water satur.) | MPa                                | 63.2                           | (E.Br.) 189.9<br>(Zeb.) 182.4  | 157.8             | 199.8            | 117.8                 |
| 3.   | Pressure Strength (frost sample) | MPa                                | 59.4                           | (E.Br.) 177.3<br>(Zeb.) 179.6  | 135.9             | 182.6            | 108.3                 |
| 4.   | Water saturation                 | %                                  | 0.48                           | (E.Br.) 0.08<br>(Zeb.) 0.41    | 0.06              | 0.02             | 0.15                  |
| 5.   | Wearing resistance               | cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> | 24.8                           | (E.Br.) 11.8<br>(Zeb.) 9.81    | 10.20             | 3.85             | 22.6                  |
| 6.   | Total Volume Weight              | kg/m <sup>3</sup>                  | 2590                           | (E.Br.) 2790<br>(Zeb.) 2830    | 2630              | 2980             | 2670                  |
| 7.   | Porosity                         | %                                  | 1.20                           | (E.Br.) 1.3<br>(Zeb.) 1.1      | 0.38              | 0.72             | 0.96                  |

Travertine's and platy lime stones are considered most valuable. This comes mostly from their good decorative characteristics as well as suitable geotechnical preferences.

Compared to platy lime stones, travertine's have bigger importance. Their beautiful texture, low weight, and isolation characteristic makes them very suitable for inner and outer facade cladding. Only negative characteristic is that they occur only on several locations in small deposits. Opposite to this, platy lime stones occur in many places with significant deposits. Their usage and excavation is in rapid expansion which comes from the fact that they are one of the most used rock types for architectural-construction stone material.

### 13. USED LITERATURE

Б.Боев, С.Лепиткова (2008) Архитектонско-градежен камен (Прв дел), Универзитет Гоце Делчев – Штип, Факултет за Рударство, Геологија и Политехника.

И.Горан, Т.Љупчо, (2011) Асортиман на производи од архитектонско-украсен камен, УРБАНТЕК – Радовиш.

Ристо Стојанов, Блажо Боев, (1997) *ПЕТРОГРАФИЈА*, Рударско-Геолошки Факултет – Штип.

З.Илијовски, Љ.Кулаков, (2010) Проект за детални геолошки истражувања на минерална суровина Шкрилец на локалитетот Радибуш – Општина Ранковце, Градежен Институт МАКЕДОНИЈА А.Д. – Скопје.

М.Јанјиќ, (1982) *INŽENJERSKA GEOLOGIJA sa osnovima geologije*, Naučna Knjiga – Beograd.

Walter T.Huang, (1967) *PETROLOGIJA*, Savremena administracija - Beograd

Т.Ракиќевиќ, М.Ковачевиќ, Ј.Пенџерковски (1978) *Основна геолошка карта на СФРЈ Лист СТРУМИЦА М 1:100 000 К 34-94*, Сојузен геолошки завод – Белград.

Т.Ракиќевиќ, М.Ковачевиќ, Н.Радовиќ, Ј.Пенџерковски (1973) *ТОЛКУВАЧ за лист СТРУМИЦА, К 34-94*, Сојузен геолошки завод Белград.

Т.Ракиќевиќ, Н.Думурџанов, П.Петковски (1974) *Основна геолошка карта на СФРЈ Лист ШТИП М 1:100 000 К 34-81*, Сојузен геолошки завод Белград.

Т.Ракиќевиќ, Н.Думурџанов, П.Петковски (1969) *ТОЛКУВАЧ за лист ШТИП, К 34-81*, Сојузен геолошки завод Белград.

М.Ковачевиќ, Т.Ракиќевиќ, (1980) *Основна геолошка карта на СФРЈ Лист ДЕЛЧЕВО М 1:100 000 К 34-82*, Сојузен геолошки завод Белград.

М.Ковачевиќ, П.Петковски, В.Темкова (1973) *ТОЛКУВАЧ за лист ДЕЛЧЕВО, К 34-82*, Сојузен геолошки завод Белград.

С.Христов, М.Карајовановиќ, (1974) *Основна геолошка карта на СФРЈ Лист КРАТОВО М 1:100 000 К 34-69*, Сојузен геолошки завод Белград.

С.Христов, М.Карајовановиќ, (1973) *ТОЛКУВАЧ за лист КРАТОВО и КУСТЕНДИЛ, К 34-69*, Сојузен геолошки завод Белград.

## Neka svojstva *benkovačkog prirodnog kamena* važna pri određivanju mogućnosti upotrebe

ANA MARIČIĆ, IVAN TOMAŠIĆ

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb  
ana.maricic@rgn.hr; [ivan.tomasic@rgn.hr](mailto:ivan.tomasic@rgn.hr)

Ključne riječi: *benkovački prirodni kamen, svojstva kamena, upijanje vode*  
Key words: *benkovac platy stone, stone properties, water absorption*

### Sažetak

Mineraloško-petrografska i fizičko-mehanička svojstva bitna su pri određivanju mogućnosti primjene prirodnog kamena u graditeljstvu. Kamen nakon ugradnje može biti izložen različitim čimbenicima koji utječu na njegovu postojanost i otpornost. Cilj rada je prikazati kvantitativne rezultate ispitivanja nekih svojstava bitnih pri određivanju mogućnosti upotrebe. Na prikupljenim uzorcima u prvom redu je određen mineraloško-petrografski sastav i strukturno-teksturne značajke. Zatim su uzorci podvrgnuti određivanju upijanja vode pri atmosferskom tlaku i kapilarnom upijanju vode.

### ABSTRACT

For better assessment of stone utilization in civil engineering and durability it is important to define all its mineralogical, petrographical, physical and mechanical properties. The aim of this paper is to present the results of stone properties important for usage in building. mineralogical and petrographical properties especially texture of *benkovac platy stone* were determined. Also afterwards samples were submitted to water absorption and capillary water absorption.

### UVOD

*Benkovački prirodni kamen* se eksploatira na dvadesetak eksploatacijskih polja u uskom pojasu dugačkom oko 15-ak km sjeveroistočno od grada Benkovca (Hrvatska) u obliku tankih ploča. Zbog svojih svojstava, strukturno-teksturnih i dekorativnih značajki, tradicionalno se upotrebljava u lokalnom graditeljstvu i predstavlja „*brend*“ u kamenoklesarskoj industriji. Uz minimalnu obradu koristi se za popločavanje javnih površina, oblaganje vanjskih i unutarnjih, horizontalnih i vertikalnih površina, te pokrivanje krovova, zidanje i oblaganje zidova i ograda.

Naslage u kojima se eksploatira *benkovački kamen* pripadaju mlađem eocenu (E<sub>3</sub>). Mrinjek et al. (2005) su na temelju detaljne litostratigrafske analize i teksturnih karakteristika, odredili okoliš taloženja i taložni model *benkovačkog prirodnog kamena*. Odredili su da se kamen taložio u prijelaznoj obalnoj zoni s povremenim donosima materijala tijekom oluja.

Prve rezultate ispitivanja mineraloško-petrografskih svojstava, te gustoće, prostorne mase, poroznosti i upijanja vode te utjecaj navedenih svojstava na postojanost *benkovačkog prirodnog kamena* su u svom radu iznijeli Maričić & Tomašić (2013). *Benkovački kamen* pokazuje znatnu anizotropiju u unutrašnjoj građi i oslabljena mjesta na kojima uslijed ciklusa postojanosti na djelovanje soli, leda ili toplinskih promjena može doći do povećanja pornog prostora ili proširenja postojećih odnosno stvaranja novih pukotina i do oštećenja kamena.

Navedena anizotropija se očituje u vrlo jasnoj slojevitosti i laminaciji duž koje je moguće prirodno odvajanje pojedinih debljih ili tanjih slojeva (ploča). Zbog toga *benkovački prirodni kamen* zahtjeva specifičnu orijentaciju u kamenim konstrukcijama. Davey et al (1979) te Tomašić & Fistrić (1998) pišu o važnosti uzimanja u obzir elemenata nehomogenosti u obliku slojevitosti kada se kamen ugrađuje u konstrukciji. Kamene elementi izražene prirodne slojevitosti mogu biti u konstrukciji orijentirani na tri različita načina: (a) slojne plohe su horizontalno položene; (b) slojne plohe su vertikalne s vidljivom slojnom plohom; (c) slojne plohe su vertikalne ili pod kutom, a vidljiva je površina okomita na slojevitost, tzv. rubno uslojeni kamen.

Autori Tomašić et al. (2013) u svom se radu bave procjenom cjelovitosti i iskoristivosti *benkovačkog pločastog kamena*. Autori navode važnost ocjene strukturno-teksturnih značajki za izračunavanje koeficijenta cjelovitosti. Osim toga autori navode kako se, nakon eksploatacije, može povećati iskoristivost stijenske mase polijevanjem kamenih elemenata vodom jer se može olakšati kalanje kamena duž “zatvorenih” slojnica.

## Pregled dosadašnjih istraživanja svojstava prirodnog kamena

Važnost mineraloško-petrografskih istraživanja ističu Leighton & Pendexter (1962). Navode četiri komponente koje bitno utječu na strukturalna svojstva vapnenca: zrno, vapnenački mulj (mikrit), cement i pore. Autori su također ukazali na ovisnost značajki pornog prostora o međuovisnosti pakiranja, sortiranja i vrsti međusobnih kontakata kristalnih i zrnskih sastojaka sedimentnih stijena.

Tišljar (2001) ističe važnost određivanja značajki stilolitskih šavova (debljine, kontinuiteta, visine amplitude i gustoće pojavljivanja). Stiloliti (diskontinuiteti) koji su vrlo česti u brojnim litotipovima karbonatnog kamena, predstavljaju više ili manje izražene barijere u pravcu okomitom na njih, ali su isto tako dobri kanali za cirkulaciju fluida paralelno s njima, ovisno o utjecaju tektonike te o ispunjenosti glinom ili bitumenom.

Utjecaj strukturalno teksturalnih značajki i dijagenetskih procesa na poroznost prirodnog karbonatnog kamena istraživali su Tomašić & Ženko (1993). Upijanje vode i otvorena poroznost određivani su u uvjetima atmosferskog tlaka i dodatno pod podtlakom. Autori su utvrdili da se poroznost mijenja ovisno o strukturi kamena pojedinih varijeteta, te da se povećanjem tlaka može povećati količina upijene vode, a time i otvorena poroznost.

Tomašić (2006) piše o važnosti utvrđivanja i poznavanja različitih oblika (tipova) nehomogenosti (anizotropije) svojstava prirodnog kamena. Autor navodi da nehomogenost može nastati u kamenu nakon ugradnje kao rezultat brojnih čimbenika koji izmjenjuju strukturalno-teksturalna svojstva prirodnog kamena te utječu na njegovu postojanost.

Autori Tomašić et al. (2011) su ispitivali kapilarno upijanje dva vapnenca iz Hrvatske Kirmenjaka avorio i Veselje unito. U radu prikazuju rezultate određivanja kapilarnog upijanja izražene u gramima po metru kvadratnom ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) ne samo u odnosu na kvadratni korijen vremena izražen u  $s^{0.5}$  već i u odnosu na vrijeme u minutama. Izražavanje vremena u minutama se pokazalo kao bolji i lakši način za interpretaciju dobivenih rezultata kapilarnog upijanja.

Sidraba et al. (2004) su ispitivali kapilarno upijanje i sušenje u ovisnosti o orijentaciji slojevitosti rimskog travertina upotrebljavanog u spomenicima Latvije. Travertin je vrlo porozan što utječe na upijanje vode, sušenje i postojanost. Koeficijent kapilarnog upijanja vode je oko dva puta viši u smjeru paralelno sa slojevitošću od smjera okomito na slojevitost. Autori su dokazali da pravilna orijentacija slojevitosti kod ugradnje blokova travertina u spomenike može znatno pridonijeti otpornosti i postojanosti kamena na trošenje u tijeku djelovanja vanjskih čimbenika.

## Metode

Terenski rad je omogućio prikupljanje potrebnih uzoraka kamena za daljnja ispitivanja. Mineraloško-petrografske analize su izrađene u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine RGNF-a. Dok se određivanje fizičkih svojstava odradilo u Cestograđevnom laboratoriju Instituta IGH d.d.

Pri određivanju mineraloško-petrografskih značajki korišten je petrografski mikroskop Leitz Laborlux 11 Pol. Tanke pločice uzoraka dobivene piljenjem kamena nalijepljene su na objektno stakalce. Nakon brušenja i obrade pločica stavlja se pokrovno stakalce. Kao vezivo korišten je kanadski balzam, a poliranjem korundovim prahom dosegnuta je standardna debljina izbruska od 0,03 mm. Mikroskopski izbrusci su prije pokrivanja pokrovnim stakalcem obojani u crveno radi lakšeg razlikovanja karbonatnih minerala.

Fizička svojstva i postojanost su se odredila prema hrvatskim i europskim normama. S obzirom da se *benkovački kamen* eksploatira u obliku tankih ploča debljine nekoliko centimetara piljenje uzorka odgovarajućih dimenzija je otežano. Shodno tome uzorci za ispitivanje fizičkih svojstava su manjih dimenzija od propisanih u normama. U normama su točno definirani oblik, dimenzije i minimalni broj uzoraka potrebnih za ispitivanje (tablica 1). Svojstva upijanja vode

pri atmosferskom tlaku i kapilarnog upijanja vode se odredilo prema hrvatskim i europskim normama na uzorcima oblika kocke dimenzije jedne stranice 4 cm.

Tablica 1. Popis normi za određivanje svojstava *benkovačkog prirodnog kamena*.

| Fizičko-mehanička svojstva uzoraka   | Hrvatska i europska norma | Min. broj uzoraka (norma) | Oblik uzoraka (norma) | Dimenzije uzoraka (norma) (cm) | Dimenzije uzoraka (nove) (cm) | Opaska                           |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Upijanje vode pri atmosferskom tlaku | HRN EN 13755              | 6                         | kocka                 | 5 x 5 x 5                      | 4 x 4 x 4                     | postepeno potapanje uzoraka      |
| Upijanje vode kapilarnošću           | HRN EN 1925               | 6                         | kocka                 | 5 x 5 x 5                      | 4 x 4 x 4                     | anizotropija kapilarnog upijanja |

## Rezultati analize mineraloško-petrografskih značajki

### Makroskopski opis uzoraka

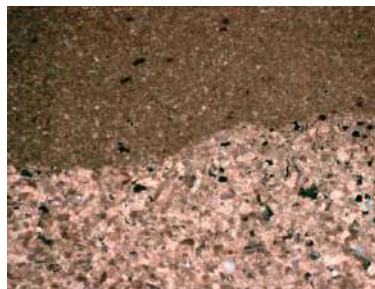
Glavna strukturno-teksturna vizualna značajka ležišta *benkovačkog kamena* je izmjena jasno izraženih slojeva debljina od 2 do maksimalno 45 cm. Otvorene slojne plohe su oštre do grubo hrapave. Na pločama se vidljivo izmjenjuju svijetle mikritne i tamne zrske lamine (sl. 1). Debljine lamina su različite. Debljina mikritnih lamina u pravilu iznosi od 2 do 6 cm dok debljina zrnkih lamina iznosi od 1 do 4 cm. Lamine su različite građe. U zrnkim laminama se uočava zrska potpora, dok se u mikritnim laminama uočava muljevita potpora s rijetkim alokemima. Boja uzoraka je blijedo žućkasta do svjetlo siva.



Sl.1. Uzorak *benkovačkog kamena* na kojem je vidljiva izmjena svijetlih i tamnijih lamina.

### Mikroskopski opis uzoraka

U mikroskopskim preparatima uzoraka utvrđena je izmjena dva različita litotipa. Makroskopski svjetlije lamine određene su kao mikritni litotip dok su makroskopski tamniji lamine određene kao zrski litotip (sl. 2). Dva litotipa se razlikuju prema boji i veličini mineralnih sastojaka, ali pokazuju razlike i u strukturno-teksturnim karakteristikama. Mikritni litotip je taložen na zrnskom litotipu, a granica između dva litotipa je oštra i neravna (sl. 2).



Sl.2. Mikrofotografija kontakta mikritnog (gore) i zrnskog (dole) litotipa (5x povećanje).

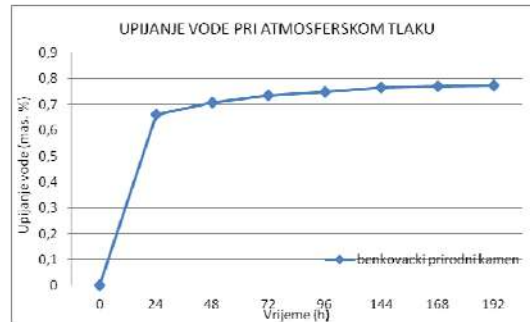
U mikritnom litotipu mikrit je dominantan ili prevladava muljevita potpora između rijetkih alokema. Dimenzije čestica mikrita iznosi do 0,005 mm. Karbonatne čestice pokazuju normalnu gradaciju prema granici sa zrnskim litotipom. Sporadično se u mikritnom litotipu neposredno uz granicu sa zrnskim litotipom uočavaju stiloliti.

U zrnskom litotipu kristali kalcita su alotriomorfni do hipidiomorfni, veličine do 0,02 mm. Uočena je normalna gradacija detritusa prema vrhu kroz smanjenje veličine čestica. Uočavaju se pravilni romboedarski kristali sekundarnog dolomita. Osim tragova dolomitizacije u zrnskom litotipu zapažaju se i tragovi dedolomitizacije u obliku pravilnih kristala kalcita oblika romboedra.

## Rezultati ispitivanja upijanja vode i kapilarnog upijanja vode

### Upijanje vode pri atmosferskom tlaku

Određivalo se upijanje vode pri atmosferskom tlaku kroz 9 dana na šest uzoraka. Svaka 24 sata je mjereno povećanje mase uzoraka. Uzorci su nakon 9 dana bili u potpunosti zasićeni vodom. Na sl. 3 je prikazan grafikon upijanja vode u masenim %. Na apscisi grafikona prikazano je vrijeme izraženo u satima potrebno da se uzorci potpuno zasite vodom. Na ordinati su prikazane vrijednosti upijanje vode izražene u mas.%. Kroz 9 dana uzorci su količinski upili 0,782 mas. % odnosno 1,33 g vode. Svi uzorci su količinski najviše vode upili u prva 24 h (sl. 3), s time da su u prva 24 h zasićeni s 85 mas.% od ukupno upijene vode. Masa nakon 24 sata gotovo stagnira i mikropore se polako pune do 9-og dana kada su uzorci u potpunosti zasićeni s vodom.



Sl.3. Grafički prikaz upijanja vode (u mas.%) pri atmosferskom tlaku.

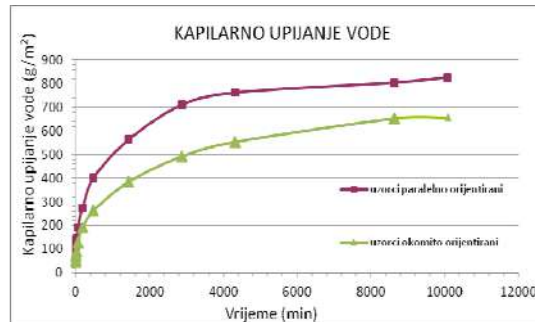
### Kapilarno upijanje vode

Nakon upijanja vode pri atmosferskom tlaku na uzorcima se određivalo kapilarno upijanje vode kroz 7 dana. Na slici 4 su prikazani uzorci za vrijeme ispitivanja kapilarnog upijanja vode. Jedna osnovica uzoraka je stalno potopljena u vodi do dubine od  $(3\pm 1)$  mm. Nakon određenih vremenskih intervala kapilarnog upijanja vode mjereno je povećanje mase uzoraka. S obzirom na izraženu laminaciju uzoraka ispitivanje kapilarnog upijanja vode je obavljeno na različito orijentiranim uzorcima. Laminacija u uzorcima je bila orijentirana paralelno i okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode.

Vrijednosti kapilarnog upijanja vode su prikazane grafički (sl. 5). Na apscisi grafikona je prikazano vrijeme potrebno za upijanje vode izraženo u minutama (Tomašić et al., 2011). Na ordinati grafikona je prikazana količina kapilarno upijene vode u  $\text{g/m}^2$ . Uzorci pokazuju znatne razlike u vrijednostima kapilarno upijene vode s obzirom na orijentaciju laminacije. Uzorci u kojima je laminacija orijentirana paralelno sa smjerom kapilarnog izdizanja vode u porama su ukupno upili  $825 \text{ g/m}^2$  vode (1,34 g). Tako orijentirani uzorci su u prvih 48 h upili oko 86 % od ukupne kapilarno upijene vode. Uzorci kojima su ravnine laminacije bile orijentirane okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode su ukupno upili  $657 \text{ g/m}^2$  (1,07 g) s time da su u prvih 48 h upili oko 75 % od ukupne kapilarno upijene vode.



Sl.4. Određivanje kapilarnog upijanja vode.

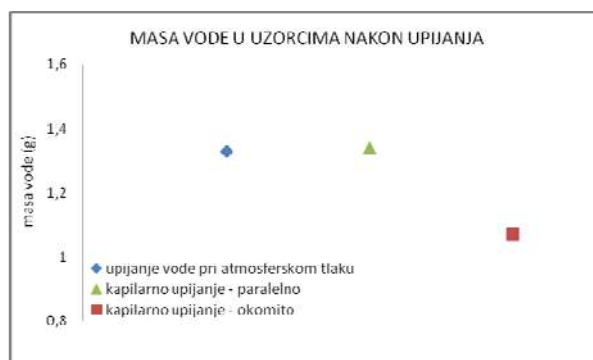


Sl.5. Grafički prikaz kapilarnog upijanja vode.

### Diskusija i zaključak

Dva litotipa označena u ovom radu kao zrnski i mikritni, razlikuju se prema boji, veličini mineralnih sastojaka i prema strukturno-teksturnim karakteristikama. U uzorcima kamena uočene su pukotine i stiloliti zbog kojih može doći do povećanog upijanja vode. Također i na samoj granici između dva litotipa može doći do povećanog upijanja vode. U zrnskom litotipu, za razliku od mikritnog, uočeni su tragovi dolomitizacije, ali i pravilni kristali kalcita oblika romboedra koji ukazuju na proces dedolomitizacije. Treba naglasiti da procesom dolomitizacije dolazi do stvaranja pornog prostora, a procesom dedolomitizacije dolazi do smanjenja pornog prostora. Porni prostor, a pogotovo otvorena poroznost utječe na druga svojstva kao na sposobnost upijanja vode i na postojanost kamena (Tomašić & Ženko, 1993). Što uzorak ima manju otvorenu poroznost odnosno imati će manje upijanje vode te će mu biti veća postojanost odnosno otpornost na djelovanje kristalizacije soli, smrzavanje i toplinske promjene.

Uzorci kod ispitivanja upijanja vode pri atmosferskom tlaku se u potpunosti uranjaju u vodu dok pri ispitivanju kapilarnog upijanja samo je donja osnovica uzoraka u vodi. Bez obzira dali su uzorci samo djelomično ili u potpunosti uronjeni što je veće upijanje vode klasičnim postupkom veće je i kapilarno upijanje vode. Konačna količina kapilarno upijene vode u  $\text{g/m}^2$  proporcionalna je količini upijene vode klasičnim postupkom u mas. % (Tomašić et al. 2009). Slično se dogodilo i s *benkovačkim prirodnim kamenom* (sl. 6). Uzorci, u kojima je laminacija bila paralelno orijentirana sa smjerom kapilarnog izdizanja vode, u konačnici su upili istu količinu vode u gramima kao i uzorci nakon upijanja vode pri atmosferskom tlaku (1,34 g odnosno 1,33 g). Uzorci u kojima je laminacija bila orijentirana okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode upili su u konačnici 1,07 g, što je oko 0,26 g manje vode pri toj orijentaciji laminacije. Ako se gleda upijena količina vode u gramima uočava se da ne postoje velike razlike u vrijednostima upijanja vode pri atmosferskom tlaku i kapilarnom upijanju vode kada je laminacija orijentirana paralelno sa smjerom kapilarnog izdizanja vode.



Sl.6. Masa vode u uzorcima nakon upijanja vode i kapilarnog upijanja.

Kod *benkovačkog kamena* utvrđeno je relativno nisko upijanje vode. Bez obzira na navedeno prilikom ugradnje u konstrukciju posebnu pozornost treba posvetiti orijentaciji kamenih elemenata koji pokazuju slojevitost odnosno laminaciju. S obzirom da se *benkovački pločasti kamen* upotrebljava za oblaganje vanjskih horizontalnih i vertikalnih površina laminaciju bi trebalo orijentirati na takav način da voda koja dospije u kamen brzo iz njega može izaći.

Prije ugradnje u konstrukciju određuje se postojanost i trajnost prirodnog ili arhitektonsko-gradevnog kamena. Za što bolju ocjenu postojanosti i upotrebljivosti kamena u pojedinim konstrukcijama bitno je, prije upotrebe, točno utvrditi svojstva kamena. Poznavanjem svojstava i postojanosti olakšava se pravilan izbor kamenih elemenata za ugradnju te se produljuje postojanost i trajnost pravilno ugrađenih kamenih elemenata u konstrukciji.

Također pri određivanju mogućnosti upotrebe osim svojstava upijanja vode trebalo bi odrediti i vrijeme i obim isušivanja. Navedeno je posebno važno prilikom smrzavanja kamena zasićenog vodom i štetnim solima zbog djelovanja kristalizacijskih tlakova. Što se voda duže zadrži u uzorku to je veća vjerojatnost za propadanje kamena.

#### Literatura

Davey, A., Heath, B., Hodges, D., Milne, R. & Palmer, M. (1979) The Care and Conservation of Georgian Houses (A Maintenance Manual). Masonry wall constructions. 61-68, London-Edinburgh.

Leighton, M.V. & Pendexter, C. (1962): Carbonate rock types. In: Ham W.E. (ed) Classification of Carbonate Rock. Am Assoc Petrol Geologists 1: 33-61.

Maričić, A. & Tomašić, I. (2013): Properties and durability of *benkovac platy stone*. Book of extended abstracts EMABM 2013. Hjorth Jakobsen U., Rasmussen A., Hamann Sey M. (ur.). - Helsingor, Danska: Danish Technological Institute, 87-90.

Mrinjek, E., Pencinger, V., Sremac, J. & Lukšić, B. (2005): The Benkovac stone Member of the Promina Formation: A late Eocene Succession of Storm-Dominated Shelf Deposits. *Geologia Croatica*, 58/2, 163-184.

Sidraba, I., Normandin, K.C., Cultrone, G., & Scheffler, M.J. (2004): Climatological and regional weathering of Roman travertine. Proceedings of the International Conference Lux Lapis (Light and Stone) 2002 Architectural and sculptural stone in cultural landscape, 211-228. Charles University in Prague, The Karolinum Press, Prague.

Tišljar, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 375 p.

Tomašić, I. (2006): Homogeneity and inhomogeneity impact on ageing and properties of natural stone. Proceedings of the fifteenth international symposium – Mine Planning and Equipment Selection. I, 741-747, Torino.



Tomašić, I. & Ženko, T. (1993): Utjecaj strukturno teksturnih značajki i dijagenetskih procesa na poroznost arhitektonskog kamena. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 165-172.

Tomašić, I. & Fistrić, M. (1998): Utjecaj teksturnih značajki na ugradnju kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 61-66.

Tomašić, I., Lukić, D., Peček, N. & Kršinić, A. (2009): Važnost ispitivanja kapilarne vodoupojnosti prirodnog kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 3-4, 17-27.

Tomašić, I., Lukić, D., Peček, N. & Kršinić, A. (2011): Dynamics of capillary water absorption in natural stone. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 70, 673-680.

Tomašić, I., Pedić, T. & Maričić, A. (2013): Procjena cjelovitosti i iskoristivosti *benkovačkog pločastog kamena*. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 33-45.

Savremeni pristup definisanja geometrije ležišta sa osvrtom na tuzlansko sono  
ležište  
Modern approach to defining the geometry of the reservoirs case study of tuzla salt  
deposit

<sup>1</sup> Bsc. OSMANOVIĆ DEAN, inž.rud., Rudarski institut Tuzla, tel: 061/879663

<sup>1</sup> TALETOVIĆ NERMIN, dipl.inž.geol., Rudarski institut Tuzla, tel: 061/514787

<sup>3</sup> JASMIN ISABEGOVIĆ, dipl.inž.geol. Rudarski instut Tuzla, tel: 061/898405

<sup>4</sup> Mr.sc EDIN GOLAC, dipl.ing.rud. Rudarski institut Tuzla, tel: 061/808239

**Rezime:** Za odgovarajuća inženjerska rješenja, odnosno za projektovanje koje uključuje i prostornu analizu neophodno je dobro poznavati geometriju ležišta. Za definisanje geometrije ležišta danas se koriste savremeni računarski alati, odnosno danas se to popularno naziva modeliranje rudnih tijela (ležišta). Profesionalni rudarski programi izrađeni su uglavnom u najrazvijenijim zemljama svijeta a imaju vrlo široku primjenu na svim vrstama ležišta. U radu je prikazano 3d modeliranje na konkretnom primjeru ležišta soli u Tuzli.

**Ključne riječi:** geometrija ležišta, ležište, modeliranje, 3D model

**Abstract:** For suitable engineering solutions, i.e. design that includes analysis of position it is essential to know the geometry of the reservoir. To define the geometry of the reservoir now are in use modern computer tools, and today it is commonly referred to as “modelling” of ore bodies (reservoirs). Professional mining programs were made mainly in the developed countries of the world and have a very wide range of applications in all types of reservoirs. This paper presents a case study 3D modeling of salt deposits in Tuzla.

**Keywords:** geometry of the reservoir, reservoir, modeling, 3D model

## UVOD

Računarski programi pokrivaju široku lepezu potreba u projektovanju rudnika od interpretacije ležišta do raznih planiranja eksploatacije u postojećim objektima./15/. Koristeći programski paket RockWorks, na bazi postojećih geoloških podataka/istražnih radova modelirano je sono ležište. Poznato je da rudarski radovi narušavaju životnu sredinu, pa je tako eksploatacija soli u gradu Tuzli imala za posljedicu slijeganje tla. Slijeganje je uzrokovano dugogodišnjom nekontrolisanom eksploatacijom. Najveća slijeganja tla zabilježena su u središnjem dijelu grada Tuzle, koji je u periodu 1947.-1991. potonuo više od 12 m . Maksimalna slijeganja u toku jedne godine zabilježeno je 1979. godine 0,745 m te 1983. godine i iznosilo je 1,10 m. U zoni maksimalnih pomjeranja porušeni su svi objekti. U cilju povezivanja uzroka i posljedice, prostorni model ležišta uključuje i površinu terena, odnosno nastalo ulegnuće. 3D model ležišta pruža znatno veće mogućnosti u sagledavanju uzročno - posljedičnih relacija kod eksploatacije mineralnih sirovina.

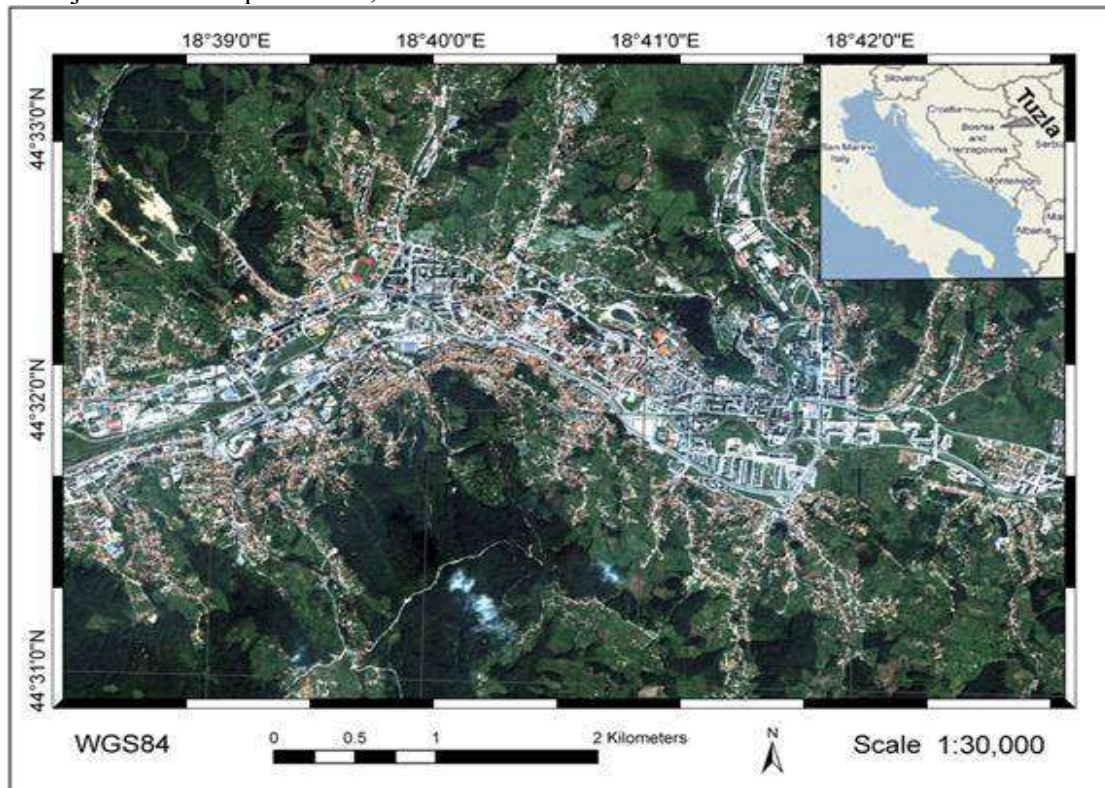
## 1. GEOGRAFSKI POLOŽAJ TUZLANSKOG SONOG LEŽIŠTA

Sono ležište Tušanj nalazi se većim dijelom u gradu Tuzli. Južni rub ležišta zaliježe ispod Sjevernog dijela grada u pravcu Jugoistok-Sjeverozapad. U pogledu prostornog položaja, ležište kamene soli Tušanj zaliježe ispod površine terena na oko

150(m) na krajnjem jugoistoku, do 700(m) na krajnjem sjeverozapadu. Ležište kamene soli u Tuzli je podijeljen na dva eksploataciona polja i to:

- Hukalo-Trnovac
- revir Tušanj

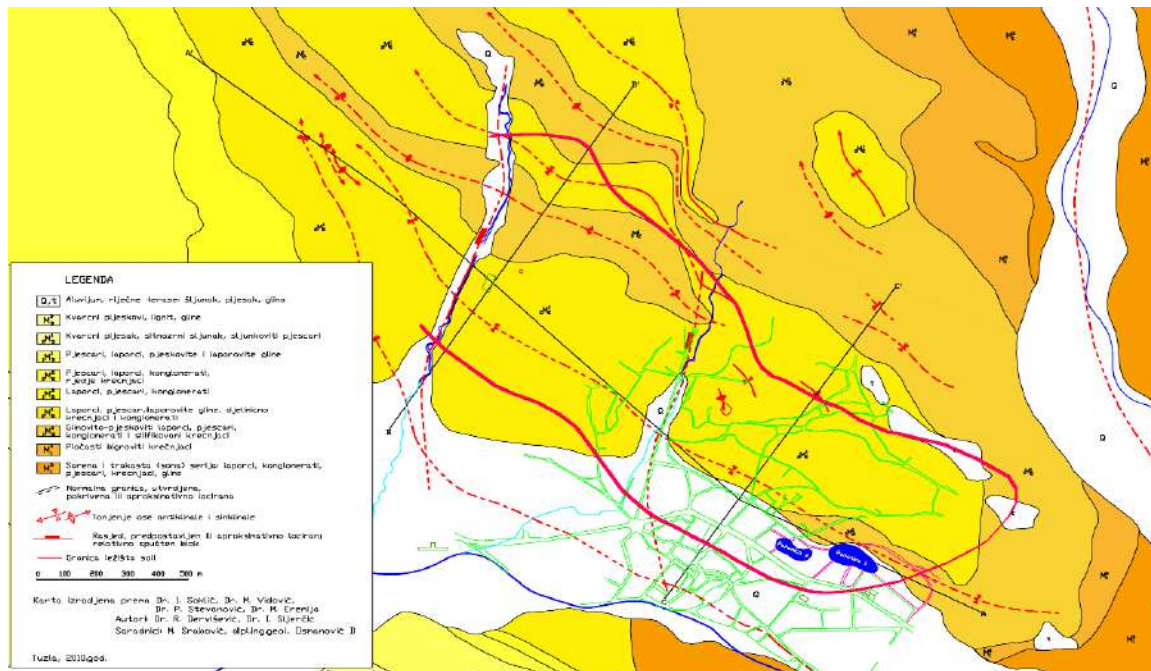
Eksploataciono polje Hukalo-Trnovac, koje zauzima JI dio ležišta, eksploatiše se metodom nekontrolisanog izluživanja dubokim eksploatacionim bušotinama. Revir Tušanj, koji zauzima SZ dio ležišta kamene soli, otvoren je izvoznim i ventilacionim oknom i eksploatacija se obavljala podzemno, na klasičan rudarski način



Slika 1.: Geografski položaj sonog ležišta u Tuzli /1/

## 2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Ležište je smješteno u južnom krilu antiklinale Dolovi, a istočnim dijelom zaliježe u semisinklinali Gradina-Trnovac. Ležište je izgrađeno od pet sonih serija moćnosti od 14 do 56 metara (slika 2). Međusobno su odvojene dolomitičnim glinovito - laporovitim sedimentima - trakastim laporcima. Istočni, plići dio ležišta je smješten u jezgru semisinklinale Gradina-Trnovac, a dublji u jugozapadnom krilu antiklinale Dolovi. U planu ležište je nepravilnog elipsastog oblika sa kraćom osom od 600 - 900 metara i dužom oko 2500 metara.



**Slika 2: Geološka karta ležišta soli /2/**

I serija soli - ima malo rasprostiranje na ležištu, prosječne moćnosti oko 14 metara, slojevitog je oblika, izuzev u jugozapadnom dijelu gdje je tektonski slabo koncentrisana. Podina je sloj tufa koji je ispucao i slabo ubran.

II serija soli - ima najveću zastupljenost i primarnu debljinu od 55 metara koja je tektonski koncentrisana i uvećana, moćnosti preko 250 metara. Na jugozapadnom dijelu ležišta ova serija je slojem anhidrita i anhidritsko - laporovite breče podijeljena na II gornju i II donju seriju. Podinu ove serije čini sloj trakastog anhidrita od 8 cm. Sjeveroistočni i istočni rub ove serije je zahvaćen nekontrolisanim otapanjem. Na sjeverozapadnom dijelu ležišta serija naglo isklinjava što je utvrđeno jamskim radovima (tektonska granica ležišta).

IIIB serija soli - ima slojevitou formu koja prati podinu II serije soli i nije razvijena na jugozapadnom dijelu ležišta. Sjeveroistočni rub ove serije je otopljen. Karakteriše se relativno malim sadržajem soli i ujednačenom moćnosti od 31 metar. Laporac, moćnosti 24 metra odvaja ovu seriju od III A serije. Pored kamene soli ova serija sadrži i tenardit.

IIIA serija soli - na jugoistočnom dijelu ležišta ima slojevitou formu koja na tušanjskom reviru poprima formu dvostrukog nabora. Karakteriše se tektonskom koncentracijom i značajnim uvećanjem primarne moćnosti sa 55 metara na oko 200 metara. Slojem laporca, debljine 3 metra, ova serija je podijeljena na dva dijela. Ova serija sadrži i tenardit u vidu slojevitih i sočivastih formi. Slojevite forme tenardita su prisutne u krovini i podini serije a u središnjem dijelu preovladava tenardit u vidu pojedinačnih kristala i slojeva centimetarske moćnosti. Podinu ove serije čini trakasti laporac moćnosti oko 20 metara.

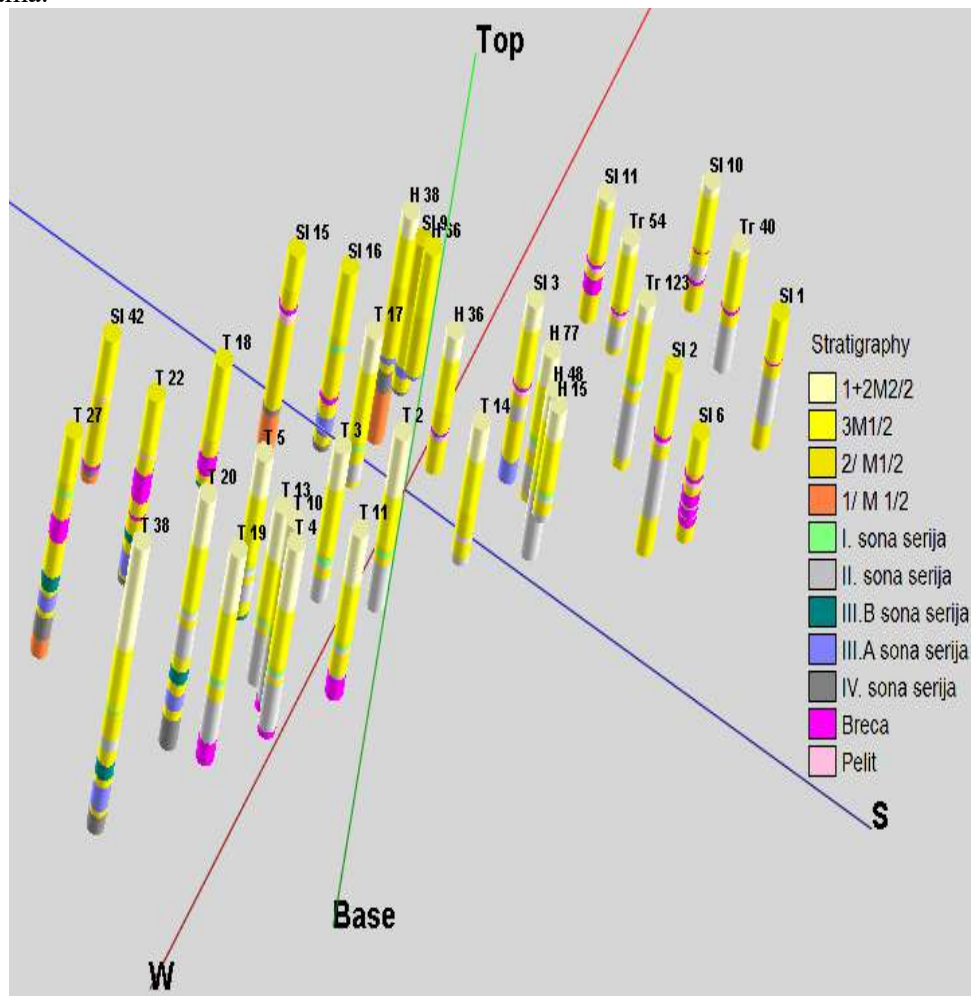
IV serija soli - predstavlja najdublju seriju u ležištu i ima slojevitou formu uslovljenu prisustvom trakastih laporaca, a prati podinu III A sone serije. Serija je moćna oko 30 metara i pored kamene soli sadrži i tenardit. Neposrednu podinu ove serije čine trakasti laporci.

Karakteristika ovog ležišta je da su sone serije tektonski koncentrisane, a II i III A i višestruko uvećale moćnost uslijed tektonskih pritisaka. Uslijed česte izmjene sedimenata i različite plastičnosti, u ležištu se javljaju raznovrsne strukture i pukotine.

### 3. PROSTORNI MODEL SONOG LEŽIŠTA U TUZLI

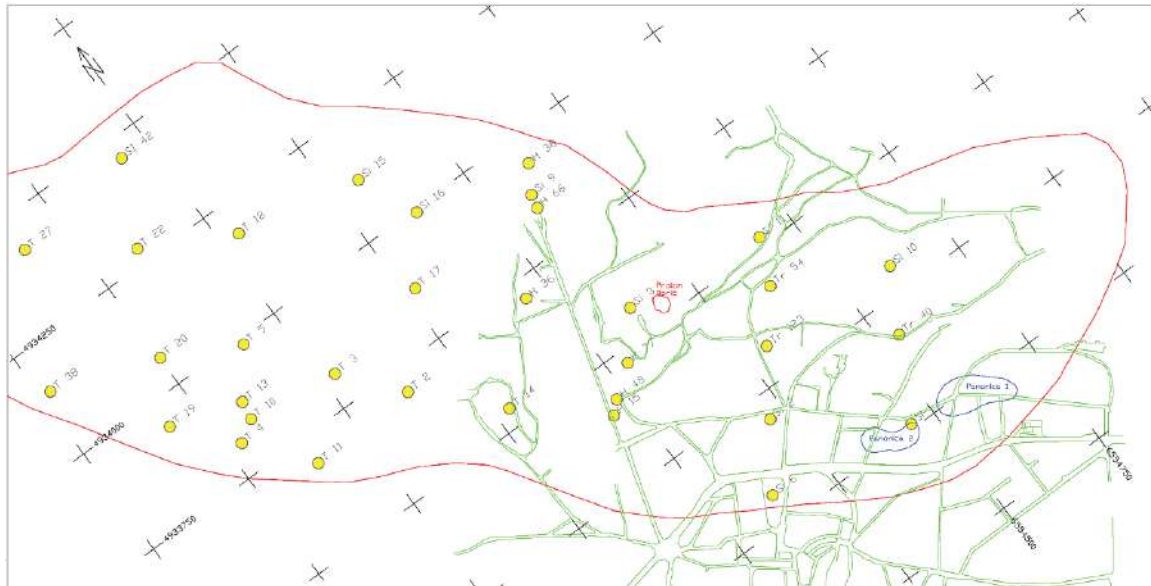
3D model je izrađen na osnovu podataka mreže istražnih bušotina. Mrežu čine 34 bušotine. Pozicije bušotina (y,x,z) su očitane sa georeferenciranog rastera („Ležište kamene soli u Tuzli“ situaciona geološka karta 1:5000) i odgovarajućih geoloških profila. Sa poprečnih profila su očitavani podaci bušotina. Granice ležišta se razlikuju za svaku sonu seriju jer je modelirano ležište samo za egzaktne podatke. Tamo gdje bušotine ne daju podatke za određenu sonu seriju tu ta serija nije predstavljena.

Na slici 3 dat je trodimenzionalni prikaz presjeka svih bušotina sa stratigrafskim jedinicama.

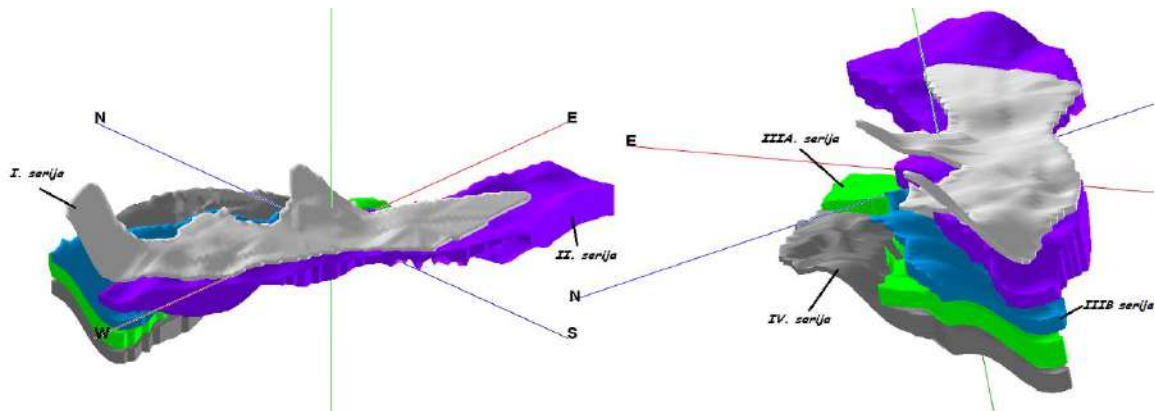


Slika 3.: Trodimenzionalni prikaz presjeka bušotina ležišta

Na slici 4 data je lokacija bušotina sa granicom ležišta. Za generisanje površine terena odabran je metod interpolacije „Inverse distance“.



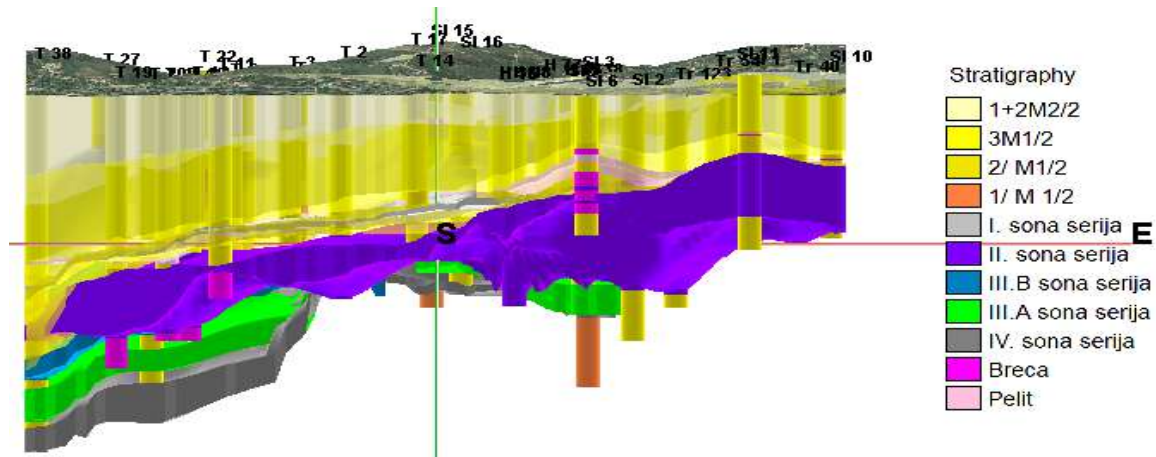
međusobni položaj.



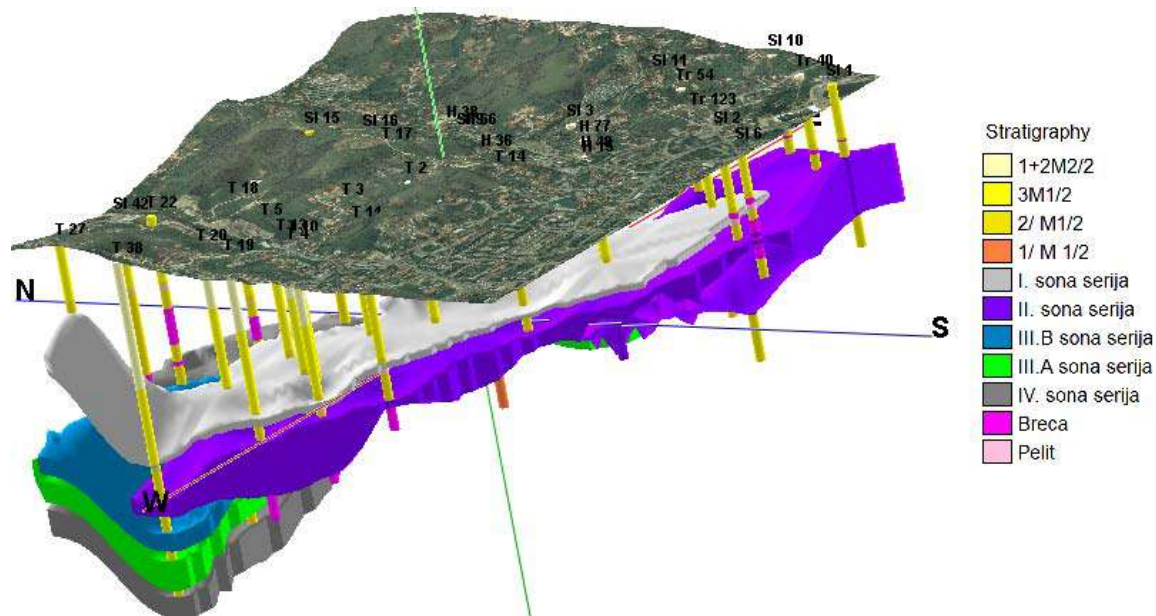
**Slika 5.: 3D model sonih serija**

Slika 6 prikazuje kompletno ležište uključujući stratigrafiju, bušotine kao i teren. Neke stratigrafske jedinice su isključene zbog nedovoljnog broja podataka ali su vidljive na bušotinama.

Slika 6.: Frontalni prikaz ležišta sa površinom terena

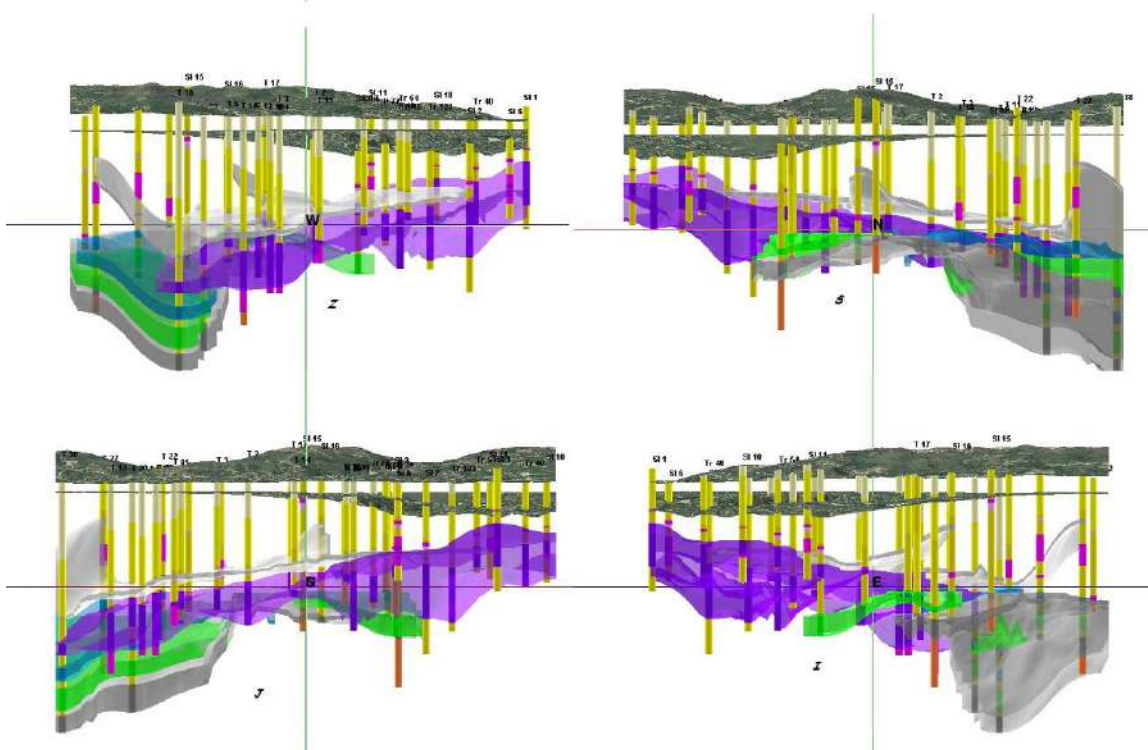


Na slici 7 je prikaz kompletnog ležišta uključujući površinsku situaciju (ortofoto iz 2009.god. sa geodetskim podacima iz 1991.god). Takođe su vidljive pozicije istražnih bušotina na površini terena.



Slika 7.: Položaj sonih serija i terena

Da bi se potpunije mogao vidjeti uticaj eksploatacije (slijevanje) generisan je model na kome je prikaz ležišta, terena i nastalog ulegnuća. Slijevanje tačaka unutar zone ulijeganja povećano je za 10 puta da bi bilo uočljivo što je i prikazano na slici 8. Slijevanje u ovom dijelu grada iznosi preko 9 m.



Slika 8.: Prostorni odnos ležišta, terena i nastalog ulegnuća

Sa datih prikaza očigledno je da najveće slijeganje terena korespondira najmanjoj dubini ležišta. Na slici su prikazane istražne bušotine unutar sonog ležišta. Uključivanje eksploatacionih bunara u 3D model ležišta moglo bi dati nove informacije o prostornom razvoju procesa izluživanja ležišta. Ovako generisan model pruža mogućnost sagledavanja povezanosti inteziteta slijeganja sa prostornim karakteristikama ležišta za bilo koje područje ili po odabranim profilima.

## ZAKLJUČAK:

Kroz izradu prostornog modela ležišta bilo je moguće sagledati i slikovito prikazati razvoj ležišta soli što u konačnici ima cilj definisanje stepena istraženosti i usmjeravanja budućih istraživanja u zone gdje je potrebno potvrđivanje pretpostavki i njihovo razjašnjenje. Kreirani 3D model ležišta omogućava preglednost projektantima koji provode istraživanja i omogućava im jednostavnu i stalnu nadogradnju saznanja o ležištu i omogućava pravilno usmjeravanje planiranja eksploatacije. U tom cilju predlaže se ažuriranje kreiranog modela sa podacima o izluženim masama (nastalim komorama) čime će se omogućiti bolja razumjevanje postojeće eksploatacije i optimizacija budućih eksploatacionih radova. Možemo zaključiti da je za detaljnije određenje položaja, oblika, a time i granica ležišta potreban veći broj istražnih bušotina dok je kreirani 3D model u narednoj fazi moguće uz unos podataka o formiranim komorama izluživanja i njihovim oblicima i udaljenostima koristiti za optimiziranje budućih eksploatacionih radova. Imajući u vidu da 3d modeliranje nije zastupljeno u vidu kurseva na fakultetu u Tuzli predlaže se uvođenje predmeta na kojima bi se budući inženjeri upoznali sa pojedinim softverskim rješenjima i stekli vještine modeliranja a u cilju priključenja svjetskim trendovima obrazovanja.



## LITERATURA

1. Stecchi Francesco Phd – Tuzla city (BiH): An example of geohazard induced by salt extraction, 2008.y.
2. Development of a Monitoring NATO Project, ESP.EAP.SFP.983305, Tuzla2009-2010, autori karte: dr.R.Dervišević, dr.I.Sijerčić, saradnici M.Srabović,dipl.ing.geol, D.Osmanović
3. Zbornik radova, IV regionalni kongres studenata geotehnoških fakulteta: D.Osmanović, D.Hasanović: Modeliranje promjene reljefa u zoni slijeganja Tuzle, Vrnjačka Banja (Srb) 2010.g. strana 37-44
4. Studije ispitivanja deformacija geodetskim metodama, Tuzla 1956...2003.
5. Čeliković R., Dervišević R., Sijerčić I., Salihović R., Mancini F., Stecchi F.(2010): *Ground surface movements in the area of salt exploitation in Tuzla (Bosnia and Herzegovina)*, XIX Congress of the Carpatian –Balkan Geological Association, proceeding vol I, I, pp 121-129, THESSALONIKI, GREECE, 23-26 SEPTEMBER 2010.
6. Zbornik radova, VI regionalni kongres studenata geotehnoških fakulteta. D.Osmanović, J.Mehić: 3D model ležišta mrkog uglja „Đurđevik II“ (blok 67a, 67b i 68), Niš (Srb) 2012. strana 145-154
7. Miladinović M.,Čebašek V., Gojković N.: Računarski programi za projektovanje i modeliranje u rudarstvu 2011.g.
8. Čeliković R. - Rudarska mjerenja, RGGF Tuzla 2006. god.
9. RockWorks v.2004, RockWare Earth Science & GIS Software
10. Golden Software, Inc., 2002., *Surfer-User's Guide*, 809 14th Street, Golden, Colorado 80401-1866, U.S.A.
11. www. rockware. com
12. www.goldensoftware.com
13. www. autodesk.com
14. Dean Osmanović, Diplomski rad.: Prikupljanje podataka i vizualizacija prostornih promjena u zoni uticaja eksploatacije tuzlanskog sonog ležišta, RGGF Tuzla, Mart 2013.g.
15. Ivo Galić: modeliranje površinskih kopovai jamskih prostorija primjenom računalnih programa nastupno predavanje Zagreb, 07. Listopada. 2005.RGNF

## Резултати најновијих геолошких истраживања лежишта угља "Живојно"

Елизабета РАЛЕВА дипл.инг.геолог<sup>1</sup>, М-р Златко ИЛИОВСКИ дипл.инг.геолог<sup>2</sup>,  
Ласте ИВАНОВСКИ дипл.инг.геолог<sup>3</sup>, Марко МАРКОВ дипл.инг.геолог<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
elizabetha.raleva@gim.com.mk

<sup>2</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија, geozlatko@gim.com.mk

<sup>3</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
laste.ivanovski@gim.com.mk

<sup>4</sup> Градежен Институт "Македонија" АД Скопје, Р Македонија,  
markomarkov45@yahoo.com

### АБСТРАКТ

Током 2011 и 2012 године за лежиште угља „Живојно“ извршена су обимна доистраживања, са циљем да заједно са ранијим истраживањима и испитивањима дају задовољавајући степен истражености овог значајног лежишта угља. Ова истраживања представљају почетну основу за израду рударског пројекта и пројектовање инвестиционих улагања за потребе отварања рудника, као и почетка са експлоатацијом угља, који за нас представља стратешку минералну сировину.

### ABSTRACT

During 2011 and 2012 in the coal deposit "Zivojno" were conducted extensive research in order together with previous research and testing to provide a satisfactory level of exploration of this important site. These studies represent a starting point for developing the mining project and design investments for opening the mining capacity and coal mining, which for us is a strategic mineral resource.

### KEYWORDS

coal, deposit, mineral resource,

### УВОД

Лежиште угља „Живојно“ било је познато од ранијег периода. Исто је било предмет експлоатације са малим капацитетима и прекидима за време и после првог светског рата(1917-24), као и за време другог и после другог светског рата (1942-1951). Експлоатација је вршена преко више јама у близини села Живојно. У том периоду су вршени и одређени истражни радови.

Доста организованија и интензивнија истраживања су вршена у периоду 1966-67, 1973, 1982,1983-1984, и најновија 2011-12 године.

До данас, на простору преко 20 km<sup>2</sup> избушено је укупно 160 истражних бушотина укупне дубине 16.482 m од претходних пет фаза и 141 истражна бушотина укупне дубине 15.707m са најновијим испитивања 2011-12. Циљ ових истражних радова је дефинисање квалитативно-квантитативних параметара угља, генетских, геолошких, структурно-тектонских, хидрогеолошких, инжењерско-геолошких и геомеханичких карактеристика угља и околних стенских маса.



Слика 1. Морфологија терена

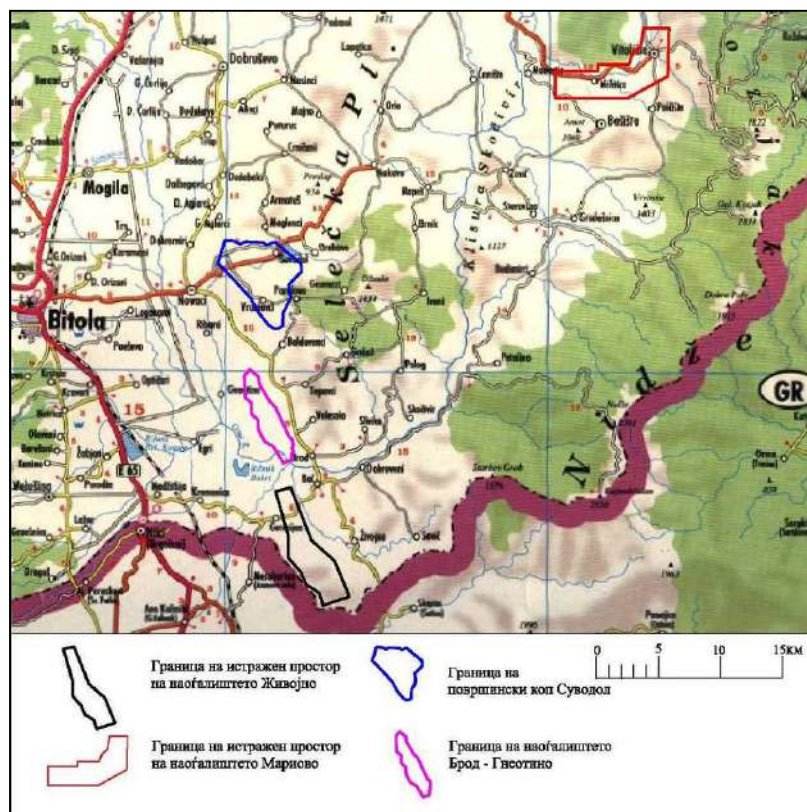


Слика 2. Изданак угља

У даљем тексту ће бити приказани најзначајнији параметри (фактори и показатељи), добијени од досадашњих истраживања, а доста значајни при економској оцени и могућности експлоатације овог лежишта.

### ОПИС ЛЕЖИШТА

Лежиште које је предмет детаљних геолошких истраживања „Живојно” се налази на ЈЗ делу Р. Македоније, и представља део Пелагониског угљеног басена. Лежиште је удаљено околу 30 km ЈИ од Битоле, околу 10 km од већ отвореног површинског копа Брод-Гнеотино и 20 km од термоелектране Суводол.



Слика 3. Прегледна карта лежишта угљева у Пелагонији

Овој истражни простор се налази у атару села Живојно, Бач и Гермијан у непосредној близини македонско-грчке границе.

У ранијим документима спомињу се више имена за ово лежиште, као на пример: „Живојно“, „Живојно-Гермијан“, „Гермијан-Брод“ али се ипак ради о једном лежишту са истим геолошким карактеристикама.

Границе самог лежишта нису баш јасне. Лежиште према југу и југозападу продужава према Грчкој, према И и СИ лежиште исклињава, док према СЗ продужава према угљокопу Брод-Гнеотино. Са западне стране лежиште није ограничено, и према прелиминарним истраживањима залеже на већој дубини.

## ГЕОЛОШКИ И ГЕНЕТСКИ ФАКТОРИ

Са анализом простора лежишта као и резултата од досадашњих истраживања могу да се потенцирају следећи аспекти, који су значајни за ово лежиште.

- Код лежишта угља „Живојно“ у највишим деловима продуктивног хоризонта постоји један слој угља (главни слој угља), док у подинским деловима угаљ је раслојен на 1-5 слојева, са прослојцима и слојевима од јаловинског материјала (глиновита прашина, песак, глина са угљем и др.).

- Границата помеђу повлатните наслаги и угаљот е јасна, додека во подината истиот е раслоен.

- Дебљина главног слоја угља се креће од 0,4 m до максималних 9,05 метара. Има континуирано распрострањене на површини од око 20 km<sup>2</sup>. За разлику од главног слоја, подински слојеви угља су мале и променљиве дебљине и са честим исклинавањима (немају континуирано распрострањене као главни слој угља).

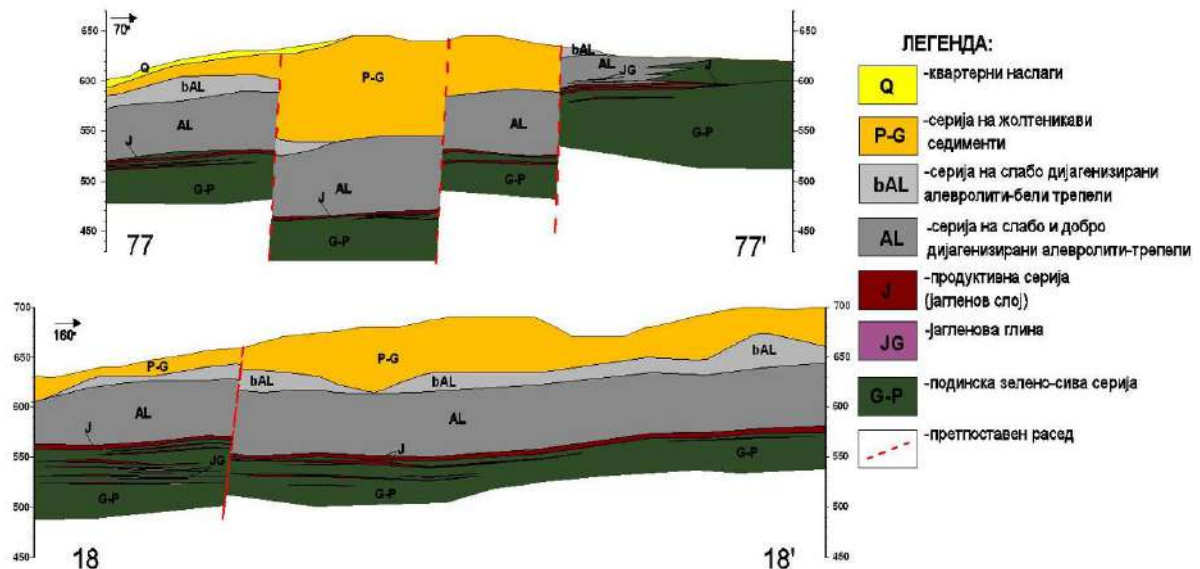
- Слојеви угља су субхоризонтално благо набрани, са падним углом од 0-100 степени. Исти су захфаћени интензивном тектоником, при чему се јављају у виду дисконтинуиталних блокова са вертикалним скоковима и до 30 m.

- Дубина простирања слојева угља зависи од морфологије терена као и од тектонике после орудњавања. Слој угља у селу Живојно у еродираним делу се појављује на самој површини (слика 2), док у одвојеним деловима је константован на максималној дубини од 176,8 m. Ако се узме у обзир прорачунавана средња дубина од 94,8, у том случају лежиште Живојно може да се уврсти у лежиште са средњом дубином.

- Угаљ овог лежишта спада у групу лигнита (мрки) угаљ, као и остала лежишта у нашој држави.

У тесној вези са геолошким факторима су и генетски фактори. То у суштини оцликава начин и услове постанка (генезе) минералне сировине угља. Код лежишта Живојно се ради о продуктивном хоризонту са једним главним слојем угља у повлатном делу и више угљених слојева у подинском делу формираних у континенталним условима, у слатководној језерској средини, чије развијање иде паралелно са акумулирањем органског материјала.

Паралелно са таложењем органског материјала таложи се и глиновит и песковито прашинасти материјал посебно у подинском делу, што је довело до раслојавања угља.



Слика 4. Попречни и подужни профил лежишта “Живојно”

## ОБИМ И МЕТОДОЛОГИЈА ИЗВЕДЕНИХ РАДОВА ЛЕЖИШТА “ЖИВОЈНО”

Табела 1: Обим и методологија изведених радова

| Поз.       | Опис обављених радова  | Јед.мера        | Укупна. количина |
|------------|--|-----------------|------------------|
| <b>I</b>   | <b>ГЕОДЕТСКИ РАДОВИ</b>  |                 |                  |
| 1          | Геодетски радови (снимање и лоцирање истражних радова)                                       | комад           | 141              |
| <b>II</b>  | <b>БУШАЧКИ РАДОВИ</b>  |                 |                  |
| 1          | Геолошко бушење са језгровање 80 - 100%, со почетни диј. Ø146 mm, и завршни Ø86 mm           | m'              | 15.375           |
| 1a         | до 100 m   | m'              | 4.602            |
| 16         | 101 - 150 m  | m'              | 8.431            |
| 1в         | 151 - 200 m  | m'              | 2.342            |
| 2          | Бушење без језгровање(проширење бушотина) за израда хидрогеолошки бушотина за подинске пиез. | m'              | 2.316            |
| 3          | Бушење без језгровање за израда кровинске пиезometре   | m'              | 2.067            |
| 4          | Израда контролних бушотина   | m'              | 332              |
| <b>III</b> | <b>ГЕОЛОШКИ РАДОВИ</b>   |                 |                  |
| 1          | Картирање (реамбулација) ширег простора у размеру 1:10.000                                   | km <sup>2</sup> | 20               |
| 2          | Геолошко картирање језгра, опробавање и скрачење проба                                       | m'              | 15.707           |
| 3          | Техничке анализе угља  | анализа         | 545              |
| 4          | Елементарне анализе  | анализа         | 48               |
| 5          | Састав и топлљивост  | анализа         | 24               |
| 6          | Мељивост   | анализа         | 24               |
| 7          | Петрографска испитивања  | анализа         | 10               |
| 8          | Петрографска анализа околних стена   | анализа         | 10               |
| 9          | Хемиска анализа околних стена (ретки ел.)  | анализа         | 30               |
| 10         | Пробе за дефинисање радиоактивности  | анализа         | 22               |
| 11         | Каротажна мерења за све врсте  | m               | 2.157            |
| <b>IV</b>  | <b>ХИДРОГЕОЛОШКИ И ИНЖЕЊЕРСКО ГЕОЛОШКИ РАДОВИ</b>  |                 |                  |
| 1          | Хидрогеолошко и инжењерско геолошко картирање  | m'              | 7.923            |
| 2          | Испитивање водопрпусност у теренски услови по метод Le Franc                                 | опит            | 42               |

|           |   |       |       |
|-----------|---|-------|-------|
| 3         | Скращене хемиске анализе подземних вода                             | комад | 10    |
| 4         | Комплетне хемиске анализе подземних вода                            | комад | 10    |
| 5         | Радиолошке анализе подземних вода                                   | комад | 10    |
| 6         | Чврстоћа на протисак на угља, бигар, туф и друге полукамените стене | опит  | 40    |
| 7         | Чврстоћа на затезањ е- бразилски метод                              | опит  | 40    |
| 8         | Индекс јакости угља, бигар, туф и друге полукамените стене          | опит  | 100   |
| 9         | Цврстоћа на смицање на контакту или дуж пукотина                    | опит  | 15    |
| 10        | Сила резања угља  | опит  | 15    |
| 11        | Трајање угља  | опит  | 10    |
| <b>V</b>  | <b>ГЕОМЕХАНИЧКИ РАДОВИ</b>  |       |       |
| 1         | Геомеханичко картирање језгра                                       | м'    | 7.564 |
| 2         | Гранулометриски састав  | опит  | 303   |
| 3         | Границе конзистенције   | опит  | 23    |
| 4         | Специфична тежина   | опит  | 132   |
| 5         | Природна влажност и збиеност ("in situ")                            | опит  | 132   |
| 6         | Запремнинска тежина у природном стању                               | опит  | 130   |
| 7         | Триаксијална испитувања непорозних почвених материјала              | опит  | 43    |
| 8         | Опит директно смицање   | опит  | 42    |
| 9         | Резидуална цврстића са директно смицање                             | опит  | 30    |
| 10        | Опит стишљивост   | опит  | 42    |
| 11        | Опит водопропусност   | опит  | 34    |
| 12        | Прокторов опит јаловине, материјала који ће се одлагати             | опит  | 15    |
| 13        | Испитивање композита материјала који ће се одлагати                 | опит  | 10    |
| 14        | Бубрење   | опит  | 20    |
| <b>VI</b> | <b>ГАСОНОСНОСТ И САМОЗАПАЉИВОСТ</b>                                 |       |       |
| 1         | Одређивање самозапаљивост угља                                      | проба | 25    |
| 2         | Запаљиви и експлозивни карактеристике угљове прашине                | проба | 25    |
| 3         | Агресивни карактеристики угљове прашине                             | проба | 25    |
| 4         | Дефинисање гасоносност проба угља                                   | проба | 25    |

**КВАЛИТЕТ И РЕЗЕРВЕ УГЉА**

| Сите јагленови слојеви              |                |              |              |             |             |             |              |              |              |              |                   |               |
|-------------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| година на изведба                   | Дебелина (м)   | Влага %      | Пепел %      | Сулфур      |             |             | Кокс %       | Ц-фикс %     | Исп. мат. %  | Сог. мат. %  | Топлотна вредност |               |
|                                     |                |              |              | Вкупно %    | Во пеп. %   | Согор. %    |              |              |              |              | Горна (kJ/kg)     | Долна (kJ/kg) |
| 1966/67                             | 33.67          | 41.24        | 9.63         | 0.74        | 0.35        | 0.38        | 29.23        | 19.61        | 31.66        | 49.07        | 12977             | 10683         |
| 1974                                | 76.4           | 48.24        | 10.75        | 0.68        | 0.19        | 0.49        | 27.55        | 16.80        | 24.21        | 40.99        | 10932             | 9371          |
| 1982                                | 128.85         | 49.33        | 13.58        | 1.09        | 0.45        | 0.69        | 31.47        | 17.57        | 19.36        | 37.03        | 12332             | 7868          |
| 1983/84                             | 393.2          | 47.62        | 14.64        | 0.89        | 0.20        | 0.72        | 30.57        | 16.02        | 21.37        | 37.46        | 10111             | 8537          |
| 2011/12                             | 1006.20        | 46.57        | 19.14        | 0.83        | 0.26        | 0.61        | 32.80        | 13.71        | 19.94        | 33.73        | 8883              | 7452          |
| <b>вкупен просек од сите години</b> | <b>1638.32</b> | <b>47.01</b> | <b>17.04</b> | <b>0.85</b> | <b>0.26</b> | <b>0.63</b> | <b>31.84</b> | <b>14.83</b> | <b>20.68</b> | <b>35.54</b> | <b>9629</b>       | <b>7901</b>   |
| 67,74,82,83,84                      | 632.12         | 47.71        | 13.69        | 0.89        | 0.26        | 0.67        | 30.32        | 16.62        | 21.85        | 38.42        | 10816             | 8616          |

| Само на главен јагленов слој        |                |              |              |             |             |             |              |              |              |              |                   |               |
|-------------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| година на изведба                   | Дебелина (м)   | Влага %      | Пепел %      | Сулфур      |             |             | Кокс %       | Ц-фикс %     | Исп. мат. %  | Сог. мат. %  | Топлотна вредност |               |
|                                     |                |              |              | Вкупно %    | Во пеп. %   | Согор. %    |              |              |              |              | Горна (kJ/kg)     | Долна (kJ/kg) |
| 1966/67                             | 33.67          | 41.24        | 9.63         | 0.74        | 0.35        | 0.38        | 29.23        | 19.61        | 29.46        | 49.07        | 12977             | 10683         |
| 1974                                | 76.4           | 48.24        | 10.75        | 0.68        | 0.19        | 0.49        | 27.55        | 16.80        | 24.21        | 40.99        | 10932             | 9371          |
| 1982                                | 96.05          | 50.52        | 11.81        | 1.02        | 0.43        | 0.59        | 29.76        | 17.80        | 19.96        | 37.78        | 9800              | 8087          |
| 1983/84                             | 256.6          | 48.56        | 11.40        | 0.86        | 0.21        | 0.73        | 28.29        | 16.99        | 22.91        | 39.84        | 10893             | 9284          |
| 2011/12                             | 636.00         | 48.06        | 15.06        | 0.74        | 0.22        | 0.52        | 29.88        | 14.82        | 21.36        | 36.31        | 9698              | 8136          |
| <b>вкупен просек од сите години</b> | <b>1098.72</b> | <b>48.20</b> | <b>13.45</b> | <b>0.79</b> | <b>0.24</b> | <b>0.57</b> | <b>29.32</b> | <b>15.87</b> | <b>22.05</b> | <b>37.98</b> | <b>10172</b>      | <b>8564</b>   |

| Останати јагленови слојеви          |               |              |              |             |             |             |              |              |              |              |                   |               |
|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| година на изведба                   | Дебелина (м)  | Влага %      | Пепел %      | Сулфур      |             |             | Кокс %       | Ц-фикс %     | Исп. мат. %  | Сог. мат. %  | Топлотна вредност |               |
|                                     |               |              |              | Вкупно %    | Во пеп. %   | Согор. %    |              |              |              |              | Горна (kJ/kg)     | Долна (kJ/kg) |
| 1982                                | 32.8          | 45.83        | 18.78        | 1.30        | 0.53        | 0.99        | 36.50        | 16.90        | 17.61        | 34.83        | 8841              | 7226          |
| 1983/84                             | 131.4         | 46.19        | 21.17        | 0.95        | 0.18        | 0.78        | 35.25        | 14.13        | 18.52        | 32.65        | 8652              | 7125          |
| 2011/12                             | 354.95        | 44.06        | 26.40        | 1.00        | 0.35        | 0.79        | 38.20        | 11.83        | 17.57        | 29.43        | 7515              | 6161          |
| <b>вкупен просек од сите години</b> | <b>519.15</b> | <b>44.71</b> | <b>24.66</b> | <b>1.00</b> | <b>0.32</b> | <b>0.80</b> | <b>37.34</b> | <b>12.73</b> | <b>17.81</b> | <b>30.59</b> | <b>7887</b>       | <b>6472</b>   |

**Квалитет минералне сировине**

Као главни параметар за одређивање квалитета минералне сировине је узета доња топлотна вредност. При прорачуну квалитета узет је критеријум са вредностима ДТВ > 4.170kJ/kg. Притом је добијена средња пондерисана вредност од 8.558kJ/kg ДТВ за главни слој угља, и 7.901kJ/kg ДТВ за све угљне слојеве. При прорачуну квалитета узети су у обзир резултати од свих досадашњих истраживања (66; 73; 82-83; 2011/12). Табела 2: Прорачун квалитета угља по истражним бушотинама

Напомена: на осталим слојевима од 1966/67 и 1974 године нису вршене техничке анализе.

Табела 3: Прорачун квалитета угља по резервама

| Категорија резерве блокова | Укупно блокова | Влага (%) | Пепео (%) | Сулфур       |               |              | Кокс (%) | Ц-фикс (%) | Испар. материје (%) | Согор. материје (%) | Топлотна вредност  |                   |
|----------------------------|----------------|-----------|-----------|--------------|---------------|--------------|----------|------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|                            |                |           |           | Укупни S (%) | S у пепео (%) | Сагор. S (%) |          |            |                     |                     | Горња т.в. (kJ/kg) | Доња т.в. (kJ/kg) |
| <b>А</b>                   | 124            | 48,04     | 14,06     | 0,71         | 0,23          | 0,52         | 29,11    | 15,01      | 21,58               | 36,79               | 9868               | 8346              |
| <b>Б</b>                   | 87             | 47,59     | 12,91     | 0,81         | 0,23          | 0,67         | 29,24    | 16,26      | 22,54               | 38,92               | 10389              | 8830              |
| <b>Ц1</b>                  | 53             | 51,08     | 14,36     | 1,04         | 0,29          | 0,75         | 37,01    | 21,67      | 27,25               | 48,92               | 11108              | 9298              |
| <b>А+Б</b>                 | 211            | 47,89     | 13,68     | 0,75         | 0,23          | 0,57         | 29,15    | 15,42      | 21,90               | 37,49               | 10040              | 8506              |
| <b>А+Б+Ц1</b>              | 264            | 48,36     | 13,78     | 0,79         | 0,24          | 0,59         | 30,31    | 16,34      | 22,69               | 39,17               | 10197              | 8623              |

## Резерве угља

Резерве угља за лежиште Живојно су прорачунаване са две методе: метода блокова (прорачунска), и метода паралелних блок профила (контролна). При прорачуну рудних резерве узети су у обзир резултати од свих досадашњих истраживања. По методи блокова прорачун је вршен само за угаљ са ДТВ > 4.170 kJ/kg. Прорачуни су вршени посебно за главни слој угља и посебно за све слојеве угља. За главни слој угља добијени су геолошке рудне резерве од 74.057.850 тони (А+Б+Ц1 категорија). Док укупне геолошке рудне резерве за све слојеве угља су прорачунати на 101.684.408 тона (А+Б+Ц1 категорија).

### 5.3. Средња дебљина рудног тела и средња дебљина јаловине

Дебљина главног угљеног слоја лежишта Живојно се креће у границама од 0,5 до максималних 9,05m. Средња дебљина главног слоја угља износи 4,25m. Минимална дебљина јаловине овог лежишта изнад главног слоја угља износи 12m, док је максимална 176m, али је добијена средња вредност од 104m. Дебљина јаловинског материјала изнад главног слоја угља зависи од морфологије терена и структурно-тектонске активности. Коefицијент откривке је прорачунат као однос средње дебљине јаловине изнад слоја угља и средње дебљине главног угљеног слоја, и износи  $k=24,88$ .



Слика 5. Језгро главног слоја угља

Табела 4: Прорачун резерве угља по методи блокова

| Табела за прорачун рудних резерве по методи блокова<br>- Лежиште угља Живојно (фаза 2011/12) |               |               |                 |                |                    |
|--|---------------|---------------|-----------------|----------------|--------------------|
|  | А резерве (t) | Б резерве (t) | А+Б резерве (t) | Ц1 резерве (t) | А+Б+Ц1 резерве (t) |
| за свих слојева  | 26.508.036,90 | 38.738.004,66 | 65.246.041,56   | 36.438.366,01  | 101.684.407,57     |
| за главни слој угља  | 16.605.843,15 | 29.464.515,48 | 46.070.358,63   | 27.987.491,89  | 74.057.850,52      |
| за остале слојева  | 9.902.193,75  | 9.273.489,18  | 19.175.682,93   | 8.450.874,12   | 27.626.557,05      |



Табела 5: Прорачун резерве угља по методи паралелних профила

| Табела за прорачун рудних резерве по методи паралелних профила<br>- Лежиште угља Живојно (фаза 2011/12) |                          |                |
|---|--------------------------|----------------|
| Свих слојева  | Укупно резерве А+В+С (t) | 103.082.579,54 |
| за главни слој  | Укупно резерве А+В+С (t) | 74.153.441,58  |
| за остале слојеви   | Укупно резерве А+В+С (t) | 28.929.137,96  |

### ТЕХНИЧКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА

Техничко-економска оцена предсавља важан сегмент у делу истраживања и испитивања ове минералне сировине. То представља методолошки поступак где су обухваћене значајнији геолошки, техничко-експлоатациони, економски и други фактори од којих произилазе показатељи повезани са могућношћу искоришћавања угља као минералне сировине овог лежишта. Као најзначајни фактори од којих зависи техничко-економска оцена лежишта угља „Живојно” могу се навести: геолошки, генетски, техничко-експлоатациони(рударски), технолошки, регионални, пазарни и социјално-економски фактори.

Код лежишта угља „Живојно” у највишим деловима продуктивног хоризонта постоји један угљенов слој (главни слој угља), док је у подинском делу угаљ раслојен на 1-5 слојева, са прослојцима и слојевима од јаловинског материјала (заглињена прашина, песак, угљена глина и др.).

Дебљина главног слоја угља се креће од 0,5 m до максималних 9,05 m, или средња дебљина од 4,25 метри. Има континуирану распрострањеност на површини од око 20 km<sup>2</sup>. Подински слојеви су мале и променљиве дебљине и са честим исклинавањима (немају континуирану распрострањеност као главни угљенов слој).

Паралелно са таложењем органског материјала, таложио се и нечисти глиновит и песковито прашинаст материјал посебно у подинском делу, што је довело до раслојавања угља.

Ако се узме у обзир дебљина простирања угљеног слоја/слојева, дебљина угљеног слој, доста висок коефицијент откривке, може да се донесе један општи закључак за начин експлоатације овог лежишта. Као најприхватљивија метода би била подземна (јамска) експлоатација угља.

Имајући у виду све напред наведено, а руководећи се према искуству сличних лежишта угља, као најприхватљивија метода откопавања слојева рудних тела са овим карактеристикама би била ширококеона метода са зарушавањем повлате.

Минимална дебљина јаловине овог лежишта изнад главног слоја угља износи 12,8 m, док максимална 177 m, или добијена средња вредност од 104 m, а коефицијент откривке  $k=24,88$ .

Време експлоатације узети у обзир експлоатационе рудне резерве само главног слоја угља и прогнозирани годишњи капацитет од 2.500.000 t је прорачунат на 25,18 год.

За лежиште Живојно код прорачуна економске (вредносне) оцене су узети и усвојени следећи параметри: очекивани годишњи приход(A) од 6.000.000 ЕУ, годишњи капацитет од 2.500.000 t угља и приход од 2,4 ЕУ/t; нормална акумулативна стопа (r) је усвојена од 3% (по Хосколд најчешће изнесо (3-5%); шпекулативна стопа (r1) је усвојена 8%; и време експлоатације (n) прорачунато на 25,18 години.

Прорачуни су вршени по Хосколдовој формули, и добијена садашња вредносна (економска) оцена, која осликава величину на будући профил лежишта Живојно. У досадашњим условима вредносна оцена износи 55.995.950 евра.

## ЗАКЉУЧАК

Ова истраживања у суштини представљају наставак континуираних обимних истраживања и испитивања вршена у периоду 1967, 1973 и 1981-1984.

Лежиште угља-лигнита се простире у периферном ЈИ делу Пелагониске котлине, између села Живојно, Бач и Гермијан у чијим деловима на површини од око 20 km<sup>2</sup> су извршени истражни радови.

У фази реализације ових истраживања били су укључени и аутори главног рударског пројекта који су имали увид на сам процес истраживања, а у појединим фазама давали своје предлоге и сугестије. Наиме, реализирани теренски лабораторијски и кабинетски геолошки, хидрогеолошки, инжењерско-геолошки радови и геомеханичка истраживања и испитивања на солидном нивоу направили су анализу и обрадили предметну проблематику. Добијени резултати су квалитетна подлога за израду главног рударског пројекта.

## КОРИШЋЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андреевски.Б.: Угаљи во Македонија;
- [2] Елаборат за класификација, категоризација и пресметка на рудните резерве од угаљово лежиште “Живојно” Скопје - ГИМ – 2011-12 год.
- [3] Елаборат за рудни резерв Скопје -Геозавод- 1984 год. (Книга I, II, III)
- [4] Извештај за резултатите од претходното истражување на лигнит во лигнитоносниот басен “Живојно-Гермијан”- Битола – Геобиро - 1967 год.
- [5] Извештај за геолошките истражувања угљао лежиште “Гермијан - Брод” Скопје – Геозавод- 1982 год.

## Nova saznanja o geologiji Vrdničkog ugljenog basena (severna Srbija)

<sup>1</sup>Prof. Dr. LJUPKO RUNDIĆ, <sup>1</sup>Prof. Dr. SLOBODAN KNEŽEVIĆ,  
<sup>2</sup>Dr. MILOVAN RAKIJAŠ i <sup>2</sup>MARIJA KUKAVICA

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za Regionalnu geologiju, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija; [ljupko.rundic@rgf.bg.ac.rs](mailto:ljupko.rundic@rgf.bg.ac.rs); [slobodan.knezevic@rgf.bg.ac.rs](mailto:slobodan.knezevic@rgf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Hidro-Geo Rad, Brankova 23, 11 000 Beograd, Srbija; [smrakijas@yahoo.com](mailto:smrakijas@yahoo.com); [marijakukavica@yahoo.com](mailto:marijakukavica@yahoo.com)

### Apstrakt

Najnovija terenska istraživanja na prostoru Vrdničkog ugljenog basena (oko 50km<sup>2</sup>), kao i brojni novi podaci iz trideset plitkih bušotina (Hidro-Geo Rad, 2007-2008) urađjenih za potrebe kompanije La Farge iz Beočina omogućila su izdvajanje različitih neogenih i kvartarnih jedinica. U stratigrafskom smislu, prisutne su sledeće celine: neraščlanjen kontinentalno-jezerski ?oligocen - donji miocen (Vrdnička serija), morski srednji miocen (baden), jezersko-brakični gornji miocen (panon i pont), i dva paketa sedimenata koji pripadaju kontinentalnim naslagama kvartara – starije pleistocenska crvena serija (tzv. Sremska serija) i lesno-paleozemljišni kompleks u njenoj povlati. Od novih podataka koji se tiču stratigrafskog razvoja ovog basena, značajno je pomenuti da su, po prvi put, otkrivene panonske naslage na južnom obodu Fruške gore a takodje je zapaženo i mnogo veće podpovršinsko rasprostranjenje morskih badenskih naslaga nego što se ranije mislilo. To se posebno odnosi na tzv. Lajtovačke krečnjake koji dostižu debljinu preko 70m u nekim bušotinama. Osim toga, i najmladji paketi sedimenata koji pripadaju kvartaru, a pogotovo Sremska serija, su sada mnogo bolje dokumentovani zahvaljujući podpovršinskim istraživanjima. Ipak, još uvek ima dosta dilema koje ukazuju na vrlo dinamičnu sredinu, i česta kolebanja nivoa mora ili jezera tokom neogena, uglavnom izazvana tektonskim pokretima.

**Ključne reči:** Vrdnički ugljeni basen, podpovršinska geologija, Miocen, Kvartar

### Abstract

The latest field research in the area of the Vrdnik Coal Basin (approx. 50km<sup>2</sup>), and a number of new data from thirty shallow wells (Hidro-Geo Rad, 2007-2008) made for the La Farge Co. enabled the division of different Neogene and Quaternary units. From the stratigraphic point of view, there are the following units: an undivided continental lacustrine? Oligocene – Miocene (the Vrdnik series), a marine Middle Miocene (Badenian), lacustrine-brackish Upper Miocene (Pannonian and Pontian), and two packages of continental deposits which belong to the Quaternary: the older Pleistocene red series (so-called the Sremska series) and loess-paleosol complex. From the new data concerning the stratigraphic development of the basin, it is important to note that, for the first time, the Pannonian deposits were discovered on the southern edge of Fruška Gora and is also observed much larger subsurface distribution of marine Badenian sediments than previously thought. This is especially true of the so-called Leitha limestone which reaches a thickness exceeding 70m in some wells. In addition, the youngest sediments belonging to the Quaternary age, especially the Sremska series, due to subsurface investigations are now much better documented. However, there are still a lot of dilemma that indicate a very dynamic paleoenvironment, and frequent fluctuations in sea (lake) level during the Neogene, mainly caused by tectonic movements.

**Keywords:** Vrdnik Coal Basin, subsurface geology, Miocene, Quaternary

## UVOD

Vrdnički ugljeni basen nalazi se na južnim padinama planine Fruške gore. U morfostrukturnom pogledu, predstavlja jedan složen tektonski rov ispunjen miocenskim naslagama na ukupnoj površini od oko 50 km<sup>2</sup>. Prva geološka istraživanja i rudarski radovi na Fruškoj gori vezani za eksploataciju mrkog uglja, obavljani su još početkom XIX veka upravo na ovom prostoru. Eksploatacija uglja vršena je preko 160 godina, sa prekidima od 1804. do 1968. godine (Petković i dr., 1976). Obod basena je izgrađen od starijih stena pretercijarnog jezgra Fruške gore gde dominiraju hidrotermalno izmenjeni ultramafiti (serpentiniti i serpentinitne breče). Pored njih, na zapadnom obodu rasprostranjeni su silifikovani kristalasti škriljci, dolomitični krečnjaci i dolomiti, argilofiliti, gornjokredni klastiti i pojave vulkanskih stena. Na istočnom obodu su rasprostranjene i tvorevine gornjokredno - paleogenog fliša.

Basen je kompleksna tektonska potolina ograničena dubokim rasedima (Čičulić-Trifunović & Rakić, 1971; Petković i dr., 1976; Toljić i dr., 2013). S tim u vezi je i njegova evolucija koja se odrazila na različit litološki sastav sedimenata i pojave vulkanizma. Smatra se da je formiran od kraja Oligocena pa do početka srednjeg Miocena. Regionalna marinska transgresija početkom badena (srednji Miocen) zahvatila je i prostore južnog podnožja Fruške gore uključujući i vrdnički basen. Kasnije, u mladjem srednjem miocenu dolazi do regresije što se odrazilo na nedostatku sarmatskih marinsko-brakičnih naslaga. Ponovo u gornjem Miocenu, usled izolacije Panonskog basena od ostatka svetskog mora (pre 11,6 miliona godina - Ter Borgh i dr., 2013) dolazi do ingresije voda jezera Panon na ovaj prostor i takav slatkovodni režim se održao sve do u kvartar (2,58 mil. god.). Nakon toga, usled inverzije pokreta i snažnog izdizanja jezgra Fruške gore, formirane su različite kontinentalne formacije. Starija je produkt proluvijlano-deluvijlanih procesa u toplijih fazama (interstadijalu) starijeg Pleistocena, dok se mladji lesno-paleozemljišni kompleks vezuje za smenu hladnih i toplih faza tokom mladjeg Pleistocena.

## REZULTATI NOVIJIH STRATIGRAFSKIH ISTRAŽIVANJA

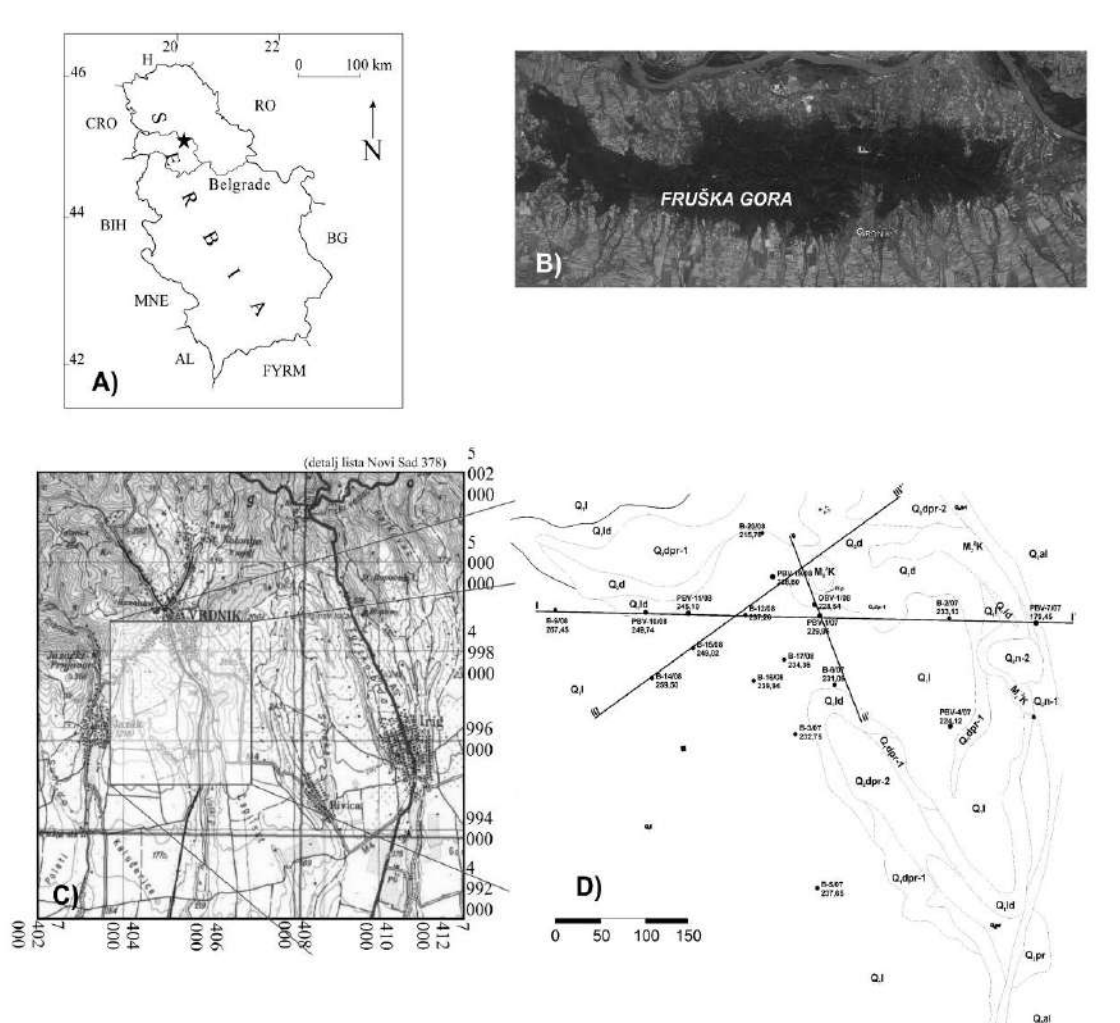
Novi podaci o geologiji vrdničkog ugljenog basena zasnovani su kako na novijim terenskim istraživanjima vezanim za izradu formacione geološke karte list Novi Sad 4, 1:50 000, zatim istraživanjima cementnih sirovina za kompaniju LaFarge (Beočin), kao i hidrogeološkim proučavanjima. Povrh toga, detaljne stratigrafsko – paleontološke i manjim delom strukturne analize pomenutih istražnih bušotina (Hidro-Geo Rad, 2007-2008 – *Sl. 1*) upotpunile su i delom promenile saznanja o geologiji ovog prostora. S obzirom na veliki obim istraživanja, ovde će biti izneti samo neki primeri koji pokazuju te novine u geologiji i instruktivni profili pojedinih stratigrafskih jedinica opisanih prilikom kartiranja jezgra određenih bušotina. Bliži podaci o poziciji i koordinatama bušotina dati su na priloženim grafičkim priložima.

### Donji Miocen

Stratotipska lokalnost ? Oligocen-donjeg Miocena (ovde je shvatanje o oligocenskoj starosti najstarijeg dela Vrdničke serije zanemareno iz praktičnih razloga jer su nalaženi uglavnom najmladji paketi te serije) na području Fruške gore nalazi se upravo na prostoru Vrdnika, odnosno vrdničkog ugljenog basena. U celom tom pojasu, naslage mrkog uglja koje su tako karakteristične za starije nivoe Vrdničke serije (formacije), konstatovane su samo u najvišim delovima terena severno od Banje Vrdnik, duboko uz greben Fruške Gore (*Sl. 2*). Naknadnim, mladje miocenskim tektonskim pokretima, ove tvorevine su izdignute i “izbačene” plitko na površinu terena te se mogu i površinski opservirati. Ipak, ova formacija je vrlo prepoznatljiva na terenu i ima jasan litološki karakter. Ako se ima u vidu kompletno razviće ove kontinentalno-jezerske serije u samom Vrdniku koja dostiže debljinu preko 250 m (Čičulić-Trifunović &

Rakić, 1971; Petković i dr., 1976), onda se sedimenti otkriveni na pomenutom potezu (izuzev samog Vrdnika) mogu uvrstiti u povlatne, mlađe nivoe ove serije. U odnosu na stariju, pretercijarnu podlogu, obično se nalaze u tektonskom odnosu ili prema serpentinitima, odnosno njihovim hidrotermalno izmenjenim ekvivalentima ili pak gornjoj Kredi (Vrdnik, Zmajevac, Iriški venac). Pitanje donje granice prema starijim formacijama je dosta diskutabilno i terenski je vrlo teško zapaziti prirodu kontakta iz razloga što su te granice uglavnom pokrivena. Međutim, taj kontakt je dosta jasan na severnoj padini Fruške Gore (Paragovo, Stari Ledinci, Stari Rakovac). Gornja granica vrdničke serije prema morskim naslagama srednjeg Miocena je uglavnom svuda pokrivena osim što je taj kontakt direktno utvrđen u profilima nekoliko bušotina (B-19, B-20 i B-27).

Prema najnovijim saznanjima (bušotina za novi hotel Premier Aqua u banji Vrdnik) ukupna debljina Vrdničke serije prelazi 600 metara. Prema ranijim podacima (Dolić, 1961; Petković et al., 1976) ugljonošna serija se nalazi u donjem delu ovog kompleksa i sam rudnik je imao nekoliko jama dok je radio (najdublja jama dubine preko 250m).



Sl.1 Geografski položaj (A, B) i lokacija istražnog prostora Vrdničkog ugljenog basena (C) sa pozicijom analiziranih bušotina i odgovarajućim profilskim linijama (D)

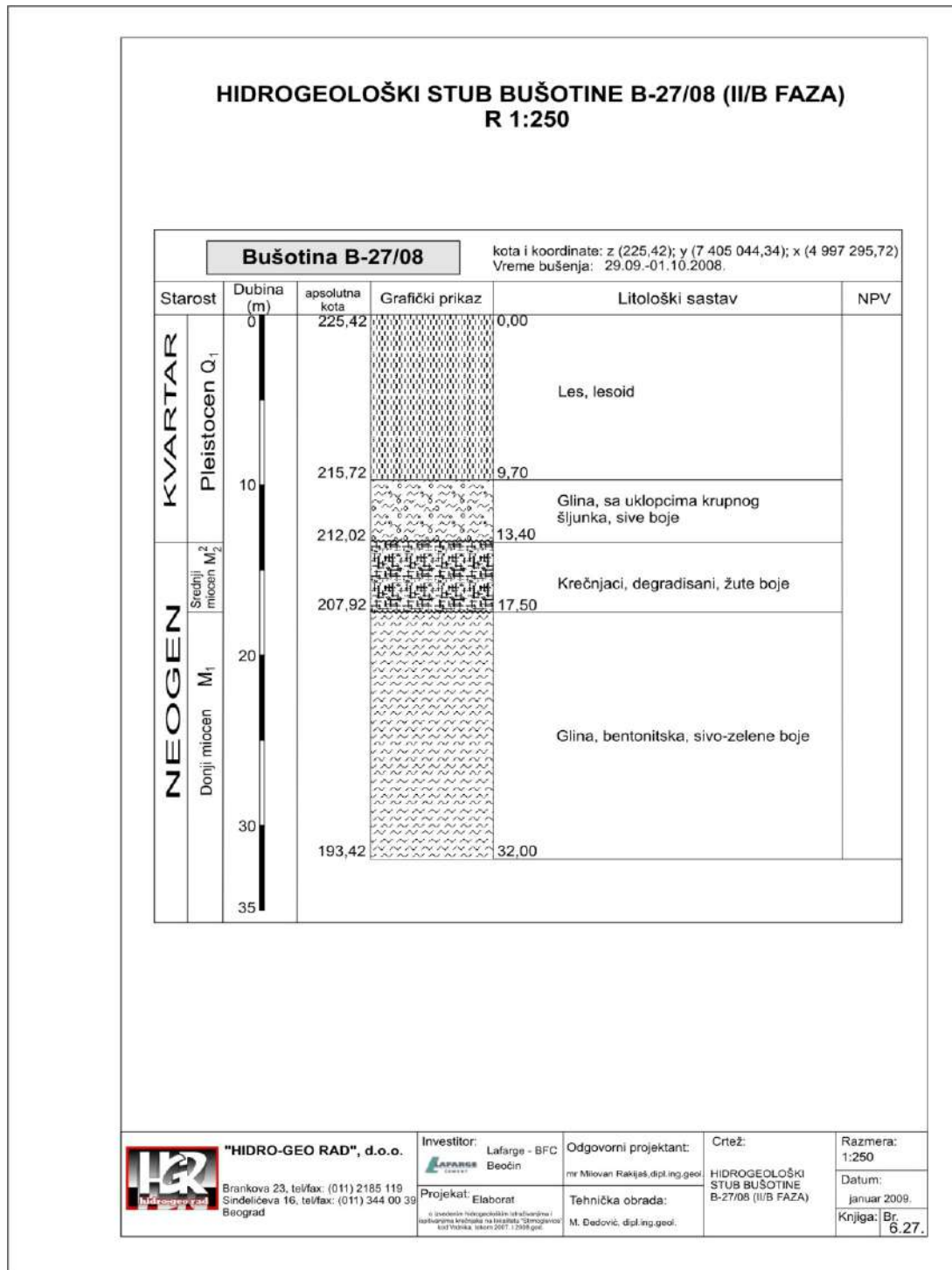


Slika 2. Ugljeviti deo vrdničke formacije  
(Stara Kolonija, dolina Orlovačkog potoka)

U bušotinama koje su rađene za potrebe istraživanja rezervi krečnjaka (Hidro-Geo Rad, Beograd) na lokalitetu Velika pećina (Strmoglavice), na ulazu u Vrdnik sa juga, tvorevine ove formacije nisu svuda pravilno zastupljene. Drugim rečima, u većini od izvedenih bušotina nisu ni nabušene. U bušotini B-27, na samom dnu, na dubini od 17,5-32 m, u podini badenskog lajtovačkog krečnjaka, otkrivene su sivo – zelene bentonitske gline koje nisu fosilonosne ali ukazuju na prisustvo ove formacije (Sl. 3). Sama bušotina locirana je u jednoj uvali u reljefu na krajnjem severu istražnog prostora i praktično se nastavlja na površinski otkrivene naslage ove formacije. Slična situacija opservirana je u bušotinama B-19 i B-20. U litološkom smislu, sedimenti završnog dela vrdničke formacije, izgrađeni su od tamno – sivih i zelenkastih peskovitih glina, peskova, crvenkastih „masnih“ glina i šljunkova. Zrna i valuci u osnovnoj masi su poreklom od serpentinita, metamorfita, kvarca i karbonata pretercijarne podine. Strukturne katarakteristike ovog dela serije su naizgled jednostavne. Slojevi su usmereni ka severu ali su često u tektonskim odnosima sa različitim starijim jedinicama i zbog toga ponekad imaju dosta strme padove.

Ranije hemijske analize sadržaja kalcita ( $\text{CaCO}_3$ ) u sedimentima ove formacije pokazuju vrednosti između 3,4-15%  $\text{CaCO}_3$  što bi ih uvrstilo u kalcitsko-alevritski tip peskova. Mikroskopskim ispitivanjem peskovitih frakcija određen je njihov mineraloški sastav. Zastupljeni su kvarc, kalcit, feldspati, odlomci stena i liskuni. Dominantan je kvarc (75%), zatim kalcit (15%), feldspati (4%), odlomci stena (5%) i liskuni manje od 1%. Od feldspata su nađeni K – feldspati i plagioklasi. Odlomci stena su teško odredljivi. Kalcit je prisutan u vidu monokristalnih zrna ili kao agregat mikrokristalastog kalcita (Rundić i dr., 2013).

Nažalost, urađena paleontološka ispitivanja tvorevina vrdničke formacije sa površine terena kao i iz nekoliko uzoraka jezgra bušotina nisu dala pozitivne rezultate.



Sl. 3. Hidrogeološki profil bušotine B-27

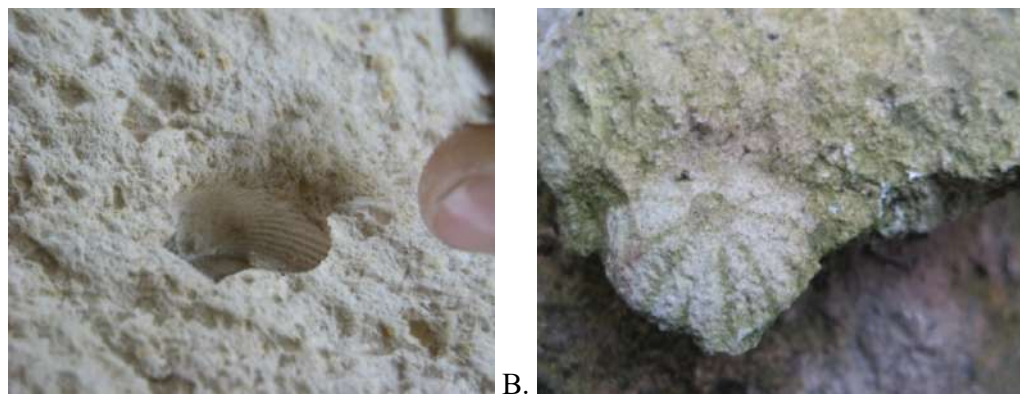
## Srednji Miocen (Baden)

Na prostoru vrdničkog ugljenog basena potvrđeni su rezultati ranijih istraživanja u smislu postojanja samo starijeg odeljka srednjeg Miocena – badenskog kata. Novijim istraživanjima a posebno na osnovu brojnih bušotina izvedenih u južnom pojasu vrdničkog basena, konstatovani su samo sedimenti morskog badena dok mladje, sarmatske naslage nisu nigde pronađene.

Badenski sedimenti su delimično otkriveni na izdancima uz obale potoka Dubočoš. Najbolje su otkriveni na lokalitetu Velika pećina (bivši kamenolom). Ovde su otkriveni masivni lajtovački krečnjaci, briozosko-litotamnijumskog karaktera, ranije korišćeni za potrebe lokalnih krečana, a sada kao potencijalna sirovina za proizvodnju cementa u Beočinu jer imaju visok procenat kalcijum-karbonata (95,4 - 99,2% CaCO<sub>3</sub>).

Prema podacima iz literature (Čičulić-Trifunović & Rakić, 1971; Petković i dr., 1976; Rundić i dr., 2013) na južnoj strani Fruške Gore, lajtovački krečnjaci leže preko stena paleoreljefa jer se smatra da je marinska ingresija zahvatila dosta kasnije južne padine planine nego njenu severnu stranu. To objašnjava činjenicu da na severu ispod ovih krečnjaka ima svuda i starijih badenskih stena (laporci i gline sa morskom faunom). Svi pomenuti lokaliteti predstavljali su svojevrsne barijere ili sprudove u tadašnjem Paratetisu.

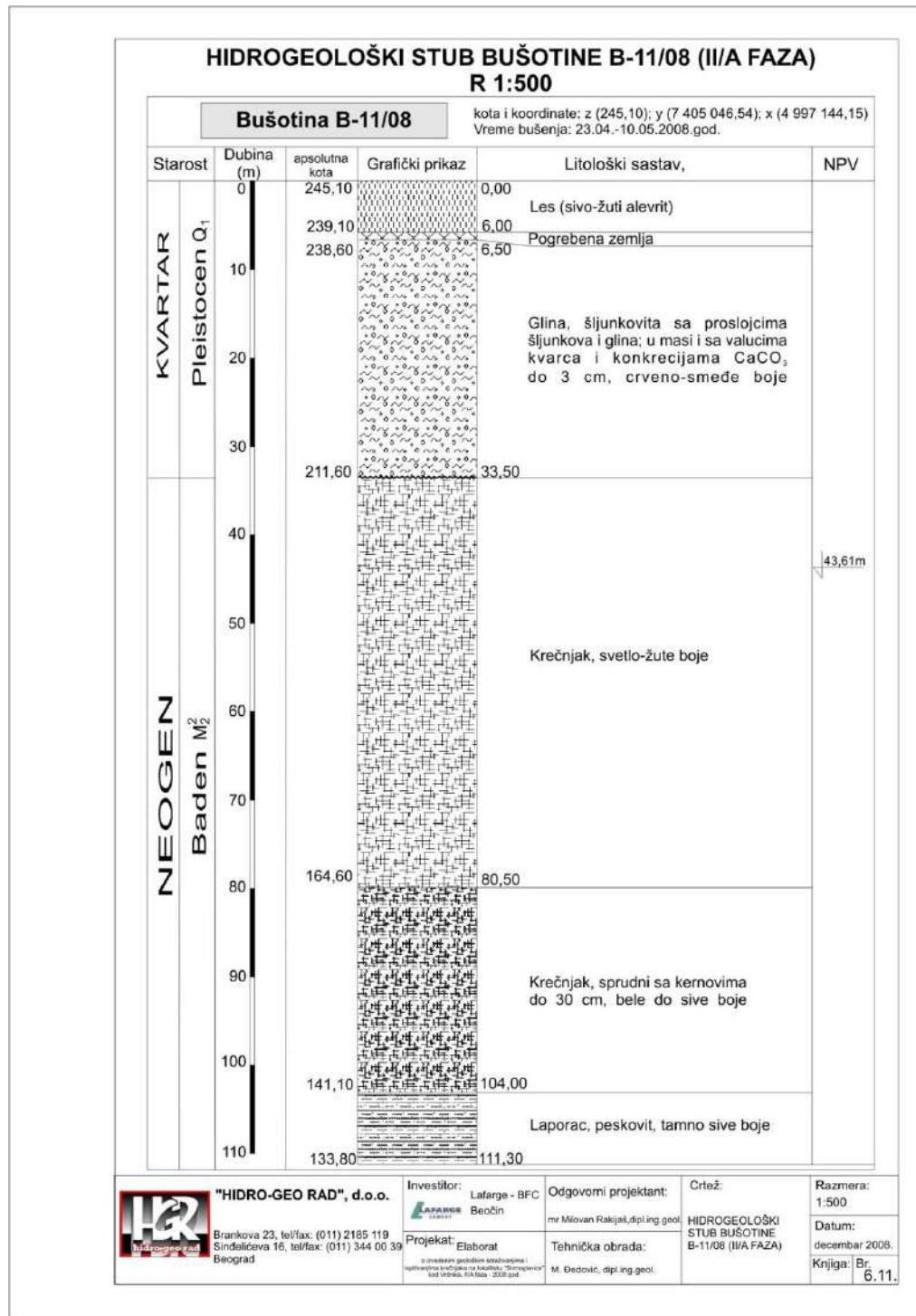
Na delu terena oko Velike pećine, bušotine su praktično otkrile najbolje profile lajtovačkih krečnjaka. Ne samo da su kvalitetna industrijska sirovina, nego sadrže i vanredno lepe asocijacije morskih mekušaca, algi, korala, ehinodermata, briozoa, foraminifera, ostrakoda i druge faune koja svedoči o plitkovodnom i subsprudnom karakteru tih sedimenata (*Pecten aduncus* Lam., *P. haueri* Micht., *P. latissimus* Brocc., *Chlamys* sp., *Flabellipecten besseri* Andr., *Glycimeris pilosus* Linne, *Panopea menardi* Desch., *Ostrea lamellosa* Hoern., *O. digitalina* Dub. i dr. – Sl. 4)



Sl. 4. A. Badenske morske školjke (*Pecten* sp.), B. Ehinodermati uklopljeni u krečnjaku (Velika pećina)

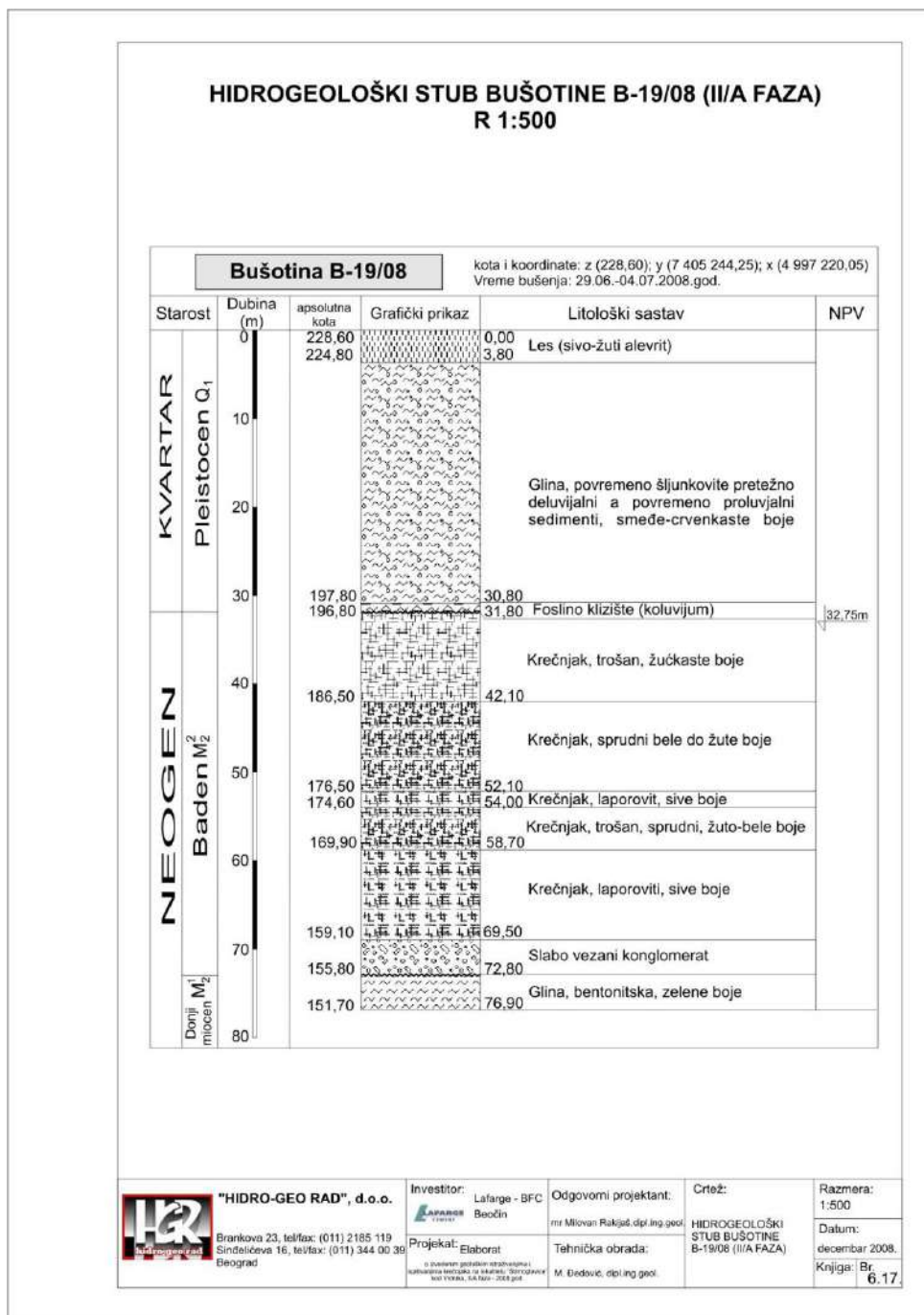
Na osnovu ispitivanja jezgra nekih bušotina može se konstatovati da ovi krečnjaci obično leže ispod pontaa a retko ispod pleistocena (sremska serija i les) a da po pravilu prekrivaju starije badenske naslage ili samo izuzetno stene vrdničke formacije. Sivi laporoviti peskovi i laporovito-peskovite gline i alevriti na ovom prostoru se sporadično javljaju i verovatno predstavljaju bočnu faciju pomenutih krečnjaka. Na osnovu podataka iz proučenih bušotina utvrđena je maksimalna debljina lajtovačkih krečnjaka od oko 70 m (bušotina B – 11, Sl. 5).





Sl. 5. Hidrogeološki profil bušotine B-11

Mikropaleontološkom analizom peskovitih laporaca, peskova i mikrokonglomerata u nekim bušotina, (B-19 i B-20, vidi Sl. 6) konstatovano je prisustvo donjobadske pelaške foraminiferske asocijacije (*Orbulina – Globigerinoides* zona). To ukazuje na transgresivan položaj ovih naslaga što se može dovesti u vezu sa regionalnom pojavom morske transgresije po južnom obodu Panonskog basena početkom srednjeg miocena (Ćorić & Rögl, 2004; Pezelj et al., 2013).



Sl. 6. Hidrogeološki profil bušotine B-19

## Gornji Miocen

Novijim istraživanjima prostora vrdničkog ugljenog basena, po prvi put su konstatovani sedimenti starijeg dela gornjeg Miocena – panonskog kata (Rundić & Potić, in press). Mlađi odeljak gornjeg Miocena – pont, utvrđen je kako u bušotinama tako i na površini terena na samom ulazu u Vrdnik, na levoj obali potoka Dubočoš.

### Panon

Na ulasku u Vrdnik iz pravca Rume, postoji lokalna peskana koja je do skoro bila dosta zapuštena i zarasla (koordinate: 7406198, 4996678). Sama peskana je već od ranije bila poznata ali stratigrafska pozicija relativno debele serije klastita nije bila pouzdano utvrđena. Makroskopskim opservacijama nije bilo moguće utvrditi da se radi o sedimentima ponta iako postoje određene indicije na osnovu izgleda sedimenata. Ipak, zahvaljujući analizi obližnjih bušotina koje su rađene za potrebe istraživanja rezervi i kvaliteta badenskih krečnjaka u periodu 2007 i 2008 (Hidro-Geo Rad, Beograd) utvrđeno je da pomenuti sedimenti najverovatnije odgovaraju oslađenim ekvivalenta pontu (prema podacima NIS-a iz hidrogeološke bušotine u Jasku). Slična situacija je konstatovana i u nekoliko bušotina južno od Vrdnika.

Medjutim, u samoj bazi profila ove peskane, tek nedavno su otkriveni potpuno novi geološki slojevi koji od ranije nisu bili vidljivi (Sl. 7). Tokom remedijacije pomenute peskane, građevinske mašine su otkopale jedan, do tada potpuno nepoznat podinski deo profila (više ka Vrdniku), gde se u bazi vide slojevi sivog ispucalog laporca. Tek nekoliko decimetara debeo paket (verovatno sočivo) panonskih peskovitih laporaca, potpuno je izmenio sliku o stratigrafskoj građi ovog dela Vrdnika i Fruške gore. Naime, to su pravi laporci tzv. beočinskog tipa razvića panona.

Makroskopski ostaci fosila nisu nađeni osim retkih odlomaka faune mekušaca (neodredljive forme). Međutim, analizom mikrofaune ostrakoda utvrđeni su mlađi nivoi panonskog kata (*Candona (Reticulocandona) reticulata* (Méhes), *Amplocypris* cf. *reticulata* Krstić, *Serbiella sagittosa* Krstić, *Hemicytheria marginata* Sokač, *H. croatica* Sokač, *Cyprideis* cf. *longa* Krstić, *Thaminocypris* sp., *Caspiolla* sp., *Typhlocypris* sp., *Cypria* sp. - Rundić & Potić, in press).

Time je, po prvi put do sada, i na južnim padinama Fruške gore, potvrđeno prisustvo panonskog kata gornjeg Miocena.

### Pont

Mlađi član gornjeg Miocena – pontski kat, dokumentovan je na osnovu analize brojnih bušotina u reonu Velike pećine kao i na profilu lokalne peskane u Vrdniku (Sl. 8). U litološkom smislu, pontske naslage su predstavljene serijom sivo-žučkastih alevrita, rđastih liskunovitih peskova u interkalaciji sa glinovitim alevritima. Na osnovu uporedne stratigrafske analize profila na peskani i brojnih bušotina u njegovoj okolini, utvrđeno je da pomenuti sedimenti odgovaraju oslađenim ekvivalentima pontu. Debljina pontu se uvećava idući od severa ka jugu i dostiže maksimalnu debljinu od oko 15 metara u bušotini B-3. Na levoj obali potoka Dubočoš, gde je i locirana pomenuta peskana, debljina pontu je veća u odnosu na desnu obalu (bušotina B-12, Sl. 9). Slični pontski sedimenti utvrđeni su ranije i u samom Jasku kod punionice mineralne vode.

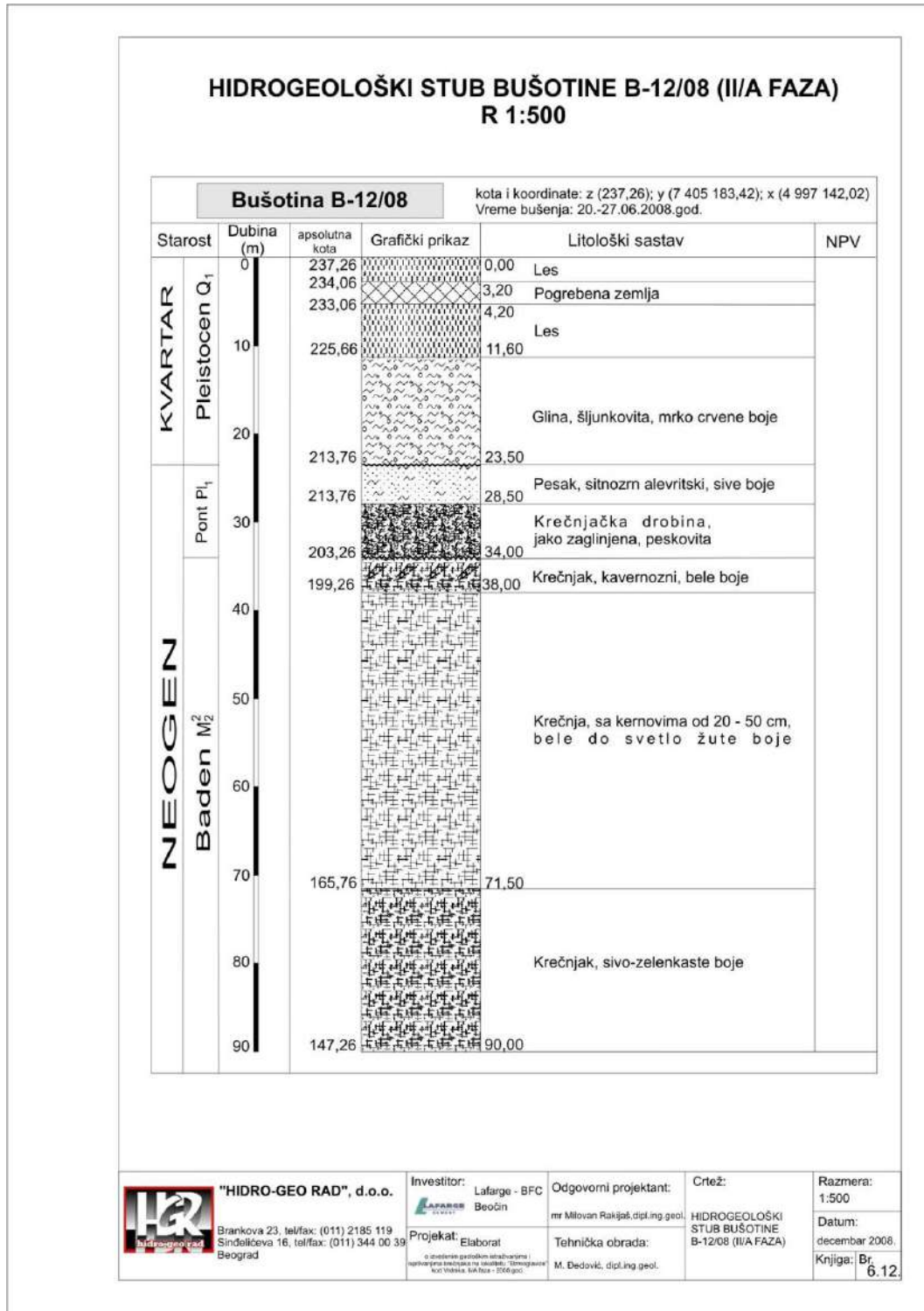
Uzorci uzeti za paleontološke analize (makrofauna, ostrakode, dijatomeje) kako na peskani tako i iz jezgra bušotina, za sada, nisu dali pozitivne rezultate.



Sl. 7. Izdanak panonskih laporaca i pontskih grubozrnih limonitisanih peskova i slabo vezanih mikrokonglomerata



Sl. 8. Lokalna peskana u Vrdniku sa sedimentima oslađenog ponta



Sl. 9. Hidrogeološki profil bušotine B-12

## Kvartar

Sedimenti najmlađe geološke periode (poslednjih 2,58 miliona godina) imaju znatno rasprostranjenje na području vrdničkog ugljenog basena. Najvećim delom pokrivaju površinu terena, a njihovo potpovršinsko prisustvo je konstatovano u brojnim bušotinama. U stratigrafskom smislu, izdvojeni su sedimenti pleistocena i holocena.

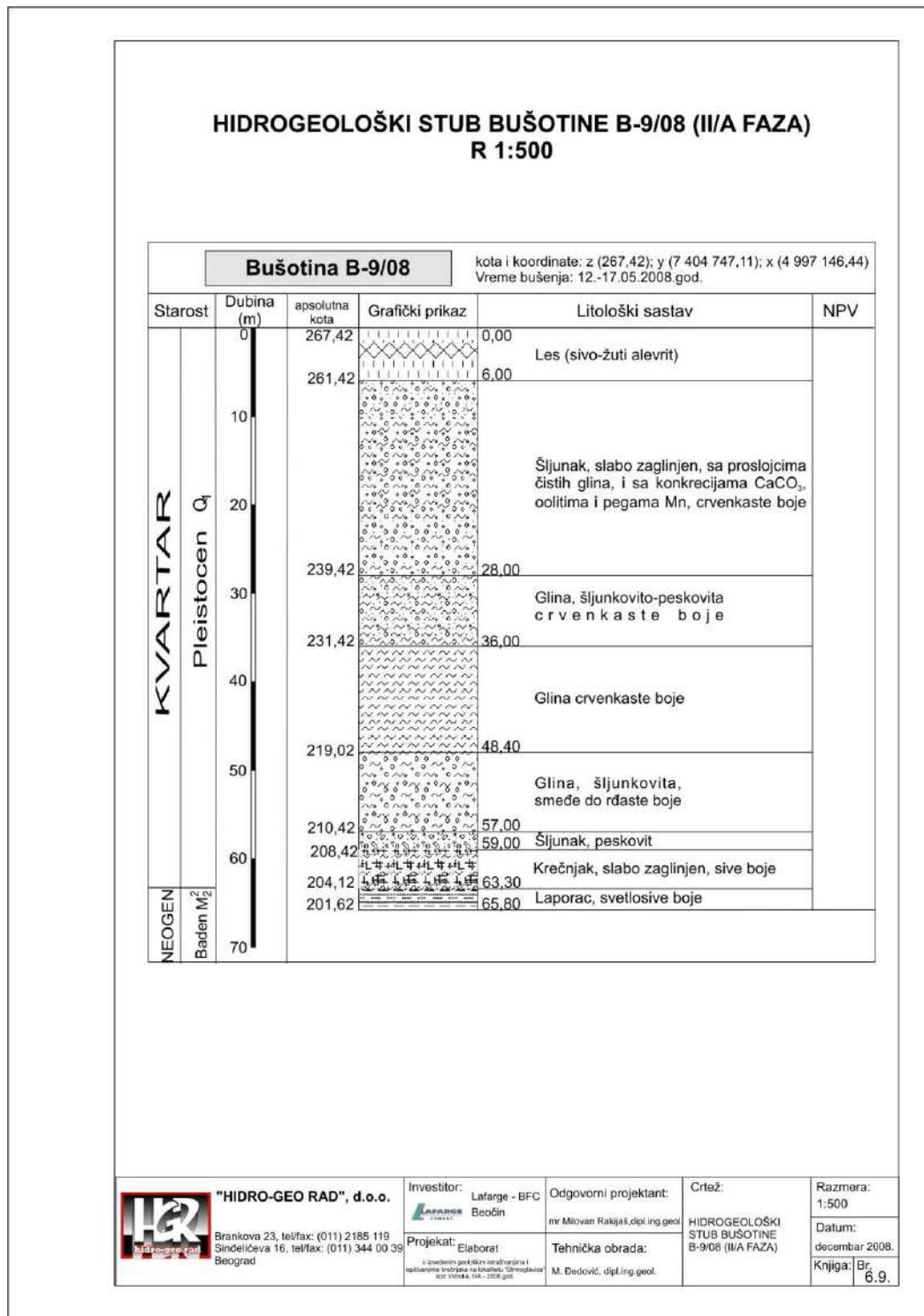
### Pleistocen

Među pleistocenskim sedimentima moguće je izdvojiti dve formacije: stariju, tzv. Sremsku seriju (formaciju) i naslage lesa.

Sedimenti **sremske serije** predstavljaju kopnene tvorevine nastale deluvijalno – proluvijalnim procesima u vremenu višefaznog uzdizanja grebena Fruške gore u starijim odeljcima pleistocena. Iako je izdizanje planine i proces sedimentacije obavljan u varijabilnim klimatskim uslovima, ovde je kao geološki zapis ostala epizoda tople klime iz nekog od inerglacijala. Ona se manifestovala u produkciji rdjavo-crvenih sedimenata sličnih lateritima, bogatih oksidima gvožđa, aluminijuma, mangana i sl. U litološkom pogledu, najčešće se sreću crvenkaste i smeđe šljunkovito-peskovite gline i alevriti sa sočivima zaglinjenih šljunkova (*Sl. 10*). Najbolji primeri konstatovani su u široj okolini Vrdnika na području Velike pećine. Otkriveni su, kako na površini terena, tako i u skoro svim bušotinama koje su ovde izvedene. Utvrđeno je da je debljina naslaga sremske serije izrazito varijabilna, što zavisi od morfologije terena, odnosno od toga šta im je u podini a šta u povlati. Najveće debljina je zapažena u bušotinama gde naležu preko pontskih sedimenata, i uvećava se skoro po pravilu idući od severa ka jugu (u bušotini B-9 debljina je skoro 57 m - *Sl. 11*). Na drugoj strani, najmanja debljina je uočena tamo gde sedimenti ove formacije direktno leže preko badenskih krečnjaka.



Sl. 10. Detalj jezgra iz tipične sremske formacije (B-18)



Sl. 11. Hidrogeološki profil bušotine B-9

**Lesne naslage** su najrasprostranjenija geološka jedinica na površini terena. Stratigrafske i paleontološke karakteristike lesa na Fruškoj gori opisane su u radovima većeg broja autora (Čičulić-Trifunović & Rakić, 1971; Petković i dr. 1976). Ovde se radi o tzv. padinskom tipu lesa, stvaranim na neravnom brdovitom terenu (npr. na području Vrdnika dugački lesni grebeni spuštaju se sa visina od oko 270 metara pa naniže - *Sl. 12*). Izgrađen je od horizonata sivožutih alevrita (lesa) i sivosmeđih ili crvenkastosmeđih horizonata fosilnih zemljišta (pogrebenih zemalja). Stariji nivoi lesa su više zaglinjeni, zbijeni i predstavljaju mešovite eolsko-deluvijalne naslage (padinski lesoid).



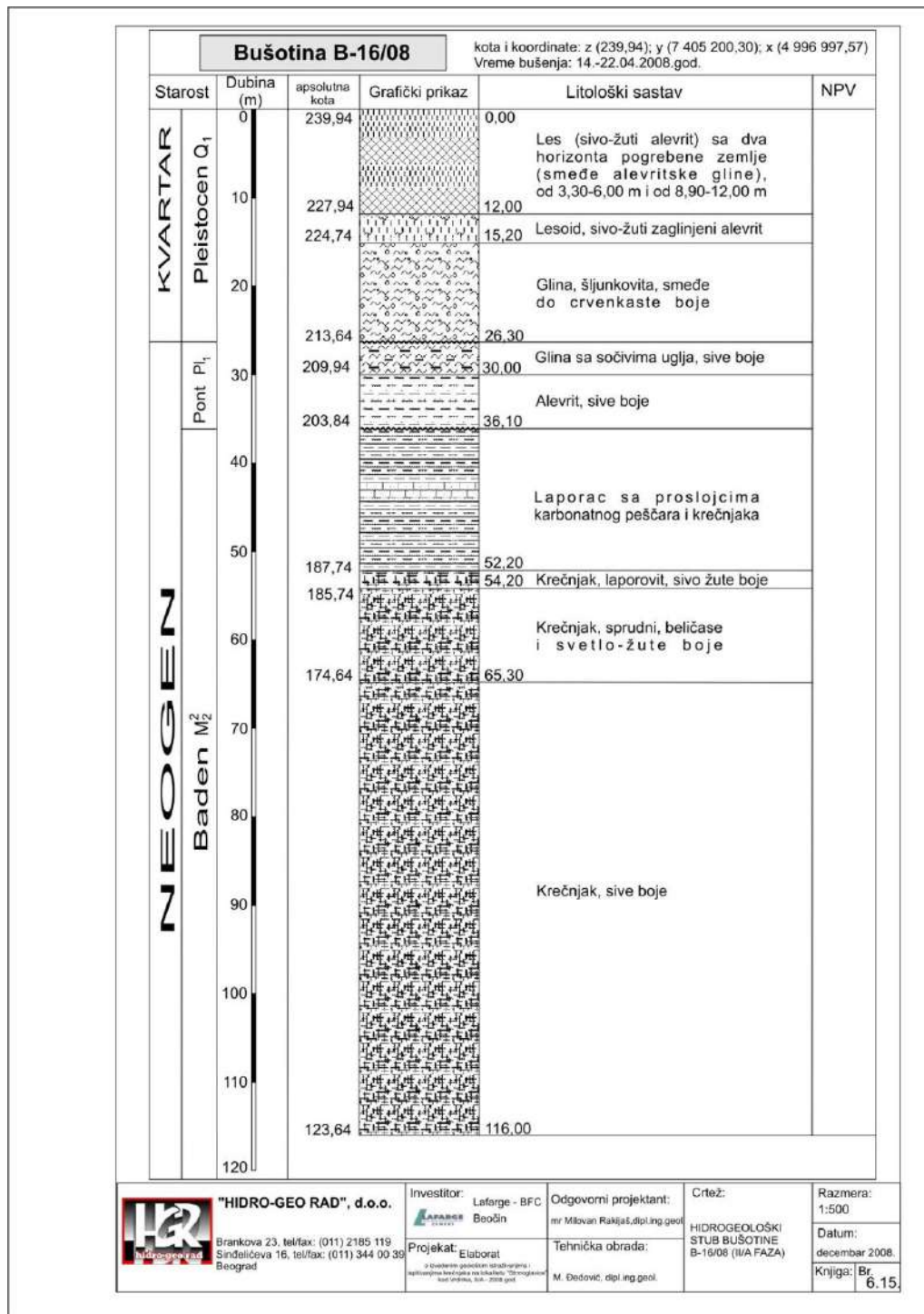
Sl. 12. Lesni „surduk“ u seoskom putu (okolina Rivice)

Proučavanja bušotina za potrebe istraživanja krečnjaka kod Vrdnika, pokazala su da je debljina lesnih tvorevina varijabilna. Ponegde je ona svega nekoliko metara (prosečno oko 10m) dok maksimalnu debljinu od 12 m dostiže u bušotini B-16 (*Sl. 13.*)

### **Holocen**

U okolini Vrdnika značajnije holocenske naslage predstavljaju: aluvijalne sedimente u dolini potoka Dubočoš, zatim padinske deluvijalno – proluvijalne naslage i antropogeni nanosi. Antropoge naslage su posebno razvijene na području ranije eksploatacije uglja – haldišta, gde dostižu debljinu od više desetina metara.

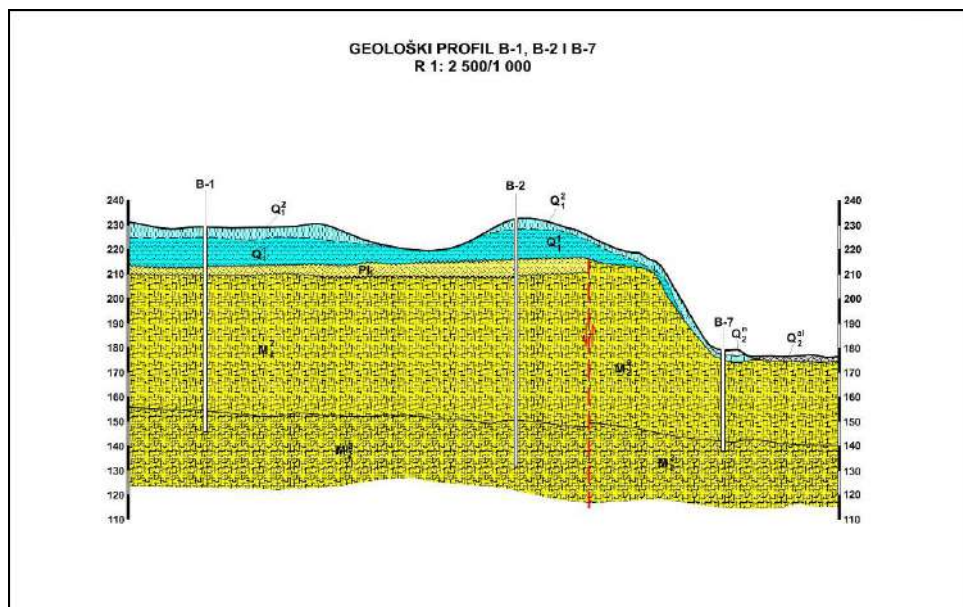




Sl. 13. Stratigrafski profil bušotine B-16

## OSVRT NA TEKTONIKU

Vrdnički basen predstavlja složen tektonski rov nastao spuštanjem blokova između krupnih razlomnih struktura među kojima su dominantne one pravca pružanja I-Z (Marović i dr., 2007). Generalno, moguće izdvojiti četiri strukturalna sprata: pre-badenski jezersko-kontinentalni sa najsloženijom tektonikom, srednjomiocenski badenski, gornjomiocenski i pleistocenski. Formiranje basena je započeto krajem Oligocena a glavna ekstenziona faza se desila tokom starijeg miocena. To je uslovalo deponovanje znatnih količina kontinentalno-jezerskih naslaga čija debljina, po najnovijim saznanjima, premašuje 600m. Novi geodinamički ciklus otpočeo je regionalnom morskom transgresijom koja je nastupila početkom srednjeg miocena, i zahvatila je južne delove basena (Velika pećina, Strmoglavice, i dr.). Ovim istraživanjima je utvrđeno prisustvo blokova sa različitim geološkom gradnjom. Npr. utvrđeno je da blok na levoj obali potoka Dubočas ima sedimente panona i debele naslage ponta, dok na desnoj obali panon potpuno nedostaje a pont je znatno redukovan. To nam ukazuje na prisustvo značajnih razlomnih struktura pravca S-J duž trase vodotoka po kome su ti blokovi diferencijalno kretani. U pojasu Velike pećine, utvrđeno je i prisustvo lokalnih struktura kao posledica manjih vertikalnih pomeranja. Drugim rečima, pomenuti blok na desnoj obali potoka je mladim poprečnim razlomima razdvojen na manje jedinice koje su i same različito kretane. Na primer, u zoni bivšeg kamenoloma, izdignut je severni blok badenskog lajtovačkog krečnjaka bez pokrova od pontskih sedimenata i sremske serije, dok je južni blok relativno spušten i ima sačuvane naslage ponta i relativno moćne sedimente sremske serije (Sl. 14)! Što se tiče pravca zaleganja i padnih uglova pojedinih jedinica, može se konstatovati da badenske morske naslage imaju znatno strmije padne uglove (oko  $25^{\circ}$ ) u odnosu na gornjomiocenske sedimente (max. do  $10^{\circ}$ ). Svakako je važno istaći da su tokom pleistocena bili vrlo snažni procesi izdizanja grebena Fruške gore, što se odrazilo na stvaranje debele serije podgornih deluvijalno-proluvijalnih naslaga (Sremska serija). Duboki razlomi unutar vrdničkog basena, usloveli su pojave termalnih voda koje se već preko pola veka eksploatišu u balneološke svrhe. Medjutim, za detaljniju interpretaciju tektonike proučavanog prostora, neophodno je uraditi posebnu strukturalno-facijalnu analizu koja nije bila obuhvaćena ovim radovima.



Sl. 14. Različiti miocenski sediment (žuto) u podini pleistocenske sremske serije (plavo  $Q_1$ ) odnosno lesa (plavo  $Q_2$ ) u široj okolini Velike pećine kod Vrdnika

## ZAKLJUČAK

Dosta novih podaka tokom poslednjih godina istraživanja (2007-2013), doprinelo je mnogo boljem poznavanju geologije vrdničkog ugljenog basena. Ti podaci su proizvod sopstvenih terenskih istraživanja vezanih za izradu formacione geološke karte list Novi Sad 3 i 4 (1:50.000), zatim istraživanja cementnih sirovina za kompaniju LaFarge (Beočin), kao i sagledavanja hidrogeoloških potencijala tog prostora.

Na osnovu detaljnih stratigrafsko-paleontoloških analiza trideset istražnih bušotina na lokalitetima Velika pećina i Strmoglavice formirana je dosta drugačija i mnogo potpunija slika o geološkoj građi čitavog vrdničkog basena.

Podpovršinskim istraživanjima su pojedini stratigrafski odeljci (jedinice) mnogo bolje dokumentovani nego ranije a pojedine serije (formacije) su po prvi put otkrivene (npr. Sremska serija i panon ranije nisu bili poznati na površini pa se mislilo i da nisu razvijeni na ovom prostoru). Badenski lajtovački krečnjaci imaju mnogo veće pasprostranjenje nego što se mislilo i značajni su kao potencijalna sirovina u cementnoj industriji jer imaju visok sadržaj kalcijum-karbonata.

Svakako je posebno značajno prvo otkriće panonskih naslaga na južnim padinama Fruške gore, baš u samom Vrdniku koje je izmenilo shvatanja o paleogeografiji ovih prostora.

Brojne bušotine su pokazale dosta podpovršinskih karakteristika miocenskih i kvartarnih sedimenata koje nisu bile poznate ranije (ukupna debljina, facijalna raznovrsnost, pravac zaleganja i sl.).

Dodatna ispitivanja razlomnih struktura u basenu, potvrdila su njegovu složenu građu i karakter jednog tektonskog rova stvaranog tokom miocena a invertovanog u najmlađim etapama pliocena i kvartara.

## LITERATURA

- Dolić, D., 1961. Contribution to the knowledge of the structure of coal deposits of the Vrdnik basin. *Vesnik, Geologija*, XIX, ser. A, 313-318 (In Serbian, German summary).
- Ćorić, S., Rögl, F., 2004. Roggendorf-1 borehole, a key-section for Lower Badenian transgressions and the stratigraphic position of the Grund Formation (Molasse Basin, Lower Austria). *Geologica Carpathica*, 55 (2): 165-178.
- Čičulić-Trifunović, M. & Rakić, M. 1971. Basic geological map 1:100,000, Sheet Novi Sad, with Explanatory book. *Savezni geološki zavod*, Beograd, 52 pp. (in Serbian)
- Hidro-Geo Rad, 2007-2008. Elaborat o izvedenim geološkim istraživanjima i ispitivanjima na lokalitetu "Strmoglavice" kod Vrdnika, I i II faza. FSD Hidro-Geo Rad, Beograd.
- Marović, M., Toljić, M., Rundić, Lj. & Milivojević, J., 2007. Neoalpine tectonics of Serbia. *Serbian Geological Society*, series Monographs, Belgrade, 87pp.
- Pantić, N. 1956. Biostratigraphy of Tertiary flora of Serbia. *Geol. An. Balk. Pol.*, 24, Beograd (in Serbian)
- Petković, K., Čičulić-Trifunović, M., Pašić, M. & Rakić, M., 1976. Fruška Gora - a monograph of geological structure and tectonic setting. *Matica srpska*, Novi Sad, 267 pp. (in Serbian with French summary)

- Pezelj, Dj., Mandić O. & Ćorić, S., 2013. Paleoenvironmental dynamics in the southern Pannonian Basin during initial Middle Miocene marine flooding. *Geologica Carpathica*, 64, 1, 81—100.
- Rundić, Lj., Knežević, S., Vasić, N., Cvetkov, V., Rakijaš, M., 2011. New data concerning the Early Middle Miocene on the southern slopes of Fruška Gora (northern Serbia): A case study from the Mutalj open pit. *Geol. An. Balk. Pol.*, LXXII, 71-85.
- Rundić, Lj., Djordjević, D.M., Stanković, M.N., Djordjević, M.G. & Krstić, N.S., 2013. Lower Miocene terrestrial sediments from the Vrdnik Formation near Beočin (Fruška Gora Mt., Serbia) – a preliminary geochemical data. 5<sup>th</sup> Intern. Workshop on Neogene of Central and Southeastern Europe, 53-54, Varna (Bulgaria).
- Rundić, Lj. & Potić, J. (in press). O prvom nalasku panona u okolini Vrdnika (Fruška gora). *Zapisnici SGD za 2012 godinu*. Srpsko geološko društvo, Beograd.
- Ter Borgh, M., Vasiliev, I., Stoica, M., Knežević, S., Matenco, L., Krijgsman, W., Rundić Lj., & Cloetingh, S., 2013: The isolation of the Pannonian basin (central Paratethys): new constraints from magneto- and biostratigraphy. *Global and Planetary Change*, 103, 99-118.
- Toljić, M., Matenco, L., Ducea, M.N., Stojadinović, U., Milivojević, J. & Djerić, N., 2013: The evolution of a key segment in the Europe-Adria collision: The Fruška Gora of northern Serbia. *Global and Planetary Change*, 103, 39-62.

## Izbor lokacije za formiranje sanitarne deponije komunalnog otpada za potrebe općine Srebrenik

ALMIR ŠABOVIĆ, ESAD ORUČ

### Sažetak

Planirani prestanak rada i likvidacija postojeće deponije komunalnog otpada „Babunovići“ općine Srebrenik, nameće potrebu izbora nove lokacije deponije, na kojoj bi se, po principima izgradnje sanitarne deponije otpada, obezbijedio optimalan prostor za ovu vrstu komunalne djelatnosti. Izbor potencijalne lokacije sanitarne deponije otpada predstavlja složen sistem upoređivanja niza mjerodavnih parametara, a nužno ga je započeti sa objektiviziranom i kvantificiranom uporednom analizom prirodnih i prostornih uslova u području odlaganja za više potencijalnih lokacija. Ovdje je data uporedna analiza šest potencijalnih lokacija, gdje je metodom terenske i kabinetske obrade niza raspoloživih podataka i brojnih mjerodavnih parametara data uporedna kvantificirana analiza prirodnih uslova pogodnosti potencijalnih lokacija.

**Ključne riječi:** sanitarna deponija, izbor lokacije deponije,

**Keywords:** sanitary landfill, landfill site selection,

### Uvod

Sanitarna deponija, u savremenom smislu i standardima izvođenja, podrazumijeva zatvoren ekološki sistem sa kontroliranim uticajem na okruženje i bez negativnog uticaja na okolne vode, zrak i zemljište odnosno, predstavlja uređen prostor na koji se vrši tehnološki definirano odlaganje otpada i koji zadovoljava slijedeće osnovne kriterije:

- Izoliranost ( zaptivenost ) za proticaj vode prema podlozi sa minimalno  $k = 1 \times 10^{-8}$  m/s;
- Definirano prikupljanje, tretman i recirkulacija procjednih i otpadnih voda unutar odlagališta, sa prelivom viška voda minimalno one kategorije koju ima okolni hidrološki sistem;
- Definirano prikupljanje, tretman i iskorištenje odlagališnih plinova;
- Definiranu rekultivaciju iskorištenih površina i uklapanje u okolni ekosistem i prostorni ambijent.
- Definiran monitoring uticaja na okolinu i upravljanje mjerama zaštite

To podrazumijeva implementaciju standarda utvrđenih Direktivom EU CD 1999/31 EC, Zakonom o upravljanju otpadom FBiH i Zakonom o otpadu TK.

### Predložene lokacije i ulazni podaci za izbor potencijalne lokacije

Preliminarni izbor potencijalnih lokacija za buduću deponiju komunalnog otpada općine Srebrenik je izvršen prethodnom kabinetskom i terenskom obradom područja općine a na bazi općih principa formiranja sanitarne deponije, prostornih mogućnosti i naseljenosti, koristeći brojnu raspoloživu objavljenu i fondovsku dokumentaciju dosadašnjih razmatranja lokacija deponija otpada na području TK,

općinskih i regionalnih, Prostorni plan TK 2005-2025, Prostorni plan općine Srebrenik1998-2015 i drugu relevantnu dokumentaciju.

Maksimalno su korištene mogućnosti vizuelnih aplikacija na internetu (Google Earth) i raspoloživa standardna kartografska dokumentacija (geodetske karte 1:25000 i geodetski planovi 1:2500) .

Za dalja razmatranja i uporedne analize su odabrane slijedeće lokacije:

1. Drenik
2. Krčevine - Gele
3. Tinja Gornja - Klanci
4. Dolovi
5. Gričevi
6. Ostružne

Lokacije su prikazane na priloženoj foto dokumentaciji, odnosno panoramskim snimcima (sl. 1-6).



Slika 1. Drenik



Slika 2. Krčevine – Gele



Slika 3. Tinja – Klanac



Slika 4. Dolovi



Slika 5. Gričevi



Slika 6. Ostružne

Ulazni podaci za procjenu potrebnih parametara potencijalne lokacije se daju na osnovu podataka sadržanih u Prostornom planu općine Srebrenik 1998-2015 i Prostornom planu Tuzlanskog kantona 2005-2025 i to:

**a.) Sadašnje stanje produkcije otpada**

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| - sadašnji broj stanovnika u općini (prema PP TK 2005-25) | 41 300 stanovnika             |
| - površine općine Srebrenik                               | 247,72 km <sup>2</sup>        |
| - broj urbanih naselja u općini                           | 18 naselja                    |
| - godišnja produkcija otpada                              | 15 000 m <sup>3</sup> /godinu |
| - specifična produkcija otpada                            | 0,80 kg/st/dan                |
|   | 295 kg/st/godinu              |

- specifična težina otpada na kraju odlaganja:
  - u nabijenom stanju 900 kg/m<sup>3</sup>
  - nakon biorazgradnje 1400 kg/m<sup>3</sup>

**b.) projekcija za narednih 25 godina**

- period planiranja minimalno 25 god.
- broj stanovnika (rast 0,7% godišnje) 48 500 stanovnika
- specifična produkcija otpada : 1,4 kg/st/dan ; 380 kg/st/god
- ukupna potrebna zapremina deponije za 25 g 410 000 t ; 455 000 m<sup>3</sup>
- orijentacione dimenzije deponije (za visinu 12 - 15 m) 3,0 -3,5 ha
- potrebna radna površina deponije (sa manipulativnim prostorom) ~ 5 ha

Kod razmatranja izbora potencijalne lokacije potrebno je posebno naglasiti da se buduća općinska deponija ima izgraditi po principima i tehničkim normama savremene sanitarne deponije, kao ekološki zatvoren sistem sa kontrolisanim uticajem na okruženje i bez negativnog uticaja na okolne vode, zrak i zemljište. Uz deponiju se podrazumijeva određen stepen primarne selekcije i reciklaže otpadnog materijala. Detaljnije parametre deponije će definisati tehnologija odlaganja i formiranja deponija, nakon izbora uže lokacije (jedne ili više), kada će se analizirati tehnoekonomske parametri izbora lokacije.

**Faktori i kriteriji izbora lokacije deponije**

Kriteriji za vrijednovanje i odabir potencijalnih lokacija deponovanja otpada, uobičajeni u savremenoj evropskoj praksi gospodarenja otpadom, normativno i zakonski regulisani propisima Federacije BiH, mogu se svrstati u slijedeće kategorije:

- prirodni faktori lokacije (geološka građa okruženja, hidrogeološki, hidrološki i klimatološki, zemljišni, ambijentalni, prostorni i drugi uslovi)
- uslovljeni faktori lokacije (urbanističko i prostorno planiranje, područje produkcije otpada, količina i struktura otpada, tehnologija prikupljanja i odlaganja, transport i komunikacije, naseljenost i dr.)
- ekonomski faktori lokacije (ekonomska samoodrživost i rentabilnost)
- administrativni faktori (administrativna izvodivost, konsensus javnosti, politička opredijeljenost, hitnost rješavanja i dr.).

U svakom slučaju, prvi i nezaobilazni korak izbora je komparativna analiza prirodnih i prostornih faktora uslovljenosti lokacije, jer ako u toj grupi faktora postoje bilo kakvi limitirajući ili eliminatorni pokazatelji, suviše su dalje analize tehnoekonomske i sociopolitičke faktora.

U tom smislu, za potrebe formiranja sanitarne deponije općine Srebrenik, analizirane su tri potencijalne lokacije na području općine, u prvom koraku isključivo sa aspekta komparacije prirodnih i prostornih faktora izbora optimalne lokacije a najmanje po slijedećim grupama parametara:

**(1) GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI USLOVI U PODRUČJU ODLAGALIŠTA**

- litostratigrafske i strukturno tektonske karakteristike
- hidrogeološki odnosi (HG funkcija stijena, režim podzemnih voda i filtracione karakteristike)
- geotehničke karakteristike (nosivost, konsolidovanost, stabilnost prirodnih i vještačkih padina)
- morfološke karakteristike (nagib terena)



- seizmička makro i mikro rejonizacija
- mineralne sirovine (postojeća ili potencijalna eksploatacija mineralnih sirovina)
- (2) KLIMATSKI I HIDROMETEOROLOŠKI USLOVI PODRUČJA
- klimatski parametri (padavine, temperature, vjetrovitost, vlažnost i dr.)
- broj kišnih i sniježnih dana
- parametri vodnog bilansa (infiltracija, oticaji, evapotranspiracija, bilansni odnosi)
- (3) ZEMLJIŠNI USLOVI PODRUČJA
- kategorizacija zemljišta u širem području deponije (pedološke karakteristike, obradive, tehnogene i degradirane površine)
- tip tla u podlozi deponije
- način korištenja zemljišta (obradivo, šumsko i sl.)
- uslovi rekultivacije
- vlasništvo zemljišta (društveno, privatno)
- raspoloživost materijala za tehnološku pokrivku deponovanog otpada
- obim zemljanih radova na pripremi lokacije
- (4) HIDROLOŠKI USLOVI I KVALITET VODA
- hidrološke karakteristike (hidrografska mreža, akumulacije, izvori, definicija hidroloških sistema i podsistema, međusobne veze, zaštita lokalnog i okolinskog hidrološkog sistema, rizici od visokih voda)
- kvalitet voda u uzvodnom i nizvodnom okruženju buduće deponije (po kriterijima uredbe o klasifikaciji voda i uredbe o kategorizaciji vodotoka)
- postojanje zaštićenih vodnih objekata (zaštitne zone izvorišta i sl.)
- (5) PROSTORNI ASPEKTI I INFRASTRUKTURNI USLOVI
- prostorno planski aspekti ( prema važećim prostornim i urbanističkim dokumentima)
- komunikacije i saobraćajni uslovi
- energetska raspoloživost
- naselja i okruženje
- vizuelna izloženost
- zaštita istorijskih i prirodnih vrijednosti.

Primijenjeni sistem valoriziranja potencijalnih lokacija u prikazanih 5 grupa faktora podrazumijeva 23 mjerodavna kriterija, svaki sa 2-3 opcije, što u konačnom daje rangiranje potencijalnih lokacija po ukupnom zbiru bodova za svaku lokaciju. Značaj grupa i pojedinačnih faktora i obim njihovog uticaja svakako da je različit i rezultira različitim brojem pridodatih mogućih bodova, što proizlazi iz dosadašnjeg rada i iskustava na problematici izbora lokacija deponovanja otpada i uspostavljene vlastite izvorne metodologije.

Od razmatranih faktora izbora lokacije, učešće pojedinih grupa uticaja usvojeno je u slijedećim proporcijama:

|                                      |     |                     |
|--------------------------------------|-----|---------------------|
| 1. GEOLOŠKI FAKTORI                  | 23% | ili maks.23 bodova  |
| 2. ZEMLJIŠNI USLOVI                  | 17% | ili maks.17 bodova  |
| 3. KLIMATSKI FAKTORI                 | 5%  | ili maks. 5 bodova  |
| 4. HIDROLOŠKI USLOVI I KVALITET VODA | 25% | ili maks. 25 bodova |
| 5. PROSTORNI ASPEKTI                 | 30% | ili maks. 30 bodova |

Opća kategorija pogodnosti potencijalne lokacije za formiranje deponije otpada proizlazi iz ukupnog broja pridodatih bodova i može se smatrati da je sa:

< 60 bodova - lokacija nepogodna

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| 60-80 bodova  | - lokacija uslovno pogodna  |
| 80-90 bodova  | - lokacija pogodna          |
| 90-100 bodova | - lokacija izuzetno pogodna |

Neposredno dodijeljeni broj bodova pojedinim lokacijama, po određenom kriteriju i opcijama je rezultat prethodne detaljne analize svakog od parametara i lokaliteta.

Provedena analiza faktora izbora je argumentovana, uporediva i kvantitativno iskazana za svaku od lokacija (bodovno).

### **Geološke karakteristike istraživanog područja**

Geološke karakteristike istraživanog područja jedan su od ključnih prirodnih faktora izbora lokacije deponije. Niz geoloških faktora (litoloških, strukturno tektonskih, inženjerskogeoloških, hidrogeoloških, seizmičkih i drugih) uslovljava pouzdanost izabranog lokaliteta sa aspekta sigurnosti u eksploataciji deponije, stabilnosti i različitih uticaja na okolinu.

Područje šire okoline južno od Srebrenika, gdje su smještene sve predmetne lokacije, u geološkom smislu pripada neogenu u okviru kojeg su zastupljene tvorevine miocena i jednim manjim dijelom paleogenu u okviru kojeg su zastupljene tvorevine paleocen-eocena.

#### **Jura (J) dijabaz rožna formacija**

Najstarije stijene u okviru posmatranog područja su stijene dijabaz rožne formacije. Relativno su malo zastupljene i to u području jugozapadno od kamenoloma Drenik, u okolini Uroža. Izgrađene su od rožnaca, grauvaknih pješčara, škriljavih mrkocrvenih glinaca, silifikovanih krečnjaka i tektoniziranog melanža, a mogu se javiti i veća ili manja tijela peridotita, gabra, dijabaza, spilita, serpentinita itd.

#### **Gornja kreda (K<sub>2</sub><sup>3</sup>)**

Sedimenti gornje krede javljaju se u području Orlove klisure u faciji laporovitih i pjeskovitih slojevitih krečnjaka. Leže diskordantno preko jurske dijabaz rožne formacije. Ovi krečnjaci su tektonski oštećeni i javljaju se u užim zonama, a mogu da imaju i značajnu hidrogeološku ulogu.

#### **Paleocen - eocen (Pc, E)**

Paleocensko-eocenski sedimenti leže konkordantno, a djelimično i tektonsko-diskordantno preko krednih sedimenata. Svoje razviće kao masivni i bankoviti paleocen-eocenski krečnjaci imaju u širem području D. Ljenobuda i u sjeverozapadnom zaleđu G. Potpeći.

U faciji krečnjaka razvijeni su kod Tinjske klisure gdje leže preko senonskih krečnjaka sa globotruncanama. Navije neosjetno prelaze u donje eocenske pjeskovite krečnjake ili klastite. Započinju brečoidnim krečnjacima, koji postepeno prelaze u sprudne bankovite krečnjake.

Zbog tektonske razdrobljenosti i naknadne erozije sačuvali su se u većim i manjim blokovima. Prosječna debljina je do 300 m.

### Eocen (E)

Stratigrafski, iznad paleocen-eocenskih sedimenata javljaju se klastiti eocena ( $E_{1+2+3}$ ). Eocen je izgrađen od bankovitih pješčara, alevrolita, laporaca i pjeskovitih krečnjaka koji se javljaju u flišnoj faciji. Eocenski sedimenti svoje razviće imaju u centralnom području između D. Ljenobuda i G. Potpeći.

Zbog tektonskih pokreta, erozije i drugog na području istraživanja nije registrovan kontakt gdje eocenski klastiti leže preko paleocen-eocenskih krečnjaka.

### Donji miocen ( $M_{1,2}$ )

Donji i srednji miocen ( $M_{1,2}$ ) izgrađuje dio istraživanog područja u okviru područja Gornje i Donje Tinje, Gornje i Donje Potpeći, Liplje i Duboki Potok, te ograničeno u području G. Ljenobuda. Predstavljen je pjeskovitim laporcima, pješčarima i laporovitim krečnjacima.

Tvorvine donjeg miocena, odnosno „šarene serije“, koja je u okviru „trakaste ili sone serije ( $^2M_{1,2}$ )“ zastupljena na dijelu predmetnog područja predstavljaju bočni priobalski facijalni ekvivalent „trakaste“, odnosno sone serije. Predstavljaju su raznobojnim klastičnim sedimentima: konglomeratima, arenitima, konglomeratičnim pješčarima, alevrolitima i rjeđe laporima, šljunkovitim i pjeskovitim glinama.

### Srednji miocen ( $M_2^2$ )

Konkordantno preko donjeg miocena i diskordantno preko eocena, paleocena, krede i jurske dijabaz-rožne formacije leže sedimenti tortona, a zastupljen je na širem lokalitetu područja Seona sa uskim pojasom prema Donjim Moranjcima. Izgrađuju ga krečnjaci, konglomerati, pješčari i slojeviti laporoviti krečnjaci.

Tvorevine srednjeg miocena karakteristične su za područje Seone gdje se nalazi lokalitet Gričevi. Po facijalnom razvoju razlikuju se četiri tipa sedimenata i to: prvi tip su gline, konglomerati i pješčari, drugi tip su laporci, gline, pješčari, a podređeno krečnjaci, treći tip su sprudni i subsprudni krečnjaci, a četvrti su pjeskoviti laporci, laporoviti pješčari i gline (šlir). Do ovakve facijalne raznolikosti došlo je zbog oblika paleoreljefa. Dakle, u priobalskim dijelovima su se taložili konglomerati i pješčari, a na istaknutim, plitkim paleogenim grebenima, sprudni i subsprudni krečnjaci, a u dubljim vodama gline, laporovite gline, laporci i laporoviti krečnjaci.

### Gornji miocen ( $M_3^1, M_3^2$ )

Slojevi gornjeg miocena leže konkordantno preko tortona. Zastupljen je na području između Gornjih i Donjih Moranjaca. Predstavljen je laporcima, glincima, pijescima i laporovitim krečnjacima.

Relativno veliko prostranstvo između Tinje i Srebrenika zauzimaju sedimenti panona ( $M_3^2$ ). Leže konkordantno na sarmatskim naslagama, a manjim dijelom transgresivno na badenu, a rasjedima su odvojeni od paleogenih krečnjaka. Ovdje su prilično ubrani, a predstavljaju dio tzv. „Tinjskog rova“. Razvoj im je predstavljen žućkastosmeđim glinama s vapnovitim konkrecijama, sivim i smeđim laporovito pjeskovitim glinama, raznobojnim glinama, pjeskovitim žućkastim laporima, te krečnjačkim pješčarima.

## Kvartar (Q)

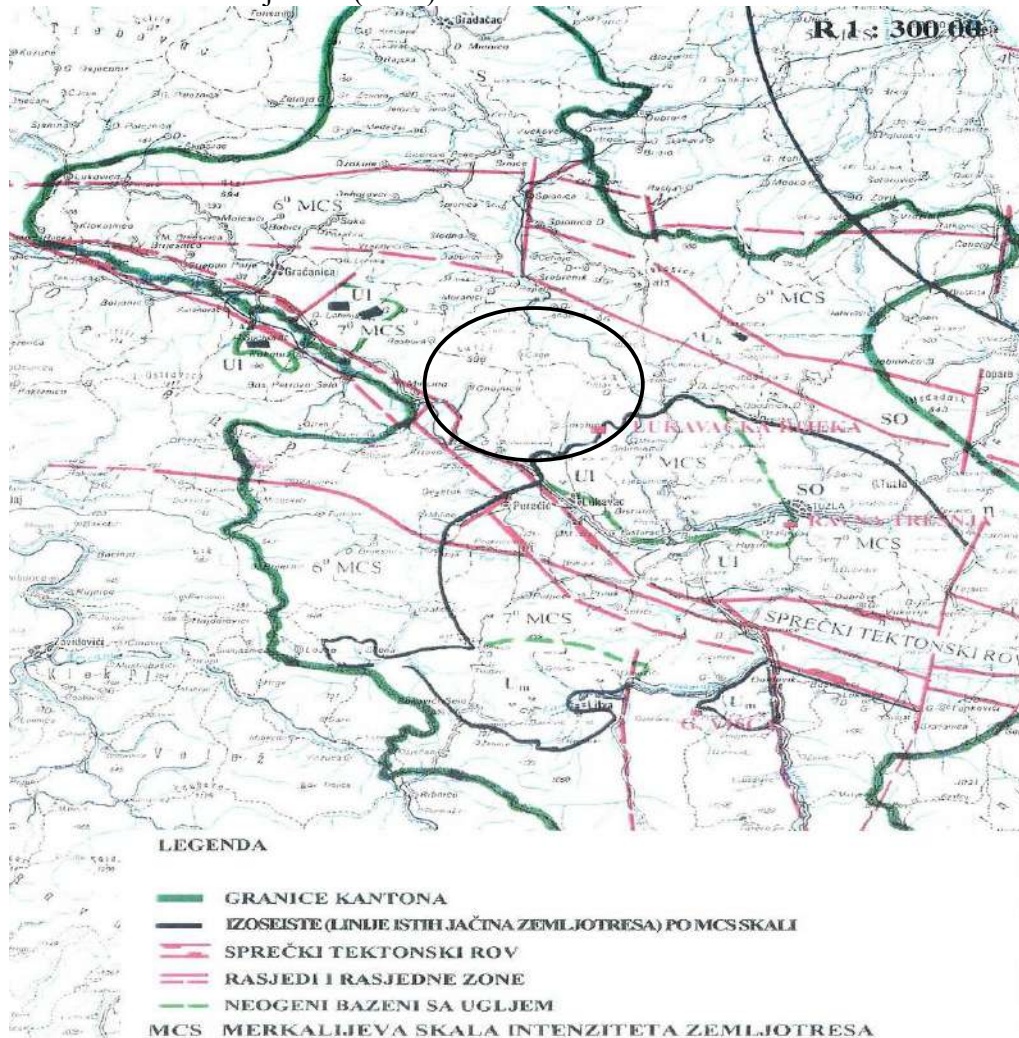
Kvartarni sedimenti rasprostranjeni su u aluvionu rijeke Tinje. Predstavljani su šljuncima, pijescima i glinama. Debljina im je mala i iznosi svega do 10 metara. Najveći dio sedimenata je zaglinjen i slabopropusan, jer se u slivu rijeke Tinje uglavnom nalaze stijene koje u procesu razgradnje daju mnoge glinovite frakcije, što smanjuje poroznost i propusnost.

### 5.2.2 Seizmičnost

Sekundarni učinci koji su vezani za lokalne karakteristike terena mogu znatno povećati osnovnu seizmičnost terena, te se pored postojećih metoda traže novi postupci koji bi direktno ili indirektno definisali ukupnu seizmičnost urbanih zona i lokacija budućih radilišta.

Jedan od novijih postupaka proučavanja seizmičke zaštite je metoda seizmičke mikrojeonizacije.

Na slici 7 prikazana je seizmološka karta istraživanog područja, na kojoj se vidi da predmetno područje, odnosno svih šest potencijalnih lokacija pripada zoni 7 po Merkalijevoj skali intenziteta zemljotresa (MCS).



Slika 7. Seizmološka karta istraživanog područja

Stepen prirasta seizmičkog intenziteta u različitim vrstama tla, odnosno stijena pokazuje da je na čvrstim vezanim stijenama porast manji, dok je u rastresitom tlu porast veći (tabela 1).

Tabela 1. Stepent prirasta seizmičkog intenziteta

| Vrsta tla - stijene                       | Medvedev | Popov   | Uschoher | Zieberg |
|---|----------|---------|----------|---------|
| Krečnjak, pješčar, škriljac               | 0,2-1,3  | 0,0-1,0 | 1,0      | 0,5-1,0 |
| Lapor                                     | 0,6-1,4  | 0,0-1,0 | 1,0-2,0  | 1,0-1,5 |
| Drobina, šljunak                          | 1,0-1,6  | 1,0-2,0 | 2,0      | 1,5-2,0 |
| Glina                                     | 1,2-2,1  | 1,0-2,0 | 1,0-3,0  | 1,2-2,0 |
| Šljunak, pijesak i glina natopljeni vodom | 1,7-2,8  | 3,0-4,0 | 2,0-3,0  | 2,2-3,0 |

Sa aspekta mikrosezmičkih karakteristika treba naglasiti, da poznati efekat prirasta seizmičke aktivnosti dogođenog intenziteta, zavisi od vrste materijala u građi uže lokacije izgradnje (u ovom slučaju deponije otpada sa pripadajućim objektima) odnosno fizički – mehaničkih karakteristika materijala u građi. Ovaj efekat se izražava preko parametra seizmičke krutosti ( $V_p$ ) koji predstavlja proizvod brzine rasprostiranja longitudinalnih seizmičkih talasa ( $V$ ) i gustoće stijena ( $\rho$ ). U procesu mikrosezmičke rejonizacije se ovaj parametar egzaktno određuje za svaku užu lokaciju, inženjerskogeološkim kartiranjem, laboratorijskim i "in situ" ispitivanjima te odgovarajućim proračunima. Za potrebe komparativne analize i ocjene ovog parametra za potencijalne lokacije uzima se literaturna vrijednost  $V_p$  1-2, za sve lokacije jer imaju u podlozi čvrste stijene (krečnjake).

### Hidrogeološke karakteristike

Stijene koje izgrađuju predmetno područje, sa hidrogeološkog aspekta, razlikuju se po hidrogeološkoj funkciji, tipu poroznosti i filtracionim karakteristikama.

Prema hidrogeološkim svojstvima sve stijene su podijeljene na:

- vodopropusne (hidrogeološki kolektori)
- vodonepropusne (hidrogeološki izolatori)

### Vodopropusne stijene

Vodopropusne stijene se dijele prema tipu poroznosti na:

- stijene intergranularne poroznosti
- stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti

U stijene intergranularne poroznosti spadaju kvartarni sedimenti koji izgrađuju aluvion rijeke Tinje. U sastav aluviona ulaze slabo sortirani, krupnozrni, zaglinjeni i pjeskoviti šljunkovi sa koeficijentom

filtracije  $1 \times 10^{-4}$  do  $1 \times 10^{-5}$  m/s. Takođe, pijeskovi gornjeg miocena sitnozrni do srednjezrni su uvršteni u stijene intergranularne poroznosti. Ove stijene imaju malu mogućnost formiranja značajnijih izdani, pa predstavljaju potencijalne kolektorske stijene.

Stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti predstavljaju tortonski i paleocen-eocenski krečnjaci. Tortonski krečnjaci su sprudni organogeni i njihov kvalitet se mijenjao slojevito uslijed uslova sedimentacije. Njihov donji dio je najpropusniji jer je najintenzivnije karstifikovan. U gornjim dijelovima smjenjuju se kompaktni i trošni krečnjaci. Zbog slojevite promjene propusnosti primarno kretanje podzemnih voda je horizontalno, tj. duž slojeva, a vertikalno je izraženo gdje je stijena izložena egzogenom uticaju. Može se reći da su tortonski krečnjaci značajni hidrogeološki kolektori.

Paleocen-eocenski krečnjaci su masivni, sprudni i ispucali. Bili su izloženi uticaju površinskih sila i karstifikaciji. Njihova ispucalost je povećana uslijed uticaja tektonskih sila i kretanja krečnjaka preko drugih stijena.

### **Vodonepropusne stijene**

Vodonepropusne stijene odlikuje mala poroznost. U ove stijene spadaju tvorevine dijabaz-rožne formacije, paleocen-eocenski klastiti, donji miocen, srednji miocen u klasičnom razvoju, gornji miocen, osim trošnih pješčara i kvartarne gline i glinoviti pijeskovi.

### **Osnovni inženjerskogeološki elementi**

U praksi postoji više inženjerskogeoloških klasifikacija stijena i stijenskih masa "in situ", odnosno terena. Prve, u suštini predstavljaju klasifikacije stijena kao prirodnih tvorevina, ili kao geoloških građevinskih materijala, dok druge predstavljaju klasifikacije radnih sredina, na kojima ili u kojima se izvode zemljani radovi i druge vrste iskopa, ili gdje se one koriste kao podloga za temeljenje različitih objekata. Svrha inženjerskogeoloških klasifikacija stijena je da se stijene razvrstavaju u grupe po sličnosti inženjerskogeoloških svojstava stijena. Isto tako svrha inženjerskogeoloških klasifikacija terena je da se omogući realnije poređenje terena kao radnih sredina i da se da njihova ocjena u tehničkom pogledu.

Inženjerskogeološke klasifikacije stijena se razlikuju od petrografskih, mada i one mahom uzimaju u obzir i genezu stijena. Inženjerskogeološke klasifikacije stijena većinom baziraju na fizičkim (petrofizičkim, vodnofizičkim, mehaničkim i dr.) svojstvima stijena. Većina njih uzima u obzir nekoliko ili samo pojedina bitna svojstva, sa odgovarajućih stanovišta, kao na primjer: čvrstoću, tvrdoću, elastičnost, lomljivost, otpor pri radu (pri iskopu, bušenju, miniranju i sl.), rastrešenost iskopane mase i dr. Neke od njih su samo opisuju, dok se druge baziraju na numeričkim pokazateljima bitnijih svojstava.

### **Uticaj geološke građe**

Geološki substrat svih šest lokacija građe krečnjaci.

Prema uticaju geološke građe za izgradnju deponije komunalnog otpada tereni se mogu razvrstati prema stepenu pogodnosti u četiri kategorije:

- I. Optimalno povoljni tereni (tereni bez ikakvog ograničenja za izgradnju);
- II. Povoljni tereni (tereni sa manjim ograničenjima, koja se mogu riješiti bez većih teškoća);
- III. Uslovno povoljni tereni (tereni sa većim teškoćama, koje se mogu ekonomično riješiti);

IV. Nepovoljni tereni (tereni sa vrlo velikim teškoćama, koje zahtijevaju velike i skupe tehničke intervencije).

Razmatrani tereni potencijalnih lokacija deponije, nisu izgrađeni od litoloških kompleksa sa čestim smjenjivanjem litoloških članova a kako mjerodavan značaj za izgradnju deponije ima nosivost podloge, to se uticaj geološke građe može ocijeniti kao povoljan, za sve lokacije.

#### **Uticaj morfoloških svojstava**

Morfološke karakteristike područja značajno opredjeljuju prostorno planerska rješenja, način izgradnje i tehnologiju odlaganja otpada. Najčešće nemaju dominantan značaj ali utiču na ekonomske, ekološke, tehničke i druge teškoće ili pogodnosti. Njihov uticaj se proteže od geografskog do topološkog položaja. U sprezi sa ostalim prirodnim i uslovljenim faktorima najčešće utiču na konačno opredjeljenje za lokaciju deponije. Značaj im raste sa veličinom teritorije, količinom produkcije i brzinom naselja.

Morfologija svojstva terena se analiziraju sa osvrtom na reljefne forme, visinu i naročito nagib padine. Pri tome se uticaj morfoloških svojstava valorizira prema stepenu pogodnosti. Za razmatrane potencijalne lokacije deponije, ocjena po morfološkim svojstvima je povoljna za pet lokacije, obzirom da je nagib terena u granicama  $5 - 15^{\circ}$ , osim za lokaciju Tinja G., čiji je nagib preko  $15^{\circ}$ .

#### **Uticaj geotehničkih svojstava**

Od geotehničkih svojstava terena pri ocjeni njihove pogodnosti za izgradnju deponije bitni su nosivost (dozvoljeno opterećenje) i stabilnost. Kategorizacija terena po navedenim svojstvima je veoma značajna jer omogućava da se izvrši optimalna raspodjela površine i visine odlaganja. Obzirom da se radi o čvrstim stijinama i trošnom površinskom krečnjačkom substratu, čije se RMR vrijednosti, na osnovu terenske klasifikacije kreću od 41 do 60, to je veličina pripadajuće nosivosti  $1350 - 2800 \text{ kN/m}^2$ .

Predmetne lokacije imaju tanki eluvijalno-deluvijalni pokrivač iznad čvrstog stijenskog substrata. Neophodno će biti uraditi i analizu stabilnosti podtla deponije u uslovima izvedene deponije, pri čemu treba razmatrati mogućnost pojave nožičnog klizanja i visinske lokalne stabilnosti etaža.

#### **Zemljišni uslovi**

Po namjeni površina i upotrebnoj vrijednosti zemljišta uočava se da potencijalne lokacije nisu na prostorima namijenjenim isključivo za poljoprivrednu proizvodnju nego na prostorima šuma i pašnjaka. Uslovi rekultivacije su povoljni.

Predmetno područje ima umjereno-kontinentalnu klimu, čije su odlike: godišnji hod temperature ima oblik jednostavnog talasa sa jednim maksimumom i jednim minimumom ekstremi nastupaju jedan do dva mjeseca iza solsticija. Temperaturne amplitude su znatne, a četiri godišnja doba su jasno izražena. U ovom tipu klime relativna vlažnost i oblačnost imaju 7 ljetni minimum i zimski maksimum. U pogledu padavina nema izrazito sušnog razdoblja. Maksimum padavina je u toplijem dijelu godine, a minimum krajem zime.

Srednja godišnja temperatura za posljednji 40 godina iznosi  $10^{\circ}\text{C}$ . Najhladniji mjesec je januar sa srednjom temperaturom od  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , a najtopliji je juli sa srednjom mjesečnom temperaturom od  $19,3^{\circ}\text{C}$ ,

tako da godišnje kolebanje srednje temperature iznosi 20,1°C, što klimi ovog područja daje umjereno-kontinentalno obilježje.

Prosječna godišnja maksimalna temperatura je 16,1°C, najviša je u julu, a najniža u januaru. Prosječna godišnja minimalna temperatura je 5,0°C. Apsolutna maksimalna temperatura za posljednjih 40 godina je iznosila 39,5°C, a apsolutna minimalna -25,8°C (januar 1963.)

Prosječna godišnja količina padavina za šire područje iznosi 907 l/m<sup>2</sup>. Najviše padavina ima u proljeće i ljeto, tako je juni mjesec sa najvećom prosječnom količinom padavina 109 l/m<sup>2</sup>. Najmanje padavina ima u hladnijem dijelu godine, a mjesec sa najmanjom prosječnom količinom padavina je februar sa 57 l/m<sup>2</sup>. Godišnje u prosjeku je 132 dana sa padavinama. Najviše dana sa kišom ima maj (16 dana), a najmanje januar i februar (7 dana). Pljuskovite padavine u ljetnim mjesecima su jedna od karakteristika klime ovog područja. U prosjeku 46 dana pada snijeg. Najviše sniježnih dana ima januar (11 dana). Sa sniježnim pokrivačem iznad 10 cm prosječno se godišnje javlja 39 dana, najviše u januaru (14 dana). Sa sniježnim pokrivačem iznad 30 cm prosječno se godišnje javlja 23 dana, najviše u februaru (8 dana). Maksimalna visina sniježnog pokrivača u posljednjih 40 godina iznosila je 97 cm u februaru 1984. godine.

### **Prostorni aspekti izbora**

Prostorni aspekti izbora lokacije deponije su svakako najznačajnija grupa uticajnih faktora bilo da se radi o zatečenim prirodnim uslovima i očuvanju okoline ili o prostorno planerskim razvojnim aspektima.

### **Saobraćajna infrastruktura i pristup lokaciji**

Neosporno pravilo je da područje odlaganja otpada, ukoliko zadovoljava ostale mnogobrojne kriterije, treba da bude optimalno blizu težištu područja produkcije otpada, jer to obezbjeđuje minimalne transportne troškove. Pri tome se ne misli na fizičko središte područja nego na težište sistema proizvodnje i transporta otpada, izraženo tzv. "transportnim koeficijentom" odnosno tonama otpada na pređeni kilometar. Transport otpada od mjesta produkcije do regionalne deponije svakako će prvenstveno teći postojećom putnom mrežom a nakon konačnog izbora lokacije i posebnom pristupnom saobraćajnicom, zavisno od potrebe.

Obzirom da je transport jedna od najznačajnijih stavki troškova upravljanja otpadom, neophodno je u razmatranjima i uporednim analizama potencijalnih lokacija tretirati pravce, obim i vrstu transporta, kako sa aspekta razvijenosti putne mreže tako i sa aspekta specifičnih ekonomskih pokazatelja transporta ("tona kilometri" i sl.).

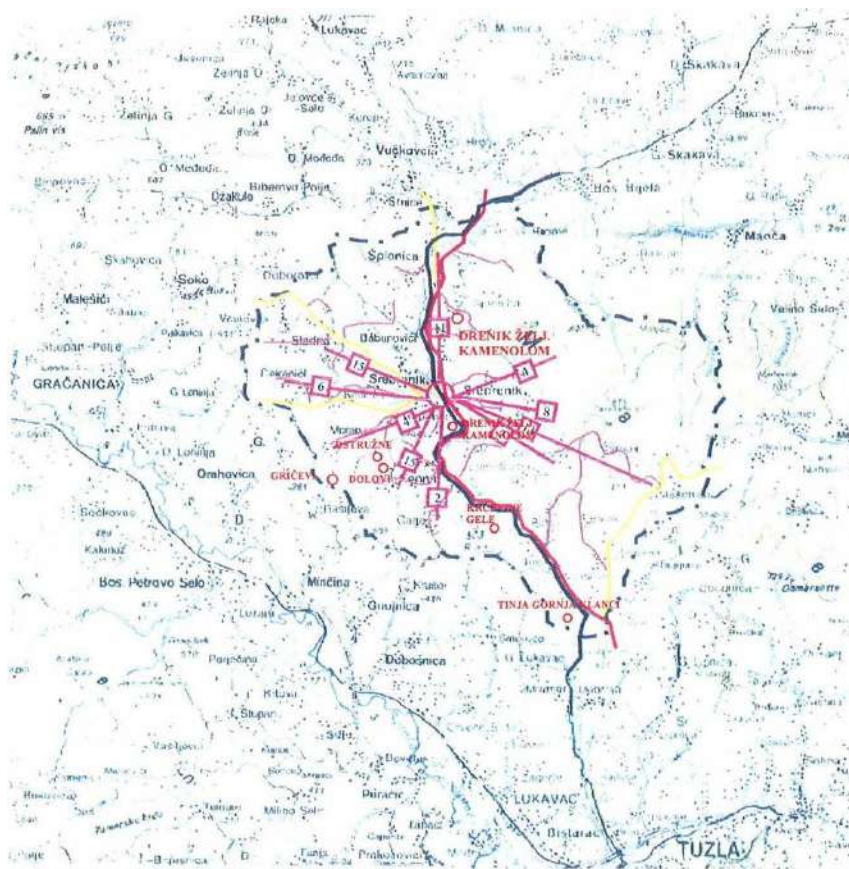
Sa aspekta potencijalnih lokacija otpada, uz postojeći magistralni put, treba naglasiti značaj budućeg regionalnog puta Dedići - Seona - Rašljeva - Orahovica Donja, na koji se vežu tri potencijalne lokacije (Dolovi, Gričevi, Ostružne). Na slici 8 je dat prikaz putne mreže, kao izvod iz Prostornog plana 1998-2015, u odnosu na potencijalne lokacije deponije, iako je novijim dokumentima planiranja (PP TK 2000-2025) i dokumentima u izradi (PP Općine Srebrenik – nacrt) ona nešto izmijenjena po karakteru saobraćajnica ali ne i po prostornom odnosu.

Kao transportna sredstva se predviđaju standardni zatvoreni kamioni za prikupljanje otpada. Ovdje su date procjene potrebne dužine puta do najbliže postojeće saobraćajnice (tabela 2).

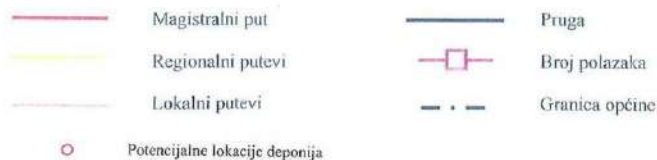


Tabela 2. Dužina puta do postojeće saobraćajnice

| Lokacija | Udaljenost od oćinskog centra (km) | Godišnja produkcija otpada ( t ) | Transportni koeficijent (tkm/god) | Pristupna saobraćajnica |                             | Napomena |
|----------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------|
|          |                                    |                                  |                                   | Javna mreža             | Dužina pristupnog puta (km) |          |
| Drenik   | 2,4                                | 16 600                           | 39 840                            | MP Tz-Or                | 0,4                         |          |
| Krčevine | 11                                 | 16 600                           | 182 600                           | MP Tz-Or                | 1,2                         |          |
| Klanci   | 17                                 | 16 600                           | 282 200                           | MP Tz-Or                | 0,8                         |          |
| Dolovi   | 9                                  | 16 600                           | 149 400                           | RP Seona - Rašljeva     | 0,7                         |          |
| Gričevi  | 11                                 | 16 600                           | 182 600                           | RP Seona - Rašljeva     | 2,2                         |          |
| Ostružne | 9,5                                | 16 600                           | 157 700                           | RP Seona - Rašljeva     | 1,2                         |          |



SAOBRAĆAJNA INFRASTRUKTURA STANJE (prostorni plan 1998 - 2015)



Slika 8. Potencijalne lokacije u odnosu na saobraćajnu infrastrukturu

## Razvijenost hidrografske mreže

Područje općine Srebrenik gotovo u cjelini pripada slivu rijeke Tinje (oko 95%), koja pretstavlja dominantnu drenažnu arteriju za oticaj sa razmatranog područja. Rijeka Tinja, drenira sjeverozapadne padine Majevice i prelazno brdovito područje, odvođeći vode direktno u rijeku Savu.

Površina sliva rijeke Tinje ukupno iznosi 815 km<sup>2</sup>, od čega na teritoriji kantona (područje općina Srebrenik i Gradačac) iznosi 258 km<sup>2</sup>. Površina sliva Tinje na ulazu u područje općine Srebrenik iznosi oko 160 km<sup>2</sup> a na izlazu oko 220 km<sup>2</sup>. Izvor Tinje se nalazi na koti 550 m n.m., a ušće u rijeku Savu na koti 85 m n.m., dok je prosječna denivelacija sliva 465 m na ukupnoj dužini toka oko 80 km.

Značajnije pritoke Tinje na području kantona su Ratiš i Lukavac. Na području općine Srebrenik, sliv Tinje nema značajnijih pritoka ali je relativno gusto razvijena mreža stalnih i povremenih vodotoka 1. i 2. reda (po Hortonu). Malo je stalnih pritoka i sve su izrazito bujičavog karaktera a među njima su značajnije desne pritoke Dragunjska rijeka, Drapnički potok, Kugićka r., Rijeka i Bonin a sa lijeve strane dotiču Duboki potok, Seonička rijeka, Moranački potok i Slanjska rijeka.

Vodni režim karakterizira velike proljetne i jesenske, te minimalne ljetne i zimske vode. Vrlo je nepovoljna i neravnomjerna unutargodišnja distribucija proticaja, uslovljena karakterom i intenzitetom padavina na obroncima Majevice i geološkom građom od pretežno slabopropusnih stijena. Tinja se smatra izuzetno bujičavom rijekom i nekim ranijim studijama je procijenjeno da odnos između minimalnih i maksimalnih proticaja iznosi i više od 1:1000.

Sliv karakterizira slaba retenziona sposobnost i visok površinski oticaj, koji korespondira sa distribucijom oborina pa Tinja često plavi područja u priobalju, što je posljedica intenzivnih pljuskova na slivnom području koje je izgrađeno od materijala na kojima se dominantno formira površinsko oticanje.

Osnovne karakteristike pojedinih potencijalnih lokacija, sa aspekta odnosa prema hidrografskoj mreži su:

Lokacija **Drenik** se nalazi na staroj lokaciji kamenoloma kod tjesnaca rijeke Tinje, gdje se sticajem morfoloških okolnosti magistralni put Tuzla-Orašje, željeznička pruga Brčko-Banovići i rijeka Tinja sastaju na minimalnoj udaljenosti a lokacija kamenoloma je neposredno iznad njih. Iako je odnos prostorno vrlo blizak, lokacija deponije nema fizički kontakt sa rijekom ali se može smatrati nepovoljnim položajem u odnosu na eventualne moguće uticaje ispuštenih voda.

Lokacija **Krčevine-Gele** je locirana u gornjem toku odnosno zoni formiranja vodotoka Duboki potok, koji u ovom području ima povremeni karakter. Sa tog aspekta se položaj smatra povoljnim a principi formiranja sanitarne deponije podrazumijevaju zatvoreni sistem cirkulacije efluenta u deponiji i eventualno ispuštanje viška voda, prečišćenih do kategorije kvaliteta vode u prirodnom stanju. Eventualne akcidentne situacije se riješitavaju prije kontakta sa stalnom hidrografskom mrežom.

Lokacija **Tinja Gornja-Klanci** je locirana na samoj površinskoj vododijelnici između slivnog područja Tinje i Mramorskog potoka (sliv Spreče) pa sa tog aspekta ima povoljan položaj, jer nema formiranog stalnog niti povremenog vodotoka u okviru uže lokacije.

Lokacija **Dolovi** je pozicionirana u području između vodotoka Seonačka rijeka i Moranački potok, u depresiji bez stalnog ili povremenog vodotoka, pa se sa aspekta odnosa prema hidrografskoj mreži može smatrati vrlo povoljnom. Na udaljenosti oko 1300 m se nalazi kaptaza „Jezera“, koja snabdijeva naselje Šahmeri. Iako nema nikakve hidrogeološke povezanosti i mogućeg uticaja deponije na ovo izvorište, potrebno je voditi računa o trajnoj stabilnosti i kvalitetu vodosnabdijevanja stanovništva u slučaju eventualnog izbora ove lokacije.

Lokacija **Gričevi** je pozicionirana također u području između vodotoka Seonačke rijeke i Moranačkog potoka i to neposredno na vododijelnici, sa gravitiranjem oticaja prema Moranačkom potoku. Na samoj lokaciji nema stalnih niti povremenih tokova a na udaljenosti oko 300 – 700 m, su prvi izvori gornjeg sliva odnosno potoka Pasjak (Zmajevac, Katino jezero), koji teče prema Moranačkom potoku. Sa aspekta odnosa prema hidrografskoj mreži ova lokacija se također smatra povoljnom. Prethodno spomenuta kaptaza „Jezerac“, koja snabdijeva naselje Šahmeri pitkom vodom (do 200 stanovnika) je na udaljenosti oko 700 m od ove lokacije.

Lokacija **Ostružne** je malo sjevernije (oko 500 m) od Dolova i ima iste karakteristike kao i ova lokacija, uz prisutan povremeni tok bezimenog potoka.

### **Uporedna analiza potencijalnih lokacija**

Po izloženoj metodologiji i na osnovu preliminarne analize mogućih lokacija izvršena komparativna analiza svih mjerodavnih faktora za slijedeće potencijalne lokacije odlagališta komunalnog otpada općine Srebernik:

1. Drenik - stari željeznički kamenolom
2. Krčevine - Gele
3. Tinja Gornja - Klanci
4. Dolovi
5. Gričevi
6. Ostružne

Rezultati analize za svaku lokaciju su bodovno prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati analize-bodovanja za sve lokacije

| KRITERIJ                                    | OPIS                                   | Mogući broj bodova | Pripadajući broj bodova |      |          |        |         |          |
|---|--|--------------------|-------------------------|------|----------|--------|---------|----------|
|   |  |                    | Drenik                  | Gele | Tinja G. | Dolovi | Gričevi | Ostružne |
| <b>GEOLOŠKI FAKTORI</b>                     |  |                    |                         |      |          |        |         |          |
| 1. Vrsta stijena u podlozi                  | Čvrste stijene                         | 3                  | 3                       |      |          |        |         |          |
|   | Poluvezane stijene                     | 2                  |                         | 2    | 2        | 2      | 2       | 2        |
|   | Nevezane stijene                       | 1                  |                         |      |          |        |         |          |
| 2. Hidrogeološka funkcija stijena u podlozi | HG izolatori                           | 5                  |                         | 5    |          |        |         |          |
|   | HG kompleksi sa izolatorskom funkcijom | 3                  |                         |      | 3        | 3      | 3       | 3        |
|   | HG kompleksi sa kolektorskom funkcijom | 2                  |                         |      |          |        |         |          |
|   | HG kolektori - akviferi                | 1                  | 1                       |      |          |        |         |          |
| 3. Hidrogeološki režim u području lokacije  | Bez akumulacije PV u podlozi           | 3                  |                         | 3    | 3        |        |         |          |
|   | Max.NPV ispod površine >2 m            | 2                  | 2                       |      |          | 2      | 2       | 2        |
|   | Max.NPV ispod površine <2 m            | 1                  |                         |      |          |        |         |          |
| 4. Stabilnost stijena u podlozi             | Stabilno                               | 3                  | 3                       |      |          |        |         |          |
|   | Uslovno stabilno                       | 2                  |                         | 2    | 2        | 2      | 2       | 2        |
|   | Nestabilno                             | 1                  |                         |      |          |        |         |          |
| 5. Strukturno tektonski odnosi u području   | Složene rasjedne strukture             | 1                  | 1                       |      |          |        |         |          |
|   | Složene naborne strukture              | 2                  |                         |      |          |        |         |          |
|   | Jednostavna struktura                  | 3                  |                         | 3    | 3        | 3      | 3       | 3        |
| 6. Prirast                                  | n > 2                                  | 1                  |                         |      |          |        |         |          |

|  |                               |   |   |   |   |   |   |   |
|--|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| stepena seizmičnosti   | n = 1-2                       | 2 |   | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|  | n < 1                         | 3 | 3 |   |   |   |   |   |
| 7. Nagib terena  | < 5%                          | 3 | 3 |   |   |   |   |   |
|  | 5 - 15%                       | 2 |   | 2 |   | 2 | 2 | 2 |
|  | > 15%                         | 0 |   |   | 0 |   |   |   |
| <b>ZEMLJIŠNI USLOVI</b>                                      |                               |   |   |   |   |   |   |   |
| 1. Kvalitet zemljišta u prostoru deponije i način korištenja | Obradivo zemljište            | 1 |   |   |   |   | 1 |   |
|  | Šume i pašnjaci               | 2 |   | 2 | 2 | 2 |   | 2 |
|  | Tehnogeno / degradirano       | 3 | 3 |   |   |   |   |   |
| 2. Vlasništvo zemljišta                                      | Pretežno privatno vlasništvo  | 1 |   | 1 | 1 |   | 1 | 1 |
|  | Podređeno privatno vlasništvo | 2 |   |   |   |   |   |   |
|  | Državno zemljište             | 3 | 3 |   |   | 3 |   |   |
| 3. Raspoloživost materijala za pokrivku deponije             | Ima u blizini, < 2 km         | 2 | 2 | 2 | 2 |   |   |   |
|  | Doprema se, > 2 km            | 0 |   |   |   | 0 | 0 | 0 |
| 4. Uslovi rekultivacije                                      | Povoljni                      | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|  | Nepovoljni                    | 0 |   |   |   |   |   |   |
| 5. Uslovi pripreme podloge                                   | Povoljni-niski troškovi       | 2 | 2 | 2 |   | 2 | 2 | 2 |
|  | Nepovoljni-visoki troškovi    | 0 |   |   | 0 |   |   |   |
| <b>KLIMATSKI FAKTORI</b>                                     |                               |   |   |   |   |   |   |   |
| 1. Opći klimatski parametri                                  | Prosjek šireg područja        | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|  | Specifični za uže područje    | 1 |   |   |   |   |   |   |

|   |  |    |   |    |    |    |   |   |
|---|--|----|---|----|----|----|---|---|
| 2. Izloženost vjetrovima  | Nepovoljno   | 1  |   |    |    |    |   |   |
|   | Prosječno  | 2  | 2 |    |    |    | 2 | 2 |
|   | Povoljno   | 3  |   | 3  | 3  | 3  |   |   |
| <b>HIDROLOŠKI USLOVI I KVALITET VODA</b>                            |  |    |   |    |    |    |   |   |
| 1. Hidrografska mreža u području uticaja (klasifikacija po Hortonu) | Nema mreže ili vodotoci 1.reda   | 5  |   | 5  | 5  | 5  | 5 | 5 |
|   | Vodotoci 2 i 3 reda  | 3  |   |    |    |    |   |   |
|   | Vodotoci višeg reda  | 1  | 1 |    |    |    |   |   |
| 2. Potreba zaštite lokalnog ili šireg hidrološkog sistema           | Lokacija se nalazi u slivu regionalnog zaštićenog hidrološkog sistema (ili II zaštitne zone) | 0  |   |    |    |    |   |   |
|   | Lokacija u slivu lokalnog hidrološkog sistema (III zaštitna zona ili izvori)                 | 5  | 5 |    |    |    | 5 | 5 |
|   | Bez posebnih ograničenja   | 10 |   | 10 | 10 | 10 |   |   |
| 3. Kategorija kvaliteta voda (po uredbi o kategorizaciji vodotoka)  | Zahvata vodotoke I. kat  | 3  |   |    |    | 3  | 3 | 3 |
|   | Zahvata vodotoke II. i III. kategorije   | 6  | 6 |    |    |    |   |   |
|   | Zahvata degradirane vodotoke ili nije na vodotoku  | 10 |   | 10 | 10 |    |   |   |
| <b>PROSTORNI ASPEKTI</b>  |  |    |   |    |    |    |   |   |
| 1. Naseljenost područja   | Najbliža naselja >1000 m   | 15 |   | 15 |    |    |   |   |
|   | Naselje 500-1000m  | 5  | 5 |    |    | 5  |   | 5 |

|   |   |   |           |           |           |           |           |           |
|---|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (blizina naselja)   | Naselje < 500 m                                 | 0 |           |           | 0         |           | 0         |           |
| 2. Prostorno planski uslovi (prostorni ili urbanistički plan) | Lokacija u koliziji sa planskim dokumentom      | 0 |           |           |           |           |           |           |
|   | Planiran prostor za druge namjene               | 3 |           |           |           |           |           |           |
|   | Lokacija nije u koliziji sa planskim dokumentom | 5 | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         |
| 3. Raspoloživi prostor za smještaj deponije                   | Ispod 0,5 mil. m <sup>3</sup>                   | 0 |           |           |           |           |           |           |
|   | Ograničeno                                      | 1 | 1         |           |           | 1         | 1         | 1         |
|   | Neograničeno                                    | 2 |           | 2         | 2         |           |           |           |
| 4. Vizuelna izloženost za naselja i ok.                       | Vidljivo  | 0 | 0         |           |           |           | 0         | 0         |
|   | Zaklonjeno                                      | 2 |           | 2         | 2         | 2         |           |           |
| 5. Pristup lokaciji   | Put III/IV reda do lokacije                     | 3 | 3         |           |           |           |           |           |
|   | Put III/IV reda na < 500 m                      | 2 |           |           | 2         |           |           |           |
|   | Put III/IV reda na >500 m                       | 0 |           | 0         |           | 0         | 0         | 0         |
| 6. Transportni uslovi (izraženo zbirom t x km/god)            | < 20 000  | 3 | 3         |           |           |           |           |           |
|   | 20 000 – 60 000                                 | 2 |           | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         |
|   | > 60 000  | 0 |           |           |           |           |           |           |
| <b>UKUPNI ZBIR BODOVA</b>                                     |   |   | <b>61</b> | <b>84</b> | <b>65</b> | <b>63</b> | <b>47</b> | <b>53</b> |

## Zaključak

Za izbor potencijalne lokacije sanitarne deponije komunalnog otpada općine Srebrenik, izvršeno je prikupljanje, sistematizacija i analiziranje mjerodavnih parametara za izbor potencijalne lokacije po prirodnim i prostornim parametrima za slijedeće potencijalne lokacije:

1. Drenik - stari željeznički kamenolom
2. Krčevine - Gele
3. Tinja Gornja - Klanci
4. Dolovi
5. Gričevi
6. Ostružne

Na osnovu provedene analize i kvantitativne valorizacije potencijalnih lokacija može se zaključiti da je lokacija br.2 Krčevine-Gele, sa pripadajućih 84 boda (od 100 mogućih) najpogodnija od šest razmatranih i spada u kategoriju pogodnih lokacija.

Lokacije br.1-Drenik, br.3-Tinja Gornja i br.4-Dolovi, sa pripadajućih 61 do 65 boda su nepovoljnije i spadaju u kategoriju uslovno pogodnih lokacija.

Lokacije br.5-Gričevi (47 bodova) i br.6-Ostružne (53 boda) su nepovoljne i spadaju u kategoriju nepogodnih lokacija.

Provedena razmatranja se odnose isključivo na prirodne i prostorne pretpostavke formiranja deponije otpada, a nikako i na tehnoekonomske faktore. Nije isključeno da analizom tehničkih i ekonomskih faktora, neka od uslovno pogodnih lokacija bude također pogodna za realizaciju.

## Literatura

1. Oruč, E.: Objektivizacija kriterija za izbor potencijalnih lokacija sanitarnih deponija otpada. Naučno-stručni časopis „Rudarstvo“, br.39-40, juli-decembar 2005.
2. Rudarski institut Tuzla: Studija izbora potencijalne lokacije deponije komunalnog otpada općine Srebrenik. Tuzla, 2013.
3. Šandor, S.: Inženjerska geofizika, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu. Beograd, 1996.
4. Čičić, S.: Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Earth Science Sarajevo, 2002.
5. Čičić, S.: Geološka karta BiH, Earth Science, Sarajevo 2002.
6. Hrvatović, H.: Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina. Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina. Sarajevo, 2006.



**HIDROGEOLOGIJA-INŽENJERSKA  
GEOLOGIJA-GEOFIZIKA-GEOMEHANIKA-  
GEOTEHNIKA**

## Geološke i hidrogeološke karakteristike terena HE Janjići kod Zenice

SEMIR AHMETSPAHIĆ<sup>1</sup>, VEDAD DEMIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geosonda d.o.o. Zenica, Masarykova 66a, 72 000 Zenica, [semir\\_ahmetpahic@hotmail.com](mailto:semir_ahmetpahic@hotmail.com)

<sup>2</sup> Federalni zavod za geologiju, Ilidža, Ustanička 11, 71 210 Sarajevo, [vedad\\_demir@yahoo.com](mailto:vedad_demir@yahoo.com)

### SAŽETAK

Za potrebe izvedbe hidroelektrane na rijeci Bosni, u naselju Janjići, cca 8 km uzvodno od Zenice, izvedeni su geološko-geotehnički istražni radovi u svrhu izrade Studije izvodivosti HE Janjići. Hidroelektrana je smještena na rijeci Bosni, stacionaži 194+850, odnosno 2,5 km od ušća rijeke Lašve u rijeku Bosnu, sa predviđenom maksimalnom kotom uspora 341,3 m.n.m, a minimalnom 329,0 m.n.m.

Na osnovu *Programa geološko-geotehničkih ispitivanja na nivou studije izvodivosti za HE Janjići*, izvedenih terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla i stijena i *Geološko-geotehničkog izvještaja Studije izvodivosti HE Janjići*, dobivena su značajna saznanja o geološkim i hidrogeološkim karakteristikama terena na području buduće brane.

U okviru terenskih istraživanja izvedene su 24 istražne bušotine sa izvođenjem pratećih opita standardne dinamičke penetracije (SPT) i testova vodopropusnosti (VDP), od kojih je 7 istražnih bušotina osposobljeno u piježometarske. Također je izvršeno inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje terena pregradnog mjesta, akumulacije i područja nizvodno od brane sa izradom pratećih inženjerskogeoloških i hidrogeoloških karata. Laboratorijski je tretirano 28 reprezentativnih uzoraka iz materijala tla i stijene. Posebna pažnja u toku izvođenja radova, a i kod obrade podataka, je posvećena istraživanju nasipa magistralnog puta M17 i analizama stabilnosti istog.

Rad ima za cilj da prikaže geološke, tektonske, hidrogeološke i inženjerskogeološke odnose koji vladaju na području brane i akumulacije HE Janjići. Osim navedenih istraživanja u toku realizacije Studije izvodivosti, biće uobzirena sva dosada provedena istraživanja na užem lokalitetu predmetne hidroelektrane, kao i značajna iskustva autora prikupljena u toku realizacije terenskih i kabinetskih radova.

**Ključne riječi:** brana, akumulacija, inženjerskogeološke karakteristike, hidrogeološke karakteristike, tektonske karakteristike, stabilnost.

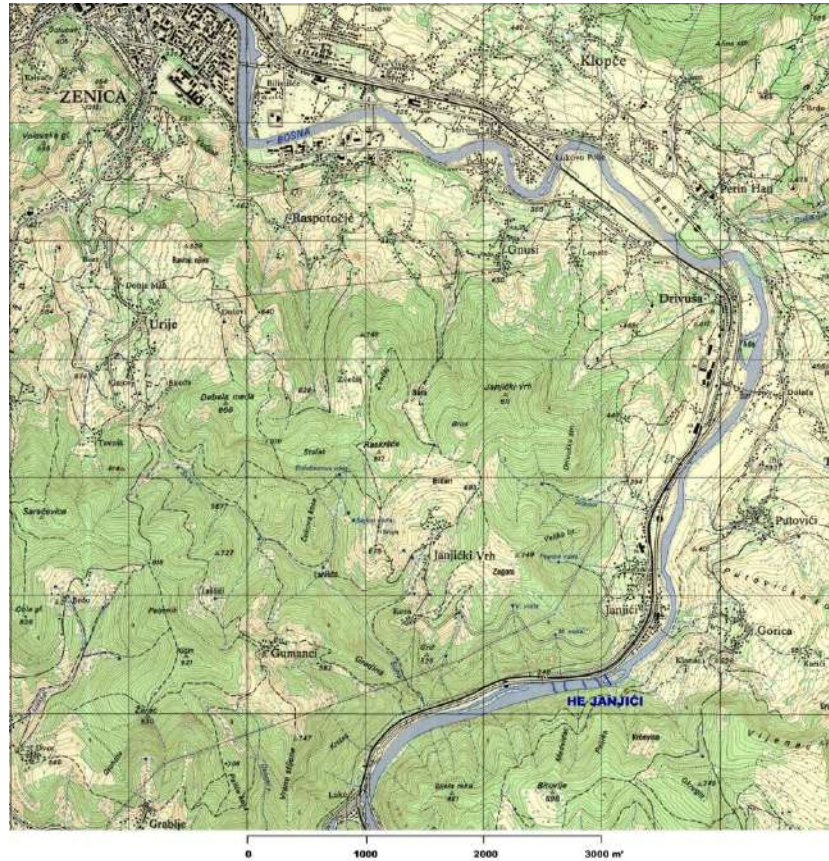
### Uvod

JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo je podnijela zahtjev Federalnom ministarstvu energije, rudarstva i industrije za dodjele koncesije za izgradnju HE Janjići na rijeci Bosni. Nakon dodjele koncesije i razrade projektne dokumentacije slijedi ishodovanje potrebnih dozvola za građenje. Preduzeće Geosonda d.o.o. Zenica, koje je specijalizovano za izvođenje i projektovanje geoloških i specijalnih građevinskih radova, u skladu sa Ugovorom sa JP Elektroprivreda BiH i u skladu sa *Programom geološko-geotehničkih ispitivanja na nivou studije izvodivosti za HE Janjići*, urađeni su programirani terenski, laboratorijski i kabinetski radovi.

Karakteristike brane su sljedeće:

- Tip objekta: protočna pribranska elektrana
- Instalirana snaga: 13,3 MW

- Godišnja proizvodnja:  
68 GWh
- Srednji proticaj  
 $Q_{av} = 73,6 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Projekt. proticaj  
 $Q_d = 120 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Max. rad. kota uspora  
341,3 m n.m.
- Min. kota uspora  
329,0 m n.m.
- Kruna brane  
 $H_{maxgr} = 13,5 \text{ m}$
- Visina preljeva  
HDN = 12,4



### Geografski položaj

Istražno područje hidroelektrane je smješteno između Sarajeva i Zenice, duž i oko magistralnog puta M17. Od Sarajeva je udaljeno oko 60 km, a od Zenice oko 10 km.

Gotovo paralelno sa M17 položena je željeznička pruga Šamac-Sarajevo, kao i regionalni put Lašva-Janjici.

Na jugozapadnom kraju

istražnog prostora kod zaseoka Luke je tzv. “Lašvanska petlja”, koja zajedno sa mostom na rijeci Bosni iznad ušća Lašve, predstavlja spoj s magistralnim putem M5 i spomenutom regionalnom cestom. Radom je obuhvaćeno područje pregradnog mjesta, tj. buduće brane HE Janjici označeno na slici 1.

Slika 1

### Geomorfološke, hidrološke i klimatske karakteristike

Terenskim istraživanjima i rekognosciranjem uže okoline, analizom dostupne dokumentacije i postojeće geomorfološke karte, izdvojena su tri tipa reljefa u užoj okolini brane, i to: fluvijno-akumulacijski, fluvijno-denudacijski i erozijsko-denudacijski tip reljefa. Fluvijno-akumulacijski oblici zastupljeni su duž lijeve i desne obale rijeke Bosne, te na adi oko pregradnog mjesta. Predstavljani su terasno-akumulacionim tipom u vidu terasnih naslaga i savremenim akumulacijskim tipom kojeg karakterišu aluvijalne naslage. Denudacijsko-akumulacijski reljef je karakterističan za dio terena izgrađen od tercijarnih klastičnih formacija. U njemu se procesi površinskih alteracija ispoljavaju promjenom morfoloških formi, čak i na relativno kratkim rastojanjima. Pri ovome se, na prvom mjestu podrazumjevaju denudacijski, a zatim fluvijalni i proluvijalni procesi i pojave, kao što je slučaj na padinama iznad Janjica i na suprotnoj strani, ispod Vijenca, te iznad ušća rijeke u Bosnu. Erozijsko-denudacijski reljef vezan je za “pozitivne” morfoskulpture, odnosno za dijelove terena iznad akumulacije. Ovaj je tip reljefa zastupljen u području uzvišenja Bitovlje i Bijele rijeke (461 m n.m.), te na drugoj strani Grič (528 m n.m.).

Glavno hidrološko obilježje lokacije istraživanja je rijeka Bosna, koja sa pratećim stalnim potocima (Suha, P. Voda, Prihodi) i drugim povremenim potocima predstavlja drenažni sistem istražnog područja.

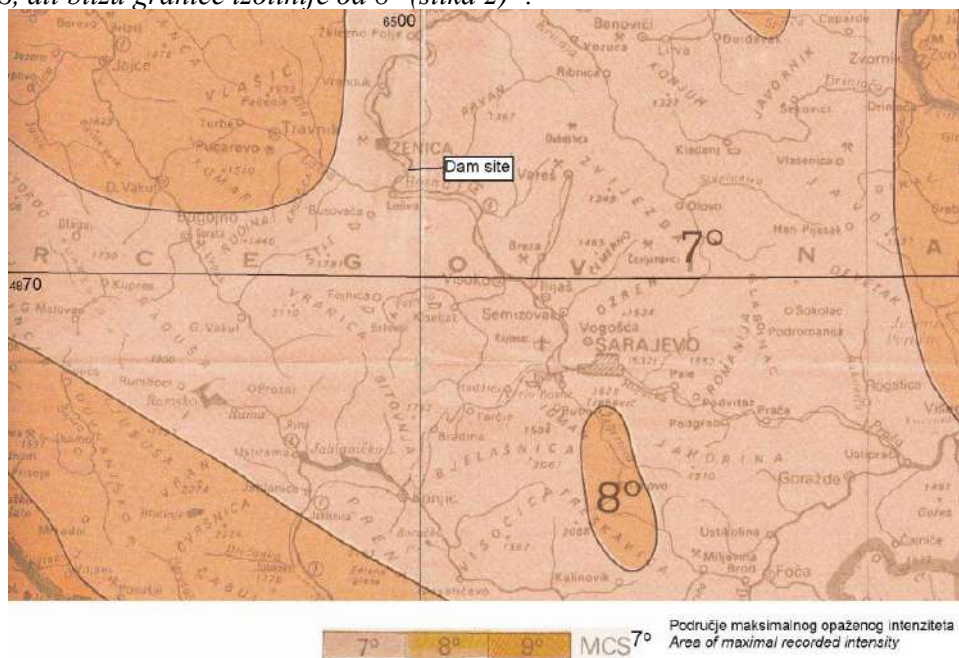
U pogledu klimatskih značajki, istražno područje pripada pojasu središnje Bosne koju odlikuje umjerenokontinentalna klima sa neznatnim uticajem planinske, naročito tokom zimskih mjeseci. Prosječne godišnje padavine su oko 800 mm. Najviše prosječne temperature su tokom jula, oko 21<sup>0</sup>C, a najniže u januaru, oko -0,3<sup>0</sup>C.

### Tektonske i seizmološke karakteristike

Kod analize geoloških, odnosno inženjerskogeoloških uslova izgradnje brana, od krucijalnog su značaja tektonske i seizmološke odlike prostora istraživanja.

Za prepoznavanje seizmološko-tektonskih karakteristika područja istraživanja korištene su postojeće seizmološke i tektonske karte BiH, te izvod iz seizmološko-tektonske studije koja je bila pripremljena za potrebe obližnje dionice autoputa Drivuša-Kakanj na Koridoru Vc, kako slijedi:

„Sarajevsko-zenička kotlina, koja uključuje područje istražnih radova za lokaciju brane i akumulacije HE Janjici predstavlja nestabilnu zonu terena. S južne strane je izuzetna struktura slijeganja, duboki tektonski jarak, koji je formiran duž busovačkog rasjeda a koji je bio aktivan prije i za vrijeme Neocena, i tokom mlađih perioda. Ovaj rasjed je aktivan čak i danas a taj status je imao i kroz geološku historiju (Od Mezozoika do Kvartara). S druge strane, u širem jugoistočnom dijelu, masiv Treskavice se uzdiže kao izrazito seizmološko aktivna morfološko strukturalna uzvisina.....Duž busovačkog rasjeda, vidljiva je linija epicentra, a u pozadini se nalazi seizmološki tektonsko aktivna zona Treskavice. Sa seizmološko-tektonskog stanovišta, duž zone busovačkog rasjeda, povećano izjednačavanje napetosti je izraženo a to uzrokuje zemljotrese. Prema tome, na primjer u području Zenice, evidentirano je 14 zemljotresa sa intenzitetom do 7° MCS skale, gdje je: MSC skala: stepen VII klasificiran kao “veoma jak” a VIII kao “rušilački”. Prema podacima seizmološke karte Bosne i Hercegovine za povratni period od 100 godina i 500 godina (Udruženje seizmologa SFRJ, Beograd, 1987. godine), područje istražnih radova je smješteno u zonu sedmog stepena 7° MCS, ali blizu granice izolije od 8° (slika 2)“.



Slika 2. – Seizmološka karta za povratni period 500 godina

### **Pregled provedenih istraživanja i dokumentacije**

Za sagledavanje geoloških, hidrogeoloških i inženjerskogeoloških uslova izgradnje HE Janjici urađeni su značajni terenski, laboratorijski i kabinetski radovi. Značajna terenska istraživanja, kao i izradu Geološko-geotehničkog izvještaja za Studiju izvodivosti HE Janjici, na zahtjev Investitora ovog značajnog projekta Elektroprivrede BiH, izvelo je preduzeće Geosonda d.o.o. Zenica. Svi istražni radovi i izvještaj, urađeni su i koncipirani u skladu sa prethodno urađenim Programom istražnih radova od strane Instituta za geologiju i geotehniku Građevinskog fakulteta iz Sarajeva.

U okviru terenskih i laboratorijskih istraživanja i ispitivanja urađeno je:

- detaljno inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje istražnog područja brane i akumulacije,
- istražno bušenje 23 bušotine pojedinačnih dubina 7,0 – 20,0 m'
- izrada istražnih raskopa i otkrivki
- ispitivanje standardne dinamičke penetracije (SPT)
- ispitivanje vodopropusnosti stijena (VDP-Lugeon test)
- izrada pijezometara i osmatranje nivoa vode u pijezometrima
- uzimanje uzoraka za laboratorijsko ispitivanje
- laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i stijene na kojima su urađena mineraloško-petrografska ispitivanja, granulometrijske analize, opiti stišljivosti, opiti direktnog smicanja, ultrazvučna ispitivanja, ispitivanja monoaksijalne čvrstoće, identifikaciono-klasifikaciona ispitivanja
- laboratorijska ispitivanja agresivnosti vode na betone

Na bazi provedenih terenskih i laboratorijskih istraživanja i ispitivanja, urađen je pomenuti geološko-geotehnički izvještaj za studiju izvodivosti HE Janjici u kojem su obrađeni geološki, hidrogeološki, seizmotektonski i inženjerskogeološki uslovi izgradnje brane. Također su urađene detaljne inženjerskogeološke i hidrogeološke karte pregradnog mjesta i akumulacije sa pratećim poprečnim i podužnim profilima u odgovarajućim razmjerama.

### **Geološke karakteristike**

Istraživano područje u geološkom smislu locirano je u sarajevsko – zeničkom bazenu te pripada starijem miocenskom polifacijalom kompleksu koji se taložio u drugom ciklusu slatkovodne sedimentacije. Ovaj kompleks podijeljen je u četiri litostratigrafske jedinice, a pregradno mjesto sa akumulacijom nalazi se u Pelaznoj zoni  $^2M_2$  između Povlatne krečnjačke zone  $^1M_2$  i Lašvanske serije  $M_{2,3}$ . Litološki članovi koji grade ovu jedinicu čine laporac, najvećim dijelom, a zatim pješčar i nešto manje konglomerat. Preko ovih tercijarnih tvorevina mjestimično su natloženi kvartarni sedimenti eluvijalno-deluvijalnog, proluvijalnog, koluvijalnog i aluvijalnog porijekla. Pored ovih naslaga značajan udio zauzimaju vještačke naslage predstavljene nasipom.

Posebno su interesantne, za uži prostor pregradnog mjesta, aluvijalne tvorevine koje su se nataložile na miocenskim sedimentima  $^2M_2$ , na kojima će se graditi objekat. Aluvijon je zastupljen na lijevoj obali i koritu rijeke Bosne tj. "adi". Debljina ovih naslaga na tom potezu je do 4,50 m. Aluvijon na lijevoj obali je većim dijelom prekriven nasipom. Stjenoviti odsjek na desnoj obali grade miocenski sedimenti, iznad kojih je padina eluvijalno-deluvijalnog porijekla. Eluvijalno-deluvijalne tvorevine se povremeno "osipaju" preko zasjeka pa su u neznatnim količinama zastupljene pored korita rijeke Bosne. Na osnovu determinisane jezgre izvedenih istražnih bušotina i mineraloškopetrografskih analiza utvrđeno je da ovaj kompleks grade sedimenti, slijedećim redoslijedom po zastupljenosti:

- Laporac – okamanjeni karbonatni mulj, listasto do pločasto uslojen, sive boje, ravnog do plitko-školjkastog prijeloma bez sjaja, rijetko sa tankim (cca 2mm) proslojcima ugljenisanih fosilnih ostataka.
- Pješčar – sitnozrni do srednjozrni, zrna karbonatnog porijekla, vezivo karbonatno-laporovito.
- Konglomerat – sitnozrni do srednjozrni, zrna karbonatnog ili heterogenog litološkog sastava uglavnom sa karbonatnim vezivom.

Analizom izdanaka primjetna je varijacija u debljini slojeva od lamina do bankovitih slojeva, pri čemu se u vertikalnom slijedu slojeva ne zapaža pravilna promjena slojeva (cikličnost, ritmičnost) kako u pogledu debljine tako i u pogledu mineraloškopetrografskih karakteristika, što je posljedica nepravilnih promjena uslova sedimentacije. Osim jasno izražene slojevitosti prisutne su i horizontalne laminacije kao posljedica promjene brzine sedimentacije detritusa ili temperature vode. Ove lamine su laporovitog, pjeskovitog ili pjeskovito-siltoznog karaktera. Nekada se ove lamine nalaze pod uglom u odnosu na eksternu slojevitost (kosa laminacija), a ponegdje je zapažena i konvolucija što ukazuje na turbidite.

Činjenica da je prosječna vrijednost RQD iz bušotina 52,00 % u kojima je laporac zastupljen sa više od 50% je u koliziji sa slikom izdanaka gdje je prosječna debljina ovih slojeva ispod 10 cm. Razlog ovome je uticaj egzogenih faktora na izdanke laporca uslijed čega je litološka izraženost slojevitosti postala mehanička. Laporci na većim dubinama imaju drugačija fizička svojstva, jače su litificirani, jer osim minerala glina sadrže produkte njihovih dijagenetskih promjena. Na površini pod uticajem vode i drugih faktora, kao i zbog rasterećenja erodovanih nadslojeva dolazi do mehaničkog odvajanja u tankim zonama gdje preovladavaju minerali glina. Zato se na kompaktnom jezgru vide samo promjene u boji koji ukazuju na promjenu uslova sedimentacije i/ili litološke promjene, dok su na površini ovi prelazi mehanički odvojeni. Ovi laporci su interstratificirani bancima i slojevima pješčara i bancima konglomerata. Pješčar je sitnozrni do srednjozrni, zrna karbonatnog porijekla, vezivo karbonatno-laporovito, sa rijetkim pojavama konkrecija uglja. Konglomerat je sitnozrni do srednjozrni, zrnaste strukture, zrna karbonatnog ili heterogenog litološkog sastava uglavnom sa karbonatnim vezivom. Prisustvo dolomitičnih zrna ukazuje na ekstraformacijsko porijeklo konglomerata.

Dominanta orijentacija slojevitosti je 233/20. Sedimenti tretiranog područja su ispresjecani pukotinama i diskontinuitetima, koji će biti opisani u daljem tekstu.

### **Hidrogeološke karakteristike**

Za sagledavanje hidrogeološke građe istražnog područja provedena su značajna terenska istraživanja, od kojih su od ključnog značaja ispitivanja testova vodopropusnosti stijenske mase (Lugeon test).

Uvažavajući rezultate dobivene terenskim istražnim radovima, na istražnom području izdvojene su 2 hidrogeološke cjeline:

- vodopropusni sedimenti pokrivača – međuzrske poroznosti, i
- vodonepropusni sedimenti supstrata – pukotinske poroznosti.

U okviru vodopropusnih sedimenata izdvojeni su materijali pokrivača predstavljeni vještačkim tvorevinama nasipa, aluvijalnim, proluvijalnim, koluvijalnim i eluvijalno-deluvijalnim naslagama. Propusnost ovih naslaga je uslovljena materijalnim sastavom, i kreće se u dijapazonu od dobropropusnih naslaga (aluvijalni i proluvijalni nanosi) do srednje i slabopropusnih naslaga (nasip, koluvijalne i eluvijalno-deluvijalne naslage). Uvažavajući zastupljenost i lokalnost ovih naslaga, najveći značaj u hidrogeološkom smislu za buduću branu imaju vještački materijali nasipa koji su zastupljeni duž lijeve obale brane i akumulacije.

Vodonepropusni sedimenti pukotinske poroznosti predstavljeni su sedimentima supstrata. Zastupljeni su na cijelom istražnom području. Ispitivanjima vodopropusnosti metodom Lugeona utvrđeno je da su ovi sedimenti vodonepropusni sa dominantnom vrijednosti Lugeona  $< 1$ .

### **Inžinjerskogeološke karakteristike**

Pregled inžinjerskogeoloških i geotehničkih osobina, klasifikacija i kategorizacija stijena i tla, te izrada inžinjerskogeoloških karata i profila data je u skladu sa inžinjerskogeološkom klasifikacijom stijena i tla, predloženom od strane Internacionalnog udruženja za inžinjersku geologiju i životni sredinu (IAEG), prema kojoj se osnova za izdvajanje stijena i stijenskih kompleksa bazira na litogenetskim kriterijima.

Na osnovu rezultata terenskog kartiranja i izvedenog istražnog bušenja izdvojene su slijedeće inženjerskogeološke vrste stijena po horizontima:

- I. Pokrivač - eluvijalno-deluvijalni, aluvijalni, koluvijalni, proluvijalni i vještačke tvorevine
- II. Degradirani- raspadnuti supstrat
- III. Neporemećeni geološki supstrat

#### **I. Pokrivač**

*Vještačke tvorevine* nasipa su zastupljene na lijevoj obali, između puta M17 i rijeke, sa utvrđenom debljinom od 9,00 m (BAP-1) do 9,50 m (BAP-6). Na osnovu rezultata SPT opita u vrijednosti od  $N=26$  do  $N > 50$  može se pretpostaviti da su materijali nasipa srednje i dobro zbijeni.

*Eluvijalno-deluvijalni pokrivač* je zastupljen na lijevoj i desnoj obali pregradnog mjesta. Predstavljen je pjeskovitom glinom i glinovitom drobinom laporaca, pješčara i konglomerata. Rezultati SPT-a su pokazali da se radi o glinama dobre konzistencije.

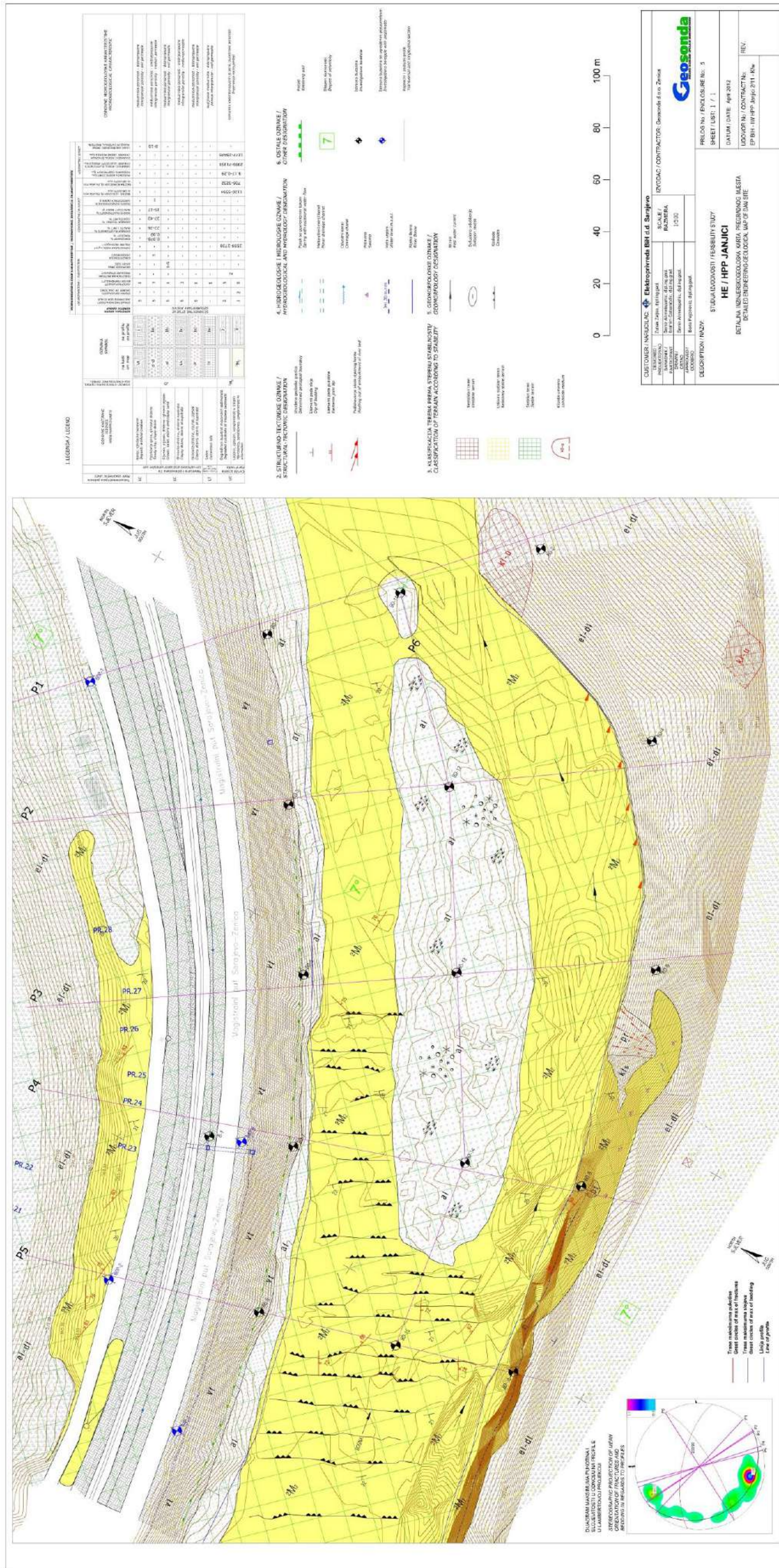
*Aluvijalni pokrivač* – pjeskovito-šljunkovitih riječnih nanosa, značajnije je zastupljen na lijevoj obali ispod nasipa i na samoj adi rijeke Bosne. SPT opiti su pokazali da se radi o materijalima normalne zbijenosti.

*Koluvijalni pokrivač* je predstavljen koluvijom sipara, nezatnog rasprostranjenja i snimljen je na desnoj obali, nizvodno od bušotine BD-8, pored povremenog potoka. Vodi porijeklo od hipsometrijski viših dijelova terena, predstavljene je drobinama laporaca, pješčara i konglomerata, mjestimično zaglinjenim.

*Proluvijalni nanosi* su rezultat spiranja, bujičnih nanosa glinovito-pjeskovitih drobin. Na prostoru pregradnog mjesta je zabilježen jedan takav povremeni potok, nizvodno od brane, u čijem su se podnožju akumulirale ove drobine.

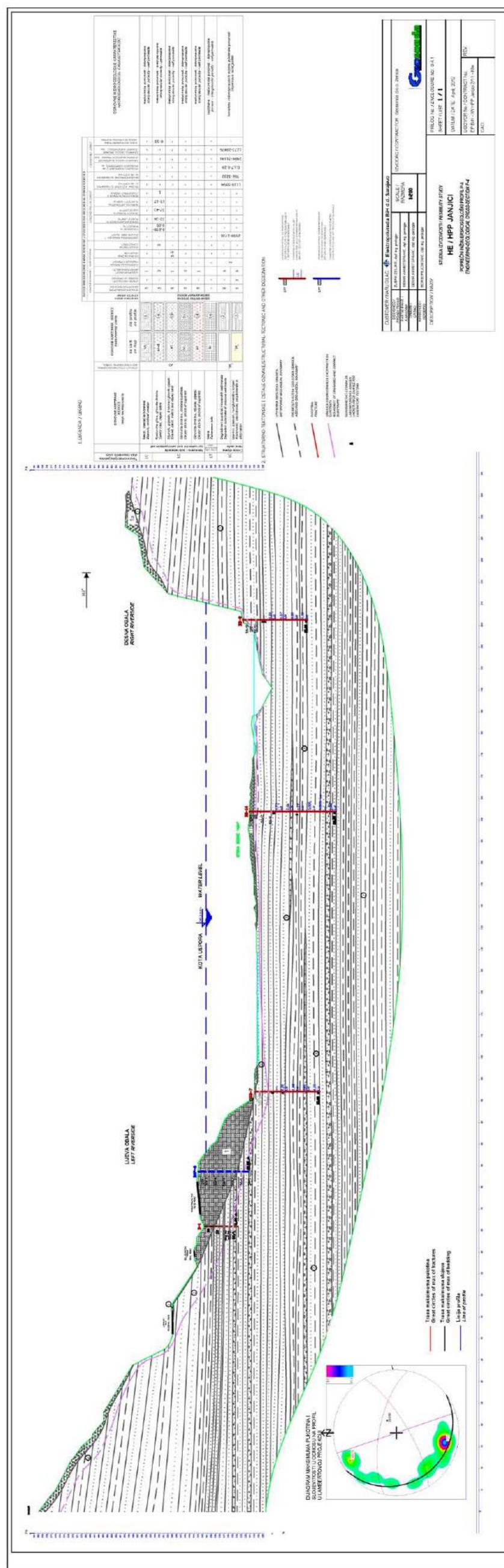
#### **II. Degradirani-raspadnuti supstrat**

Degradirani – raspadnuti supstrat je izdvojen ispod površinskog pokrivača u vidu alternirajućih litoloških članova različitog materijalnog sastava i stepena aspadnutosti. Generalno je zapažanje da je debljina raspadnutog supstrata najveća na lijevoj obali, i iznosi od 0,50 do 4,80 m (bušotina BD-3). Ovaj horizont grade laporci, pješčari, konglomerati i rjeđe lapori. U kontaktu sa pokrivačem i pod uticajem uglavnom egzogenih faktora, došlo je do alteracije ovih sedimenata. Lapori su pod uticajem vode jako razmekšani.



Slika 3. – Inženjerskeološka karta pregradnog mjesta HE Janjici (M1:500)





Slika 4. – Inžinjerskogeološki profil terena pregradnog mjesta HE Janjici (M1:200)

### III. Neporemećeni geološki supstrat

Neporemećeni supstrat je konstatovan na nabušenom jezgru svih istražnih bušotina. U nabušenoj jezgri bušotina, najveću zastupljenost imaju laporci (preko 50 %), pješčari i konglomerati. Na osnovu laboratorijskih analiza je utvrđeno da neporemećeni supstrat ima znatno povoljna fizičko – mehanička svojstva, iako su ona generalno dosta promjenjiva, što prvenstveno zavisi od dostignutog stepena prirodne dijageneze pojedinih litoloških članova. Radi boljeg uvida u rezultate ispitivanja, a obzirom na zastupljenost litoloških članova u građi terena, u sljedećoj tabeli su izdvojeni osnovni članovi supstrata sa rezultatima geomehaničkih ispitivanja.

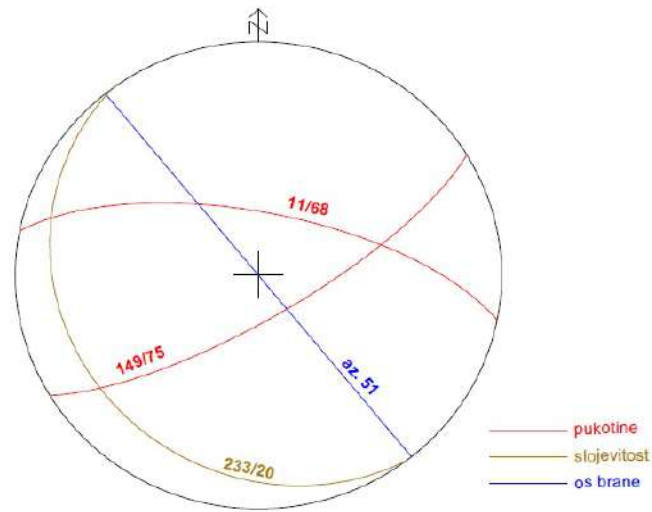
#### Klasifikacija stijenskih masa (RMR)

Za klasifikaciju stijenske mase istražnog područja korištena je geomehnička klasifikacij Bienawskog 1989 (RMR – Rock Mass Rating). Za klasifikaciju stijenske mase, analizirano je šest osnovnih parametara koje ova klasifikacija tretira, i to: monoaksijalna čvrstoća, indeks kvalitete jezgre RQD, razmak pukotina, stanje pukotina, stanje podzemnih voda i orijentacija pukotina.

Laboratorijskim ispitivanjima monoaksijalne čvrstoće na reprezentativnim uzorcima materijala supstrata dobivene su sljedeće prosječne vrijednosti: laporci 35-42 MPa, pješčari 32-38 MPa i konglomerati cca 45 MPa. Prosječna vrijednost za sve ispitane uzorke iznosi oko 40 MPa.

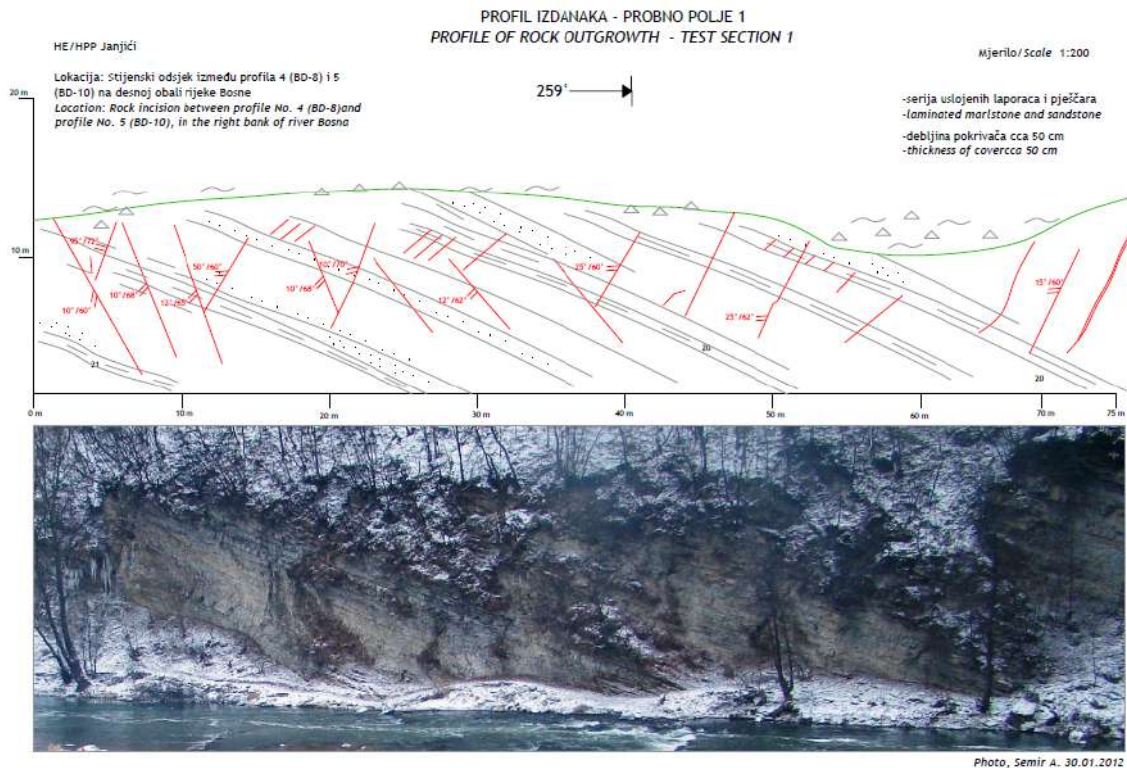
Ukupna srednja vrijednost RQD iznosi 52 %, što tretiranu stijensku masu po indeksu kvaliteta jezgre svrstava u kategoriju povoljne stijenske mase (III kategorija). Najmanju RQD vrijednost imaju bušotine lijeve obale, a također je konstatovano da je na lijevoj obali debljina degradiranog (raspadnutog) supstrata najveća.

U cilju analize ispućalosti stijena i stanja pukotina, a za potrebe geomehničke klasifikacije stijena, izvršeno je detaljno kartiranje jezgre bušotina, analiza i kartiranje otvorenih izdanaka (analizirano je probno polje koje je pozicijski približno upravno na pregradno mjesto – slika 6). Jedno od analiziranih probnih polja pozicionirano je na desnoj obali u zasjeku rijeke Bosne, i približno je upravno na pregradno mjesto. Izdanak grade tankoslojeviti laporci i sitnozrni pješčari. Dominantna debljina slojeva varira od 5 cm do 70 cm (izmjerene vrijednosti), iako se laporci najčešće javljaju u vidu tankih lamina. Elementi pada na velikom broju mjerenja su približno jednaki i iznose 230°/20°, 230°/21°, 232°/20°. Mjereni diskontuiteti imaju sljedeće elemente: 10°/70°, 10°/68°, 10°/70°, 50°/70°, 50°/60°, 25°/60°, 95°/72°, 12°/72°. Razmak između pukotina je promjenjiv, pa kod najizraženijih pukotina iznosi 2,00 - 4,00 m', ali posmatrajući sve pukotine on iznosi od 0,50 – 2,00 m' i 0,30 – 1,00 m'. Dužina pukotina iznosi od 0,20 do 3,00 m', sa izuzetno rijetkim pojavama pukotina dužine preko 3,00 m'. Zijev pukotinama je max do 5 mm, a prevladavaju pukotine zijeva od 1-2 mm. Pukotine su ispunjene tvrdom, najčešće kalcitnom ispunom, osim malog broja pukotina kod kojih je ona glinovita. Pukotine su glatke i neznatno trošne. Utvrđena su dva sistema pukotina, koji su po svojoj učestalosti jednaki.



Slika 5. - Schmidov dijagram pukotina i slojevitosti u odnosu na osu brane

Radi potpunog sagledavanja efekata orijentacije pukotina na branu, urađena je i korekcija bodova shodno orijentaciji utvrđenih sistema pukotina u odnosu na os brane. Utvrđeni maksimumi oba sistema pukotina po RMR parametru, imaju dobru orijentaciju na osu brane. Prikaz maksimuma slojevitosti ( $230^{\circ}/20^{\circ}$ ) sa utvrđenim sistemima pukotina ( $149^{\circ}/75^{\circ}$  i  $11^{\circ}/68^{\circ}$ ) u odnosu na os brane, predstavljen je Schmidovom dijagramu (slika 5).



Slika 6. – Profil izdanaka pored pregradnog mjesta (probno polje)

Analizom i bodovanjem svih parametara, dobivena vrijednost RMR-a iznosi 60, što stijensku masu svrstava u III kategoriju (I-V kategorije) - povoljne stijenske mase.

### **Stabilnost terena**

Savremeni egzogeni geološki procesi i pojave imaju posebnu težinu i značaj, kod utvrđivanja pogodnosti izgradnje brane u koritu rijeke, između padinskih dijelova terena, stjenovitog odsjeka i vještačkih materijala nasipa.

Na osnovu inženjerskogeoloških karakteristika i analize savremenih geoloških procesa, izvršena je kategorizacija terena prema stabilnosti na:

- nestabilne terene,
- uslovno stabilne terene i
- stabilne terene.

Predložena lokacija brane je pozicionirana na stabilnom terenu. Na desnoj obali je stjenoviti odsjek, iznad kojeg je padina sa koje se pod uticajem gravitacije povremeno osipaju materijali eluvijalno-deluvijalnog pokrivača. Padina iznad stjenovitog odsjeka, na profilu brane je ocijenjena kao uslovno stabilna. Na lijevoj strani brane je škarpa nasipa koja se prostire duž cijele obale i analizama stabilnosti je ustanovljeno da je u prirodnim uslovima škarpa nasipa stabilna, a nakon punjenja akumulacije odnosno podizanja nivoa vode do max kote uspora, nasipi duž magistralnog puta prelaze u nestabilno stanje.

### **Zaključak**

U predmetnom radu je dat uvid u geološke, hidrogeološke, tektonske i seizmološke odnose i građu terena. Također su obrađene inženjerskogeološke karakteristike terena, RMR klasifikacija stijenskih masa i uslovi stabilnosti terena.

Teren brane HE Janjići sa akumulacijom je smješten u sedimentima miocenskog polifacijalnog kompleksa Prelazne zone i Lašvanske serije. Ovi sedimenti po RMR klasifikaciji spadaju u III kategoriju povoljne stijenske mase. Sa aspekta stabilnosti na terenu su izdvojeni stabilni, uslovno stabilni i nestabilni tereni. Poseban osvrt u daljim istraživanjima treba usmjeriti na analize stabilnosti nasipa duž lijeve obale akumulacije.

Iz svega navedenog i obrađenog u ovom radu, može se steći opći uvid u geološku, hidrogeološku, tektonsku, seizmološku i inženjerskogeološku građu terena buduće HE Janjići.

### **Literatura**

1. Građevinski fakultet, Institut za geologiju i geotehniku, Sarajevo: HE Janjići, Studija izvodivosti, Program geološko-geotehničkih istraživanja, Sarajevo 2011.
2. Geosonda d.o.o. Zenica: HE Janjići, Studija izvodivosti, Izvještaj geološko-geotehničkih istraživanja, Zenica 2012.
3. Hrvatović H.: Geološko kartiranje, Sarajevo, 2009.
4. Međunarodno udruženje za inženjersku geologiju (2000) ISRM: Inženjerskogeološke klasifikacije stijenskih masa
5. Međunarodno udruženje za hidrogeologiju (2000) ISRM: Metode hidrogeološkog kartiranja
6. Živanović M., Sofilj J., Milivojević R.: OGK 1:100 000, Tumač lista Zenica, SGZ, Beograd 1967.

## Hidrogeološke karakteristike izvorišta na području Prače

Mr. sc. Alić Edin dipl.inž.geol.  
Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo, Paromlinska 53/e  
Doc.dr. Ferid Skopljak dipl.inž.geol  
"Federalni zavod za geologiju", Ustanička 11, Ilidža

### SUMMARY

The most important source in area of Prača are: "Datelji", „Komrani“ and „Donja Čemernica“. The source "Datelji" is located approximately 3.5 km south from Prača, the source "Komrani" is located approximately 4 km southeast from Prača and the source "Donja Čemernica" is located about 4 km southeast from Hrenovica. In administrative terms belonging to the municipality of Pale - Prača.

In geological terms, the terrain was built mainly of Paleozoic layers. Younger formations, were presented exclusively by alluvial sediments and occur only in deep notched valley of Prača and its tributaries. Within the aquifer's strata are limestones, rock boulders, gravel and sand.

Bounty of these three sources in minimum amounts to approximately about  $Q_{\min} = 8,5$  l/s, of which a minimum bounty of source "Datelji" is about  $Q_{\min} = 1,5$  l/s, the source „Komrani“ about  $Q_{\min} = 2$  l/s and source „Donja Čemernica“ about  $Q_{\min} = 5$  l/s. The level of underground water in aquifer is free. In the basement of the aquifer are impermeable rocks of Carboniferous and Permian which were presented by schists and slates.

**Key words:** hydrogeological characteristics, water source, aquifer, groundwater

### OPĆE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA I SLIVNOG PODRUČJA

#### Uvod

Na datom području urađena je osnovna geološka karta, list Prača, rađena je krajem 70.- tih godina prošlog stoljeća. Kartu su radili uposlenici RO Geoinženjering OOUR Institut za hidrogeologiju i hidrotehniku Ilidža. Ova karta dala je bitne elemente facijalnog sastava, superpozicionih odnosa i tektonske strukture terena u širem području izvorišta.

Lokaliteti izvorišta „Datelj“, Komran“ i „Donja Čemernica“ situirani su na prostoru općine Prača. Prema sadašnjim podacima izdašnost ovih izvorišta u minimumu iznosi cca  $Q_{\min} = 8,5$  l/s, od čega minimalna izdašnost izvorišta "Datelji" iznosi cca  $Q_{\min} = 1,5$  l/s, izvorišta „Komrani“ cca  $Q_{\min} = 2$  l/s i izvorišta „Donja Čemernica“ cca  $Q_{\min} = 5$  l/s.

#### Geografski položaj

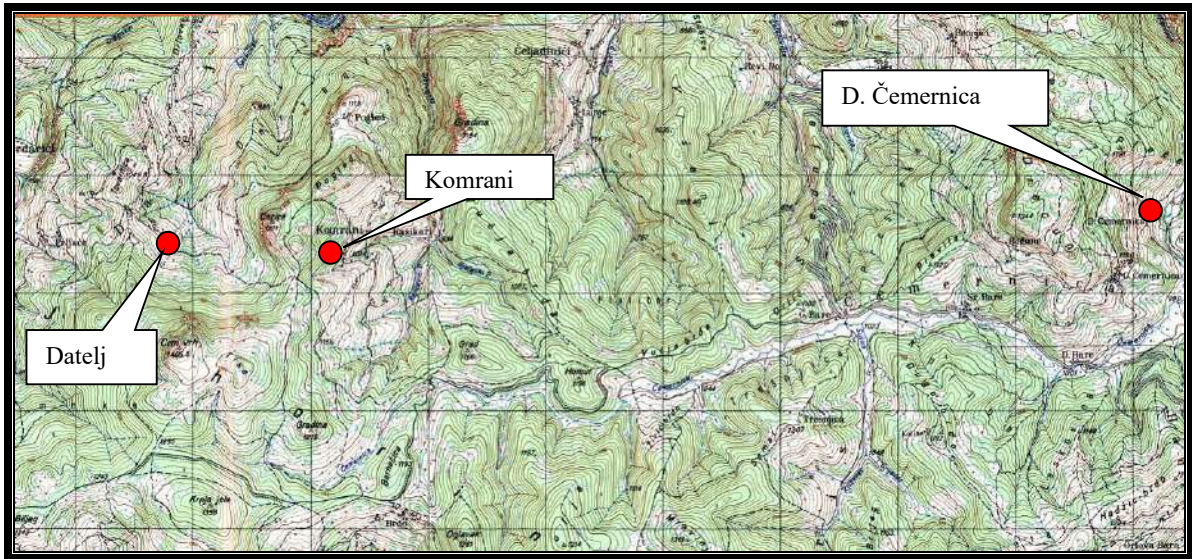
Izvorište "Datelji" se nalazi oko 3,5 km južno od Prače (v.sl.1). Situiraeno je jugoistočno od sela Datelji, u dolini Dateljskog potoka na sjevernim padinama brda Crni vrh.

Izvorište "Komrani" se nalazi cca 4 km jugoistočno od Prače (v.sl.1). Situiraeno je jugozapadno od sela Komrani, u dolini potoka Zastava na jugoistočnim padinama brda Čerice.

Izvorište „Donja Čemernica“ se nalazi oko 4 km jugoistočno od Hrenovice (v.sl.1). Situiraeno je istočno od sela Donja Čemernica, na jugoistočnim padinama brda Drecun koje gravitiraju dolini potoka Čemernica.

U administrativnom pogledu izvorišta „Datelji“, „Komrani“ i „Donja Čemernica“, sa pripadajućim slivnim područjem, u potpunosti pripadaju Općini Pale-Prača, odnosno Bosansko-podrinjskom kantonu.

Komunikacijske prilike izvorišta u pogledu eksploatacije i zaštite su na izvorištima „Datelji“ i „Donja Čemernica“ relativno povoljne, dok su za izvorište „Komrani“ su dosta nepovoljne. Izvorište je preko Gornje Čemernice povezano sa Pračom i drugim dijelovima Bosansko-podrinjskog kantona i Bosne i Hercegovine. Pristup do izvorišta i slivnog područja omogućen je lošim makadamskim putevima, što je otežavajući faktor sa aspekta, korištenja, monitoringa i provođenja mjera zaštite izvorišta.



Slika 1 – Situacioni raspored izvorišta Datelj, Komrani i Čemernica na području opštine Prača (M 1:25.000)

Elektroenergetske prilike vezano za izvorište i okolno područje u kojem je izgrađena niskonaponska električna mreža su relativno povoljne. Zbog hipsometrijskog položaja izvorišta „Datelji“ i „Komrani“, ove prilike nisu bitan faktor za eksploataciju i zaštitu izvorišta, te gravitacionu distribuciju vode u sistem vodosnabdijevanja naselja Prača.

Izvorište vodnog sistema „Donja Čemernica“ ima obezbjedenu električnu energiju odgovarajućeg napona za pumpne agregate kojim se voda crpi iz izvorišta i transportira do rezervoara koji je u funkciji vodosnabdijevanja naselja Donja Čemernica, što je pozitivan faktor eksploatacije i zaštite izvorišta, te gravitacionu distribuciju vode u sistem vodosnabdijevanja naselja Hrenovica.

#### Geomorfološke karakteristike

Izvorište "Datelji" je situirano u terenu koji pripada sjeveroistočnim padinama planine Jahorine. Teren odlikuju velike visinske razlike od 1.405 m n.m. (Crni Vrh) do 690 m n.m. u dolini rijeke Prače. Izvorište "Datelji" se nalazi na nadmorskoj visini od 900 metara. Planinski karakter reljefa u rejonu Datelja radijalno presijeca niz relativno plitko usječenih dolina u slivu potoka Šaškovac koje se ispod sela spajaju u jednu duboko usječenu dolinu generalnog pravca pružanja jugozapad-sjeveroistok.

Izvorište "Komrani" je situirano u terenu koji pripada sjeveroistočnim padinama planine Jahorine. Teren odlikuju velike visinske razlike od 1.405 m n.m. (Crni Vrh) do 934 m n.m. u dolini potoka Derventa, odnosno 650 m n.m. u dolini rijeke Prače kod Hrenovice. Izvorište "Komrani" se nalazi na nadmorskoj visini od 1.080 metara. Planinski karakter reljefa presijeca duboko usječena dolina potoka Zastava koja se pruža pravcem jugozapad-sjeveroistok.

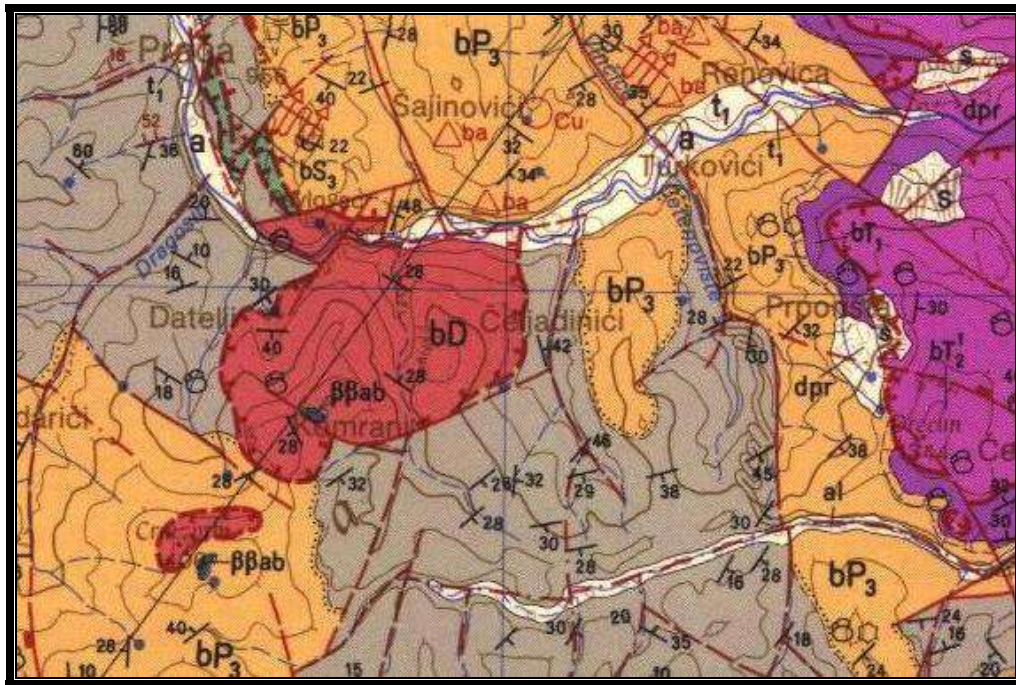
Izvorište „Donja Čemernica“ je situirano u terenu koji pripada krajnjim sjeveroistočnim dijelovima planine Jahorine. Područje odlikuju velike visinske razlike terena od 1.344 m n.m. (Drecun) do 950 m n.m. u dolini rječice Čemernica, odnosno 650 m n.m. u dolini rijeke Prače kod Hrenovice. Izvor „Donja Čemernica“ se nalazi na nadmorskoj visini 980 metara, cca 50 m iznad erozionog basisa Čemernice, što već na prvi pogled ukazuje da geološka građa, strukturno-tektonske i hidrogeološke karakteristike imaju prvorazrednu ulogu u njegovom postanku. Planinski karakter reljefa presijeca

duboko usječena dolina riječice Čemernice koja se u području Donje Čemernice pruža pravcem jug-sjever .

## **GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONIKA TERENA**

### **Geološka građa terena**

U geološkoj građi terena okoline Datelja i Prače učestvuju prvenstveno paleozojske naslage. Mlađe tvorevine, predstavljene isključivo aluvijalnim sedimentima, se pojavljuju samo u duboko usječenju dolini Prače i njenih pritoka (sl.2).



**Slika 2** - Geološka karta šireg područja izvorišta "Datelji", „Komrani“ i „Donja Čemernica" ( Izvor: OGK list Prača,

M 1:100.000)

bS<sub>3</sub> – krečnjaci; D- krečnjaci; bC<sub>1,2</sub>- škriljci, glinci, mermerizirani krečnjaci, pješčari, rožnaci; bP<sub>3</sub>- konglomerati, škriljci, glinci, krečnjaci, i gipsi; a – valutice stijena, šljunak, pijesak i glina

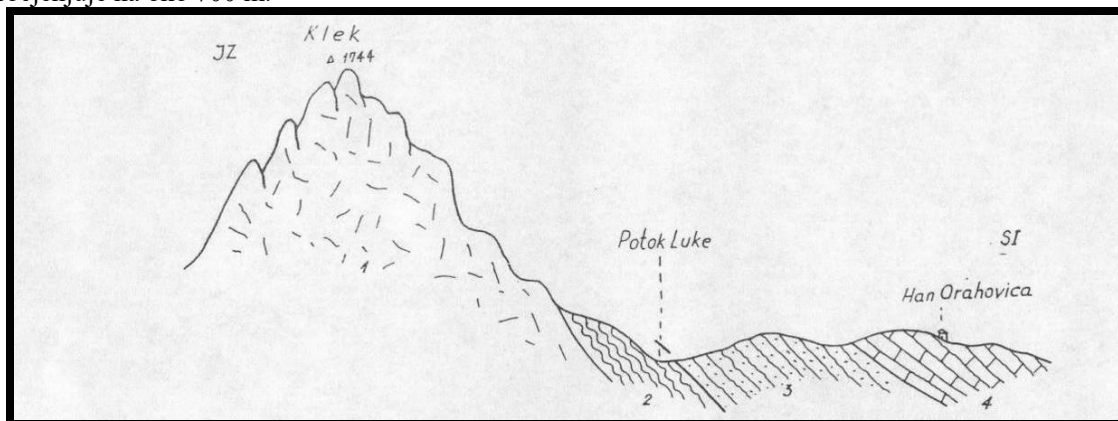
Najstarije naslage paleozojskog kompleksa okoline Prače pripadaju *gornjem siluru*. Otkrivene su na manjim površinama u neposrednoj blizini Prače (sl.3), gdje su, uglavnom, predstavljene mermeriziranim krečnjacima u kojima se pojavljuju tanki proslojci rožnaca, škriljaca i pješčara. Debljina naslaga gornjeg silura u Prači je oko 100 m.



Slika 3 - Izdanak silurskih krečnjaka iznad Kiseljaka na izlazu iz Prače

*Devonske naslage* imaju veće rasprostranjenje jugoistočno od Prače, a otkrivene su u rejonu brda Derventa sa uzvišenjima Gradina i Cerice gdje izgrađuju širi prostor između naselja Datelji, Komrani i Čeljadinići, te u rejonu brda Crni vrh i Klek južno od Datelja i Orahovice.

Usljed nedostatka provodnog faunističkog materijala, devonski krečnjaci jugoistočno od Prače su, na osnovu općeg habitusa i sličnosti sa dokazanim i bolje proučenim devonskim naslagama Kleka, na geološkoj karti list Prača označene uopšteno slovom "bD". Debljina devonskih naslaga u okolini Prače se procjenjuje na oko 700 m.

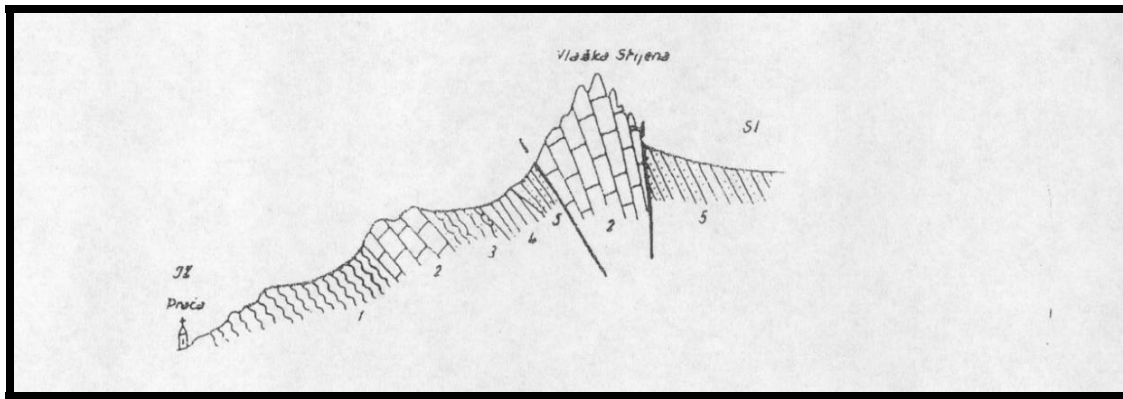


Slika 4– Geološki profil Klek – Han Orahovica (V.Kostić-Podgorska, 1958.str.8)

1 - devonski krečnjaci sa koralima; 2 - donjokarbonski pješčari; 3 – permski crveni pješčaro i škriljci; 4 – belerofonski krečnjaci

Preko devonskih krečnjaka u rejonu Kleka i Orahovice leže pješčari donjeg karbona, a iznad ovih, u tektonskom odnosu, a sasvim moguće diskordantno, leže naslage perma sa pješčarima, škriljcima i belerofonskim krečnjacima, koji sigurno pripadaju gornjem permu.





Slika 5 – Geološki profil u Prači (V.Kostić-Podgorska, 1958.str.9)

1 - donjokarbonski crni (kulmski) škriljci; 2 – ortoceraski krečnjaci; 3 – donjokarbonski pjeskoviti škriljci; 4 – rožnaci (liditi); 5 – verfenski slojevi

Naslage *donjeg karbona* su otkrivene kod Prače, Datelja, Brdarića, Komrana, Lunje, Bara i Čemernice. U sastavu donjokarbonskih naslaga su škriljci, glinci, pješčari, breče, mermerizirani krečnjaci i mjestimično rožnaci (sl.6). Debljina karbona u ovim terenima se procjenjuje na preko 1.000 m.



Slika 6– Izdanak mermeriziranih krečnjaka karbona u Dateljima

U gornjem karbonu i donjem permu je u ovim terenima utvrđen prekid sedimentacije za koje vrijeme se odvija erozija ogromnih razmjera koja je disecirala podlogu na kojoj su, najvjerojatnije, diskordantno taložene naslage perma i donjeg trijasa.

*Gornji perm* je u donjim dijelovima stuba predstavljen konglomeratima, pješčarima i škriljcima, a u višim nivoima belerofonskim krečnjacima, šupljikavim krečnjacima i gipsom. Ove naslage postepeno prelaze u donji trijas sa kojima se u terenima jugoistočne Bosne, usljed nedostataka faunističkog materijala, zajedno izdvajaju u *permotrijas*. Naslage gornjeg perma imaju veliko

rasprostranjenje u okolini Datelja i Prljača; u rejonu Čemernice, brda Višanjski, te u rejonu Renovice i Šajinovića. Debljina permskih naslaga u okolini Prače je oko 300 m.



Slika 7– Izdanak konglomerata perma u Dateljima

*Kvartarne naslage* u okolini Prače imaju ograničeno rasprostranjenje samo u dolini rijeke Prače i njenih pritoka gdje su predstavljene aluvijalnim sedimentima u čijem sastavu su krupne valutice, šljunka, pijeska i gline. Podređeno se u rejonu brda Drecun pojavljuju deluvijalno-proluvijalne naslage i sipari izgrađeni od krupnijih odlomaka stijena zaglinjenih u manjoj ili većoj mjeri. Nemaju veći hidrogeološki značaj za izvorišta pitke vode vodnih sistema u Općini Pale-Prača, te se u ovom Projektu neće značajnije razmatrati.

### **Tektonika terena**

U tektonskom pogledu tereni okoline Prače i većeg dijela jugoistočne Bosne pripadaju prema K. P e t k o v i ć u (1961.) zoni unutrašnjih Dinarida, odnosno zoni “paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka”; prema B. S i k o š e k u i W. M e d w e n t i s c u (1964.,1965.) centralnom Dinarikumu; prema M. A n đ e l k o v i ć u (1978.) središnjim dinaridima-bosanskoj zoni; prema M. V i d o v i ć u (1983.) zoni paleozojsko-trijaskog masiva; prema S. Č i č i ć u (2002.) središnjim Dinaridima, a prema H. H r v a t o v i ć u (2006.) tektonskoj strukturi Durmitorske navlake.

Prema OGK list Prača ovaj prostor pripada strukturno-facijalnoj jedinici Prača-Foča za koju E. K u l e n o v i ć smatra ima navlačni karakter, odnosno da su naslage gornjeg silura i devona navučene na trijasku tvorevine (2006.str.77).

F. K a t z e r mnogo jednostavnije promatra tektoniku terena jugoistočne Bosne. On smatra da se u ovim terenima ispoljava nabiranje dinarskog pravca mjestimično prijevremeno i prekinuto unakrsnim bosanskim ubiranjem, te da je vertikalno kretanje sa prelomima isključivo lokalnog značaja!? K a t z e r napominje da je, najvjerovatnije, posljednje dinarsko nabiranje definitivno savladano bosanskim unakrsnim pružanjem, tek poslije Oligomiocena, a vjerovatno, kao u cijeloj Bosni i zapadnom balkanskom poluostrvu, tek početkom Kvartara. Važno je zapažanje K a t z e r a da se u paleozoiku jugoistočne Bosne ispoljava činjenica da “za modeliranje terena nije mjerodavan tektonski sklop već otpornost stijena naspram erozije gdje se najviši vrhovi oblasti sastoje iz kvarc-konglomerata (verukano) ili krečnjaka koji se mnogo bolje odupiru odnašanju nego pješčari i škriljci” (1926.str.371).

Teren okoline Prače odlikuje vrlo složen tektonski sklop jer se nalazi u čelu „Durmitorske navlake“. Potisci su, očigledno, dolazili iz pravca sjeveroistoka. Tvrdi karbonatni slojevi su polomljeni, a klastični i plastični slojevi karbona i perma su snažno ubrani.

Durmitorsku navlaku karakterizira navlačenje devonskih i trijaskih karbonata preko sedimenata karbona i perma što je izazvalo njihovo ubiranje, a kasnije i rasjedanje, te komadanje devonskog karbonatnog kompleksa u blokove različite veličine. Ove manifestacije su posebno izražene u jugozapadnom dijelu brda Derventa, između Komrana i Čeljedinića, gdje se, usljed rasjedanja u čelu navlake, devonske naslage pojavljuju u vidu olistolita Crnog vrha, razdvojenog od glavne mase Derventa. Klastične naslage karbona i perma su, također, intenzivno poremećene i ubrane, a u zoni čela navlake su formirane velike količine brečastog materijala cementiranog u manjoj ili većoj mjeri.

Kao posljedica ovako složenih tektonskih kretanja teren jugoistočno od Prače je poprimio veoma složenu tektonsku strukturu, što se odrazilo na ukupne hidrogeološke odnose u ovom području.

### **HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA**

#### **Hidrogeološka kategorizacija, rejonizacija i funkcije stijena**

U terenima okoline Prače izdvojene su dvije hidrogeološke kategorije stijena:

- propusne stijene, i
- pretežno nepropusni kompleksi stijena.

#### ***Propusne stijene***

Propusne stijene su na osnovu strukture poroznosti, vodopropusnosti, izdašnosti izvora, te intenziteta karstifikacije razvrstane na:

- propusne stijene pukotinske poroznosti,
- propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti.

***Propusne stijene pukotinske poroznosti*** su naslage gornjeg silura ( $S_3$ ) u kojima, prema stepenu ispucalosti, nešto bolju propusnost imaju krečnjaci. U njima su razvijene međuslojne pukotine i prslinski klivaž što omogućuje tečenje podzemnih voda kroz ove, pretežno dobro uslojene stijene. Silurske naslage imaju hidrogeološke funkcije *vodonosnika mineralne vode* iz kojih se pojavljuju izvori mineralne vode „Mihalj“ i „Kiseljak“ u Prači koji su po kvalitetu veoma poznati u ovom kraju.



Slika 8 - Izvor mineralne vode Mihalj u Prači

*Propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti* su krečnjaci devona (D). Prema intenzitetu karstifikacije izdvojeni su u klasu dobro karstificiranih naslaga u kojima se mjestimično pojavljuju površinski, a mjestimično i podzemni kraški oblici (sl.9).



Slika 9 – Kaverna u krečnjacima devona neposredno iznad izvora „Komrani”

Krečnjaci devona imaju hidrogeološke funkcije vodonosnika pukotinsko-kavernožne poroznosti. U okolini Datelja devonske naslage leže preko tvorevina karbona, odnosno gornjeg perma, i u njima su kod Čeljadinića i Komrana registrirani izvori veće izdašnosti („Toplik” i „Komrani”).

### ***Pretežno nepropusni kompleksi stijena***

U kategoriju pretežno nepropusnih kompleksa su uvrštene stijena u kojima se, u vertikalnom smislu, često izmjenjuju propusne i nepropusne stijene. U terenima predstavljene su klastitima i karbonatima karbona (C<sub>1,2</sub>) i gornjeg perma (P<sub>3</sub>), te donjeg trijasa (T<sub>1</sub>) na području „Donje Čemernice”. Propusnost ovih naslaga je uglavnom vrlo slaba tako da u njima nisu formirani vodonosnici veće vodoobilnosti. Pretežno nepropusni kompleksi stijena, generalno, imaju funkcije relativne hidrogeološke barijere.



**Slika 10** – Tenzione pukotine u konglomeratima perma pored izvora Datelji

Propusnost pretežno nepropusnih kompleksa se u određenoj mjeri povećava u zoni čela navlake i rasjeda, gdje su degradirani i kada mogu imati funkcije vodonosnika. U njima su razvijene međuslojne pukotine i prslinski klivaž što omogućuje tečenje podzemnih voda kroz ove, pretežno uslojene, mjestimično metamorfisane i degradirane stijene (sl.10).

Vodonosnici ograničenog prostranstva u ovim hidrogeološkim kompleksima pojavljuju se samo mjestimično, i to, u stijenama pukotinske poroznosti (konglomerati i mermerizirani krečnjaci) koje veće rasprostranjenje imaju u rejonu Datelja, Crnog vrha, brda Višanj i dr. Ovdje su registrirani, uglavnom, povremeni izvori izdašnosti  $Q = 0,1-1,0$  l/s a među važnijim za vodosnabdijevanje je izvor „Datelji“ u istoimenom mjestu.

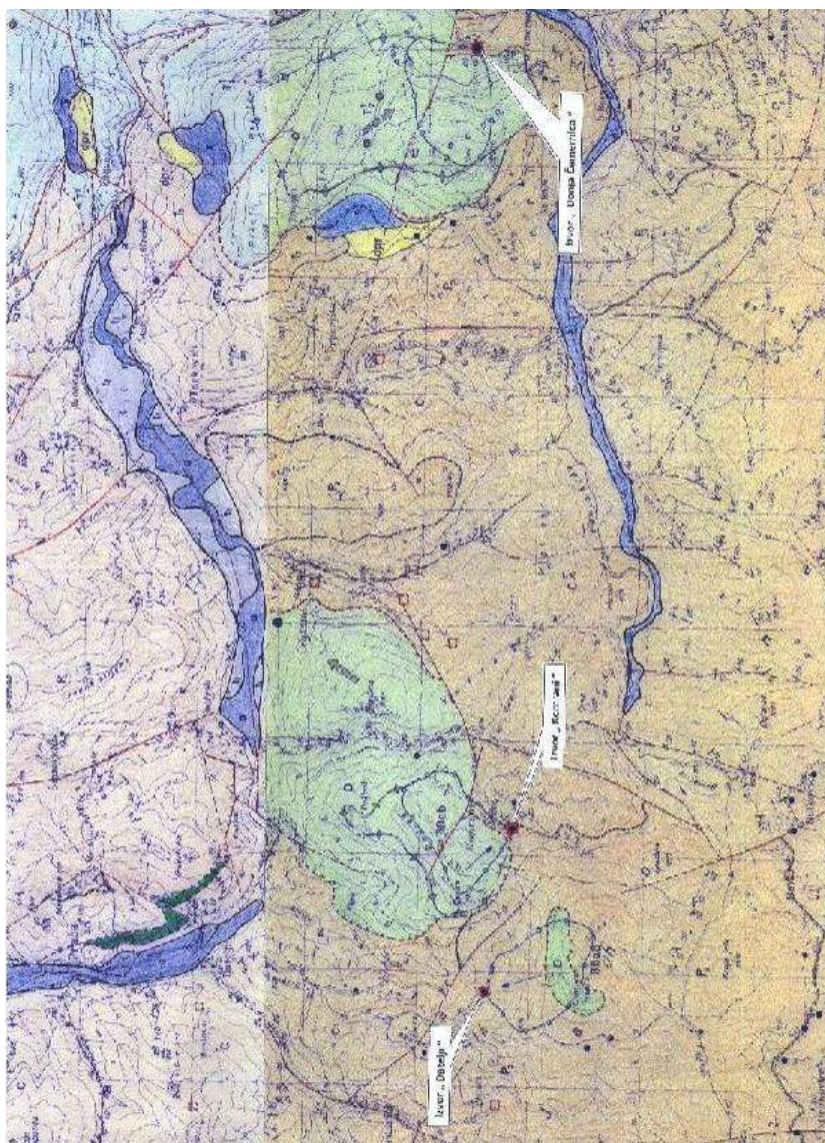
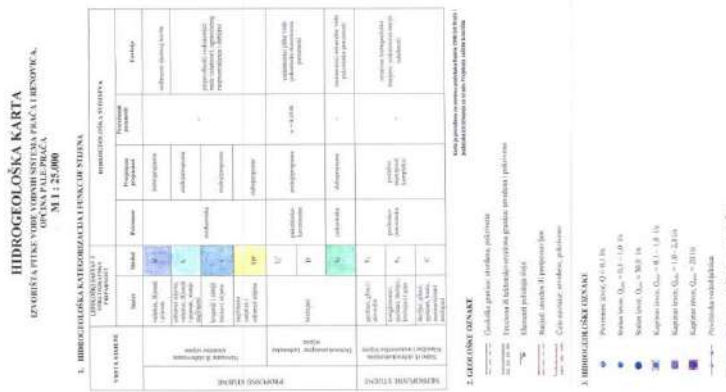
U zoni izvorišta „Datelji” konglomerati perma su jako raspadnuti tako da mjestimično poprimaju karakter stijena međuzrske poroznosti u kojim se formira akumulacija podzemnih voda ograničenog rasprostranjenja i debljine. Kroz raspadnuti materijal vrši se cijeđenje podzemnih voda iz vodonosnika tako da izvorište „Datelji” ima karakter izvorišta „sekundarnog tipa”.

Prihranjivanje vodonosnika vrši se infiltracijom padavina, a pražnjenje, najvećim dijelom, na izvorima manje izdašnosti. Nivo podzemnih voda u vodonosniku je slobodan.

U podini vodonosnika su nepropusne stijene karbona i perma predstavljene škriljcima i glincima.



**Slika 11** – Raspadnuti škriljci i glinci perma kod izvorišta u Dateljima



Slika 12 – Hidrogeološka karta šireg područja Čeljadinića

## ZAKLJUČAK

- Izvorište "Datelji" se nalazi oko 3,5 km južno od Prače „Komrani“ se nalazi cca 4 km jugoistočno od Prače a „Donja Čemernica“ se nalazi oko 4 km jugoistočno od Hrenovice. U administrativnom pogledu pripadaju općini Pale – Prača.
- U geološkom pogledu, teren izgrađuju prvenstveno paleozojske naslage. Mlađe tvorevine, predstavljene isključivo aluvijalnim sedimentima, se pojavljuju samo u duboko usječenju dolini Prače i njenih pritoka. U sastavu vodonosnih naslaga su krečnjaci, valutice stijena, šljunak i pijesak. Nivo podzemnih voda u vodonosniku je slobodan. U podini vodonosnika su nepropusne stijene karbona i perma predstavljene škriljcima i glincima.
- U terenima Prače izdvajaju se dvije hidrogeološke kategorije stijena:
  - Propusne stijene,
  - Pretežno nepropusne stijene.
- Izdašnost izvorišta u minimumu iznosi cca  $Q_{\min} = 8,5$  l/s,
  - Izdašnost izvorišta "Datelji" cca  $Q_{\min} = 1,5$  l/s,
  - Izdašnost izvorišta „Komrani“ cca  $Q_{\min} = 2$  l/s i
  - Izdašnost izvorišta „Donja Čemernica“ cca  $Q_{\min} = 5$  l/s.
- Nivo podzemnih voda u vodonosniku je slobodan. U podini vodonosnika su nepropusne stijene karbona i perma predstavljene škriljcima i glincima.

## LITERATURA

- Brkić, Z. (1986.): Osnovna hidrogeološka karta BiH list Prača – Izvještaj II faze istraživanja, RO „Geoinženjering“ Sarajevo OOUR „Geoinstitut“ Ilidža.
- Brkić, Z., Lutvić, A. (1990.): Tumač Osnovne hidrogeološke karte list Prača 1:100.000, DP „Geoinstitut“ - Sarajevo.
- Čičić, S. (2002): Geologija Bosne i Hercegovine. Institut za geologiju Građevinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. Sarajevo.
- Čičić, S. (2002): Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine, p. 1-350. Earth Science Institute. Sarajevo.
- Galić, V., Bursać, Z., et al, (2006): Prostorni plan Kantona Sarajevo za period od 2003 do 2023 godine. Zavod za planiranje razvoja kantona Sarajevo. Sarajevo.
- Hrvatović, H. (2006.): Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo.
- Josipović, J. (1971.): Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine, Geološki glasnik knj.15., p. 233-275. Geoinženjering, Sarajevo.
- Katzer, F. (1926): Geologija Bosne i Hercegovine, Direkcija državnih rudarskih preduzeća u Sarajevu.
- Kubat, I. (1982.): Metalogenija i prognoza čvrstih mineralnih sirovina u trijasu BiH, Posebno izdanje Geol.glasnika, knj.XVIII, Geoinženjering, Sarajevo.
- Kulenović, E. (1987.): Mineralizacije u paleozoiku jugoistočne Bosne, Geološki glasnik knj.31-32., p. 144-155. Geoinženjering, Sarajevo.



- Kulenović,E. (2006.): Paleozoik jugoistočne Bosne, Geološki glasnik knj.36., p. 30-90. Federalni zavod za geologiju, Sarajevo.
- Miošić,N.(1982.): Genetska kategorizacija mineralnih, termalnih i termomineralnih voda BiH, Geološki glasnik knj. 27, p.221-258, Geoinženjering, Sarajevo.
- Skopljak,F. et al (2000.): Mineralne vode u Prači kod Sarajeva i njihov značaj za razvoj zdravstvenog turizma, "Voda i Mi", JP "Vodno područje sliva rijeke Save", Sarajevo
- Skopljak,F. et al (2009.): Mineralne vode jugoistočne Bosne, Arhiv Tehničkog instituta Bijeljina.
- Slišković, I., 1983: Hidrogeološka rajonizacija i bilans podzemnih voda u pukotinskim i karstno pukotinskim masama BiH, FSD Zavod za geologiju – Sarajevo, Sarajevo.
- Slišković,I. (1983.): Hidrogeološke značajke sliva rijeke Drine na teritoriji SR BiH, Geološki glasnik knj. 28, p.155-218, Geoinženjering, Sarajevo.
- Vujnović,L. et al.( 1981 ): Osnovna geološka karta SFRJ i tumač, list Prača 1 : 100 000, Savezni geološki zavod – Beograd
- Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo (2010.): Projekat zaštite izvorišta pitke vode vodnog sistema „Komrani“, Općina Pale-Prača,
- Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo (2010.): Projekat zaštite izvorišta pitke vode vodnog sistema „Datelji“, Općina Pale-Prača,
- Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo (2010.): Projekat zaštite izvorišta pitke vode vodnog sistema „Donja Čemernica“, Općina Pale-Prača,

## Linear and Nonlinear Modelling in the Stavnja Valley, Bosnia and Herzegovina

JASMINKA ALIJAGIĆ AND ROBERT ŠAJN

GEOLOGICAL SURVEY OF SLOVENIA, DIMIČEVA UL. 14, 1000 LJUBLJANA, SLOVENIA  
JASMINKA.ALIJAGIC@GEO-ZS.SI, ROBERT.SAJN@GEO-ZS.SI

### ABSTRACT

The present study investigated the metal content in soil samples along the Stavnja valley, Bosnia and Herzegovina. The valley is known with intensive mining and metallurgical activities for more than 100 years. At 111 sampling sites from two soil horizons, topsoil (0-5 cm) and subsoil (20-30 cm) have been collected. Analysis of 36 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W and Zn) was performed at the ACME, Ltd. laboratory in Vancouver, Canada.

The chemical analysis and obtained geospatial data have been processed by geostatistical methods. Based on multivariate statistical methods (clusters and factor analysis) one anthropogenic and three geogenic geochemical associations have been isolated. The optimal methodology for spatial distribution predictions of concentrations using linear and non-linear mathematical methods have been established and tested. Three following applied methods are Segment Kriging, Polynomial Multiple Regression and Artificial Neural Network - Multilayer Perceptron.

**Key words:** Linear modelling, nonlinear modelling, trace elements, remained mine fields, Stavnja valley, Bosnia and Herzegovina

### INTRODUCTION

The valley has been selected as a study area because of several reasons. High concentrations of particular elements are released into environment not only by anthropogenic activities but also by natural erosion and weathering reactions of parental rocks what adds to the complexity of the environmental assessment. The study area has a very interesting geology, which can be represented by isolated lithological units where the oldest are on the north and younger on the south of study area. This regular layout is quite unique and makes this study area more interesting and challenging for the geochemical investigation. Here are present two types of contamination, atmospherically and river transport, respectively. The valley of river Stavnja is very narrow, surrounded with steep hills and contamination is transported down to the river accumulating into alluvial sediments. Even the atmospheric particles have the direction N-S. Problem of contamination along the river can be demonstrated as anisotropic appearance between the layered (isotropic) lithological units. Complex problems can be partially solved by using denser and more regular sampling grid, but due to presence of remained minefields and high cost and time consuming nature of soil sampling, the research had based in developing methods for the creation of soil maps based in various prediction methods. Development of linear and nonlinear prediction methods that use secondary attributes sourced from the DEM, land use, and remote sensing in combination with sparse and expensive soil measurements has been sharpening focus of research. Applying various modelling techniques different prediction methods for soil prediction were compared, but the best combination of prediction method and secondary information has been chosen as well. Various modelling techniques help us in reconstruction simultaneously different processes that influenced the entire study area.

Because of study complexity such as the anthropogenic, geogenic, morphological influence as well as restriction in sampling possibilities due to presents of the remained minefields, three various methods of

prediction the Segment Kriging, Polynomial Multiple Regression and Artificial Neural Network - Multilayer perceptron have been applied.

## STUDY AREA

The river Stavnja has a length about 35 km, located in the Central Bosnia and Herzegovina, northern from the capital Sarajevo. In its valley live about 30.000 inhabitants, mostly settled in two small cities Vareš and Breza. The study area is large 104 km<sup>2</sup>, mostly covered by forest 57 km<sup>2</sup> or 55%. Meadows, pastures and cultivated land cover 37.4 km<sup>2</sup> or 36%, settlements 4.5 km<sup>2</sup>, industrial zone 1.2 km<sup>2</sup>, and open mine pits 3.6 km<sup>2</sup>. This valley is a very narrow valley surrounded with steep hills with average width about 5 km. The river Stavnja springs at 1080 m, but ends at 430 m. The valley belongs to the temperate continental mountain climate zone, with cold winters and moderately warm summer. In general, autumn is warmer than spring.

In the region of Vareš municipality, mineral exploitation begun already in the Antique period but with arrival Austrians to Bosnia, Vareš admire revival in economy aspect. The iron ore deposits are conducted to the Triassic structures. The mine Vareš is the oldest and largest in Bosnia and Herzegovina, comprising of three areas of exploitation: Smreka, Droškovac and Brezik. The mining zones of aforementioned areas make one geological unit. In 1991, open pit's reserves and resources in the mentioned three Fe ore deposits have been deemed to 169 million tonnes. Beside the main iron ore minerals, hematite and siderite there are present various metal ore sulphides of Cu, Pb, Zn, As, Sb and Sn. Lead, zinc and barite Veovača open pit sits about 10 km eastern of Vareš. Sulphide mineralization is associated with layers of barite and have volcanogenic – sedimentary genesis. Inside of these deposits hydrothermal processes have formed some minor veins reached with various minerals.

Construction of the ironworks and metal foundry in Vareš begin in 1891. Until 1991, it was operated within one company called "Mine and Ironworks Vareš". The ironworks have been the second largest ironworks in Bosnia and Herzegovina. All activities in the ironworks have ended in 1998, when two furnaces were overthrown because of disuse technology and unprofitability. A town Breza with surrounding settlements is developed on river terraces of the river Stavnja. It is known with brown coal mining. This coal basin belongs to the Central Bosnian coal basin that lies along the river Bosna.

## MATERIALS AND METHODS

The sampling design has been initiated to provide high quality environmental geochemical baseline data for the Stavnja Valley. The data are based on sampling of soil, stream sediment and attic dust collected from all over study area. High quality and consistency of the obtained data are ensured by using standardised sampling methods and by treating and analysing all samples in the same way. Preparation of sampling design has been the most challenging part, because of the remained minefields from the last war (1992-1995). At 111 sampling sites from two soil horizons, topsoil (0-5 cm) and subsoil (20-30 cm) have been collected. Analysis of 36 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W and Zn) was performed at the ACME, Ltd. laboratory in Vancouver, Canada. Beside the chemical analyses, various geospatial data been obtained either as open data on websites freely (such as Digital Elevation Model DEM, satellite images, and Google Earth topography) or at the archives of public institutions in Slovenia or Bosnia and Herzegovina.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Statistical treatment

Chemical analysis and obtained spatial data have been processed by the univariate, bivariate, and multivariate statistical methods. The concentration ratios according to the lithological units and determined zones are identified but also the statistical tests for statistical significance and assumptions

have been performed. Based on multivariate statistical methods (clusters and factor analysis), four dominant geochemical associations were extracted. The Factor 1 associates the high concentration of Pb, Zn, Hg, Cd, Cu, Bi, Ag, Sb, Mo, W, Mn, Ba, Fe, and Tl. The group represents chemical elements that are the most probably anthropogenically distributed, associated to the main industrial and mine zone, and alluvial sediments found downstream of the river Stavnja. Three next factors, F2 (Ni, Cr, Co, and Mg), F3 (Th, La, As, and Sc), and F4 (Al, Ti, V, and Ga) are associating elements that are most probably naturally distributed and influenced by lithology.

#### **(Geo) Spatial data**

From the land use map and Digital Elevation Model (DEM) many geospatial data had been sourced and later used in modelling. The main purpose of use such parameters (data), is helpful in preparation of spatial distribution of particular elements as a final product. Geochemical maps, as final products are necessary in understanding both, natural and anthropogenic processes.

Due to high cost and time-consuming nature of soil sampling, research in developing methods for the creation of soil maps from sparse soil data is becoming increasingly important. In recent years, the development of prediction methods (linear and nonlinear) that use secondary attributes sourced from the DEM, land use, and remote sensing in combination with sparse and expensive soil measurements has been sharpening focus of research. Consequently, the potential for using such information to soil mapping at the within fields extent is greater than ever before. Applying various modelling techniques different prediction methods for soil prediction were compared, but we also choose the best combination of prediction method and secondary information. Various modelling techniques help us in reconstruction simultaneously different processes that influenced the entire study area. They main purpose is not only the isolation of hotspots with highest concentrations, but they are providing a spatial distribution pattern of particular trace elements. Simultaneously they distinguish natural and anthropogenic influences as well as transportation pattern such as atmospheric or water transport. Studying aforementioned fact, it will help us in better interpretation and understanding processes that happened in some certain period time that they are related to.

All aforementioned data been used for preparing spatial distribution models using two predicting methods, modelling by Multiple Polynomial Regression and Artificial Neural Network - Multilayer Perceptron, respectively. For both modelling methods a recall grid has been used. The whole study area is divided to 50 x 50 m grid. Total number of recall points is 41.471. The both methods were treated by same conditions and same software packages, Statistica 11 (Stat Soft Inc., 2012) and Surfer 11 (Golden Software Inc., 2012). The segment Kriging is linear method and concerns the sparse measured data only.

#### **CONCLUSION**

Modelling with ANN-MP and MPR is representing a milestone in geochemical investigations and mapping. Main advantages of those methods are first of all that we can construct very eventful and complete maps with spatial distribution of particular elements or geochemical association, sampling at high risk sites can be avoided (such as the Stavnja valley), also number of sampling sites can be reduced but the maps can still remain very qualitative. Reduce number of samples means in same time less time consuming operations such as is sampling itself and analytical measurements.

## Hidrogeološka istraživanja za zaštitu podzemnih voda špilje Vjetrenica u Popovom Polju

mr. sc.. IVAN ANTUNOVIĆ, dip. ing.  
e-mail : iv\_antun@yahoo.com  
adresa : RH, 21000 Split, Gajeva 9.

### Sažetak rada

Vjetrenica je najveća i najpoznatija špilja u Bosni i Hercegovini i zaštićeni spomenik prirode u jugoistočnom dijelu Hercegovine. Nalazi se na zapadnom rubu Popova polja, u općini Ravno u području Zavale. Ukupno je otkriveno oko 6.700 metara podzemnih kanala. Speleološke značajke ove špilje su njena ljepota, prostrani hodnici i dvorane, nakupine siga, bogat biološki svijet s jezerima, vodopadima te više stalnih potoka i mnogobrojnih manjih tokova koji teku u smjeru pada špilje, odnosno prema Popovom Polju. Dobila je ime zbog snažnog strujanja zraka na ulazu i na nekoliko mjesta u njenoj unutrašnjosti. Zaštićeni je spomenik prirode od 1950. godine, a 1981. proglašena je geomorfološkim rezervatom prirode.

U sklopu izrade "Studije plana upravljanja za zaštićenu prirodnu vrijednost špilje Vjetrenica" (OIKON d.o.o. iz Zagreba i IGH-MOSTAR d.o.o) su obavljena detaljna hidrogeološka istraživanja njenog šireg područja. Polazeći od činjenice da je sama geneza špilje i svekoliki biološki život vezan za podzemne vode, hidrogeološki pristup zaštite ovog zaštićenog spomenika prirode bio je da se utvrde mjere i režimi zaštite podzemnih voda koje teku kroz špilju. U tom cilju postavljena je zadaća da se hidrogeološkim istraživanjima odredi slivno područje podzemnih voda koje dotječu u špilju i da se na utvrđenom prostoru odrede zaštitne zone sa mjerama i režimima zaštite. Uz korištenje rezultata postojećih geoloških i hidrogeoloških karata, obavljena su i detaljnija fotogeološka i geomorfološka istraživanja površini terena na širem području i na temelju utvrđenih dodatnih rezultata načinjen je hidrogeološki model sliva podzemnih voda koje dotječu u špilju. U radu će biti prikazani rezultati provedenih geomorfoloških i hidrogeoloških istraživanja, rekonstrukcije pravaca okršavanja u podzemlju i tečenja podzemnih voda, te utvrđene zaštitne zone podzemnih voda špilje Vjetrenica.

Temeljna poruka rada: Na primjeru uspostave zaštite špilje Vjetrenica ukazati na neophodnost i značaj provedbe geoloških i hidrogeoloških istraživanja u postupku zaštite spomenika prirode i parkova prirode.

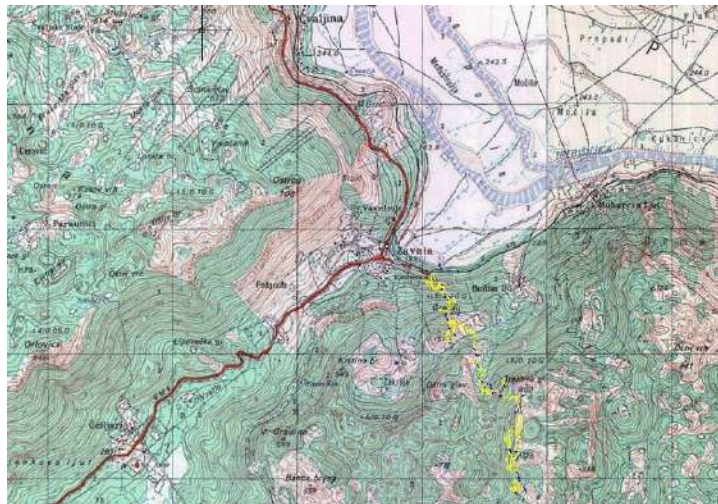
Ključne riječi : špilja (cave); polje (polje); krško vrelo (emergence); kavernozan (cakavernous)

### Područje istraživanja

Istraživanjem je obuhvaćeno područje masiva Trčine, doline Zavala – Orahov Do, šire područje Belinića i Kijev Dola te masivi Crno Osoje i Boban na površini od približno 95 km<sup>2</sup>. Terenska snimanja špilje Vjetrenica obavljeno je uz značajnu stručnu pomoć speleologa Stjepana Karačića dipl. ing. geologije. Terenski radovi obavljani tijekom mjeseca rujna 2010. godine.



Sl. 1. Ulaz u špilju Vjetrenica



Sl. 2. Karta šireg područja špilje Vjetrenica (prikazana žutim crtama)

Rezultati obavljene fotogeološke obrade su provjereni i dodatno snimljeni terenskim geološkim, hidrogeološkim i gomorfološkim kartiranjem.

### **Geološke značajke šireg područja**

Geološkim istraživanjima obuhvaćeno je detaljno snimanje strukturo tektonskih i litoloških značajki, a podaci o stratigrafskoj pripadnosti stijena su u najvećoj mjeri preuzeti sa OGK listovi Ston i Trebinje.

Šire područje istraživanja je dio krila velike navlake „visokog krša“ čije se čelo pruža uglavnom duž obalnog područja Jadranskog mora.

Sve geološke strukture imaju dinaridski pravac pružanja t.j. sjeverozapad – jugoistok s padom slojeva najčešće od 15° do 45° u pravcu sjeveroistoka.

### **Stratigrafsko litološke značajke šireg područja**

Šire područje izgrađuju karbonate stijene mezozojske starosti jure i krede, te kvartarne naslage u Popovom polju i nekoliko manjih lokacija u planinskom području. Zbog relativno složene tektonske

poremećenosti, raspored stratigrafskih članova je dosta zamršen, a granice su na pojedenim dijelovima terena dane na temelju superpozicije i litoloških značajki znakovitih za pojedine stratigrafske članove.

Jurske naslage su zastupljene nešto više na području Zavale i planinskom dijelu terena oko Belinića i Kijev Dola. Znakovito za gornje jurske naslage je česta bočna i vertikalna izmjena dolomita i vapnenaca.

Donja i srednja jura su izdvojene kao lijas – doger. Izgrađuju ih oolitični vapnenci. Pojave dolomita u ovim naslagama su rijetke i to samo u središnjim dijelovima kao ulošci debljine oko 5 m. Ukupna debljina ovih naslaga je procijenjena na 280 m.

Gornja jura ( $J_3^{1,2}$ ) je kontinuirano istaložena preko vapnenaca lijasa-dogera. Uglavnom su to sivi i svijetlosmeđi vapnenci uslojeni sa debljinom slojeva od 0,5 do 1 m. Najniže razine ovih naslaga sadrže manje uloške tanko slojevitih vapnenaca i rjeđe dolomita. Ostalo su uglavnom debelo uslojeni vapnenci sa rijetkim ulošcima dolomita. Ukupna debljina ovih naslaga je procijenjena na oko 300 m.

Gornja jura ( $J_3^{2,3}$ ) izgrađena je od serije dolomita i vapnenaca koji se vertikalno i bočno smjenjuju. Terenskim kartiranjem približno je utvrđen litološki stup ovih naslaga. U najnižim razinama ove serije se pojavljuju tanji slojevi dolomita i vapnenaca, srednji dio je od uslojenih dolomita i vapnenaca. a Najviše razine ove serije su slojeviti i tanko slojeviti dolomiti sa ulošcima vapnenaca. Na površini terena ove naslage su zastupljene u području Zavale i to njeni najviše razine te u području Golubinca, Belinića i Kijev Dola.

Kredne naslage su najviše rasprostranjene na istraživanom području. Stratigrafski su izdvojene dvije razine prema pojavama znakovitih fosilnih ostataka (cennman – turon i turon – senon).

Stariji dio donje krede ( $^1K_1$ ) izgrađuju sivi i svijetlo sivi vapnenci sa mjestimičnim pojavama dolomita. Niže razine su izgrađene uglavnom od sivih i svijetlosmeđih vapnenaca sa mjestimičnim pojavama dolomita.

Više razine su predstavljene uglavnom vapnencima sa dosta rijetkim pojavama dolomita koji se bočno smjenjuju u vapnence tako da ih se u strukturama teško mogu pratiti. Ukupna debljina ovih naslaga se kreće oko 500 m.

Gornji dijelovi donje krede ( $^2K_1$ ) su izgrađene od sivih i tamno sivih uslojenih vapnenaca sa vrlo rijetkim tanko slojevitim umetcima dolomita. Debljina slojeva se kreće od 20 do 60 cm. Ukupna debljina ove serije je oko 450 m.

Unutar prelazne serije između donje i gornje krede ( $K_{1,2}$ ) serije javljaju se dobro uslojeni dolomiti i dolomitični vapnenci. Na površini terena izgrađuju istočne padine Oštrog vrha – Nemanska kosa prema Grmljanima. Približna im je debljina oko 450 m.

Kvartarne naslage ( $Q$ ) se najvećim dijelom nalaze u Popovom Polju i izgrađene su od pijeska, šljunka, ilovače i humusnog pokrivača. Debljina ovih naslaga u području Zavale je do 15 m. Deluvijalni i djelom glečerske naslage izgrađene od drobine, ilovače i crvenice sa humusom na površini terena i nalaze se na nekoliko lokacija u planinskom dijelu oko Bjelinića i Kijeva Dola. Pećinski sedimenti su vezani za spilje na ovom području (poglavito Vjetrenica) sa pojavom stalaktita i stalagmita, pećinske drobine i mulja.

#### Struturno tektonske značajke

Cijelo istražno područje je strukturno i tektonski dosta poremećeno. Ono pripada sjeveroistočnom krilu tzv. navlake visokog krša sa znakovitim dinaridskim pružanjem struktura.

Cijela struktura blago pada u pravcu Popova Polja u vidu većih i manjih sekundarnih bora. U pravcu Nardišta (sjeveroistočno od G. Trebimlja) – Česljari – Belinići i dalje prema jugoistoku, zbog većeg broja reversnih i velikih normalnih rasjeda, starije naslage su relativno izdignute što na ovom dijelu trena daje formu tzv. kvazi antiklinale koja u hidrogeološkom pogledu ima značajnijeg utjecaja na pravac razvoja okršavanja i tečenja podzemnih voda.

Od razlomne tektonike vrlo su izraženi reversni rasjedi na području Česljara kao i velikih dijagonalni normalni rasjedi koji se od Orahova Dola pružaju u pravcu juga i jugozapada.

U području Zavale postoji nekoliko izrazito velikih normalnih rasjeda od koji se jedan pruža od Čvaljine – V. Gradina prema Golubincima i dalje prema jugu. Za ovaj rasjed je znakovit dosta veliki skok blokova. (Sl. 3.)



*Sl.3. Veliki normalni rasjed u području Čvaljine na usjeku puta prema Zavali*

Drugi veliki rasjed je od Rudin Dola u pravcu Golog brda i dalje u pravcu juga.

Treći veliki normalni rasjed je od Mareve Ljuti preko Kijeva Dola u pravcu juga.

Osim po svojoj veličini ovaj rasjed je znakovit po velikom skoku blokova. Također su vrlo znakoviti i rasjedi pružanja sjeverozapad – jugoistok u području Klisura, a koji su utvrđeni i u špilji Vjetrenica tijekom njenog pregleda. (Sl.4.)

Za sve navedene normalne rasjede su znakovite česte promjene veličine i pravca pada, a također i pojave strija kao tragova znatnijeg kretanja blokova.





Sl.4. Jedan od velikih normalnih dijagonalnih rasjeda u špilji Vjetrenica

### Hidrogeološke značajke šireg područja

#### Hidrogeološke pojave

U Popovom Polju su rijetki stalni izvori i vrela. Oni pripadaju grupi pećina sa vodom, a njihova aktivnost je vezana za postojanje dolomitne barijere i antiklinalne strukture između Popovog polja i mora. U razdobljima velikih i srednjih voda nakon dužih oborina iz ovih vrela pojavljuju se znatne količine vode, a u sušnim ljetnim razdobljima dotok još uvijek ne presušuje. Značajnije količine podzemne vode se nalaze u sifonskim dijelovima podzemnih kaverna.



Sl.5 . Satelitski snimak sa generaliziranim prikazom tečenja podzemnih voda

U području oko Zavale pojavljuju se nekoliko takvih vrela, u kojim i u najsušnijim razdobljima u svojim pećinama ima vode.

Među njima su najznačajnija :

- Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica, (Sl.4.),
- Pokrivenik (Mareva Ljut), (Sl.5.)
- Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine. (Sl. 6. i 7.)

Vrelo Lukavac je ranije već ispitivano (M. Radovanović 1924, 1925 i 1926 godine) u sklopu ispitivanja pećine Vjetrenica. Na temelju praćenja rada vrela Lukavac i mjerenja visine razine jezera u donjoj Vjetrenici i bojenja vode u njoj, bilo je naznaka da ove vode nisu u međusobnoj vezi. Međutim istražnim crpljenjem koje je obavio "Institut za korištenje i zaštitu voda u kršu" iz Trebinja (1980 godine) je utvrđeno da vode Lukavca imaju direktnu vezu s vodama donje Vjetrenice.



*Sl. 6. Pećina i vrelo Lukavac ispod ulaza u Vjetrenicu sa stalnom vodom u sušnom razdoblju*

U razdoblju crpljenja iz vrela praćeno je sniženje razine na vodomjernoj letvi u Donjoj Vjetrenici kada je konstatirano sniženje razine vode tijekom crpljenja. To je ujedno bio i razlog da se odustane od daljih istraživanja ovog vrela kao potencijalnog izvorišta. Crpljenje je obavljeno u sušnom razdoblju i nakon prestanka crpljenja razina podzemne vode se vrlo brzo vratila na prvobitnu razinu.

Vrelo Pokrivenik, nalazi se ispod sela Mareva Ljut, ima oblik pećine koja je u sušnom razdoblju ispunjena vodom. (Sl.7.) Tijekom 1980 godine (kolovoz – rujna) na ovom vrelu su obavljena dva istražna crpljenja.

Prvo crpljenje trajalo je samo tri sata. Drugo crpljenje je trajalo od 15 do 27 rujna. Crpljeno je sa količinama od 20 – 30 l/s i razina vode je u pećini za razdoblje crpljenja oborena za cca 5 m. Zbog pojave zasipanja kanala šljunkom dalje crpljenje i sniženje razine vode je obustavljeno i tim je dalje istraživanje na ovom vrelu prekinuto.



Sl.7. Vrelo i pećina „Pokrivenik“ – lokacija Mareva Ljut u sušnom razdoblju

U razdoblju velikih voda iz ovog vrela se pojavljuju količine veće od 1 m<sup>3</sup>/s



Sl. 8. Pećina i vrelo Čvaušnik sa stalnom vodom u sušnom razdoblju



Sl. 9. Vrelo Čvostik u neposrednoj blizini pećine Čvaušnik sa stalnom vodom u sušnom razdoblju

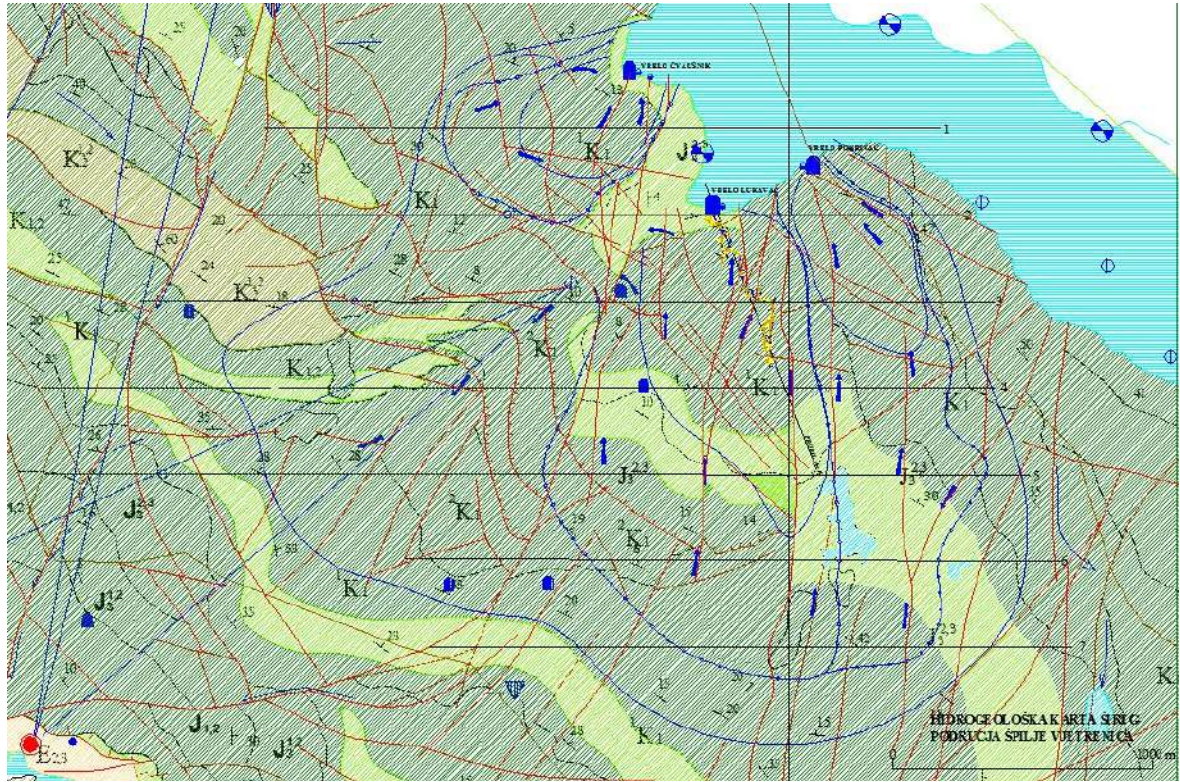
Vrelo Čvaušnik nije posebno istraživano. U zimskom razdoblju maksimalna izdašnost ovog vrela je procijenjena na više od 100 l/s. (Sl. 8.)

#### Hidrogeološke jedinice

U hidrogeološkoj raščlambi stjenovitih masa izdvojene su četiri hidrogeološke jedinice koje se međusobno razlikuju po tipu poroznosti, provodnosti te kolektorskim značajkama.

Izdvojene su :

- Stijene međuzrne poroznosti i vrlo dobre izdašnosti kojima pripadaju kvartarne nevezane i slabo vezane naslage šljunka i pijeska prekrivenih zaglinjenim karbonatnim prahom, te konglomerati i osulinski materijal. To su pokrovne naslage Popovog Polja. Između Zavale i Ravnog debljina aluvijalnog pokrivača je oko 10 – 15 m. U području Zavala – Ravno u ukupnoj masi ovih aluvijalnih naslaga prevladava šljunak, pijesak, ilovača i humusni pokrivač na površini terena.
- Stijene međuzrne poroznosti i osrednje izdašnosti kojim pripadaju nevezane ili slabo vezane klastične naslage, fluvijalno-glacijalne naslage, karbonatno kršje sa crvenicom, deluvij, glacijalni i fluvioglacijalni materijal. Nalaze se na više mjesta istraživačkog područja gdje najčešće popunjavu depresije velikih vrtača i krških uvala.
- Stijene kavernozone i pukotinske poroznosti, vrlo dobre provodnosti. U sklopu trena imaju funkciju krškog kolektora s relativno dubokom bazom okršavanja i primarnim pravcima tečenja uz srednje, velike i vrlo velike regionalne rasjede. Pripadaju im vapnenci s rjeđim lećama i ulošcima dolomita. Uglavnom su to jurski i kredni vapnenci. Zauzimaju najveći dio istraživačkog prostora.
- Stijene u kojim prevladava pukotinska poroznost, a pojava kaverni vezana je uglavnom samo za velike rasjede. Pripadaju im čvrste karbonatne stijene izgrađene od dolomitičnih vapnenaca i dolomita. Uglavnom su to naslage gornje jure i nešto manje donje krede. To su naslage dolomita i vapnenaca u izmjeni. Na površini se pojavljuju u vidu izduženih i isprekidanih zona. Zbog čestih bočnih i vertikalnih litoloških promjena nisu uvijek kontinuirano rasprostranjeni u podzemlju. Karakteristično je da se duž većih lomova unutar ovih dolomita po pravilu javljaju kaverne većih dimenzija. (Sl. 10.)



**KAZALO HIDROGEOLOŠKE KARTE**

**HIDROGEOLOŠKE JEDINICE**

| GRAFIČKI PROKAZ | VRSTA STIJENA   | HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE   |  |   |   |
|-----------------|---|--|--|---|---|
|                 | KVADRANTNE ALIUVIALNE NARUŠE U POPOVOM POLJU ŠILJAK I TERAK. PERLOVENI ZANJEDBENI KARBONATNI PRAMENI I KOKOLIČIČI   | MEĐUZONA POROZNOŠTI VELO DOBRA IZDAŠNOST   |  | ČVRSITE KARBONATNE STIJENE IGRABENE OD VAPNENACA I DOLOMITA UZEMENI SA BILNOŠTOM I FAVKULIČAROVITE VAPNENCI, BESPASTI I PLOČASTI VAPNENCI | PREVLADAVA PEKOTINSKA POROZNOŠTA POJAVA KAVEŽI UGLAVNOM JE VEZANA ZA ZONE U VELIKO I REGIONALNE KLASIČNE OSMRETE I REPERIVOSTI U SKLOPU TERENA DAKU FUNKCIJU HIDROGEOLOŠKOG KOLEKTORA |
|                 | KVADRANTNE NEVEZANE ILI SLABO VEZANE KLASIČNE NARUŠE FLUVIJALNO GLACIJALNE NARUŠE KARBONATNO KREK I OSMRETOVA DELIŠI, GLACIJALNI I FLUVIJALNOGLACIJALNI SEDIMENTI | MEĐUZONA POROZNOŠTI I OSMRETI IZDAŠNOST  |  | ČVRSITE KARBONATNE STIJENE IGRABENE OD DOLOMITA I IČAMA VAPNENCA  | PREVLADAVAJUĆA SU VELO DOBRO I REGIONALNE KLASIČNE OSMRETE I REPERIVOSTI U SKLOPU TERENA DAKU FUNKCIJU HIDROGEOLOŠKOG KOLEKTORA   |
|                 | ČVRSITE KARBONATNE STIJENE OD VAPNENACA, VAPNENACI I DOLOMITA, IČAMA I FROKOLIMA DOLOMITA   | KAVERNIZIRANA I PUKOTINSKA POROZNOŠT VELO DOBRO IZDAŠNOST U SKLOPU TERENA DAKU FUNKCIJU ZNAKOVITOG KREKOG HIDROGEOLOŠKOG KOLEKTORA I REALNOŠĆU POKROVA BAZOM OSMRETOVANJA I PRIZNAKNI PRAVCIMA PODZEMNOG TEČENJA UZ SREDNJE, VELIKE I REGIONALNE RASBEDE |  | RAZLIČITE TUBE U ZEMENI, LAPORI, PRIZNAKNI LAPOROVITI VAPNENCI, KREK I DOLOMITI I IČAMA I FROKOLIMA                                       | VELO DOBRO I REGIONALNE POROZNOŠTI, VELO DOBRO I REGIONALNE IZDAŠNOSTI U SKLOPU TERENA OVEŠTIRI SU PRAKTIČNO VODOPROPUŠNE I PREDIŠTA I LAJU UGLAVNOM BOČNU HIDROGEOLOŠKU BARIJERU     |

**GEOLOŠKE OSNAKE**

- strikografska granica, pouzdana, nesiduro postavljena i erozijska
- rasjed manje dužine < 1 km
- rasjed srednje veličine 1 - 5 km dužine
- rasjed veći dužine 5 - 10 km
- rasjed veliki dužine > 10 km
- reversni rasjed
- čelo krajašti
- elementi pada slojeva
- os antiklinale
- os sinkinalne
- os previzute antiklinale

**HIDROGEOLOŠKE OZNAKE**

- podzemna veza utvrđena trasiranjem podzemnih voda
- prikaz koncentracije podzemnih voda i temeljniših pravca tečenja podzemnih voda na temelju rezultata strukturo tektonske rasčlabe šireg područja rekonstrukcije pravaca i intenziteta otkrivanja.
- povremeno vrelo srednje izdašnosti od 100 - 1000 l/s
- povremeno vrelo srednje izdašnosti od 10 - 100 l/s
- hidrogeološka razvodnica približno postavljena
- estaveta
- pozicija jame
- ponor sa povremenim poniranjem vode
- pećina - špilja bez vode
- pećina - špilja sa stalnom vodom

Sl. 10. Pregledna hidrogeološka karta šireg područja špilje Vjetrenica



Sl.11. Pojava kaverni u jurskim dolomitima (usjeka za put Ravno - Zavala)

### Rekonstrukcija okršavanja

Najveći dio brdsko planinskog istraživanog područja je izgrađeno od stijena sa jakom pukotinskom i kavernožnom poroznošću, odnosno pripada području tzv visokog krša. Sve hidrogeološke pojave kao što su hidrogeološke razvodnice, granice slivnog područja i pravci tečenja podzemne vode vezani su za razvoj okršavanja u podzemlju. Da bi se raščlanili bitni hidrogeološki parametri potrebno je načiniti rekonstrukciju okršavanja.

Pristup u rekonstrukciji intenziteta i pravca razvoja okršavanja sastojao se da se na površini terena utvrde povezanosti pojavljivanja krških pojava, poglavito vrtača i jama, sa litološkim i strukturno tektonskim odnosima. Na temelju uočenih povezanosti i detaljne rekonstrukcije geoloških odnosa u podzemlju bi se obavila rekonstrukcija okršavanja u podzemlju te zone koncentracije podzemnih voda i njihovo tečenje.

Za ovu raščlambu odabrano je područje zapadno od Kijev Dola nadmorske visine od 550 do 700 m. izgrađeno od vapnenaca i dolomita. Mjerenja su obavljena prvo na aero snimcima i naknadno kontrolirano na terenu.

Na dijelu terena izgrađenom od vapnenaca i dolomitičnih vapnenaca izabrana su tri dobro uočljiva rasjeda i na dužini od 2 km duž njihove trase su izmjerene ukupne dužine pokrivena krškim pojavama.(Tablica 1.)

Rezultati su:

Tablica 1.

| Tip rasjeda                                     | Dužina trase rasjeda | Približna dužina pokrivena krškim pojavama |
|---|----------------------|--|
| Vrlo veliki rasjed                              | 2000 m               | 1200 m                                     |
| Veliki rasjed                                   | 2000 m               | 1100 m                                     |
| Srednji rasjed                                  | 2000 m               | 850 m                                      |
| Veliki rasjed u području dolomita (Ivanj Dolac) | 1000 m               | 500 m                                      |

Za pukotine uslojavanja je dosta teško naći prigodnu metodu kojom bi se definirao njihov utjecaj na intenzitet okršavanja. Grubim pregledom nekoliko znakovitih površina konstatirano je da su pukotine sa padovima većim od 35° izrazitije okršene, poglavito u koliko se u blizini nalaze veće pukotine ili rasjedi. Pukotine uslojavanja u dolomitima su vrlo slabo okršene, izuzev na mjestima velikih pukotina i rasjeda. (Sl.11.)

Bez obzira na uprošćenost ove raščlambe, ona dosta dobro upućuje da je utjecaj tektonskih lomova i strukturnih oblika, poglavito onih koji u sebi sadrže slojeve dolomita, su bitni u definiranju razvoja okršavanja. Ona pokazuje da se razvoj okršavanja na ovom području treba vezati poglavito za tektonske lomove i dijelom za pravac pada slojeva.

U prikazu strukturno tektonskih i litoloških odnosa (prikazanih na kulisnom modelu područja na sl. 10.) rekonstrukcija pravca okršavanja je vezana za pružanje najvećih tektonskih lomova, dijelom za pravac pada struktura i znakovitih tektonskih lomova unutar tih struktura.

Pregledom spilje Vjetrenica je također utvrđeno da se najintenzivnije okršavanja odvijalo duž većih tektonskih lomova, a sam položaj spilje se podudara na njenom većem dijelu sa trasama velikih tektonskih lomova.

Nastanak spilje Vjetrenica je, osim intenzivnog procesa okršavanja duž tektonskih lomova, vezana i za mjestimična obrušavanja njenih svodnih dijelova.

#### Hidrogeološke razvodnice i slivovi

Utvrđiti hidrogeološke razvodnice u uvjetima dubokog krša kakav je na istraživačkom prostoru, je vrlo složeno. Moguće je dati približne pozicije razvodnica koje će obuhvatiti znakovite rasjede, strukturne oblike kao i površine intenzivne okršivosti koje se nalaze unutar postavljenih razvodnica.

Na temelju navedenih parametara i rekonstrukcije okršavanja na istraživačkom prostoru definirane su približne hidrogeološke, uglavnom podzemne, razvodnice za vrela :

- Pokrivenik (Mareva Ljut)
- Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica, te
- Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine.

#### Vrelo Pokrivenik (Mareva Ljut)

Sliv ovog vrela je izdužen u pravcu juga sukladno pružanju najvećih tektonskih lomova. Razvodnica sa istočne strane obuhvaća približno tjeme kredne antiklinale. Odstupa samo u zoni većih rasjeda i intenzivno okršivih površina terena i zoni razvodnice.

Krajnji dijelovi sliva prema jugu dosežu do stočnih dijelova Belinića i Kijev Dola. Prema slivu vrela Lukavac (Vjetrenice) granica je dijelom duž tjemena blage kredne antiklinale i obuhvaća velike dijagonalne rasjede preko Kijev Dola, Belinića prema klisurama do Radim Dola.

Tečenje podzemnih voda je uglavnom duž velikih rasjeda prema vrelu Pokrivenik. Vode Pokrivenika otječu prema rijeci Trebišnjici. Približne hidrogeološke razvodnice i generalni pravci tečenja podzemne vode prikazani su na hidrogeološkoj karti (Sl.10.)

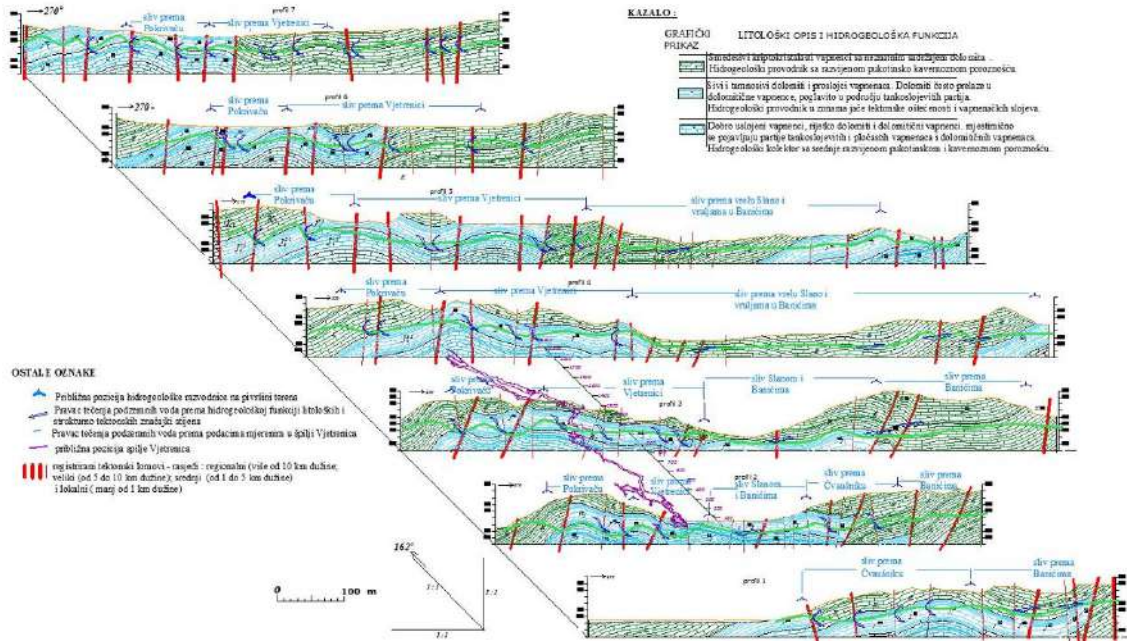
Ukupna površina sliva vrela Pokrivenik je oko 8 km<sup>2</sup>.

#### Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica

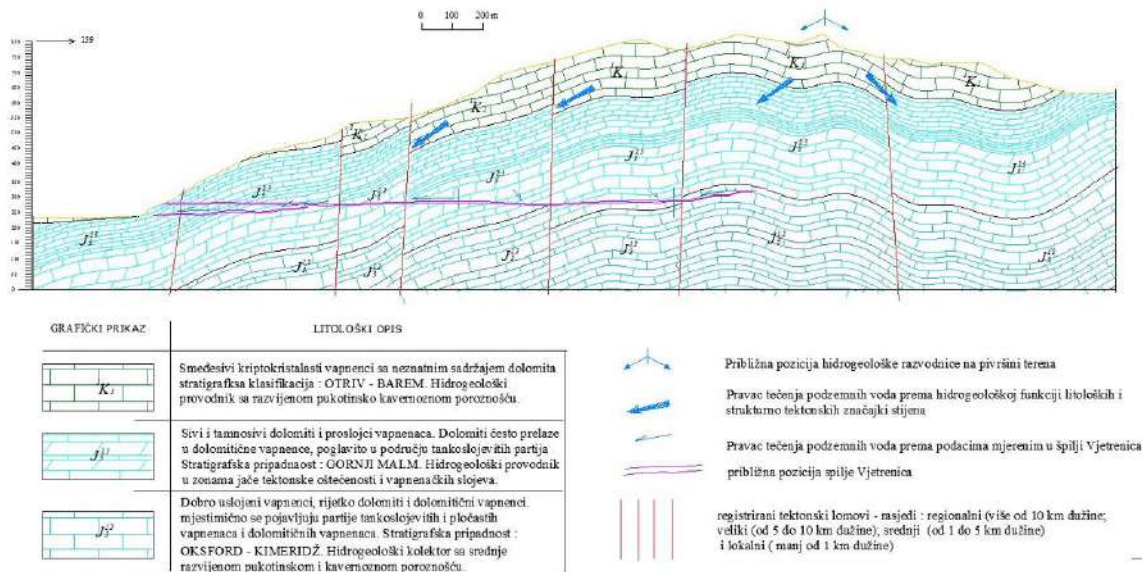
Sliv ovog vrela je veći od sliva Pokrivenika. Hidrogeološka razvodnica sa istočne strane je zajednička sa vrelom Pokrivenik. Na krajnjem jugu razvodnica obuhvaća sela Belenići i Kijev Do, prema zapadu obuhvaća intenzivno okršeno područje Zelenikovac, zatim prema Golubincu i dalje prema Gradini.

Generalno tečenje podzemnih voda je duž pada struktura vapnenaca i dolomita kao i najvećih tektonskih lomova prema špilji Vjetrenica. Sinklinalne forme i podužni rasjedi koji se pružaju duž njihove jezgre predstavljaju zone koncentracija podzemnih voda i njihovog intenzivnijeg tečenja. Podzemne vode

jednim dijelom izlaze na vrelu Lukavac, a jednim dijelom se podzemne vode prelijevaju preko dolomitnog praga prema području Vratla, Češljarima, Orahovu Dolu i dalje prema vrelu Slano i vrelima-vruljama u Banićima na obali mora, a što je dokazano trasiranjem podzemnih voda sa ponora Vratla. Ukupna površina sliva koji pripada vrelu Lukavac i preljevnim vodama prema jadranskom moru iznosi oko 14 km<sup>2</sup>.



Sl. 12. Kulisni blok dijagram šireg područja špilje Vjetrenica



Sl. 13. Geološki profil duž špilje Vjetrenica



### Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine

Sliv prema vrelu Čvaušnik i izvoru Čvostik se nalazi sjeverozapadno od doline Češljari – Orahov Do i znatno je manje od prethodna dva vrela. Hidrogeološka razvodnica je jednim dijelom površinska duž kontakta jurskih dolomita i vapnenaca, sa južne strane je duž velikog reversnog rasjeda, a sa sjeverozapadne strane je postavljena duž tjemena blage kredne antiklinale. Tečenje podzemnih voda je duž nekoliko rasjeda u pravcu vrela. Ukupna površina sliva iznosi oko 3,7 km<sup>2</sup>.

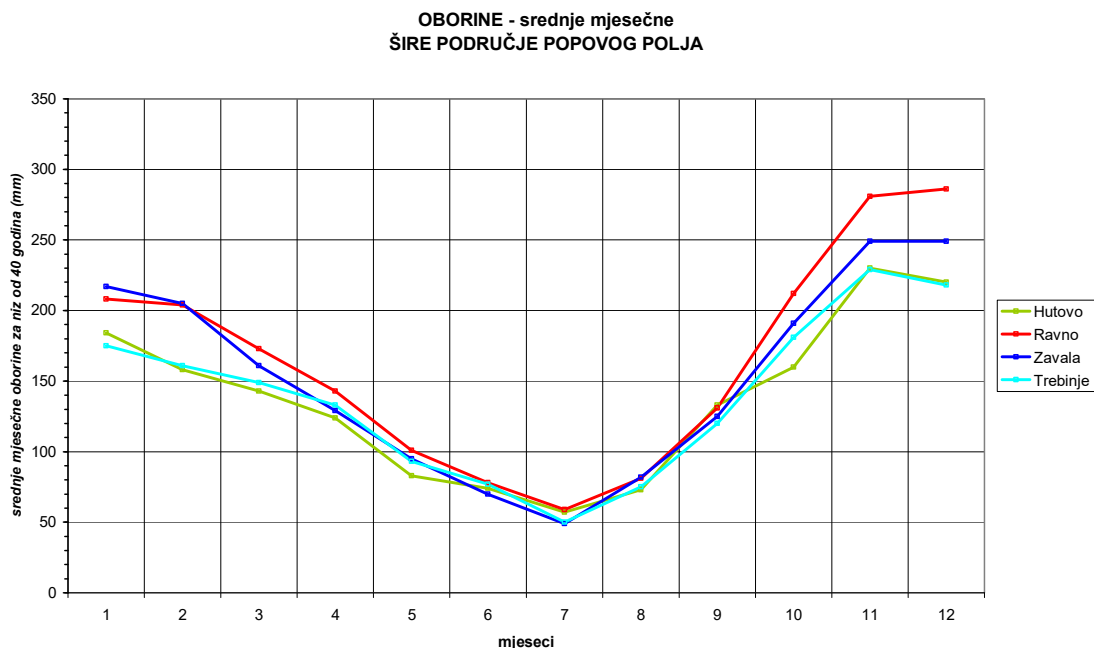
### Hidrološke značajke i bilanca podzemnih voda

Za hidrološku raščlambu korišteni su podaci o oborinama za meteorološke postaje :

- Trebinje (razdoblje 1951 – 1987) - 37 godina
- Ravno (razdoblje 1950 – 1989) - 40 godina
- Zavala - Čvaljina (razdoblje 1947 – 1950; 1953 - 1988) - 40 godina
- Hutovo (razdoblje 1957 – 1988) - 32 godina

Pregled srednjih mjesečnih oborina za navedeno razdoblje je dano na Sl. 14.

Za područje Ravno srednja suma godišnjih oborina iznosi 1957 mm, maksimalne su 2692 mm i minimalne 960 mm. Maksimalne oborine su 37,5 % veće od srednjih i minimalne su 51 % manje od srednjih.



Sl. 14. Grafički prikaz srednjih mjesečnih oborina za približno razdoblje od 40 godina na širem području Popovog Polja

U obradi bilance podzemnih voda ulaze površine slivova vrela

- Vrelo Pokrivenik (Mareva Ljut)
- Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica, te
- Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine.

U proračun hidrogeološke bilance podzemnih voda ( $Q$ ) ulaze podaci o:

- površini sliva ( $P$ )
- ukupnim oborinama na slivu ( $H$ ) i
- gubicima koji nastaju uslijed otjecanja i isparavanja ( $G$ )

$$Q = (P \cdot H) - G$$

Prema statističkim podacima mjerenih na području krša Hercegovine ukupni gubici koji se odnose na isparavanje i djelomično otjecanje iznose oko 55 - 60 %, dobiju se podaci o srednjim izdašnostima :

- Vrelo Pokrivenik (Mareva Ljut) ~ 190 l/s
- Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica ~ 340 l/s
- Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine ~ 90 l/s

### Zaštitne zone

S obzirom da stanje flore i faune u špiljama zavise od kakvoće podzemne vode koja u njih dotječe i protječe, predloženo je da se kao kriterij za zaštitu špilje Vjetrenica koriste kriteriji koji važe za zaštitu podzemnih voda koje se koriste kao sanitarne vode za vodoopskrbu. Predloženo je da se koriste kriteriji iz prijedloga Pravilnika o zaštiti voda BiH, koji se odnose na krška područja, a koji u sebi sadrži direktive EU koje se odnose na zaštitu podzemnih voda.

Kriteriji po ovom prijedlogu su:

I zaštitna zona odgovara prostoru sa kojeg je moguć neposredni utjecaj na podzemne vod

II zona odgovara udaljenosti kojeg podzemna voda pređe u vremenu od 24 sata

III zona odgovara udaljenosti kojeg podzemna voda pređe u vremenu od 1 – 10 dana

IV zona zaštite za ovako male slivove je neprovediva.

Temeljni podatak je vrijeme zadržavanje podzemne vode koja sa površine dotječe do podzemnog toka, odnosno njena brzina tečenja. Taj podatak je ispitan neposrednim mjerenjem brzine tečenja u samoj špilji, a koji iznosi od 1 - 1,5 km/dan što je dosta slično brzinama u hidrogeološkim uvjetima i geološkom sklopu, a koji su izvedeni na širem području Popovog Polja. Na temelju tog kriterija, uzimajući u obzir i dubinu okršavanja (poziciju Vjetrenice) određene su granice za II i III zaštitnu zonu na slivovima sva tri vrela. Granice su prikazane grafički na Sl.8.

### Zaključak

Istraživanja krških fenomena kao što je špilja Vjetrenica trebaju što detaljnije raščlaniti okolnosti koje su uzrokovale njihovo nastajanje. U kršu su to svakako strukturno tektonski i litološki odnosi te utjecaj vode u njihovom sklopu. Obavljena istraživanja upućuju na nekoliko važnih poruka :

- Geološka istraživanja u kršu se moraju što detaljnije obaviti, koristeći se kombinacijom daljinske detekcije i terenskih istraživanja,
- istraživanjima je potrebno obuhvatiti znatno širi prostor da bi se mogli sagledati geološki i hidrogeološki odnosi i u okviru tog šireg prostora definirati parametre koji se odnose na konkretni krški fenomen - špilju u ovom slučaju,
- metode obrade prikupljenih podataka treba prilagoditi odnosima za određeno područje, koji su u kršu, po pravilu, međusobno dosta razlikuju i
- neizostavnu potrebu provedbe detaljnih geoloških i hidrogeoloških istraživanja kod uspostave zaštite spomenika prirode.

## Literatura

1. B. Radovanović: Pećina Vjetrenica, doktorska disertacija, Beograd, 1929.
2. Bojanić L., Ivičić D. Batić V. (1984): Hidrogeološka studija područja Metković-Dubrovnik-Konavle, Geološki zavod, Zagreb.
3. P. Milanović (1984): Analiza hidrogeoloških karakteristika izvorišta Palata – Mali Zaton, Institut za korištenje i zaštitu voda na kršu, Trebinje.
4. Osnovna geološka karta, list Trebinje sa tumačem, M 1: 100.000.
5. Osnovna geološka karta, list Ston sa tumačem, M 1: 100.000
6. Energoprojekt, Rezultati geoelektričnih ispitivanja na području sliva vrela Omble i Plata, Beograd.
7. Institut za korištenje i zaštitu voda u kršu HET, P Milanović, Ispitivanja izdašnosti vrela Lukavac kod Vjetrenice, 1980.
8. Marijanović, P.: Spilje i drugi morfološki fenomeni Hercegovine s prikazom odgovarajućih legendi. Okrugli stol u organizaciji REC-a „Joint rural tourism strategy“, Metković, 2.-4. Srpnja 2002.
9. I. Lučić: Vjetrenica - Pogled u dušu Zemlje, Zagreb 2003.
10. Integra d.o.o. Mostar, Hidrogeološka studija područja općine Ravno, 2009. godina.
11. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Mihovil Vlahinić, Poljoprivredno – melioracijska i agrohidrološka monografija Popova polja, Sarajevo, 2004.
12. OIKON d.o.o. iz Zagreba i IGH-MOSTAR d.o.o: "Studije plana upravljanja za zaštićenu prirodnu vrijednost špilje Vjetrenica" 2010

## Inženjerskogeološke karakteristike trase autoputa Banjaluka-Doboj

Begović Petar, Rajak Srđan, Savić Gojko, Ivanković Branko<sup>29</sup>  
Vukić Svetozar, Vožni Zdenko<sup>30</sup>

### Apstrakt

Autoput kao kruta saobraćajna infrastruktura zahtijeva maksimalno prilagođavanje terenu na kojem se gradi. Da bi bili u mogućnosti prilagoditi projekat uslovima na terenu potrebno je izvršiti detaljna istraživanja. Geološka istraživanja se izvode fazno za sve nivoe Projektne dokumentacije. Na taj način se optimizuje obim istražnih radova u funkciji tehničkog rješenja Glavnog Projekta.

Autoput Banjaluka - Doboj proteže se obodnim dijelom Panonskog basena dominantno izgrađenog od neogenih sedimenata karakterističnim po labilnim padinama, zabarenjima u depresionim dijelovima terena i drugim ograničenjima sa geološkog aspekta. Takođe, jedna od nepovoljnih karakteristika ovog dijela terena su i bujični tokovi koji su česta pojava na trasi autoputa. Ovim radom se razmatra dionica Prnjavor-Doboj od stacionaže 35+300 do stacionaže 49+945.

Izvedenim geološkim istraživanjima dati su uslovi za izgradnju auto puta, uključujući sve objekte. U radu se daju stručna razmatranja i zaključci koji su utvrđeni u toku izvedenih geoloških istraživanja.

**Ključne riječi.** Auto put, inženjerskogeološka istraživanja

### Abstract

Highway as solid transportation infrastructure requires a maximum adjustment of land on which it is built. To be able to adjust the project field conditions is necessary to make detailed studies. Geological surveys are conducted for all phases of project documents. Thus optimize the scope of the survey the technical design of the main function of the Project. Highway time Banja Luka - Doboj extends peripheral part of the Pannonian Basin predominantly constructed of Neogene sediments characterized by unstable slopes, bar in depressive parts of the terrain and other constraints of the geological point of view. Also, one of the unfavorable characteristics of this part of the terrain and torrential flows that are common on the route of the highway. This paper discusses Prnjavor to Doboj chainage 35 +300 to chainage 49 +945. studies of the geological conditions are given for the construction of the highway, including all objects. The paper presents the technical considerations and conclusions set forth in the derived geological research.

**Keywords:** Highway, engineering geological investigations

---

<sup>29</sup> Ibis-inženjering d.o.o., Omladinska 28, 78 000 Banja Luka, [info@ibis.ba](mailto:info@ibis.ba), tel/fax: 051 213 813

<sup>30</sup> Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija RS, Jasenovačkih logoraša 4a, 78 000 Banja Luka, [info@imkrs.com](mailto:info@imkrs.com), tel: 051 462 315

## 1. Uvod

Autoput predstavlja jedan od najvećih infrastrukturnih objekata. Krutost pozicioniranja ovih objekata često izaziva složeno i komplikovano izvođenje. Da bi se utvrdila optimalna trasa neophodno je utvrditi prirodne karakteristike sredine kroz koju se provlači autoput i tehničko rješenje prilagoditi uslovima na terenu. S obzirom na činjenicu da se autoput projektuje u više faza za svaku fazu potrebno je izvršiti geološka istraživanja kojim se utvrđuju uslovi za izgradnju autoputa. Na nivou idejnog rješenja i Idejnog projekta analizira se više varijantnih rješenja sa svojim grubim predmjerom i predračunom.

Sušтина varijantnih rješenja je da se izvrši optimiziranje trase. U ovoj optimizaciji inženjerska geologija predstavlja jedan od kriterija koji utiče na opredjeljenje o usvajanju optimalne trase autoputa. Nakon usvajanja optimalne trase vrši se dalja razrada tehničkog rješenja na nivou Glavnog projekta. Dalja razrada tehničkih rješenja podrazumjeva i dopunska inženjerskogeološka istraživanja.

Za potrebe projektovanja na nivou Glavnog projekta izvedeni su dodatni inženjerskogeološki tj. geotehnički istražni radovi na trasi Autoputa Banja Luka-Doboj, dionica Prnjavor-Doboj od stacionaže km 35+300 do km 49+945.

Geološka istraživanja za potrebe Idejnog Projekta autoputa radio je Institut za građevinarstvo Hrvatske dok je istraživanja za potrebe Glavnog projekta vršio je Granit d.o.o. iz Skoplja, kao podizvođači učestvovali su IBIS Inženjering d.o.o. iz Banja Luke i Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija RS iz Banja Luke.

## 2. Geomorfološke karakteristike

Dionica autoputa Banja Luka – Doboj od km 35+300 do km 49+945 prolazi južnim obodom Prnjavorskog polja. U makro morfološkom pogledu predstavlja obod Panonske nizije tj. bosanske Posavine. U morfološkom pogledu najviši dio trase (216,5 m) nalazi se na uzvišenju na stacionaži 40+750, dok je najniži dio terena u koritu rijeke Ukrine i on iznosi oko 133 m.

Cijela trasa autoputa proteže se pravcem istok-zapad. Od geomorfoloških oblika na predmentom prostoru su najvećim dijelom zastupljeni fluvijalni i deluvijani akumulativni oblici u vidu terasa i aluvijalno deluvijanih zastora. Teren ima različite padove, veće u zoni potoka koji imaju strme obale. Nagib terena u prosjeku je 30 do 40%, izuzev dijela trase od stacionaže 38+500 pa do stacionaže 39+500 gdje su nagibi terena i do 50%.

Imajući u vidu da se radi o rijekama koji su izrazito bujičnog karaktera prisutna je horizontalna riječna erozija tako da se potoci javljaju sa brojnim krivinama i meandrima. Bujični karakter rijeka i potoka je direktno uslovljen slabim podzemnim oticajem tako da se atmosferilije površinski procjeđuju formirajući bujične tokove. U dijelu terena koji nema morfološke preduslove za oticanje formiraju se zabarenja.

Dio trase od stacionaže 46+870 (rijeka Ilova) pa do 47+775 je izuzetno ovodnjen odnosno zabaren sa brojnim barama koje imaju dubinu i do 0,5 m. Razlog ovog zabarenja je neporopusan površinski sloj terena koji sprečava podzemnu infiltraciju te morfološke barijere koje sprečavaju da se teren površinski ocjedi. (lit. 3 i 4).

### 3. Inženjerskogeološke karakteristike

- **Geološka građa**

Geološka građa terena predmetne dionice 35+300 do km 49+945 autoputa data je na osnovu pregleda postojeće dokumentacije ranijih istraživanja za potrebe izrade Idejnog projekta Autoputa Banjaluka Doboj, dodatnih istraživanja u vidu iskopa istražnih jama istražnog bušenja kao i na osnovu detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja.

U geološkom smislu, na temelju provedenih istražnih radova (istražno bušenje) i kartiranja terena, može se zaključiti da teren na dionici izgrađuju naslage različite geneze, sastava i starosti, a koje se generalno mogu svrstati u dvije grupe:

1. tercijarni sedimenti neogenske starosti i
2. kvartarne tvorevine

***Tercijarni sedimenti neogenske starosti:***

M<sub>2</sub><sup>2</sup> – kompleks pješčara i pjeskovitih glina, lapora i pjeskovitih lapora, glinovitih lapora i krečnjaka, velikog rasprostiranja i heterogenog sastava i razvoja. Izuzetno dijelovi padina ovog kompleksa su pokriveni deluvijalno proluvijalnim sedimentima. Takođe ovaj kompleks je nabušen prilikom istražnog bušenja, gdje je bio predstavljen sa alevrolitskim glinama. U okviru glina nadjeni su fosilni ostaci školjki. Dopunska paleontološka istraživanja nisu vršena s obzirom na svrhu i cilj provedenih istraživanja. U svakom slučaju neogene naslage predstavljaju paleoreljef kvartarnim naslagama na predmetnoj dionici autoputa.

***Kvartarne tvorevine:***

ap, al, t – aluvijalni sedimenti povodanjskih naslaga velikih vodotoka (ap) i manjih tokova (al), heterogene granulacije i sočivaste građe zastupljeni s prašinastim, glinovitim i pjeskovitim naslagama u površinskom dijelu, te šljunkom u podini. Naslage šljunka su male debljine do pola metra. Šljunak je uglavnom sitnozrn. Riječna terasa (t) Ukriine evidentirana je na obe obale rijeke Ukriine. Sedimenti riječne terase konstatovani su i istražnim bušenjem odnosno istražnim jamama.

al+dl, dpr – Aluvijalno deluvijalni sedimenti evidentirani su u obodnom dijelu polja od stacionaže 35-375 do 35-600 uglavnom ukršteno uslojeni sedimenti u odnosu na faciju povodnja u čijem je neposrednom kontaktu. Deluvijalni proluvijalni (dpr) sedimenti, nastali kao mješoviti genetski tip denudacijskim procesima na brdskim padinama i akumulacijom-deponiranjem povremenih vodotoka, heterogenog litološkog sastava, zastupljeni glinama, supjeskom i suglinom i drobinom. Deluvijalno proluvijalne naslage vezuju se za potok Mamutovac. (lit.2)



Slika 1. Šematska geološka karta područja autoputa Prnjavor-Doboj (lit.1)

- **Hidrogeološke karakteristike**

Predmetna dionica autoputa se u hidrogeološkom smislu predstavlja slabovodopropustan teren koji uslovljava zadržavanja voda na površini odnosno dominantan površinski oticaj sa sliva. Prema strukturnom tipu poroznosti sve stijene se mogu podjeliti u stijene sa intergranularnom poroznošću ili hidrogeološke kolektore, te uslovno bezvodne stijene ili hidrogeološke izolatore. Po stepenu vodopropusnosti može se podjeliti na tri grupe prema vodopropusnosti. Stijene sa funkcijom hidrogeološkog kolektora karakteriše intergranularna poroznost koja zavisi od granulometrijskog sastava. Kako je širi sliv izgrađen od neogenih lako trošnih stijena dominiraju sitnije frakcije tako da je koeficijent filtracije relativno nizak. U tom smislu hidrogeološka funkcija ovih stijena je ograničena. U ovu grupu stijena spadaju aluvijalne (al) naslage i aluvijalno-deluvijalne naslage (al+dl). Akumuliranje i rasrostranjenje podzemnih voda u ovim naslagama se vezuje za pješčane i manje šljunčane proslojke koji imaju manju debljinu i ograničeno rasprostranjenje. Sedimenti riječne terase (t) su u cijelini dobro vodopropusni hidrogeološki kolektori s intergranularnom superkapilarnom poroznošću, uglavnom su predstavljeni šljunkovito-pjeskovitim naslagama, koje se pojavljuju u obliku sočiva ili slojeva. U pripovršinskim dijelovima se često nalaze prašinasto-glinovite naslage koje predstavljaju krovinske izolatore ili polupropusne sredine, dok se u podini nalaze izraziti izolatori – naslage gline. Podzemne vode, koje se nalaze u ovim kolektorima se uglavnom prihranjuju infiltracijom padalinama ili vodom iz padinskog zaleđa. Dubina do nivoa podzemnih voda je zbog toga znatna, često i viša od 5 m. Ocjedljivost ovih terena je, zbog položaja u reljefu, dobra.

Deluvijalno-proluvijalni sedimenti (dpr) su polupropusni do slabopropusni hidrokolektori intergranularne kapilarne i superkapilarne poroznosti. Ovisno od učešća glinovitih frakcija su promjenjivih filtracijskih karakteristika, od vrlo niske do podređeno dobropropusne. Zbog morfoloških predispozicija ocjedljivost ovih terena je dobra.

U kategoriju uslovno bezvodnih stijena spada veći dio predmetne lokacije. To su sedimenti u kojima dominira glinovita komponenta. Podzemne vode koje se infiltriraju u ove sedimente brzo budu vezane u vidu opnene vode za čestice gline. Nakon bubrenja gline dolazi do popunjavanja mikropukotina i time se sprečava cirkulacija podzemnih voda. Ova pojava

uslovljava zadržavanje površinskih voda na površini terena formirajući bare u depresionom dijelu odnosno vlažna mjesta naročito na lokaciji od stacionaže 46+870 do stacionaže 47+775. U ovu kategoriju spadaju sedimenti: facije povodnja (ap) i neogenih naslaga ( $M_2^2$ ).

Paleoreljef na ovoj lokaciji čine neogeni sedimenti. Ranijim istraživanjima neogeni sedimenti ( $M_2^2$ ) su definisani kao heterogen kompleks različito po hidrogeološkoj funkciji. Na osnovu izvedenih istraživanja utvrđeno je da su sedimenti neogena koji predstavljaju kontakt neogenih i kvartarnih naslaga izgrađeni od sivih alevrolitskih glina u kojima su konstatovani brojni fosilni ostaci što potvrđuje njihovo jezersko porijeklo. Mjestimično je utvrđen prelaz glina u laporovite gline. Dubina do paleoreljfa (neogenih naslaga) različita i ona se kreće od 7,9 do 9 m u odnosu na površinu terena. i nakon 20 m bušenja nisu konstatovane druge stijenske mase tako da se smatra da je paleoreljef predstavljen neogenim glinama.

#### • Savremeni geološki procesi i pojave

Od savremenih geodinamičkih procesa i pojava na istražnom području zastupljen je proces klizanja. Na dijelu trase od stacionaže 41+500 do 44+550 evidentirane su labilne padine i morfološki utvrđena stara klizišta na kojima nije vidljivo aktivno pomjeranje u periodu terenskog rekognosciranja i kartiranja (04.04.2013.). Imajući to u vidu skrenula se pažnja projektantu da je ovaj dio terase potrebno projektovati nakon dopunskih istraživanja za potrebe saniranja terena jer nivo izvedenih istraživanja nije dovoljan da bi se mogli propisati uslovi saniranja terena prije izgradnje trase autoputa. Na osnovu rezultata istraživanja dati su uslovi izgradnje autoputa u zonama nepovoljnim sa aspekta inženjerske geologije. Geotehničkim uslovima se trebaju predisponirati iniciranja savremenih geoloških procesa čime će se sprečiti, neplanirano, povećanje investicije samog projekta.

U ravničarskom dijelu terena koji je izgrađen od deluvijalnih i aluvijalnih glina prisutna su česta zabarenja. Koja izazvana zadržavanjem oborinskih voda na površini terena te izljevanjem površinskih tokova. Istraživanjima su propisane obaveze regulacije površinskih tokova, te dreniranje terena pomoću nivelacije i izgradnje drenažnih sistema. Na osnovu izvršenih hidroloških analiza definisane su nivelete autoputa.

#### 4. Zaključak

Za potreba izgradnje autoputeva neophodno je provođenje detaljnih geoloških istraživanja. Istraživanja se provode u cilju prilagođavanja projekta pa onda i izgradnje uslovima terena. Izvedeni istražni radovi dopunu ranije izvedenih istražnih radova. Svi rezultati su zajedno interpretirani za potrebe Glavnog projekta Autoputa. Realizacijom svih dosadašnjih istraživanja obezbjeđeno je dovoljno podataka za Glavni Projekta Autoputa imajuću u vidu da je predmetna trasa povoljna do uslovno povoljna za izgradnju autoputa.

#### Literatura

1. Osnovna geološka karta SFRJ, list Derventa, J.Sofilj, R.Marinković, D.Đorđević i J.Pamić, RO „Geoinženjering“ – OOUR Institut za geologiju Sarajevo, 1964-1984.
2. Projekat za dobivanje građevinske dozvole-idejni projekat autoputa Banja Luka-Doboj, dionica Prnjavor-Doboj, geotehnički projekat, IGH, Zagreb, 2009.
3. Geotehnički elaborat istražnih radova, IMK i Ibis-inženjering d.o.o. Banja Luka, 2013.
4. Geomehanički izvjaštaji i Elaborati o izvedenim istraživanjima na objektima, Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija RS, Banja Luka, 2013.



## Metode mjerenja kod izrade dubokih bušotina na području Ilidže

ADNA ČIČKUŠIĆ<sup>1</sup>, ADNAN HODŽIĆ<sup>2</sup>, HAZIM HRVATOVIĆ<sup>3</sup>

### Sažetak

Pri izradi bušotina mjerenja koja se izvode imaju značajnu ulogu za samu izradu bušotine te se uz pomoć njih dostižu projektovane dubine i sprečavaju eventualne havarije na bušotini. Geotermalna energija je izvor "čiste energije", pošto za današnje vrijeme ispunjava dva značajna faktora pri iskorištavanju energetskih izvora: obnovljivost i održivost. Sa aspekta geotermalne energije navedeno je i njeno moguće korištenje kroz bušotine. Jedno od interesantnih područja za istraživanje geotermalne energije je i lokalitet Ilidže. Geološke karakteristike istraživanog terena su takve da najveći dio izgrađen je od gornjomiocenskih sedimenata Zeničko-sarajevskog basena. Preko njih su kvartarni sedimenti koji izgrađuju Sarajevsko polje. Sa aspekta stratigrafije u geološkoj građi područja Ilidže učestvuju srednje-gornjo trijaski karbonati te gornjomiocenski i kvartarni sedimenti. U radu su obrađene bušotine čije je bušenje izvedeno u periodu od 1970-1992 g i to: bušotina B-3A , bušotina IB-1 i bušotina IB-2 . U periodu od 1996. do 2011. godine urađena je bušotina IB-10. Dati su podaci o izvršenim mjerenjima na bušotinama B-3A, IB-1 i IB-2. Navedena su koja su to mjerenja izvršena na bušotini IB-10 i izvršeno praćenje geoloških parametara. Problemi koji su se javljali tokom bušenja na bušotinama koje su bile predmet istraživanja mogu se na narednim istražnim bušotinama bolje rješavati, primjenjujući još širi dijapazon mjerenja te pojačavanjem njihove učestalosti.

Ključne riječi: geotermalna energija, bušotina, izrada bušotine, mjerenja na bušotinama

### Abstract

At construction borehole , measurement which is derive have significant role for construction of borehole, and with help of this measurements achieve depth which is given on project and prevent possible breakdown. Geothermal energy is source of "clean energy", because for present conditions perform two significant factors at exploitation energy sources: renewable and sustainable. With aspect of geothermal energy it is specify usage trough borehole. One of the interesting areas for researching geothermal energy is region Ilidža. Geological characteristics research area are that largest part is build of uppermiocene sediments of Zenica –sarajevo basen. Through them, the quaternary sediments that make up the Sarajevo field. From the standpoint of stratigraphy in geological areas Ilidža participate upper middle Triassic carbonates and Upper Miocene and Quaternary sediments. This paper contains borehole, which is drilling perform in period from 1970-1992.year : borehole B-3A, borehole IB-1 and borehole IB-2. In period from 1996-2011.year it is perform borehole IB-10. It is given data about applied measurements on boreholes B-3A, IB-1 and IB-2. It is specify which measurement are applied on borehole IB-10 and overlook geological parameters. The problems that occurred during the drilling of the wells that were the subject of research may be the next exploration wells better addressed by applying an even wider range of measuring and increasing their frequency.

Key words: geothermal energy, borehole, construction of borehole, measurements on borehole

---

1- RGGF Tuzla, viši asistent, saradnik; adnacamdzic@gmail.com

2- RGGF Tuzla, vanr. profesor

3- Federalni zavod za Geologiju, redovni profesor, saradnik

## Metode mjerenja kod izrade dubokih bušotina na području Ilidže

### Geotermalna energija u Bosni i Hercegovini

Bosna i Hercegovina pripada perspektivnim zemljama u odnosu na prisustvo i mogućnost otkrivanja novih rezervoara geotermalne energije. Prema hidrotermalnoj potencijalnosti i prioritetima istraživanja izdvojeno je devet rejonu (Čičić S. Miošić N.):

- arteški baseni sjeverne Bosne
- srednjobosanski basen
- masiv ofiolitske zone
- masiv srednjobosanskih škriljavih planina
- Bihaćko-kladuški basen
- flišni trog Banja Luka-Sarajevo
- unsko –sanski palaeozoik
- paleozoik jugoistočne Bosne
- paleozojski i neogeni masiv istočne Bosne

Prema tome u Bosni i Hercegovini ne postoji jedna velika pozitivna geotermalna anomalija, već više zona na različitim dubinama i različite korisne površine energetskeg potencijala.

Područje Ilidže predstavlja jedno od perspektivnijih ležišta geotermalne energije pa se pristupilo istraživanjima voda viših temperatura i viših termoenergetskih nivoa od sadašnjih na ovoj najtemperiranijoj geotermalnoj vodi u Bosni i Hercegovini.

Sa ciljem da se istraži ovo područje urađeni su novi projekti istraživanja da bi se otkrilo i istražilo postojanje geotermalnih voda viših temperatura od 58<sup>0</sup>C te proširi dosadašnja termomineralna zona Ilidže dobijanjem novih količina voda na širem prostoru, definiraju geološke i hidrogeološke karakteristike voda, odredi kvalitet, indikacije, primjena, režim korištenja.

Analiziranjem dosadašnjih geoloških, geofizičkih i hidrogeoloških istraživanja došlo se do zaključka da postoji stručna i društvena opravdanost provođenja daljnjih istraživanja radi dobijanja većih količina i više temperiranih termalnih i termomineralnih voda u području Ilidže, Butmira i Stupa.

### Historijat istraživanja

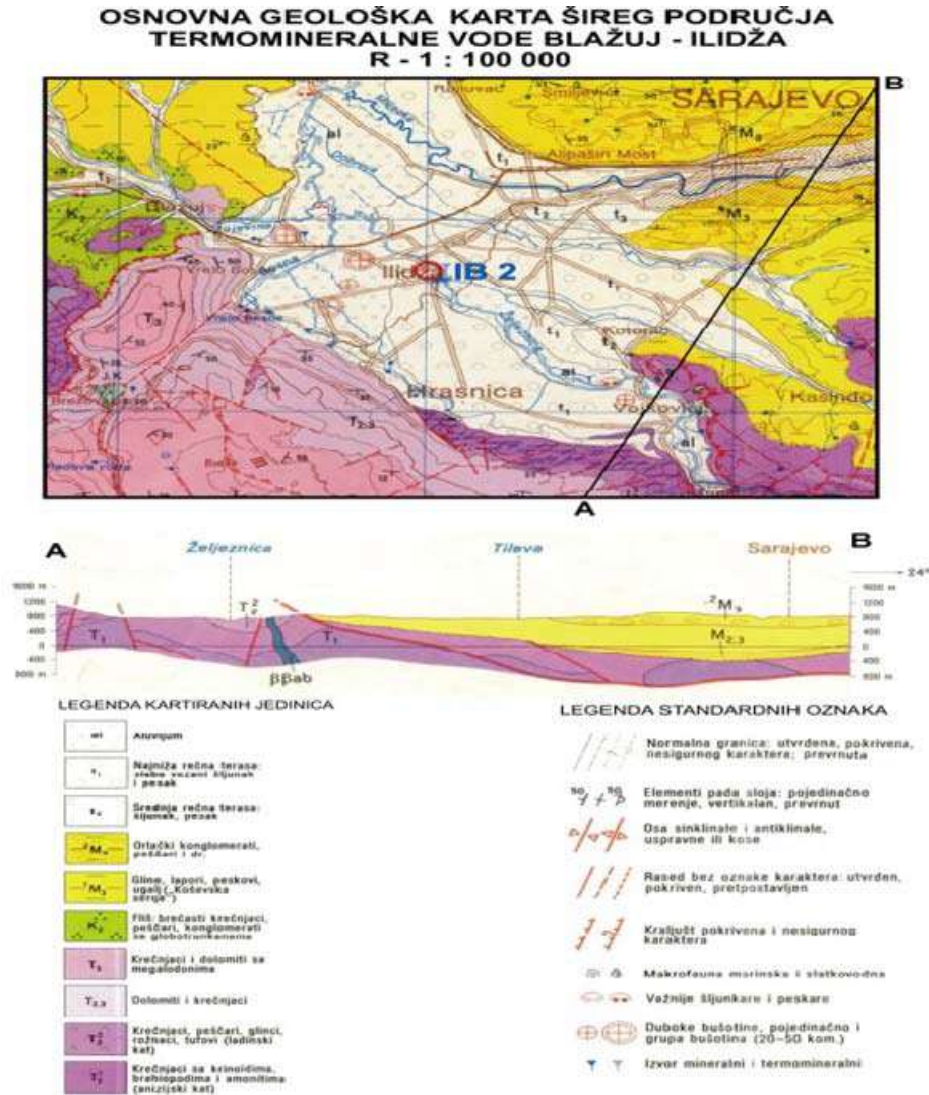
Hidrogeološka istraživanja su započeta 1880. godine kad je urađena prva hemijska analiza vode (*Ludwig 1880.*). Kasnije, a naročito nakon 1950. godine izvršena su mnogobrojna bušenja u središnjem dijelu banje Ilidže. Najvažnije bušotine termomineralnih voda izbušene su nakon 1970. godine: PP-1, B-3, B-3A, B-10A, FS-10A, IB-1, IB-2, IB-6, te bušotine termalnih voda IB-4 i IB-7 (Sokolovići i Butmir) izvedene 1987.god. i bušotina IB-10, koja je izbušena poslije rata.

### Geološke karakteristike terena

Geološki podaci o Ilidži se prate od 1840. godine (*A. Boue*), a veća istraživanja su vodili austrougarski geolozi, dok najintenzivnija geološka izučavanja su izvršena nakon II svjetskog rata. Od 1980. godine intenzivirana su i geofizička istraživanja ovih geotermalnih voda.

Geološke karakteristike terena su prikazane na karti mjerila 1: 100 000. (slika 1) Najveći dio Sarajeva izgrađen je od gornjomiocenskih sedimenata Zeničko-sarajevskog basena. Preko njih su kvartarni sedimenti koji izgrađuju Sarajevsko polje i čija je debljina na Ilidži i do 60 m. Iz ovih naslaga putem većeg broja bunara vrši se vodosnabdijevanje grada Sarajeva. Planine bliže okolice Sarajeva izgrađene su uglavnom od trijaskih naslaga. Područje od Blažuja do Rakovice i Lokve izgrađeno je od gornjokrednih naslaga, a samo lokalno se javljaju jursko-kredne naslage.

Iz naprijed navedenog su jasno uočljive raznovrsne litološke jedinice mezozojske i tercijarne starosti.



Slika 1. Osnovna geološka karta šireg područja termomineralne vode Blažuj-Ilidža

### Stratigrafija

U geološkoj građi područja Ilidže učestvuju srednje-gornjo trijaski karbonati te gornjomiocenski i kvartarni sedimenti. Trijas: Srednji trijas (T<sub>2</sub>) predstavljen je krečnjacima, pješčarima, tufovima, glincima, rožnacima sa krinoidima, brahiopodima i amonitima. Gornji trijas (T<sub>3</sub>) predstavljen je dolomitima i krečnjacima sa megalodonima. Gornjokredne naslage (K<sub>2</sub>) karakteriše flišni razvoj: brečasti krečnjaci i pješčari, te konglomerati sa globotruncanama. Leže diskordantno preko anizijskih krečnjaka i dolomita. Gornjokredni sedimenti imaju karakteristike turbiditske sedimentacije sa kompletnim sekvencama. Debljina ovih naslaga je do 400 m. Gornjomiocenske naslage (M<sub>3</sub>) predstavljene su "koševskom serijom" – gline, lapori, pijesak, ugaoj, kao i orlačkim konglomeratima i pješčarima. Kvartarne naslage (Q) zauzimaju najveće površinsko rasprostranjenje na geološkoj karti. Predstavljene su uglavnom aluvijalnim nanosima

potoka i rijeka, te riječnim terasama ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ), a izgrađeni su najvećim dijelom od šljunka i pijeska.

### **Hidrogeološke karakteristike terena**

U širem području Ilidže postoje tri hidrogeološke jedinice:

1. Hidrogeološka jedinica Bjelašnica – Igman,
2. Hidrogeološka jedinica Sarajevsko polje i
3. Hidrogeološka jedinica Zeničko - sarajevski bazen.

Jedinica Bjelašnica – Igman predstavlja krečnjačko-dolomitski blok u kojem su kolektori srednji i gornjotrijaski krečnjaci i dolomiti. Ove stijene su dokazane bušenjem u području Sarajevskog polja i na Ilidži. Vode se prihranjuju sa planinskih masiva, a podinske barijere su im donjotrijaski izolatori. Teren je izrasjedan, što se očituje u postojanju tektonskih blokova karbonata na kojima leže neogeni i kvartarni sediment. Jedinica Sarajevsko polje predstavlja prostranu aluvijalnu ravninu ograničenu s JZ masivom Igmana, a sa ostalih strana miocenskim sedimentima na kojima leži. U rubnom dijelu polja aluvion ima jaku hidrauličku vezu s krečnjacima na kojima leži, dok miocen predstavlja podinsku barijeru aluvijalnim vodama. U području Ilidže termomineralne vode iz krečnjaka ascendiraju u aluvijalne kolektore, dok u ostalim dijelovima terena nema toplih voda u aluvionu, jer su mu u podini neogene barijere. Jedinica Zeničko - sarajevski bazen je izgrađena od miocenskih sedimenata, koji predstavljaju vodonepropusne stijene. Miocenski sedimenti predstavljaju podinske izolatore za silazno kretanje običnih podzemnih voda iz aluvijalnih akvifera, a ujedno i krovne barijere uzlaznom kretanju termomineralnih i termalnih voda iz krečnjačkih akvifera. Ondje, gdje nema miocena javljaju se na Ilidži i u Blažuju izvori termomineralnih voda iz aluvijalnih sredina.

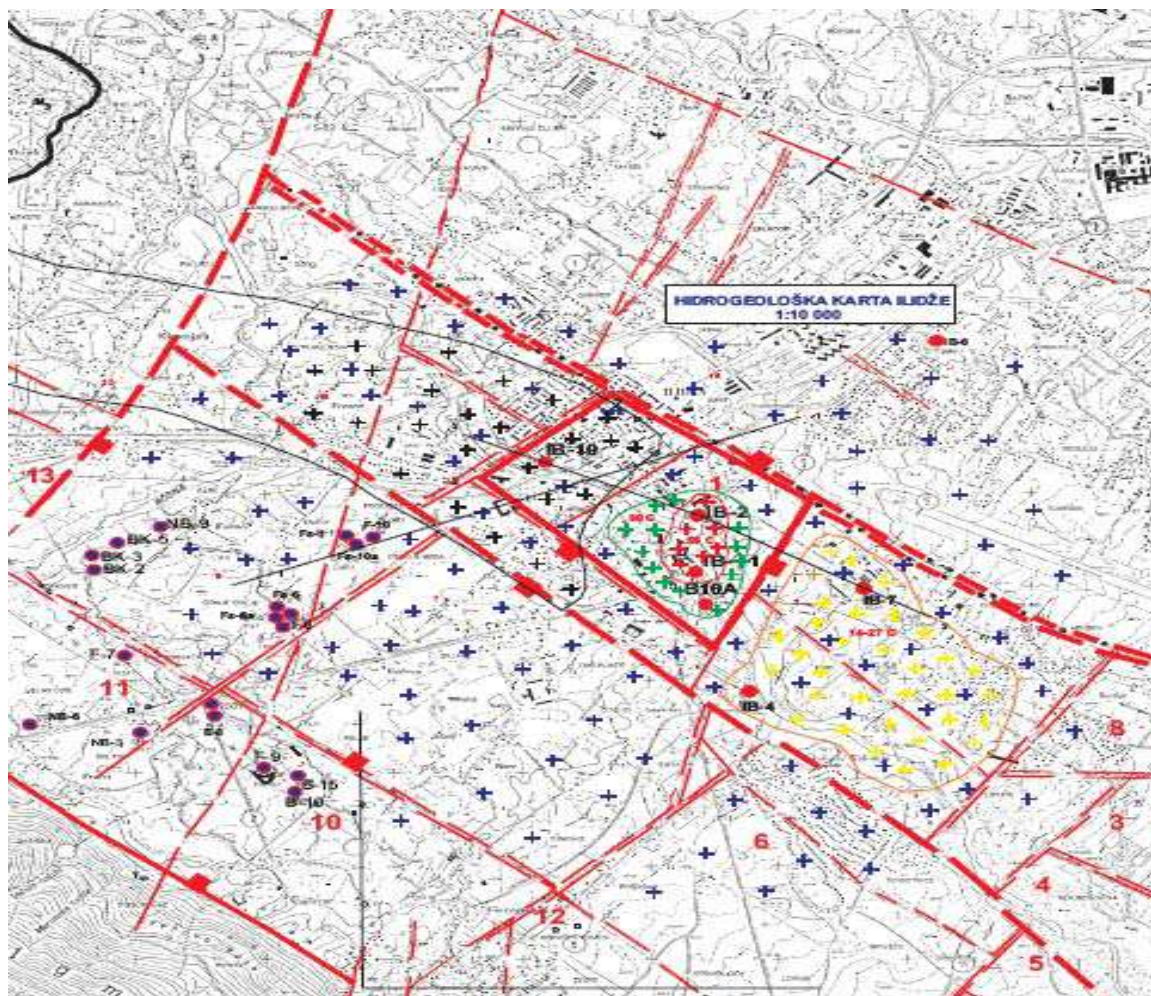
### **Tektonika**

Na širem području Ilidže izdvojeno je više strukturno-facijalnih jedinica: Bosanske škriljave planine i strukturno-facijalna jedinica Bjelašnica - Visočica, te Zeničko-sarajevski basen, koje su podijeljene na tektonske jedinice. Tektonske jedinice koje se javljaju u širem području Ilidže su:

- tektonska jedinica Hadžići,
- tektonska jedinica Igman,
- tektonska jedinica Bjelašnica

### **Strukture poroznosti i hidrogeološke funkcije stijena**

Iz prikazanog geološkog sastava i tektonskih karakteristika terena uočavaju se različite hidrogeološke karakteristike pojedinih litostratigrafskih članova, tako da je raznovrstan litološki sastav pojedinih jedinica, različit intenzitet tektonskih procesa uslovio složene hidrogeološke odnose, što je vidljivo na hidrogeološkoj karti (slika 2.)



Slika 2. Geološka karta 1 : 10 000

**LEGENDA**

| Strukture poroznosti  | starost   | Litološki sastav  | Filtracione karakteristike   | Vodoizdašnost  | Hidrogeološke funkcije   | Hidraulički mehanizam   |
|-----------------------|---|---|--|--|--|---|
| intergranularna       | Q   | Šljunci, pijesci, gline   | Dobro vodopropusne<br>$T > 1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$   | Srednje vodoibilni tereni  | Kolektori običnih voda i termomineralnih voda  | Slobodne izdani običnih voda i arterške termomineralnih voda                              |
| Pukotinska            | K <sub>2</sub><br>J,K   | Bosanski fliš;<br>-K <sub>2</sub> -karbonatni fliš<br>J,K-parafliš,<br>glinci, areniti,<br>rožnaci, laporci | Slabovodopropusne stijene,<br>slab koeficijent ispucalosti<br>$T < 1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ | Slabovodoizdašni tereni<br>Izvori 1-10 l/s   | Kolektori običnih voda na trijaskim akviferima, u dubljim dijelovima terena barijere voda  | Slobodne, mjestimično subarterške izdani  |
| Krško-pukotinska      | T <sub>3</sub><br>T <sub>2,3</sub><br>T <sub>2</sub> <sup>1</sup> | Krečnjaci, dolomiti, dolomitični krečnjaci, krečnjačke breče  | Dobro vodopropusne stijene, visok koeficijent ispucalosti<br>$T > 1 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$  | Veoma iregularno izdašni tereni običnih voda i izdašni tereni termomineralnih voda u dubljim dijelovima terena | Kolektori običnih voda u višim dijelovima terena i kolektori termomineralnih voda u području Ilidže, Blažuja i busovačke r. zone   | Slobodne i subarterške izdani običnih hladnih voda i arterške izdani termomineralnih voda |
| Beznačajna pukotinska | P <sub>1</sub><br>M <sub>3</sub> <sup>1</sup>                     | Gline, pješčari, pijesci, lapori, ugalj   | Vodonepropusne stijene<br>$T < 1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$                                     | Bezvodni tereni  | Podinske barijere voda iz kvartarnih kolektora i krovinske barijere kretanju termomineralnih voda iz trijaskih kolektora   | Nema  |
| Beznačajna            | T <sub>2</sub> <sup>2</sup>                                       | Krečnjaci, rožnaci, tuf, glinci, spiliti  | Vodonepropusne stijene   | Praktično bezvodni tereni izuzev duž pojedinih velikih rasjeda   | Baraža običnih voda u podini T <sub>2</sub> <sup>1</sup> i krovini T <sub>3</sub> kolektora, u sarajevskom polju baraža kretanju termomineralnih voda iz T <sub>2</sub> <sup>1</sup> kolektora | Arterški mehanizam u ascendentnim rasjednim drenovima                                     |
| Beznačajna            | T <sub>1</sub> <sup>2</sup>                                       | <i>Pješčari, glinci, krečnjaci, laporci</i>   | Vodonepropusne stijene   | Praktično bezvodni tereni<br>Izvori < 0,1 l/s  | Podinske barijere hladnih i termomineralnih voda u normalnom stratigrafskom slijedu, duž busovačke rasjedne zone moguća uzlazna ascenzija termomineralnih voda                                 | Nema hidrauličkog mehanizma izuzev busovačke rasjedne uone u kojoj je arterški            |

**HIDROGEOLOŠKE OZNAKE**

Pitke vode ● Fs-10a Izvedene bušotine na pitke vode ; Termomineralne vode ● IB-10 Izvedene bušotine na termomineralne vode

Rasprostranjene akumulacija voda

- +++ Termomineralne vode temperature 58 °C u kraškoj i aluvijalnoj sredini
- +++ Termomineralne vode temperature 14-22 °C u kraškoj sredini
- +++ Termomineralne vode temperature do 30 °C u aluvijonu
- +++ Termomineralne vode temperature od 20-45 °C u kraškoj sredini
- +++ Hladne vode u aluvijalnoj sredini

**Osnovni podaci o izvedenim bušotinama na području Ilidže**

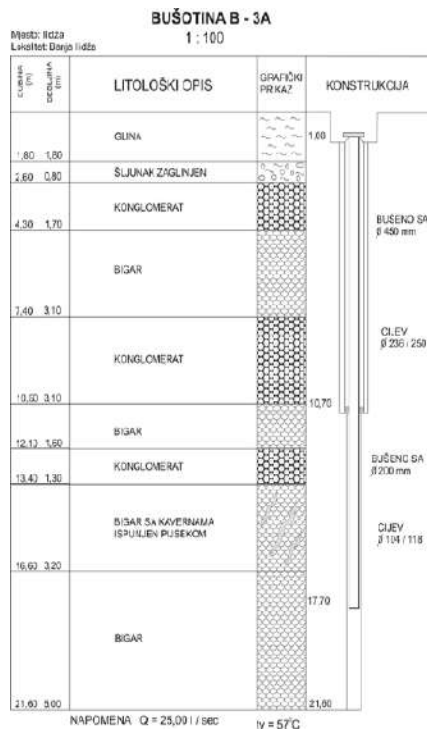
U ovom radu obrađene su tri bušotine čije je bušenje izvedeno u periodu od 1970-1992 g i to:

- bušotina B-3A koja je izbušena 1971.godine,
- bušotina IB-1 koja je izbušena 1984.godine i
- bušotina IB-2 koja je izbušena 1986.godine.

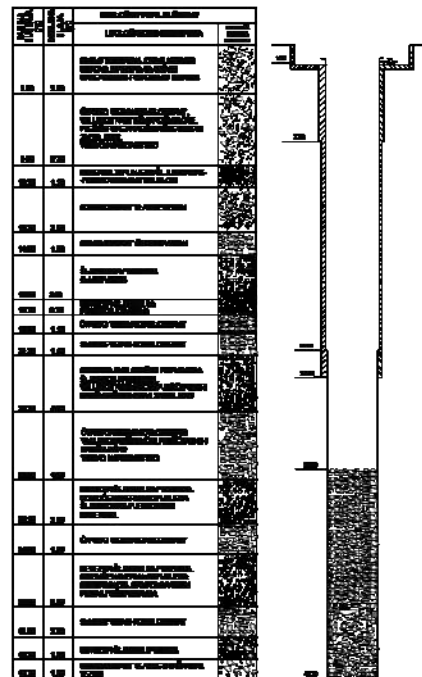
Bušotina koja je izvedena 2004. godine je IB-10.

## Izrada i parametri bušotine B-3A

Bušotina B-3A je izbušena 1971. godine. Zbog starije izrade bušotine (prije 50-tak godina) za ovu bušotinu raspoložemo sa veoma malim brojem podataka o izradi i izvršenim mjerenjima. Litološko – tehnički profil bušotine B-3A dat je na slici 3. Đerković<sup>31</sup> (1987.) daje sljedeće karakteristike ove bušotine: temperatura vode 58°C, izdašnost 22 l/s. Bušotina je arteška sa Q= 10 – 20 l/s u 1977. godini. Đerković<sup>32</sup> (1988) bilježi da se konstantno eksploatiše više od 10 godina za potrebe hotela Terme u količini od 10 l/s. U blizini bušotine B-3A, oko 25 m prema IB-1 nalazi se bušotina PP-1, koja je duboka 90 m, a koja je projektovana do dubine od 500 m. Temperatura vode na ovoj bušotini bila je 58°C, a izdašnost samoizlivom oko 50 l/s. Bušotina nije dobro tehnički urađena, jer uvodna kolona nije cementirana, tako da je kasnije došlo do izlivanja vode oko kolone.



Slika 3. Litološko – tehnički profil bušotine B-3A



Slika 4. Litološko – tehnički profil bušotine IB-1

## Izrada i parametri bušotine IB-1

Zbog obrušavanja materijala i zasipanja bušotine ista je završena 31.12.1984. godine, (slika 4) na dubini od 43,7 m. Paralelno sa izvođenjem istražne bušotine vršen je svakodnevno stručni projektantski nadzor u smislu praćenja i usmjeravanja radova, registrovanja svih nastalih pojava,

<sup>31</sup> Đerković B. i dr. 1987: Geotermalni potencijali Iliđe Sarajevo, str.14

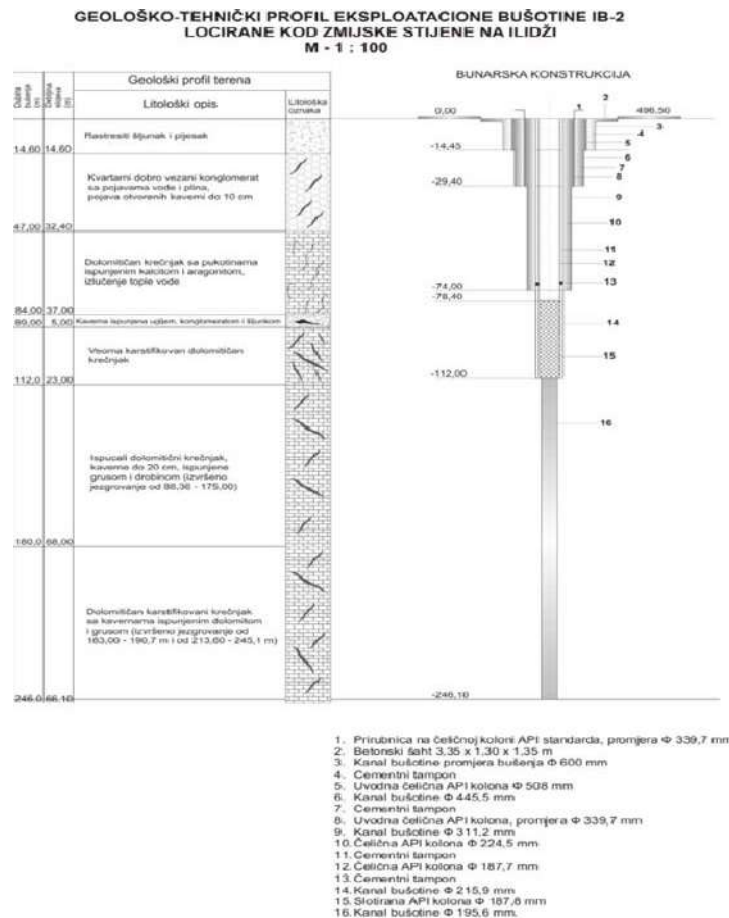
<sup>32</sup> Đerković 1988: Elaborat i Aneks elaboratu o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi termomineralnih voda Iliđe – Sarajevo, str. 9 i 11

termometrijskih osmatranja, mjerenja izdašnosti preko postavljenog preliva, pritiska u bušotini, uzorkovanja vode za hemijske analize, mjerenja količine i vrste plinova i dr.

Prema podacima iz 1985. stanje u bušotini je takvo da je ista popunjena prirodnim stijenskim materijalom od 28,6 – 43,7 m, a izdašnost bušotine nakon 2 mjeseca slobodnog isticanja kretala se od 60 – 70 l/s uz stalnu temperaturu od 58°C (Slišković i Turalija 1985.).

### Izrada i parametri bušotine IB-2

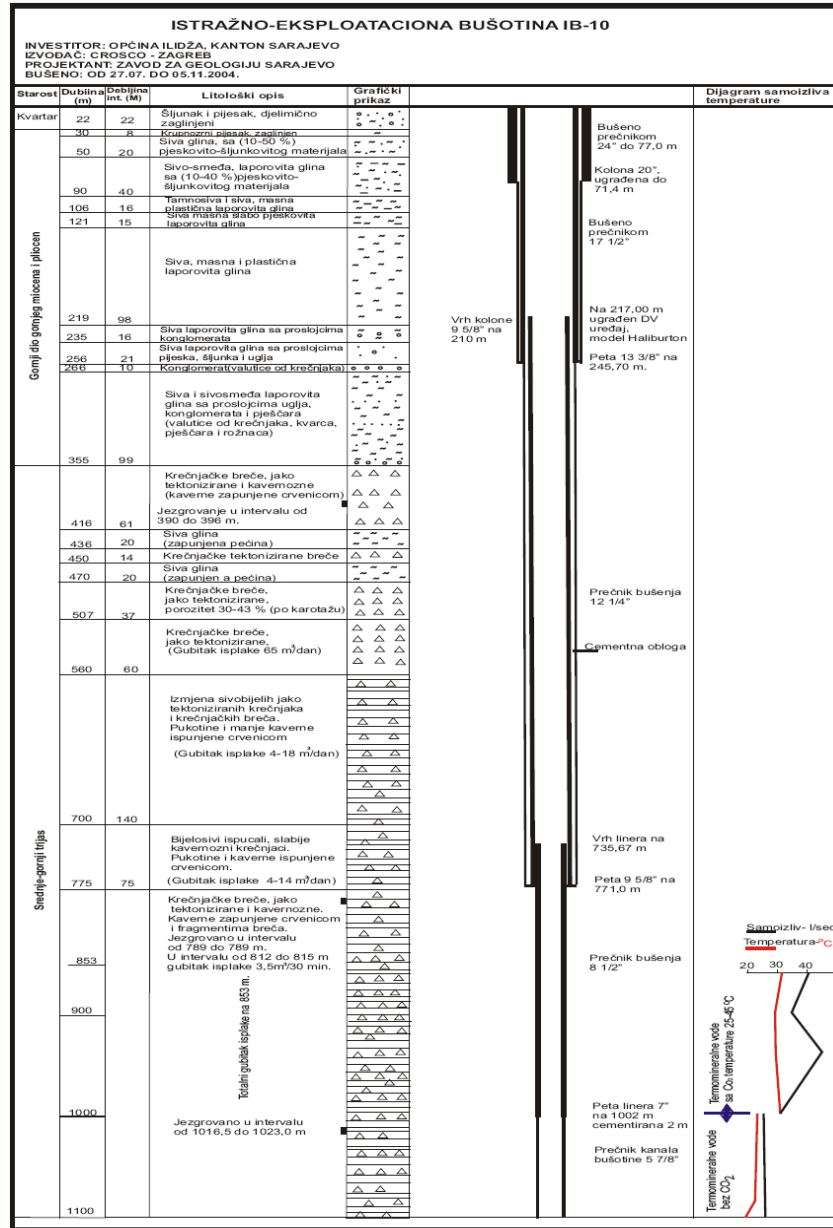
Izrada bušotine IB-2 započeta je s radom 01.09.1986. godine, Na geološko-tehničkom profilu bušotine IB-2 (Slika 5) vide se svi potrebni podaci kako litološki tako i tehnički, a takođe navedene su i zone jezgrovanja kao i svi ostali karakteristični podaci. Bušotina IB-2 završena je 01.11.1986. godine, izbušena je do 246,10 m. Prilikom bušenja nije bilo nikakvih problema koji su odraz geološke građe terena.



### Izrada istražno-eksploatacione bušotine IB-10 Ilidža

Bušotina IB-10 projektovana je do dubine 1,500 m  $\pm$  20% i kao eksploatacioni objekt vodozahvatanja omogućuje sniženje preljevnog nivoa do 220 m dubine od površine terena sa ugradnjom dubinske pumpe u zaštitnoj koloni  $\Phi$  13<sup>3</sup>/<sub>8</sub>" s crpljenjem do 100 l/s. Početni projektovani prečnik bušenja je  $\Phi$  26", a završni  $\Phi$  8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>", prečnik ugradnje liner zaštitnih kolona i filtera je  $\Phi$  7", a dubina ugradnje istih je od 680 m od površine terena do potrebne dubine (oko 1,500 m). Konačan izgled bušotine dat je na slici 6.





Pored opažanja u bušotini tokom njene izrade preporučuju se brojna mjerenja na postrojenju za bušenje tokom izrade bušotine radi pravovremenih promjene režima bušenja. Podaci ovih mjerenjenja osnova su za odlučivanje o nužnim tehničkim intervencijama u bušotinama zbog izbjegavanja eventualnih havarija. S ciljem dostizanja projektirane dubine bušenja mjerenja koja se izvode tokom izrade bušotine su: mjerenja na bušaćem postrojenju, mjerenje nivoa vode, mjerenje temperature, mjerenje parametara isplake, EK mjerenja, DST mjerenja, mjerenje devijacije, ispitivanje hermetičnosti, mjerenje geometrije bušotine, geotehnička mjerenja, mjerenje vertikalnog protoka kroz bušotinu (reometrija)

## Izvršena mjerenja na bušotinama B-3A, IB-1 i IB-2

Zbog nedostatka podataka odnosno zbog vremenskog perioda kada su radjene ove bušotine (prije 20-tak godina) nisu nam bili dostupni podaci izvršenih mjerenja na ovim bušotinama. Jedini dostupni i trajno zabilježeni podaci jesu oni za izmjerenu temperaturu na bušotinama. Pa je tako zabilježena temperatura vode bušotine B-3A 58°C, IB-1 temperatura 58°C (Slišković i Turalija 1985.). U toku bušenja mjerena je temperatura isplake na bušotini IB-2 i ona je u više navrata kontrolisana i iznosila je i do 42°C.

## Izvršena mjerenja na bušotini IB-10

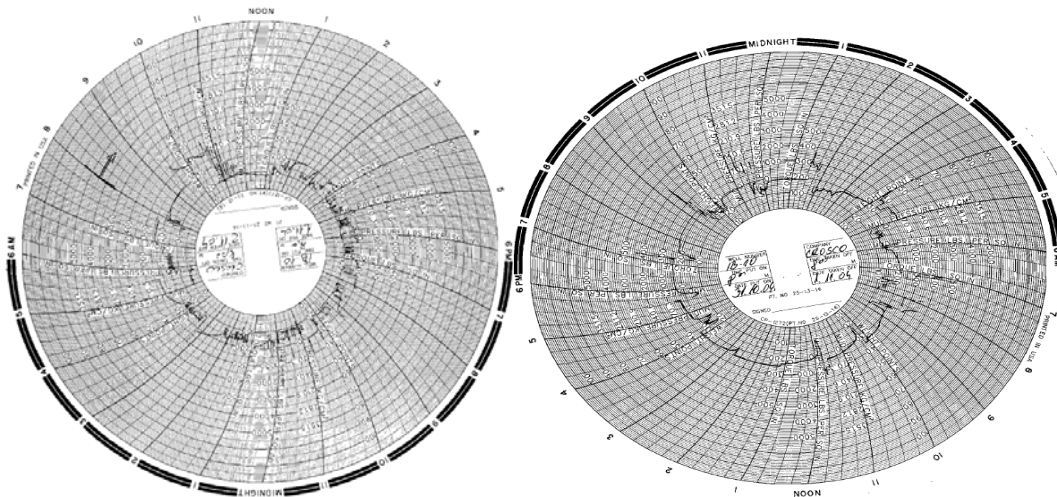
Operativno praćenje geoloških i hidrogeoloških parametara i mjerenja na bušotini je obuhvatilo:

- parametre i brzinu bušenja,
- temperature ulaza i izlaza isplake
- parametre isplake,
- gubitke isplake
- uzorkovanje materijala sa sita,
- litološku identifikaciju nabušenog materijala sa sita i jezgra,
- indikacije na ugljikovodike,
- plinske manifestacije,
- izdašnost,
- EK mjerenja

Praćenje bušotine je izvodio Projektant po cijeloj dubini i stalno, a od 570 m započelo je kontinuirano geološko praćenje bušotine IB-10, koje je obavljano pomoću laboratorija nadzora bušenja (LNB-05) do konačne dubine 1100 m.

## Praćenje podataka i parametara bušenja

Cilj radova na ovom zadatku je bio dostizanje projektirane dubine bušotine od 1500 m  $\pm$ 20%. Na slici 7. dat je kao reprezentativan primjer dnevnog izvještaja, tkz. drilogrami sa izmjerenim parametrima bušenja, koji su redovno praćeni od strane izvođača.



Slika 7. Drilogrami

## Jezgrovanje i interpretacija podataka LNB

U cilju prikupljanja i obrade svih parametara bušenja, plinskih pojava, te procjene pojava slojnih voda, geološko praćenje istražne bušotine IB-10, obavljeno je pomoću laboratorija nadzora bušenja (LNB). Tokom bušenja kanala istražne bušotine IB-10, nije registrirana niti jedna pojava novog plina. Tokom bušenja od početne dubine praćenja (570m) do konačne dubine 1100 m nema pojave background (BP) plina, trip plina (TP) i connection plina (CP). Jedino kao stalna pojava registriran je plin CO<sub>2</sub> koji se kretao do 0.6% relativne koncentracije.

Svi viskozni čepovi upumpani radi sanacije gubitaka, ubačena boja i kava nisu dali rezultata u samoizljevu pa nije jasno dali uopće dolazi do mješanja slojne vode i upumpane vode što bi bilo normalno, već izgleda da na jednom nivou bušotina pije, a na drugom daje slojnu vodu. Isto tako prema mjerenjima ispada da imamo najmanje dvije različite slojne vode, a bušenjem poremetimo ravnotežu sistema i dolazi eventualno do njihovog mješanja. Iako nije registrirana ni jedna potpuno nepropusna zona (barijera) pitanje je povezanosti kaverni i pukotinskog sistema te kretanje vode duž rasjednih zona, a samim time i mogućnosti njihova mješanja. Kao zaključak se nameće da je cijeli izbušeni interval 570 – 1100 m (odpraćen LNB-om) jedna hidrodinamska cjelina puna termomineralne vode te sa dubinom postepenim padom mineralizacije, sadržaja CO<sub>2</sub> i temperature. U tabeli 1. dat je kratak pregled izvršenog jezgrovavanja, a na slici 8. uzeta jezgra.

Tabela 1. Izvršena jezgrovavanja

| GEOLOŠKI RADOWI - JEZGROVANJE |                      |      |          |      |                  |            |            |              |          |                     |
|-------------------------------|----------------------|------|----------|------|------------------|------------|------------|--------------|----------|---------------------|
| Faza                          | Interval             | m    | Dobiveno | %    | Φ<br>krune       | Tip        | Proizvođač | J. A.        | UV,<br>% | Formacija           |
| 12 ¼"                         | 390,00 –<br>396,00   | 6,00 | 2,00     | 33   | 8<br>15/32<br>x4 | Dijamantna | Cristensen | 6 ¾",<br>223 |          |                     |
| 8 ½"                          | 780,00 –<br>789,00   | 9,00 | 6,5      | 80   | 8<br>15/32<br>x4 | Dijamantna | Cristensen | 6 ¾",<br>207 |          | Vapnenačka<br>breča |
| 5 7/8"                        | 1016,50 –<br>1023,00 | 6,50 | 0,7      | 10,8 | 5 3/4            | Dijamantna | Cristensen | 5<br>3/4"    |          | Vapnenačka<br>breča |



Slika 8. Uzorci iz jezgra

### "DST" Mjerenja

Za vrijeme čišćenja bušotine na dubini od oko 850 m izvedeno je testiranje dotoka i pritiska u više navrata: Dotok  $Q = 30 - 41.9$  l/sec;  $T_{\max} = 30.3 - 31.3^{\circ}\text{C}$  Mjerenje porasta pritiska – bušotina zatvorena  $P_{\max} = 0.7$  bara Ispitivanje statičkog pritiska izvedeno zadizanjem bušačkih šipki do prestanka preljeva je 8 m od razine zemlje. Testiranje iz kolone DST-1, ali nije uspelo aktiviranje testera na 754 m, 745 m i 727 m, te je nastavljeno testiranje bušotine samoizljevom i izvedeno još jedno liftiranje zrakom. Spušten alat za bušenje, nasjeli na 847.74 m, pročišćavanje 847.74 – 853 m uz djelomične gubitke, pročišćavanje od 892 – 902 m, a kod pokušaja dodavanja bušačkih šipki za nastavak bušenja pojava samoizljeva slojne vode. Mjerenje statičkog pritiska  $P_{\max} = 0.9$  bara Alat izvađen, spušteno 6 pasova golih bušačkih šipki i ponovo liftiranje zrakom te testiranje i čišćenje bušotine samoizljevom:

$Q = 34 - 34.5$  l/sec;  $T_{\max} = 30.5^{\circ}\text{C}$ ;  $P_{\max} = 0.8$  bara

Spuštanje bušačkog alata, nasjeli na 852 m, pročišćavanje od 852 – 898 m uz djelomični povrat (kod kapaciteta  $Q = 2070$  l/min povrat cca 400 l/min) . Zatvaranjem bušotine izmjeren je porast pritiska na ušću i iznosio je 0.7 bara, a zadizanjem bušačkih šipki na 8 m od razine zemlje prestanak preljeva. Prema najviše izmjerenom pritisku od 0.9 bara na ušću bušotine može se zaključiti da je gradijent slojnog pritiska ravan hidrostatskom ili neznatno povišen ili se stvara uslijed povišene temperature i dovodi do samoizljeva – arteškog davanja bušotine.

### Mjerenje temperature

Praćenje ulazne i izlazne temperature isplake na bušotini IB-10 je počelo od dubine 34 m. Do ulaska u krečnjake, na dubini od 348 m izlazna temperatura isplake nikada nije bila viša od  $38.5^{\circ}\text{C}$ , a ulazna od  $37.8^{\circ}\text{C}$ . Po ulasku u krečnjake, već na 350 m dubine izlazna temperatura se penje do  $39.5^{\circ}\text{C}$ , a ubrzo (na 360 m dubine) dostiže vrijednost višu od  $40^{\circ}\text{C}$ . Na 370 m dubine, kada su se pojavili prvi gubici isplake, izlazna temperatura pada na  $39.2^{\circ}\text{C}$  (ulazna je  $33.3^{\circ}\text{C}$ ), da bi na 380 m ponovo porasla na  $40.4^{\circ}\text{C}$  (dok je ulazna  $31.5^{\circ}\text{C}$ ). Na bušotini IB-10 u pet navrata je mjerena kontinuirana temperatura, a najviša registrirana temperatura iznosila je  $36.8^{\circ}\text{C}$  na 775 m dubine. Vrijednosti  $T_{\max}$  variraju od  $30-33^{\circ}\text{C}$  u svim mjerenjima. U intervalu 567 – 245 m izmjerena je maksimalna temperatura manje od  $38^{\circ}\text{C}$ , a u intervalu 19 – 567 m najveća izmjerena kontinuirana temperatura je bila  $36.8^{\circ}\text{C}$  12 sati nakon prekida cirkulacije. Na dubini 544 m 12 sati nakon prekida cirkulacije temperatura je bila  $35.9^{\circ}\text{C}$ , a 12.5 sati nakon prekida cirkulacije  $36.1^{\circ}\text{C}$ . EK mjerenje kontinuirane temperature od 34 – 774 m vršeno je u dva navrata (nakon 13 sati i 22,5 sata nakon prekida cirkulacije). U oba slučaja dobivena je maksimalna

temperatura od 31° C na dnu bušotine. To je očit dokaz da je formacija pothlađena uslijed gubitaka isplake tokom cirkulacije i bušenja i da je prodor filtrata isplake u formaciju razmjerno velik, te se ta mjerenja ne mogu uzeti kao relevantni podaci o temperaturi formacije. Tokom mjerenja na 940 m sa temperaturnom sondom nasjelo se na dubinu od 905 m,  $T_{max3}$  je temperatura izmjerena na 905 m i ona iznosi 25°C.

### Mjerenje izdašnosti i odnosi hidrogeoloških parametara po dubini bušotine

Temperature od 853 do 1016 m se kreću oko 31°C, a dublje od 22.5 do 19.8°C. Elektroprovodljivosti su slične od 853 do 900 m a zatim opadaju, pa na 1016 m dubine iznose svega 553  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a u intervalu open holea su oko 1160  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; ovo ukazuje da na bušotini imamo 3 vrste voda i još jedan tip voda od 200 - 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Izdašnosti samoizliva variraju od 30 do 44 l/s u intervalu 853 do 1016 m dubine, u intervalu 1002 – 1016 m dubine izdašnost samoizliva je svega 2.5 l/s da bi u dubljem nivou – u intervalu 1002 – 1100 m iznosila konstantno oko 25 l/s. Po završetku bušenja dlijetom prečnika  $\varnothing 8 \frac{1}{2}$ ", pri dubini bušotine 1014 m i pri otvorenom kanalu bušotine u intervalu od 771 do 1014 m., vršeno je testiranje bušotine samoizlivom. Mjerena je izdašnost zapreminskom metodom (preko bazena za isplaku) u dva navrata i rezultat je bio identičan ( $Q = 30,16$  l/s). Temperatura vode je iznosila 30,3°C, dok je CO<sub>2</sub> dostizao vrijednost 27,3 %. Pri istoj dubini 17.10.2004. god., temperatura vode koja je samoizlivom isticala iz bušotine je iznosila 31,2° C. Tada se pristupilo ugradnji kolone (liner-a)  $\varnothing 7$ ". Elektroprovodljivost vode koja samoizlivom istječe iz bušotine sa intervala od 1002 do 1016 m mjerena., iznosi 553  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , što je neuporedivo manje od vrijednosti elektroprovodljivosti mjerene., pri dubini bušotine 902 m, a koja je iznosila 1560  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Već na dubini 1028 m izdašnost samoizliva se povećava do 14 l/s (28.10.2004.), pa čak i do 25 l/s (29.10.2004.), pri temperaturi vode (koja isticlje samoizlivom iz bušotine) 23,5 °C (29.10.2004). Na toj dubini se i elektroprovodljivost vode mjerena 30.10.2004. god. povećava na 912  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ovi podaci ukazuju na priliv novih voda, čija je izdašnost, kao i elektroprovodljivost znatno veća, dok im se temperatura (oko 23,5 °C) i učešće CO<sub>2</sub> (6-7 %) neznatno povećavaju pri dubini bušotine 1028 m.; ovo ukazuje da na bušotini imamo 3 vrste voda i još jedan tip voda od 200 - 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Izdašnosti samoizliva variraju od 30 do 44 l/s u intervalu 853 do 1016 m dubine, u intervalu 1002 – 1016 m dubine izdašnost samoizliva je svega 2.5 l/s da bi u dubljem nivou – u intervalu 1002 – 1100 m iznosila konstantno oko 25 l/s. Kada je u nastavku bušenja, dlijetom prečnika  $\varnothing 5 \frac{7}{8}$ ", probušena peta kolone i cementni čep (10.10.2004.), pri pročišćavanju bušotine do dubine 1011 m, došlo je do pada tlaka i do gubitaka već na 1003 m dubine. Iz navedenih priliva može se zaključiti da su dobijene velike izdašnosti samoizliva voda na više horizonata, a daleko veće crpljenjem airliftom uz odgovarajuća sniženja dinamikog nivoa a bez promjene temperature i elektroprovodljivosti vode. Dobiveni rezultati ukazuju na postojanje više horizonata voda s različitim fiziko-hemizmom i temperaturom. Iz dijagrama na slici 9. se vidi, da su pritisci ujednačeni s dubinom i variraju od 0.8 – 0.9 bara pri zatvorenom ventilu na ušću bušotine.



Slika 9. Dijagram promjene temperature  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), pritiska  $p$  (m vod.st.), samoizliva  $Q$  (l/s) i elektroprovodljivosti  $E$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) po dubini bušotine

### Ispitivanje hermetičnosti

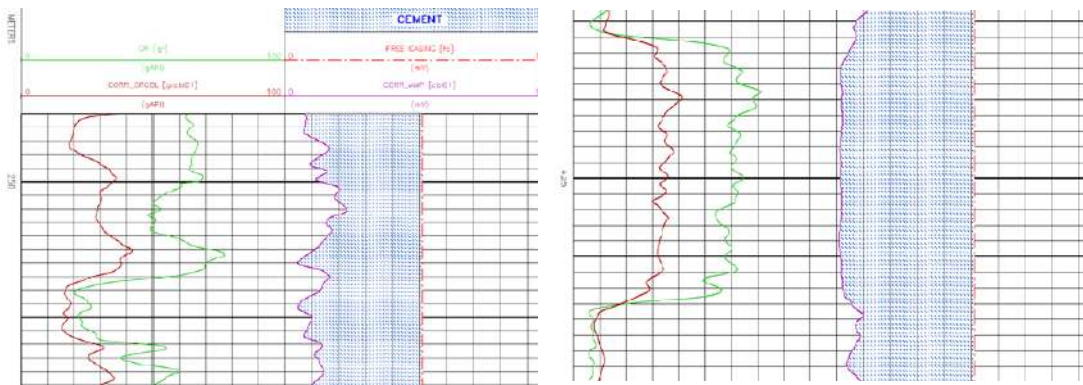
Ispitivanje hermetičnosti izvođeno je nakon ugradnje kolone zaštitnih cijevi i to:

- za 13 3/8" kolonu navrnuta je bazna prirubica te montirani dvostruki čeljusni preventer SHAFFER i anularni preventer HYDRILL.nakon montaže preventera ispitana je hermetičnost kolone (puni profil čeljusnog preventera) tlakom od 100 bara/30 min – bez pada tlaka
- za kolonu 12 1/4" ispitana je hermetičnost opreme na ušću bušotine:
- PPV ventila i unutarnjih ventila choke linije – 100 bara/15 min - bez pada tlaka
- Kelly cook-a i vanjski ventili choke linije – 100 bara/15 min – bez pada tlaka
- Kelly cook-a i unutarnji ventili choke linije – 100 bara/15 min – bez pada tlaka
- Anularnog preventera – 100 bara/30 min – bez pada tlak
  
- Prije bušenja 8 1/2" je ispitana hermetičnost – nije bilo pada tlaka te je ponovo ispitana hermetičnost i nastavljeno s bušenjem.

## Mjerenje kvalitete cementacije

Mjerenje kvalitete urađene cementacije data je kao i analiza dijagrama CBL / VDL / CCL (Mjerilo 1:500) koju je izradio J. Rosandić, dipl. Ing. (specijalist za mjerenja u zacjvljenom kanalu bušotine).

- 995 - 735 m slaba veza za kolonu
- 735 - 465 m zadovoljavajuća do djelomična veza za kolonu i formaciju
- 465 - 442 m dobra veza za kolonu i formaciju
- 442 - 432 m zadovoljavajuća veza za kolonu i formaciju
- 432 - 415 m dobra veza za kolonu i formaciju
- 415 - 225 m zadovoljavajuća do djelomična veza za kolonu i formaciju
- 225 - 42 m slaba veza za kolonu



Slika 10. Primjer dobre veze za kolonu i formaciju I slabe veze za kolonu (Free Casing)

## Praćenje gubitaka isplake

Gubici isplake na bušotini registrirani sukcesivno s napredovanjem bušenja, a dati su u slijedećoj tabeli 2. TABELA 2. GUBICI ISPLAKE NA BUŠOTINI IB-10 ILIDŽA

| INTERVAL (m)        | GUBITAK SPLAKE (m <sup>3</sup> /h) | A. TRAJANJE (h) | UKUPAN GUBITAK U INTERVALU (m <sup>3</sup> ) | PRIMJEDBA  |
|---------------------|------------------------------------|-----------------|--|--|
| 370-381             | 1 – 1,5                            | 5               | 6  | Prije pojave gubitaka spec. težina isplake je iznosila 1,13 g/cm <sup>3</sup> . Gubici prestaju kada se intervenisalo tako što je smanjena spec. težina, a povećan viskozitet isplake. Isplaka je polimerna. |
| 505 (506)-525 (526) | 0,08-0,1                           | 24              | 2-2,5  | Isplaka je polimerna, spec.težine 1,10<br>$\zeta = \text{g/cm}^3$  |

|  |                               |      |    |   |
|--|-------------------------------|------|----|---|
| 540 – 557<br>na 544 – pojava<br>većih gubitaka | 4                             | 12   | 48 | Isplaka je polimerna. Kad su<br>gubici počeli na 540-om metru<br>$\zeta = 1,10 \text{ g/cm}^3$ , a na 557 m, $\zeta =$<br>$1,05 \text{ g/cm}^3$ |
| 557 – 567,5                                    | 2,5                           | 8    | 20 | $\zeta = 1,06 \text{ g/cm}^3$   |
| 567,5 - 591                                    | prosječno 1,25                | 16   | 20 | $\zeta = 1,06 \text{ g/cm}^3$   |
| 591 - 624                                      | 0,6-1,2<br>(prosječno 0,75)   | 24   | 18 | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,06$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 624 - 650                                      | 0,5-1,1<br>(prosječno 0,8)    | 24   | 19 | Isplaka je polimerna $\zeta = 1,07$<br>$\text{g/cm}^3$  |
| 650 - 662                                      | 0,1-1,1<br>(prosječno 0,4)    | 10   | 4  | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,06$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 662 - 686                                      | 0,3-1,0<br>(prosječno 0,45)   | 24   | 11 | Isplaka je polimerna $\zeta = 1,06-$<br>$1,07 \text{ g/cm}^3$   |
| 686 - 715                                      | 0,4-0,8<br>(prosječno 0,58)   | 24   | 14 | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,08$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 715 - 736                                      | 0,4-0,9<br>(prosječno 0,5)    | 24   | 12 | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,08$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 736 - 764                                      | 0,3 – 0,7<br>(prosječno 0,42) | 24   | 10 | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,09$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 764 - 775                                      | 0,3-0,5<br>(prosječno 0,35)   | 11,5 | 4  | Isplaka je polimerna, $\zeta = 1,09$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 775  | 0,24                          | 12,5 | 3  | Za vrijeme obrade kanala<br>bušotine uz cirkulaciju i vađenje<br>alata izgubljeno $3 \text{ m}^3$ isplake. $\zeta$<br>$= 1,09 \text{ g/cm}^3$   |

|                               |                                 |      |     |  |
|-------------------------------|---------------------------------|------|-----|--|
| 775<br>802 – 841<br>841 – 853 | 0,07                            | 14,5 | 1   | Za vrijeme EK mjerenja<br>izgubljeno<br>$1 \text{ m}^3/14,5 \text{ h}$ . Poslije EK mjerenja<br>u<br>statičkim uvjetima nije bilo<br>gubitaka.<br>$\zeta = 1,09 \text{ gr/cm}^3$ . |
| 812 - 815                     | 7                               | 0,5  | 3,5 | Radni fluid je voda $\zeta = 1,02$<br>$\text{g/cm}^3$  |
| 815 - 843                     | 5                               | 6    | 30  | Radni fluid je voda, $\zeta = 1,02$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 843 - 853                     | Preko 22<br>(prosječno<br>26,4) | 2,5  | 66  | Radni fluid je voda, $\zeta = 1,02$<br>$\text{g/cm}^3$   |
| 853                           | Totalnigubitak                  | -    | -   | Radni fluid je voda, $\zeta = 1,02$<br>$\text{g/cm}^3$   |

### Mjerenje nagiba bušotine

Ispis svih izmjerenih elemenata nagiba kanala bušotine (kut i azimut) u intervalu 245-775m – svakih 5 m. Ispis svih izračunatih elemenata nagiba slojeva (DIP-nagib i DIR-smjer nagiba) u intervalu 245-775m, a to je premalo za kvalitetnu strukturnu analizu probušenih naslaga.



Tabela 3. Ispis svih izmjerenih elemenata nagiba kanala bušotine (kut i azimut) u intervalu 245-775m

| DUBINA (m) | KUT   | AZ      | AZ_1 papuče | DIP    | DIR     | RB      |
|------------|-------|---------|-------------|--------|---------|---------|
| 321.00     | 0.176 | 256.062 | 303.898     | 55.000 | 222.000 | 47.836  |
| 335.00     | 0.176 | 225.286 | 283.498     | 44.000 | 299.000 | 58.212  |
| 347.00     | 0.246 | 225.459 | 276.637     | 58.000 | 260.000 | 51.177  |
| 349.00     | 0.176 | 225.286 | 270.835     | 68.000 | 295.000 | 45.550  |
| 379.00     | 0.176 | 206.820 | 256.414     | 7.000  | 214.000 | 49.595  |
| 399.00     | 0.176 | 180.088 | 234.255     | 38.000 | 83.000  | 54.167  |
| 401.00     | 0.211 | 180.264 | 229.507     | 41.000 | 78.000  | 49.243  |
| 407.00     | 0.246 | 158.456 | 213.327     | 45.000 | 247.000 | 54.871  |
| 415.00     | 0.281 | 161.797 | 208.930     | 41.000 | 238.000 | 47.132  |
| 417.00     | 0.281 | 153.707 | 206.116     | 37.000 | 205.000 | 52.408  |
| 431.00     | 0.387 | 153.533 | 196.445     | 44.000 | 254.000 | 42.912  |
| 433.00     | 0.352 | 157.049 | 200.840     | 45.000 | 249.000 | 43.791  |
| 481.00     | 0.809 | 141.746 | 180.088     | 31.000 | 137.000 | 38.339  |
| 543.00     | 1.653 | 177.980 | 172.174     | 62.000 | 220.000 | 354.196 |
| 563.00     | 2.040 | 210.003 | 168.129     | 72.000 | 126.000 | 318.144 |
| 567.00     | 2.181 | 212.117 | 167.425     | 70.000 | 105.000 | 315.330 |
| 605.00     | 2.568 | 191.543 | 163.732     | 53.000 | 242.000 | 332.213 |
| 775.00     | 2.040 | 327.113 | 146.146     | 29.000 | 201.000 | 179.033 |

### Zaključak

S ciljem istraživanja postojanja termomineralnih voda viših temperatura od 58°C i proširenje dosadašnje termomineralne zone Ilidže dobijanjem novih količina vode veće izdašnosti iz dubljih kolektorskih horizonata na širem prostoru, te da se steknu nova saznanja, koja bi mogla otvoriti nove perspektive korištenja hidrotermi višeg energetskog nivoa, krenulo se sa bušenjem duboke bušotine IB-10. Međutim, bušotina nije ispunila glavni zadatak i nije nabušila vode temperature veće od 58°C, a nije postigla ni projektom predviđenu dubinu 1500 m ± 20 % radi nemogućnosti daljnjeg bušenja. Veliki problemi manifestovali su se na 1100 m zbog nemogućnosti iznošenja nabušenog materijala i materijala koji se zarušava uslijed jake karstificiranosti, kavernožnosti i raspucanosti bušene formacije uz totalne gubitke te bez povratne cirkulacije. Mjerenja koja su izvođena tokom izrade bušotine kao što su : praćenje podataka i parametara bušenja, uzorkovanje materijala sa sita, jezgrovanje i interpretacija podataka LNB, "DST" mjerenja, mjerenje temperature, praćenje gubitaka isplake, karotažna mjerenja, mjerenje nagiba bušotine, mjerenje poroznosti i zasićenja, mjerenje kvalitete cementacije, ispitivanje hermetičnosti, mjerenje izdašnosti , ukazala su na novonastale probleme, kao što su zaglavlja alata i problemi sa gubitkom cirkulacije. Dobijeni rezultati istraživanja pokazuju da je pronađeno novo ležište termomineralnih voda obogaćenih sa CO<sub>2</sub>, koje su prekrivene izolatorom debljine od oko 300 m, koji predstavlja i toplinsku barijeru te da iste nikada neće biti zagađene od bilo kojeg zagađivača sa površine terena. Dobivene horizonte ispitati te predložiti njihovo najekonomičnije korištenje. Bušenjem IB-10 utvrđeno je postojanje jako razvijene karstifikacije (pukotine i kaverne) na većim dubinama (od 800 do 1000 m), što daje opravdanost daljeg istraživanja voda na novim lokacijama. Navedeni rezultati ukazuju da se nastavilo sa poslijeratnim hidrogeološkim istraživanjem geotermalnih voda Ilidže, da su ona sa stručnog, naučnog i ekonomskog aspekta opravdana i da se ona trebaju nastaviti. Problemi koji su se javljali tokom bušenja mogu se svakako na narednim istražnim bušotinama bolje rješavati, primjenjujući još širi dijapazon mjerenja te pojačavanjem njihove učestalosti.

**Literatura:**

- Crosco-Zagreb, Sektor-Geoservisa (V. Ivanković) 2004. Završno izvješće izvedbe bušotine IB-10 Ilidža
- Čamdžić A. 2011. Metode mjerenja kod izgradnje dubokih bušotina na području Ilidže, Magistarski rad, RGGF Tuzla
- Djerković B., 1978. Mogućnost dobijanja visokotermalnih voda na banji Ilidža kod Sarajeva, Peti jugoslovenski simpozijum o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Beograd.
- Djerković B., 1988. Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi termomineralnih voda Ilidže, FSD Zavod za geologiju Sarajevo.
- Geofizika Zagreb, 1983. Geofizička istraživanja banje Ilidža kod Sarajeva, FSD Geofizika Zagreb.
- Geofizika Zagreb, 1987. Geofizička ispitivanja Banje Ilidže kod Sarajeva, FSD Zavod za geologiju Sarajevo.
- INA, Naftaplin, Zagreb Sektor za razradu, 2004. Završni izvještaj o obavljenim karotažnim mjerenjima na bušotini IB-10 Ilidža
- Federalni zavod za geologiju Miošić N., Turalija A., Brkić E. , 2002. Elaborat o istražno eksploatacionoj bušotini IB-2
- Federalni zavod za geologiju Miošić N., 2010. Elaborat o istražno eksploatacionim bušotinama IB-1 IB-3A
- FSD Zavod za geologiju – Sarajevo Miošić, N., Hrvatović, H., 2001.: Osnovni projekt detaljnih hidrogeoloških istraživanja termomineralnih voda područja Ilidže
- Zelenika M., Varaždin 1995. Tehnologija izrade bušotina
- Zavod za geologiju Sarajevo 2005. Izvještaj o istražno-eksploatacionoj bušotini IB-10 Ilidža  
Miošić N. Hrvatović H., Samardžić N., Hajdarević I.
- Turalija A., 2005. Izvještaj o rezultatima izvedenih sanacionih radova eksploatacionoj bušotini IB-2 na Ilidži u cilju zahvatanja termomineralnih voda za potrebe banjско – rekreativnog centra Terme – Ilidža.

## Hidrogeološki i antropogeni uslovi formiranja i stabilizacije klizišta na lokalitetima u Tuzli

Mr.sc.JASENKO ČOMIĆ

Georad d.o.o.Tuzla

Dr.sc.IZET ŽIGIĆ

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla

### Sažetak

Općina Tuzla broji 40 mjesnih zajednica koje su u manjoj ili većoj mjeri ugrožena pojavom klizišta. Inženjerskogeološki procesi klizanja tla, iz godine u godinu sve više ugrožavaju materijalna dobra, kao i ljudske živote.

U ovom radu analizirana su tri klizišta i jedan odron na području općine Tuzla, koji svojim različitim mehanizmom klizanja, odnosno odlamanja pokrenute mase ugrožavaju individualne stambene objekte, a time i ljudske živote. U radu prikazani su rezultati istraživanja prirodnih uslova u kojima se odvijaju procesi klizanja, antropogeni uzroci, kao i mjere sanacije za iste. Zbog različitog mehanizma pokrenute mase, primjenjene su različite metode istraživanja od inženjerskogeološkog i hidrogeološkog kartiranja, geomehaničkih istraživanja, do geofizičkog profiliranja terena sukladno problematici predmetnog područja. Analizirani su hidrološki i hidrogeološki odnosi za period 2007-2011. godine koji su bili na području općine Tuzla. U posmatranom periodu zabilježen je trend povećavanja broja klizišta pri čemu je uspostavljena veza između hidroloških prilika i promjene hidrogeoloških i inženjerskogeoloških karakteristika tla u uslovima antropogenih djelovanja.

Na osnovu utvrđenog inženjerskogeološkog i hidrogeološkog sastava i svojstava terena, stepena zastupljenosti egzogenih geoloških procesa i endogenih pojava, reonizacije terena, definisanog mehanizma klizanja, predstavljene su bitne preporuke i uslovi načina sanacije nestabilnog i uslovno stabilnog terena.

Ključne riječi: antropogeni uzroci, profiliranje terena, egzogeni procesi, endogene pojave.

### Abstract

Municipality of Tuzla has 40 local communities that are more or less affected by the landslide. Engineering processes landslides, every year more and more threatening material goods, KAAO and human lives.

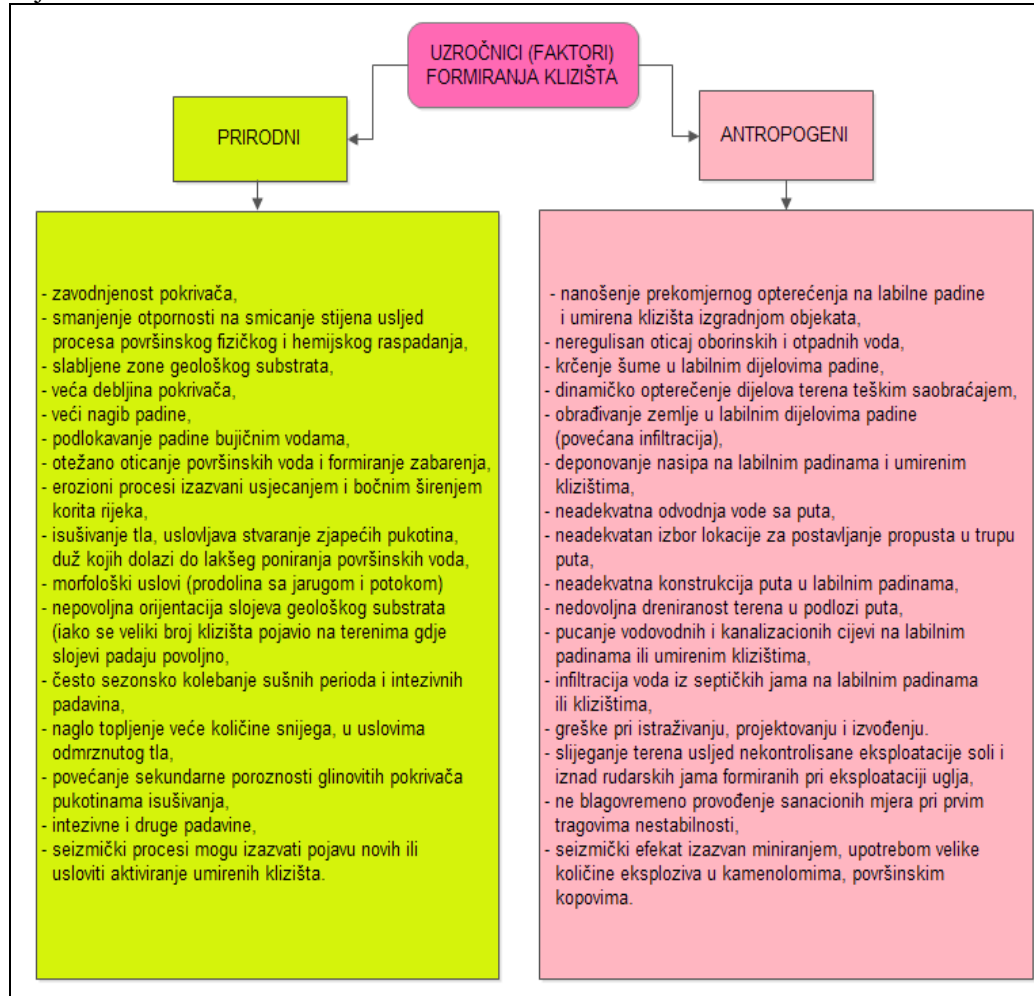
In this paper, three landslides and one landslide in the municipality of Tuzla, which its different mechanism slip or rupture initiated mass threaten individual housing, and thus human lives. This paper presents the results of research in natural conditions in which the processes activated slip anthropogenic causes and rehabilitation measures for the same. Due to the different mechanisms of the masses, have applied different methods of research inženjerskogeološkog and hydrogeological mapping, geotechnical investigations, geophysical profiling to issue orders in accordance with the subject area. Analyzed hydrological and hydrogeological relations for the period 2007-2011. year who were in the area of Tuzla. In this period, there was an upward trend in the number of landslides in which the connection is established between the hydrological conditions and changes inženjerskogeoloških hydrogeological and soil characteristics under conditions of anthropogenic activities.

Based on the established inženjerskogeološkog and hydrogeological composition and properties of the field, the level of representation of exogenous geological processes and endogenous phenomenon reonizacije field defined mechanism slip presented significant recommendations and requirements ways to solve the unstable and conditionally stable terrain.

Keywords: anthropogenic causes, terrain profiling, exogenous processes, endogenous phenomenon

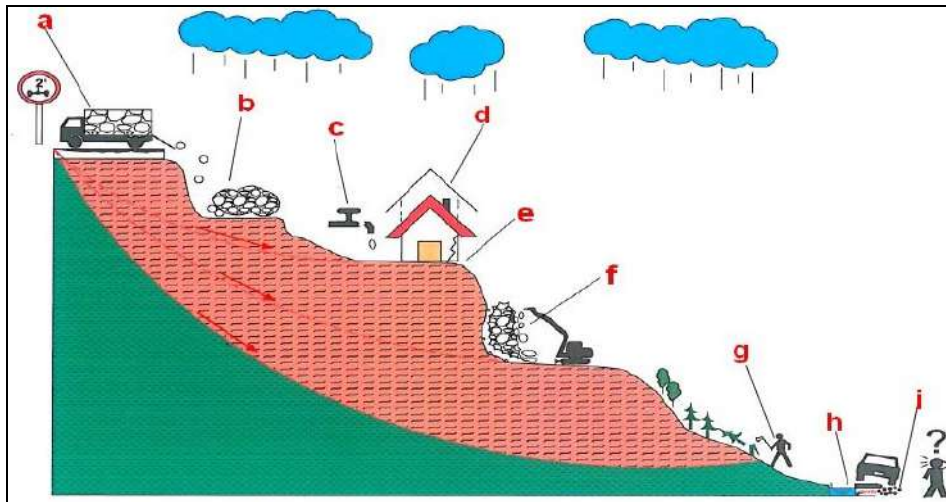
UVOD

Antropogeni procesi nastaju kao posljedica ljudske aktivnosti kojima se narušava prirodna stabilnost padina. Savremeni geodinamički procesi u sadejstvu sa podzemnom i površinskom vodom imaju presudnu ulogu za pokretanje klizne mase.



Slika 1. Glavni faktori nastanka klizišta (Sistematizovao J. Čomić)

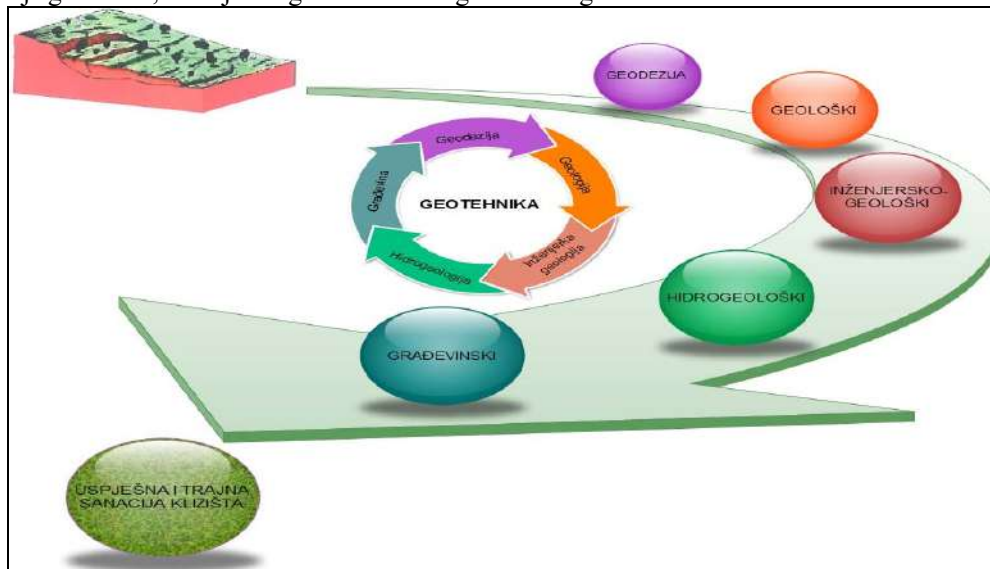
Usljed nekontrolisane eksploatacije slanice, starim rudarskim radovima ubrzavaju se procesi slijeganja terena, a koji u padinskim terenima često izazivaju klizišta. Broj klizišta na nekom području zavisi od stepena zastupljenosti geohazardnog potencijala. Pojavu klizišta ne možemo u potpunosti neutralizirati, ali ovu geohazardnu pojavu možemo držati pod određenom tehničkom kontrolom i time smanjiti neželjene posljedice koja klizišta donose svojom pojavom.



Slika 2. Prikaz najučestalijih antropogenih djelovanja

- a) prekoračenje dozvoljenog opterećenja na putu, dinamičko opterećenje (teškim saobraćajem)
- b) deponovanje nasipa na labilnim padinama,
- c) pucanje vodovodnih i kanalizacionih cijevi na labilnim padinama,
- d-e) izgradnja objekata i nanošenje prekomjernog opterećenja na LP,
- f) nestručno zasjecanje padine,
- g) krčenje šume u labilnim dijelovima padine,
- h) podlokavanje puta, i nedovoljna dreniranost podloge puta,
- i) neadekvatna konstrukcija puta.

Poštivanje iskustvenih principa sanacija klizišta, u interakciji sa teoretskim i opštim principima, mogu dovesti do prevencije i rješavanja problema. Smanjenje rizika uspješnosti sanacije samo je moguće uz dobro poznavanja geoloških, inženjerskogeoloških hidrogeoloških i geomehničkih uslova.



Slika 3. Put trajne sanacije klizišta

U interdisciplinarnom sadejstvu nauka i naučnih disciplina, kao što su geodezija, geofizika, geologija, inženjerska geologija, hidrogeologija, geomehanika, meteorologija i građevinstvo, moguća je uspješna i trajna sanacija klizišta.

U radu prikazani rezultati istraživanja klizišta u Tuzli na lokalitetima "Piskavice" u Gornjoj Tuzli, "Simin Han" padina iznad stadiona, "Vrdeljuše" u Čaklovićima i klizište-odron "Crvene Njive". Prema podacima

Zavoda za urbanizam i prostorno uređenje općine Tuzla, od ukupne površine teritorije općine 17,5% terena je ugroženo egzogenodinamičkim procesima.

Teritorija općine Tuzla karakteriše se veoma složenom geološkom i geomorfološkom građom. Morfološki oblici su u mnogome zavisni od litološkog sastava terena. Zbog složenosti geološke građe i veoma česte izmjenjivosti pojedinih litoloških članova, izvršeno je detaljno geološko i inženjerskogeološko kartiranje terena, a rezulteti su, sa položajem istražnih radova (geomehaničkih, inženjerskogeoloških i hidrogeoloških-osmatračkih bušotina), prikazani na odgovarajućim kartama i profilima.

## 1. FIZIČKO-GEOGRAFSKE, GEOMORFOLOŠKE I HIDROGRAFSKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA OPĆINE TUZLE

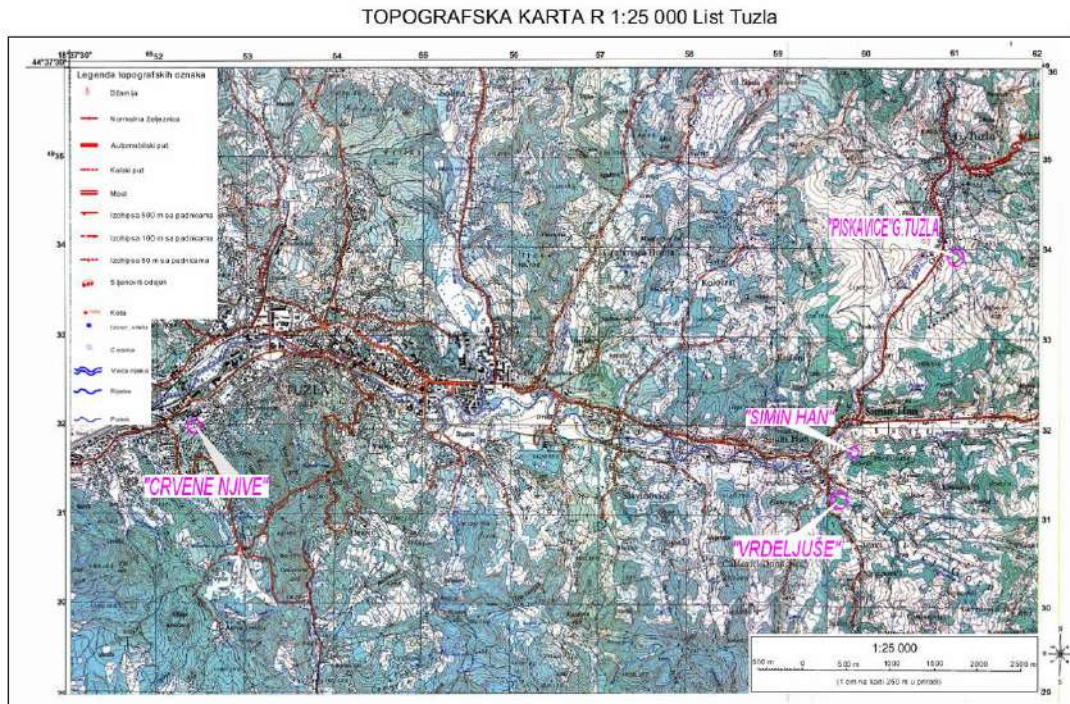
Područje općine Tuzle u geološkom pogledu svrstava se u kontaktnu zonu Dinarida i Panonske nizije. Kotlinasto područje nalazi se na južnoj strani grebena Majevice i odvojenog grebena prema Obodnici. Sastoji se pretežno od dugih poprečnih potočnih dolina koje se završavaju u dolini rijeke Jale. Generalno teren je blago nagnut prema jugu.

Tereni i karakteristična klizišta predstavljani su na topografskoj karti razmjere R 1: 25 000.

Geomorfološke karakteristike općine Tuzla su raznolikog i složenog karaktera, a što je posljedica njezine geološke građe, strukturno-tektonskih karakteristika, egzogenih procesa i antropogene aktivnosti.

Zastupljeni geomorfološki oblici koji preovladavaju na području općine Tuzla su:

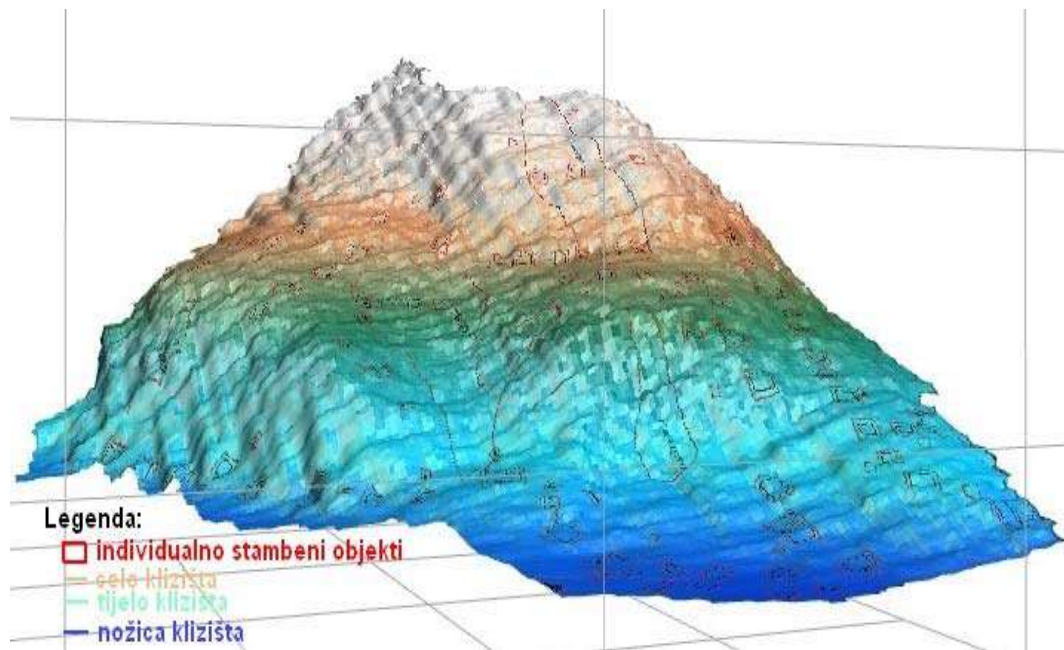
- Endogeni oblici nastali su radom unutrašnjih zemljanih sila koji su nakon formiranja bili izloženi uticaju egzogenih sila koji su formirali savrameni oblik reljefa. U endogeni reljefa izdvaja se: tektonski i vulkanski reljef. Na području općine Tuzla preovladava tektonski reljef, formiran u neotektonskoj fazi kada je veći dio padinskog terena usljed radijalnih poremećaja podjeljen u strukturno-tektonske facijalne jedinice terena i tri različite strukturne etaže. Usljed uticaja tangencijalnih sila došlo je do ubiranja slojeva unutar tektonskih blokova i formiranja različitih antiklinalnih i sinklinalnih formi. Djelovanjem radijalnih sila došlo je do formiranja manjih i većih rasjeda koji su uticali na izdjeljenost terena. Slijedom tih procesa došlo je do izdizanja pojedinih blokova i formiranja horstova i rovova, kao što je horst Majevice koji se i danas izdiže, tuzlanski basen i Sprečanski rov. Vulkanski reljef nema veliku zastupljenost na području općine Tuzla. Registrovane pojave serpentinita u jurskim naslaga nastale su kao posljedica metamorfizma ultrabazičnih stijena. Postojanost tufita u sonom ležištu svjedoči o uticaju vulkanske aktivnosti koja nije imala veliki značaj na formiranje reljefa izučavanog područja.



Slika 4. Topografska karta R1:25 000 sa položajem karakterističnih klizišta u općini Tuzla

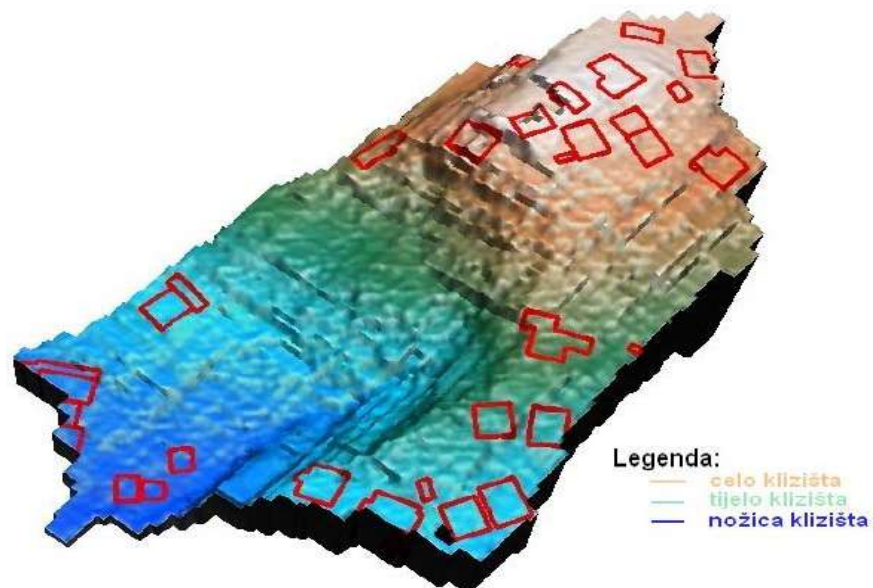
- Egzogeni procesi odvijaju se u površinskom dijelu litosfere pod uticajem spoljašnjih sila: vode, vjetra i temperature. Pod uticajem pomenutih sila dolazi do raspadanje stijene i promjene njihovog stanja i formiranje drugih procesa i oblikovanje reljefa. Ovi prirodni procesi nazivaju se egzogeni procesi. U sastavu egzogenog tipa reljefa izdvajaju se: fluvijalni i padinski reljef. Fluvijalni tip reljefa ima veliko rasprostranjenje u općini Tuzla. Zastupljen je najvećim dijelom uz riječne tokove Jale, Soline, Tinje, a manjim dijelom za rijeku Spreču. Nastao je kao posljedica eroziono-akumulacijskog rada riječnih voda, bujičnih potoka. U okviru ovog reljefa zastupljeni su: aluvijalni (formirane akumulacijom riječne terase) i proluvijumi. Padinski tip reljefa je najzastupljeniji tip reljefa na području općine Tuzla.

Pod uticajem egzogenih sila (kolibanje temperature, padavine i dr.) došlo je do formiranja današnjih padina i oblikovana reljefa. U morfometrijskom pogledu padine imaju različite oblike, orijentacije, veličine i nagiba. Razučeni reljef je posljedica ispresjecanosti padina većim brojem potoka, jaruga i formiranja manjih padina različite orijentacije. Veći nagib padine je prisutan na dijelovima terena koje grade tvrde stijene ili otkriveni geološki supstrati (krečnjaci, laporci, itd.) na kojima nije prisutan glinoviti deluvijalni pokrivač.



Slika 5. Geomorfološki model (padinski tip reljefa), lokalitet padina iznad stadiona "Simin Han"

- Vještački (antropogeni) reljef je nastao kao posljedica djelovanja ljudske aktivnosti, kao što su formiranje na nestabilnim padinama zemljanih nasipa, smljetišta, deponijama pepela i šljake, rudarske aktivnosti, divlje gradnje i sl.



Slika 6. Geomorfološki model terena (vještački antropogeni reljef), lokalitet "Crvene Njive"

Hidrografska mreža područja općine Tuzla pripada istočnom dijelu sliva rijeke Spreče, sa rijekom Jalom, čiji sliv čine rijeke Solina i Joševica i manji vodotoci sa izrazitim bujičnim karakteristikama kao što su: Gornja Tinja, Dobrinjska rijeka, Mramorski potok, Kovačica, Požarnička Jala, Kosačka rijeka, Dokanjski potok i Divički potok.



## 2. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE TERENA U OPĆINI TUZLA

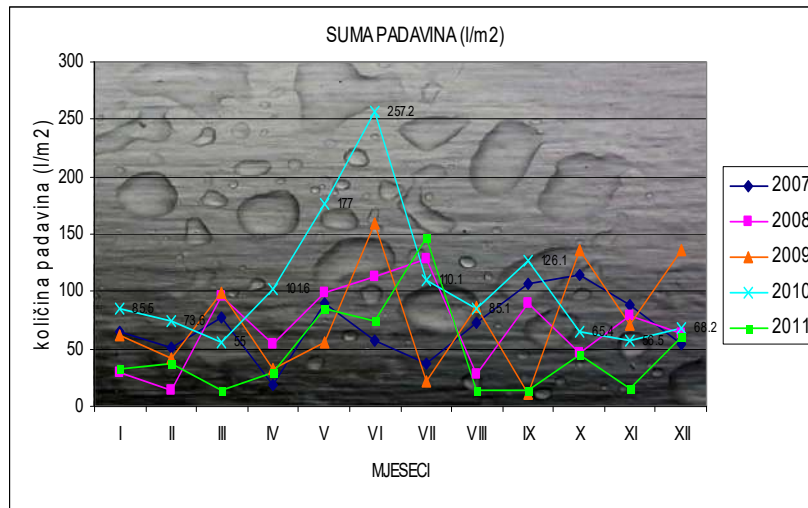
Za potrebe detaljnije analize uticaja pojedinih klimatoloških elemenata na pojavu klizišta korišteni su podaci dobiveni od Federalnog hidrometeorološkog zavoda iz Sarajeva, za period 2007 – 2011. godina, je su se tom periodu dešavala intezivnija aktiviranja klizišta na području općine Tuzla.

Na osnovu izvršene analize vrijednosti klimatskih elemenata i analize vremenskog pojavljivanja klizišta, utvrđeno je da na području općine Tuzla postoji direktna povezanost količine padavina i naglog otapanja veće količine snijega sa aktiviranjem klizišta. U decembru 2010. godine aktiviralo se klizište u naselju "Crvene njive", koje je za posljedice imalo pogibiju tri građanina. Suma padavina za 2010. godinu iznosila je 1261 l/m<sup>2</sup> i ista nadmašuje višegodišnji prosjek od 894.3 l/m<sup>2</sup>. Upoređujući podatke dobivene iz katastra klizišta u općini Tuzla, vođenim za period 2007 – 2011. godine, uočen je trend povećanja. Analizom vrijednosti klimatskih elemenata i analize vremenskog pojavljivanja klizišta, pri ekstremnom smjenjivanju sušnih perioda i perioda sa intezivnijim padavinama može se zaključiti o značaju hidrometeoroloških parametara.

Tabela 1. Mjesečni podaci sume padavina za period 2007-2011. godinu

| God. | Mjeseci |      |      |       |      |      |        |      |       |      |      |       |
|------|---------|------|------|-------|------|------|--------|------|-------|------|------|-------|
|      | I       | II   | III  | IV    | V    | VI   | VII    | VIII | IX    | X    | XI   | XII   |
| 2007 | 64.8    | 51.7 | 76.7 | 18.3  | 89.2 | 57.9 | 36.4   | 72.9 | 106.4 | 114  | 88.2 | 54.3  |
| 2008 | 30.1    | 14   | 96.4 | 53.5  | 99.7 | 113  | 128.4  | 27.8 | 90    | 47   | 78.9 | 63.3  |
| 2009 | 62.1    | 41   | 99.4 | 32.2  | 55.8 | 160  | 21.5   | 86.8 | 10.5  | 136  | 71.8 | 135.8 |
| 2010 | 85.5    | 73.6 | 55   | 101.6 | 177  | 257  | 110.1  | 85.1 | 126.1 | 65.4 | 56.5 | 68.2  |
| 2011 | 31.8    | 37.1 | 13.8 | 28.7  | 85.7 | 73.5 | 146.60 | 13.4 | 13.7  | 45.4 | 15.4 | 61.0  |

Zbog prisustva predisponiranih terena na klizanje u općini Tuzla, istraživanja su pokazala da u određenim okolnostima, pojava padavina od preko 50 l/m<sup>2</sup> u 24 h, dovodi do aktiviranja velikog broja klizišta. Sa povećanjem broja kišomjernih stanica raspoređenih na različitim dijelovima općine Tuzla moglo bi se pouzdanije utvrditi koja je to kritična količina padavina u određenom periodu koja može izazvati intezivnije reaktiviranje klizišta.

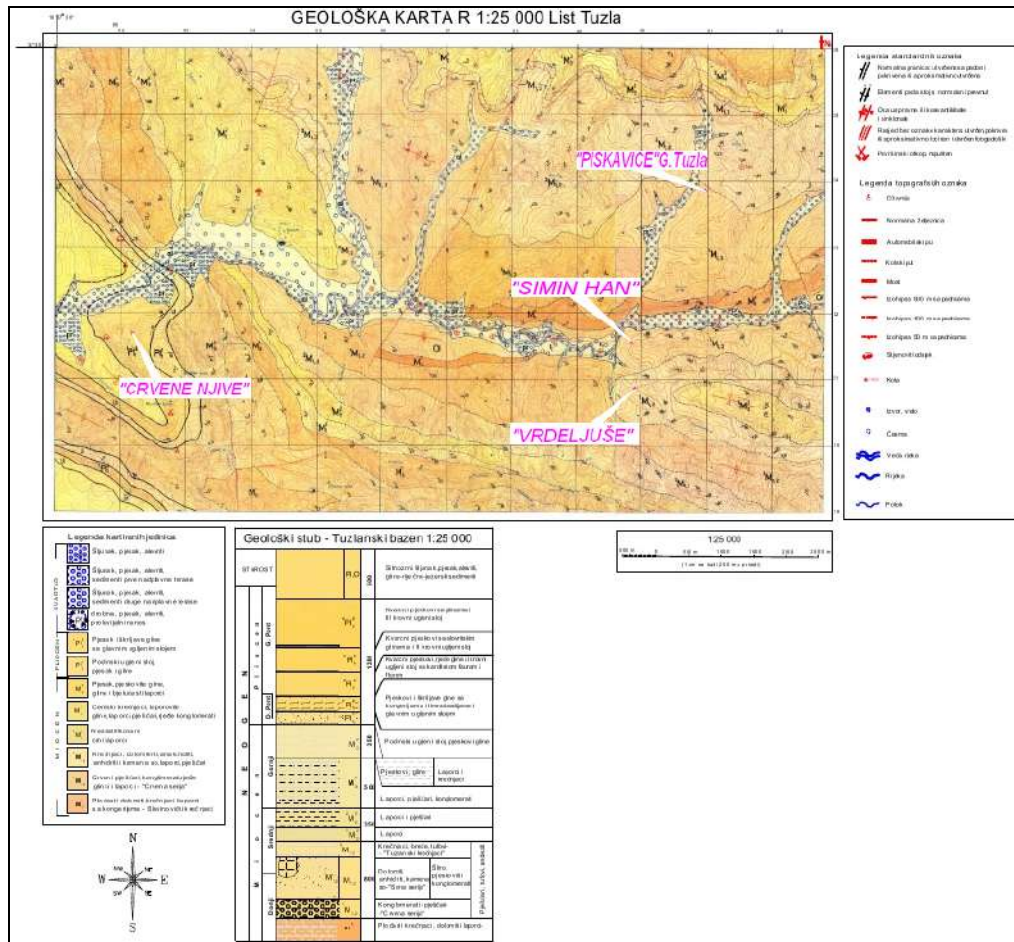


Slika 7. Mjesečne sume padavina period 2007-2011.godina,(Meteorološka stanica Tuzla)

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA PODRUČJA OPĆINE TUZLA

Geološka karta istražnog područja razmjere 1: 25.000, poslužila je pri stratigrafskom raščlanjenju zastupljenih tvorevina.

Šire Tuzlansko područje većim dijelom je izgrađeno od geološki mlađih sedimenata (neogen), koji imaju značaja sa ekonomskog stanovišta (ugalj, kamena so, kvarcni pijesak i dr). Nastanak Tuzlanskog bazena vezan je za više faza koje su se smjenjivale nakon mezozoika, a koje su za posljedicu imale stvaranje različitih uvjeta taloženja. U sadejstvu sa klimatskim karakteristikama nastale su raznolike i specifične sedimentne tvorevine. Zastupljeni su svi karakteristični litološki predstavnici, lapori, gline, krečnjaci, pješčari i konglomerati.



Slika 8. Geološka karta karakterističnih klizišta na istražnom području, R 1: 25 000

Tuzlanski basen se nalazi u zoni unutrašnjih dinarida, a pruža se u pravcu sjeverozapad-jugoistok te sa svojim obodom predstavlja specifičnu strukturno facijalnu jedinicu u zoni sprečanskog razloma između Capardi na jugoistoku i Doboja na sjeverozapadu.

U gornjem miocenu izdigli su se dobošnjički plato na zapadu i tuzlanski plato u središnjem dijelu bazena, tako da ostaje pod morem podoraški, dokanjanski i krekanski bazen.

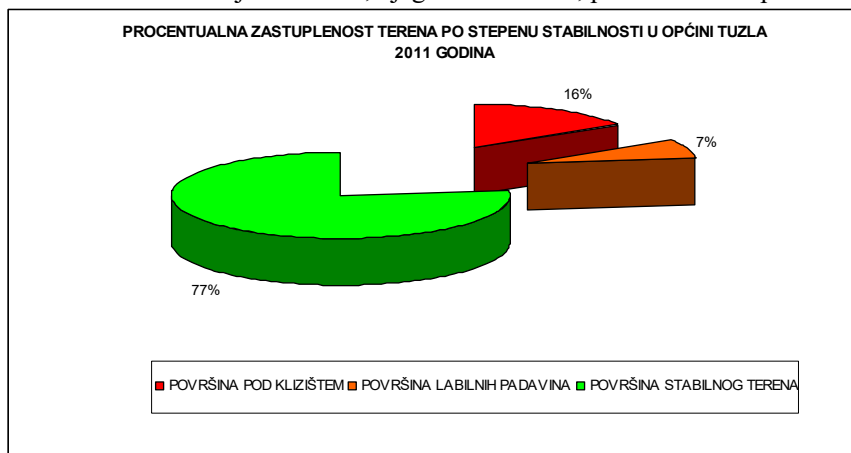
U pliocenu podoraški i dokanjanski tereni ostaju, dok krekanski i dalje tone. Zahvaljujući režimu ovog tonjenja nastale su bogate naslage uglja krekanskog bazena. U kvartaru na preostalom dijelu bazena obrazuje se terasa, koja je kasnije fluvijalnom erozijom razučena na veliki broj grebena.

U izgradnji ovog područja učestvuju tvorevine mezozoika, eocena, oligocena, miocena i pliocena.

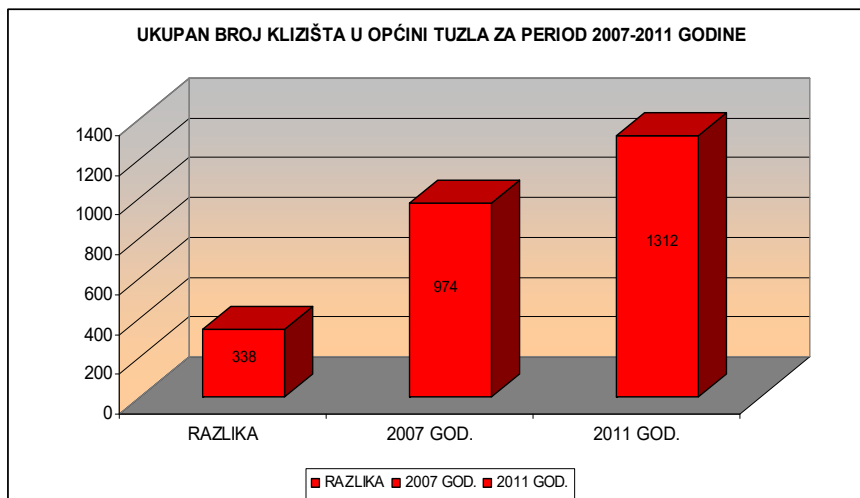
Na klizištima zastupljenim u ovom radu dominira miocenski sedimentološki kompleks gdje se izdvajaju slijedeće litostratigrafski članovi: donji miocen (slavinovički krečnjaci), gornji burdigal-hervet (sona formacija), torton, sarmat i panon.

### 3. KARAKTERISTIČNA KLIZIŠTA NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU

Teritorija općine Tuzla, sa 40 mjesnih zajednica, značajno je ugrožena pojavama klizišta koja sve više ugrožavaju ljudske živote i individualno-stambene objekte. U ovom radu obrađena su tri klizišta u mjesnim zajednicama Gornja Tuzla, Simin Han i Mosnik. Prema podacima općinske Službe civilne zaštite općine Tuzla do 2005.godine evidentirano je 379 klizišta. U periodu 2007–2011. god., od strane Zavoda za urbanizam i prostorno uređenje općine Tuzla, a na osnovu katastra klizišta, utvrđen je stepen ugroženosti terena općine Tuzla. Podaci su obrađeni u Map Infu (GIS) tako da je dobijena odgovarajuća baza podataka sa: katastarskim brojem klizišta, njegove kordinate, površinom i stepenom aktivnosti.



Slika 9. Procentualna zastupljenost terena po stepenu stabilnosti u općini Tuzla.



Slika 10. Ukupan broj klizišta u općini Tuzla za period 2007-2011. god.

Prikazani podaci o zastupljenosti klizišta i labilnih padina, ukazuju na trend povećanja broja ovih egzogeno geodinamičkih procesa. Prema podacima, od 2007- 2011. godine, u katastru klizišta evidentirano je povećanje sa 974 na 1.312 klizišta, odnosno 74,23%. Na površini od 303 km<sup>2</sup> općine Tuzla pod klizištima je 16,24% površine, odnosno 50,83 km<sup>2</sup>.

### 3.1. Inženjerskogeološke karakteristike područja klizišta "Piskavice" MZ Gornja Tuzla, Simin Han "Stadion" i "Vrdeljuše"

U cilju definisanja tačnog inženjersko-geološkog sastava terena izvršeno je detaljno inženjersko-geološko kartiranje naselja poznatog pod nazivom "Piskavica" u Gornjoj Tuzli, padina iznad stadiona u naselju Simin Han, klizište na lokalitetu "Vrdeljuše" u Čaklovićima i klizište "Crvene Nive" u Mosniku. Na osnovu dobijenih rezultata izdvojene su lokacije sa karakterističnim inženjersko-geološkim jedinicama od kojih jedna pripada geološkom substratu, a preostale tri predstavljaju pokrivač.

#### **Pokrivači**

##### Eluvijalno deluvijalni pokrivač (*ed*)

Ovaj mješoviti padinski pokrivač nastao u bliskoj geološkoj prošlosti kao posljedica površinskog raspadanja tvorevina geološkog substrata i djelimičnog spiranja i akumuliranja raspadnutog materijala sa viših dijelova padine u središnjem i nižim dijelovima padine. U litološki sastav ovog pokrivača ulaze smeđe i sive gline sa drobinom laporaca sa vapnovitim konkrecijama. Moćnost ovog pokrivača je promjenljiva i kreće se u intervalu od 2,2–4,0 metara "Piskavice" MZ Gornja Tuzla, od 1,5–3,0 m klizište "Simin Han" padina iznad stadiona, 3,0-5,1 metara klizište "Vrdeljuše". U hidrogeološkom smislu *ed*-pokrivač predstavlja hidrogeološki provodnik. Prema GN-200 ovaj pokrivač pripada III kategoriji.

##### Deluvijum (*d*)

Deluvijalni pokrivač zauzima malu površinu terena i nalazi se u podnožju padine tj. u zoni aluvijalnog nanosa rijeke Jale, a nastao je akumuliranjem padinskog nanosa pri spiranju materijala sa viših dijelova padine. Deluvijalni nanos klizišta "Piskavice" utiče na ublaživanje nagiba terena koji iznosi oko 5°. U litološkom sastavu deluvijuma učestvuju sivo-smeđe prašinate gline moćnosti od 3,0-6,0 metara u klizištu "Piskavice", odnosno 2,0 do 4,2 metara u klizištu "Vrdeljuše". U hidrogeološkom smislu u deluvijumu se formira dublja izdan podzemne vode koja se karakteriše nešto većim piezometrijskim pritiskom. Prema GN-200 deluvijum pripada III kategoriji.

##### Nanosi nastali klizanjem (*k*)

Klizišni nanos je formiran kao posljedica koluvijalnog procesa pri čemu je došlo do klizanja dijela eluvijalno-deluvijalnog i deluvijalnog pokrivača te nagomilavanje zemljanih masa u središnjem i nožičnom dijelu klizišta. U litološki sastav ovog koluvijalnog nanosa ulaze crveno smeđe gline sa uklopcima drobine i valutama šljunka. Klizišni nanos odlikuje se lošim geotehničkim karakteristikama i većim stepenom zavodnjenosti zbog uticaja podzemnih i površinskih (atmosferskih i otpadnih) voda. Prema GN-200 klizišni nanos pripada III i dijelom II kategoriji.

##### Aluvion (*al*)

##### Kvartarne tvorevine ( $Q_2$ )

Ovaj riječni nanos pojavljuje se u zoni asfaltnog puta prema naselju Gornja Tuzla, a nalazi se u zoni zapadne granice klizišta "Piskavice". Ovo je subrecentni pokrivač tako da se u gornjoj zoni nalaze gline (povodanjska facija), a na kontaktu sa geološkim substratom facija korita (šljunak, pijesak). Moćnost aluviona kreće se od 4,0 do 6,0 metara. U hidrogeološkom smislu predstavljaju kolektor, a prema GN-200 aluvion se svrstava u III kategoriju.

## Nasip (n)

Na dvije lokacija na padini "Piskavice" Gornja Tuzla formiran je nasip. Jedan nasip odlagan je u cilju formiranja zaravnjenog platoa (parking prostor), a drugi je nastao nakon iskopa zemljanih kanala. Nasip se odlikuju lošijim geotehničkim karakteristikama.

## Geološki supstrat

Litološki kompleks: sivi laporci (I)

"Trakasta serija" – ( $^2M_{1,2}$ )

Kao geološki supstrat pojavljuje se litološki kompleks stijena koga čine sivo smeđi laporci (I), koji u stratigrafskom smislu predstavljaju dio trakaste serije. Tvorevine "trakaste serije" odlikuju se finom paralelnom slojevitošću odnosno pločastom teksturom. U sastavu ove serije ulaze sivo žuti laporci, tamnosivi glinci koji zbog različitog stepena obojenosti i pločaste teksture izdvajaju kao trakaste forme po čemu je serija i dobila ime. Pored ovih stijena zastupljeni su i dolomikriti i dolomitični laporci. Generala orijentacija slojeva trakaste serije je prema sjeveru pod uglom oko  $20^\circ$ , što je u saglasnosti sa tektonikom šireg područja jer se područje "Piskavice" nalazi na južnom krilu Dokanjske sinklinale. Trakasta serija leži preko crvene serije. U donjem dijelu predmetne padine očekuju se pojava tvorevina crvene serije ( crveni laporci, pješari )

"Slavinovička serija" – ( $M_1^1$ )

To su slatkovodne tvorevine koje se javljaju na području Slavinovića i Simin Hana i to na lijevoj i desnoj obali rijeke Jale. Pomenuta serija započinje uslojenim laporcima, a preko njih leže žuto-sivi pločasti krečnjaci u alteraciji sa laporcima i na kraju se javljaju pločasti krečnjaci. Ova jedinica čini postepan prijelaz u sonu formaciju.

"Crvena serija" – ( $^1M_{1,2}$ ) – donji horizont Sone formacije

Ova mješovita jezersko-lagunska litofacijalna serija (građi gornji dio padine) koja je dobila naziv zbog svojih specifično obojenih tvorevina. U litoloških građi ovih tvorevina ulaze crveni laporci, pješčari, alevroliti, glinci, tufitni pješčari, konglomerati. "Crvena serija" leži konkordantno preko «Slavinovičke serije ( $M_1^1$ ) koja se nalaze u donjem dijelu predmetne padine.

Generala orijentacija slojeva zastupljenih tvorevina klizište „Simin Han-stadion“ u navedenim stratigrafskim jedinicama je jug -jugozapad pod uglom oko  $40^\circ$ , što je u saglasnosti sa tektonikom šireg područja jer se predmetno područje nalazi se na južnom krilu antiklinale Jala - Požarnica.

U građi klizišta "Vrdeljuše" učestvuju tvorevine tzv. trakaste serije – treći horizont ( $^3M_{1,2}$ ) i tortonske tvorevine ( $^1M_2^2$ ).

Tuzlanski pločasti krečnjaci

Kao završni – treći horizont sone formacije pojavljuju se pločasti krečnjaci koji su u stručnim krugovima poznati pod nazivom kao «Tuzlanski pločasti krečnjaci» U litološkoj građi ovih tvorevina u njihovim najnižim dijelovima pojavljuju se pločasti sivo bjeli vapnoviti laporci u alteraciji sa laporcima, zatim pločasti laporoviti krečnjaci i vapnoviti laporci.

Tortonske tvorevine -  $^1M_2^2$  – doni horizont (Baden)

Tortonske odnosno Badenske tvorevine leže konkordantno preko pločastih krečnjaka i izgrađuju desnu obalu Erskog potoka odnosno predmetnu padinu. Tortonske (Badenske) tvorevine na području Tuzle razvijeni su u dvije facije i to:

Donji horizont ( Stariji Torton- Baden ) koji je predstavljen slabo stratifikovanim sivim laporcima i gornji horizont (mlađi Torton-Baden) sastavljen od alternirajuće serije laporaca i pješčara.

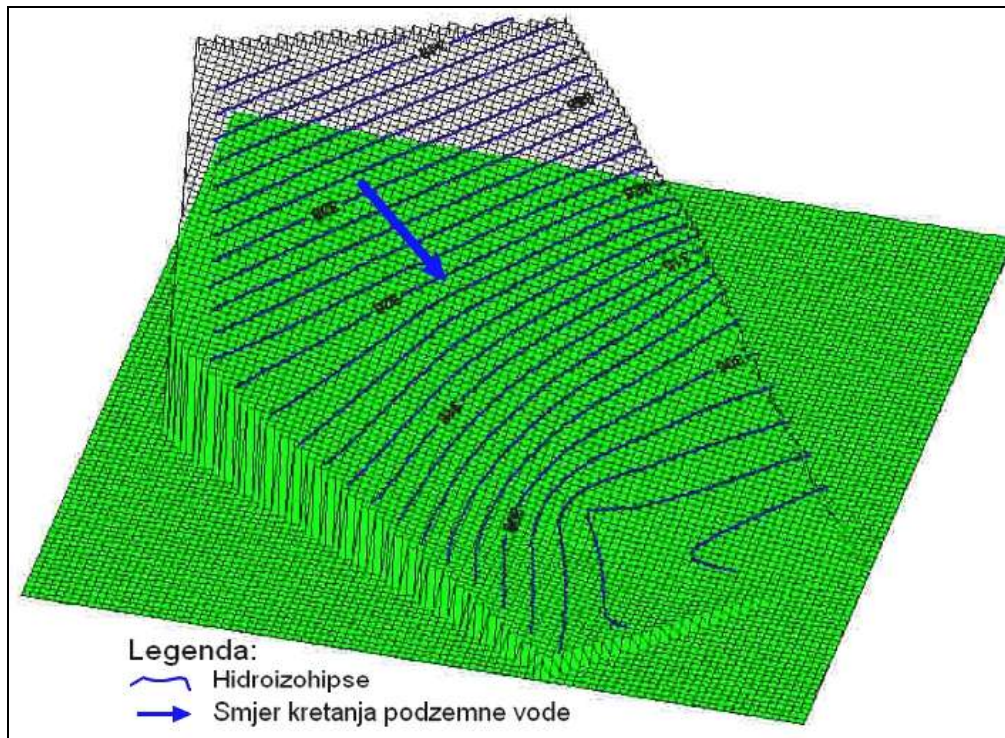
Generala orijentacija slojeva zastupljenih tvorevina u navedenim stratigrafskim jedinicama je prema jugo- zapadu pod uglom oko  $12^\circ$ , što je u saglasnosti sa tektonikom šireg područja jer se predmetno područje nalazi se u sjevernom dijelu jezgra poznate sinklinale Pelemiš koja zajedno sa antiklinalom Čaklovići čini kompletnu nabornu strukturu.

### 3.1.1. Hidrogeološke karakteristike područja klizišta

Hidrološke i hidrogeološke karakteristike analizirane su za potrebe utvrđivanja općih inženjerskogeoloških svojstava terena, rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti, a za potrebe sanacije i prilagođavanja terena građevinskoj namjeni.

Od hidroloških pojava utvrđeni su prioritetni pravci kretanja povremene površinske vode. U toku kartiranja terena (u 2008. god.) u konturama klizišta izdvojeno je više lokacija raskvašenih zona terena, koje su haotično raspoređene u prostoru, što ukazuje na visok stepen zavodnjenosti terena i fazni razvoj kliznog procesa

U toku bušenja istražnih bušotina u pojedinim bušotinama je registrovana pojava podzemne vode, a nakon 24 sata utvrđen je nivo podzemne vode (NPV). Utvrđena je hidraulička veza između podzemnih i površinskih voda.



Slika 11. Hidrogeološki model terena "Piskavice" u MZ Gornja Tuzla sa prikazanim smjerom kretanja podzemne vode

### 3.2 Geomorfološke i geološke karakteristike terena klizišta-odrona "Crvene Njive" MZ Mosnik

Dio terena u zoni aktiviranog odrona nalazi se u zapadnom dijelu općine Tuzla u naselju "Crvene Njive", u ulici Mešković R. i Ajdžalić B. U morfološkom smislu lokaciju aktivnog odrona, odlikuje više morfoloških oblika višeg i nižeg nivoa, na što je direktno uticala geološka građa terena i ljudska aktivnost. Na ovom dijelu terena nalazila se široka grebenasta forma koja je imala generalni pravac pružanja jugostok – sjeverozapad sa nagibom u pravcu sjeverozapada od 10°. Zbog činjenice da je pomenuti greben uglavnom izgrađen od zbijenog kvarcnog pijeska (mekanog pješčara) i gline taj greben u zoni osovine ogledao se strmim bočnim formama. Zbog veće količine pijeska u zoni ovog grebena vršena je njegova eksploatacija za potrebe zasipanja jama rudnika Moluhe čija je eksploatacija završena 1963. god. Nakon eksploatacije pijeska ostala je veća depresija sa dvije markantne visoke i strme kosine (zapadna i južna kosina), koje okonturivaju pjeskaru. Visina kosina kretala se od 8,0 do 12,0 metara, a njihov nagib iznosi od 80 do 90°. Nakon završene eksploatacija, izvršeno ublažavanje nagiba terena, međutim, kosine nisu bile zaštićene od uticaja erozije. U zaleđu južne kosine nalazi se širi plato koji predstavlja osovinu širokog grebena. Prosječna kota terena u zaleđu južne kosine oko 300,0 m.nm, a u dijelu terena u podnožju pjeskare 273,0 m.nm.

Prema postojećoj geološkoj karti, list Tuzla razmjere 1:25.000, nešto šira zona terena nalazi se u zoni Sjeverne krekanske ugljene serija gdje su zastupljeni tzv. Podinski i Glavni ugljeni sloj sa pratećim slojevima.

Donji pont ( $Pl_1^1$ )

Donjem pontu pripada Podinski ugljeni sloj (koji se nalazi istočno od predmetne lokacije), zatim gline koje leže neposredno u povlati sloja i pijeskovi koji pripadaju višoj povlati, odnosno podini Glavnog ugljenog sloja. Debljina ovih sedimenata iznosi od 60-80 metara.

U mineraloškom pogledu u sastav gline ulazi ilit, a rjeđe montmorionit i kaolinit. Kvarcne pijeskovite, koji u pojedinim dijelovima sloja prelaze u slabovezane pješčare, odlikuje povećanje veličine zrna u gornjim dijelovima naslaga.

Donji pont se završava serijom kvarcnog pijeska (slabovezanog pješčara), koji leži u direktnoj podini Glavnog ugljenog sloja. U donjem dijelu predstavljen je pjeskovitim prahom, koji navise prelazi prvo u sitnozrni i na kraju preko srednjeg zrna u krupnozrni pijesak (slabovezani pješčar).

Gornji pont: prvi horizont ( $^1Pl_1^2$ )

Gornji pont započinje Glavnim ugljenim slojem, koji se nalazi zapadno od predmetne lokacije, u čijoj se neposrednoj povlati pojavljuju pijeskovite gline, gline i odlomci goretine, koji nadalje prelaze u prah i čisti pijesak ( podina Prvog krovnog ugljenog sloja).

U povlati Glavnog ugljenog sloja, na ovoj lokaciji, leže sivosmeđe gline, laporovite gline sa faunom i goretina. To su ilitske gline, uz podređenu zastupljenost montmorionita i kaolinita.

### 3.2.1 Inženjerskegeološke karakteristike područja klizišta

U toku inženjerskogelološkog kartiranja terena na otvorenim izdancima kvarcnog pijeska (pješčara) i povlatnih gline, izmjereni su elementi pada od  $300/12^\circ$  i  $312/14^\circ$ . Pored mjerenja elemenata pada slojevitosti izvršeno je mjerenja elementa pada većih markantnih pukotina u zoni čeonog odsjeka odrona, pri čemu su najzastupljenije sljedeće familije pukotina:  $10/88^\circ$ ,  $340/88^\circ$ ,  $110/85^\circ$ ,  $290/75^\circ$ ,  $270/85^\circ$ .



Slika 12. Mjerenje orijentacije pukotina u čeonom dijelu klizišta  
(Foto: A. Čomić, 2011.)

Geofizičkim ispitivanjima (refrakciona seizmička ispitivanja uz korištenje više metoda intepretacije), kao i terenskim mjerenjima, definisani su diskontinuiteti sa elementima pada pukotina koja se nalaze dublje u masivu pješčara i gline. Najzastupljenije su sljedeće familije pukotina ( $10/60^\circ$ ,  $10/88^\circ$ ,  $350/88^\circ$ ,  $5/75^\circ$ ,  $160/70^\circ$ ,  $180/55^\circ$ ,  $40/60^\circ$ ,  $135/30^\circ$ ,  $140/70^\circ$ ).

Pored pukotina, registrovana su i dva šira diskontinuiteta nagiba  $85^\circ$ . Gornji diskontinuitet (rasjed ili široka pukotina?) nalazio se u zoni formiranog čela odrona. Zbog značajnijeg broja diskontinuiteta i specifičnih strukturnih karakteristika urađena je zasebna strukturno – tektonska karta terena.

Prema postojećoj geološkoj i inženjerskogeološkoj dokumentaciji na mikrolokalitetu "Crvene Njive" prije aktiviranja odrona nije bilo registrovano klizište, niti labilna padina koja predstavlja potencijalnu sredinu za moguće aktiviranje klizišta ili odrona. Sama lokacija na kojoj je formiran odron predstavlja greben koga čine podinski kvarcni pijesak i pješčari Glavnog ugljenog sloja Sjevernog krekanskog sinklinorijuma. Generalno kvarcni pijesak je prirodno konsolidovan sloj, koji zbog sadržaja prirodne vlage i hemijskog sastava (dobrom karbonatnom cementnom vezom), predstavlja slabovezane pješčare, i zbog svojih geotehničkih svojstva predstavlja stabilnu geološku podlogu. Međutim, uslijed antropogenih aktivnosti i promjene naponskog stanje, stabilan teren prelazi u nestabilan, kao što je slučaj na terenu formiranog odrona.

### **Geološki substrat**

Kao geološki substrat na ovom području izdvojen je jedan litološki tip i jedan litološki kompleks: slabovezani pješčar -pijesak (I), glina i laporovita glina sa odlomcima goretine (II). Predpostavlja se da se u dubljim horizontima, (u zoni lokacije), na kontaktu pješčara i gline pojavljuje trasa Glavnog ugljenog sloja, dok je u višim horizontima zastupljena je goretina.

### **Kvarcni pijesak – mekani pješčar (podina ugljenog sloja I)**

Zastupljeni pješčar gdje je formiran odron predstavlja podinu Glavnog ugljenog sloja. Radi se o dobro konsolidovanom kvarcnom pijesku koji je u kontaktu sa ugljem ( goretinom ) nešto krupnozrnije frakcije. Boja pješčara je primarno sive boje, a zbog uticaja vlage i vode mijenjaju boju u različite nijanse žute. Ovi pješčari (pijeskovi) u hidrogeološkom smislu imaju kolektorsku ulogu i u njima je akumulirana značajna količina podzemne vode, naročito u dubljim dijelovima. Ovaj pješčar generalno se odlikuje zadovoljavajućim geotehničkim svojstvima. U neotektonskoj fazi unutar pješčara formiran je veći broj diskontinuiteta različite orijentacije i nagiba. Na otvorenim profilima registrovana je slojevitost, gdje je negdje jasno izražena, a u pojedinim dijelovima je slabo izražena.

U zoni zapadne kosine, između dva sloja pješčara, nalazi se tanji sloj gline (10 cm), što ukazuje na promjenu uslova sedimentacije. U hidrogeološkom smislu mekani pješčari (konsolidovani kvarcni pijeskovi ) predstavljaju hidrogeološke kolektore. Prema GN-200 mekani pješčari se mogu svrstati u IV kategoriju.

### **Gline i gline sa odlomcima goretina-(povlata ugljenog sloja)(II)**

Generalno posmatrano na lokaciji odrona "Crvene Njive" povlatne gline nalaze se ispod sloja slabovezanih pješčara. Zapadno od odrona sloj gline, sa odlomcima goretine, naliježe preko sloja slabovezanih pješčara. Registrovane gline u istočnom boku odrona predstavljaju povlatni sloj Podinskog ugljenog sloja, a u zapadnom boku pripadaju neposrednoj povlati Glavnog ugljenog sloja. To sivosmeđe tvorevine i dobro konsolidovani materijali sa slaboizraženom slojevitošću. Dubina formiranog odrona u njegovom centralnom dijelu ograničena je sa dubinom zalijeganja povlatnih gline ispod pješčara (10–12 metara). U hidrogeološkom pogledu ovi materijali predstavljaju izolatore, a prema GN- 200 pripadaju IV kategoriji.

### **Pokrivači**

U skupinu pokrivača na ovom području izdvajaju se dvije različite genetske vrste i to: eluvijalno-deluvijalni ( ed ), koluvijalni (ko) pokrivač.

#### **Eluvijalno-deluvijalni pokrivač (ed)**

Ova vrsta pokrivača pojavljuje se u zonama gdje markantni greben nije tehnogenom aktivnošću devastiran tj, nalazi se izvan kontura napuštene pjeskare. U litološkom sastavu ovog mješovitog padinskog pokrivača učestvuju žutosmeđe jako prašinasto-pjeskovite gline, promjenljive moćnosti koja se kreće od 0,5 do 1,5metara. U hidrogeološkom smislu ovaj pokrivač ima ulogu tzv. hidrogeološkog provodnika, a prema GN-200 pripadaju III kategoriji. Određen broj objekata je temeljen u ovom tipu pokrivača.



### Koluvijalni pokrivač - odrona (*ko*)

U inženjerskogeološkom smislu koluvijalni pokrivač – odrona uvrštavaju se oni materijali koji su pokrenuti gravitacionim kretanjem i koji su akumulirani u pojedinim nižim dijelovima padine. Nakon aktiviranja odrona došlo je do otkidanja većih blokova pješčara u zoni ranije južne kosine pozajmišta pijeska, tako da je u donjem dijelu došlo do akumuliranja većih ili manjih blokova pješčara. Ovaj pokrivač predstavlja degradiranu, ispucalu i rastresitu sredinu promjenljivih geotehničkih karakteristika. U pojedinim zonama odrona gdje su odvojeni veliki blokovi pješčara, unutar njih pješčari su zadržali primarnu slojevitost i imaju uniformne karakteristike. U ovom koluvijalnom pokrivaču (debljina oko 12 metara), može doći do, zbog ispucalosti i razdjeljenosti na blokove, formiranja manje izdani podzemne vode koja se na kontaktu sa glinom drenira preko manjih izvora.

### 3.2.2 Hidrogeološke karakteristike područja klizišta

Naselje Crvene Njive nalaze se na kraju strukturne jedinice sjeverne krekanske sinklinale (jugoistočni rub sinklinale). Posmatrajući nešto širu zonu terena, a i po dubini zalijeganja generalno se mogu izdvojiti sljedeće izdani:

- I izdan (vodonosni sloj) pijesak u podini Podinskog ugljenog sloja – u dubljem dijelovima,

- II izdan (vodonosni sloj) pijesak u podini Glavnog ugljenog sloja gdje je aktiviran odron.

Ova dva vodonosna sloja odvojena su povlatnim glinama koji predstavljaju hidrogeološki izolator. Zbog toga što se pijeskovi Glavnog ugljenog sloja nalaze u nagibu, a ispod se nalaze nepropusne gline, pomenuti pješčari su značajno zavodnjeni. Na dijelu terena (zapadno od odrona), nalaze se dva kopana bunara koji su svojim donjem dijelom ukopani u zavodnjene kvarcne pijeskovne, tako da se u njima nivo vode kreće od 0,3 do 2,0 metara od površine terena. U kontaktu pijeska i gline formiran je izvor, odakle vode usmjereno teku plićim zemljanim kanalom, a dalje se slobodno razljevaju po terenu.

### 3.2.3 Uzroci nastanka klizišta-odrona

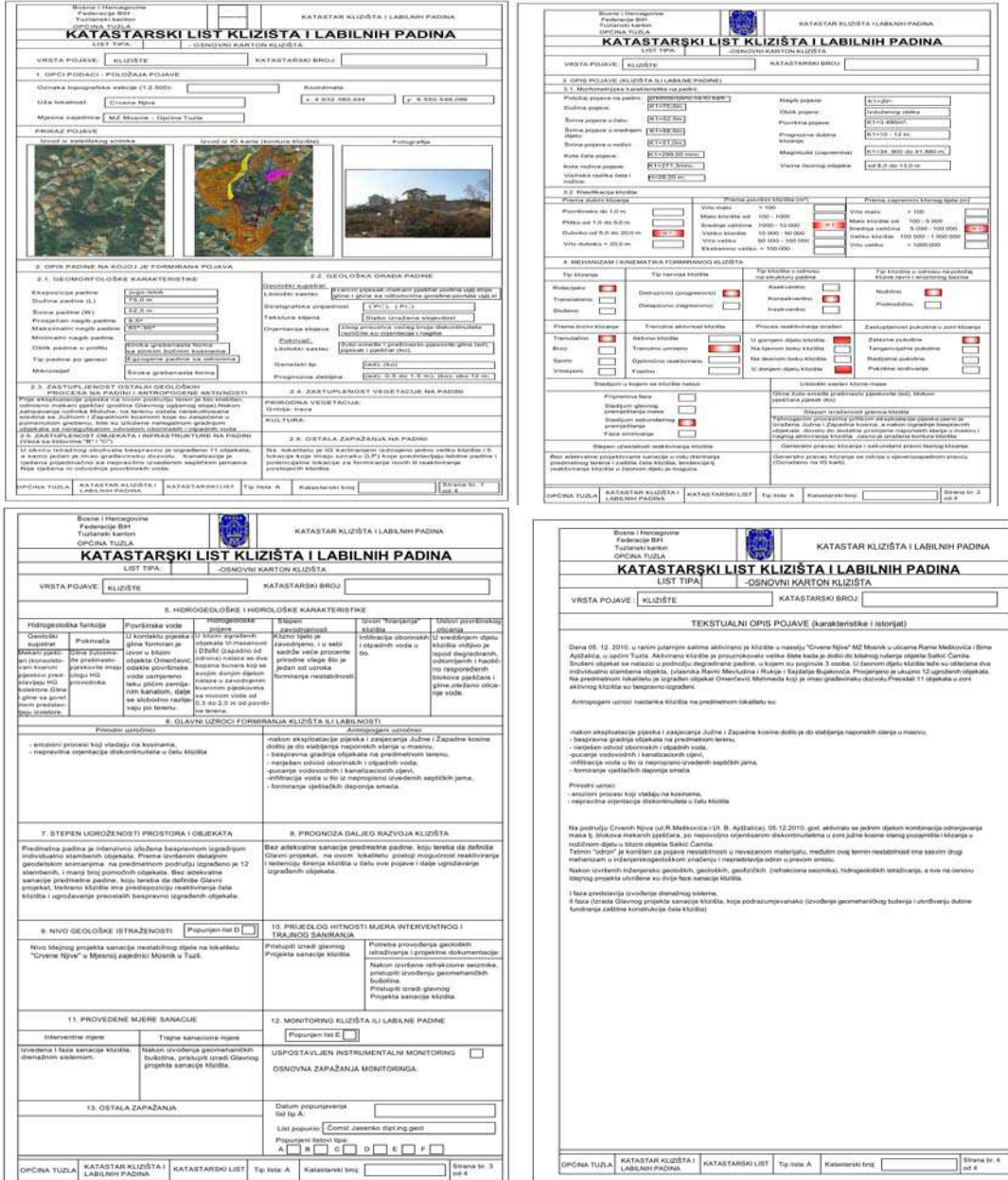
Prije eksploatacije pijeska na ovom području teren je bio stabilan, odnosno mekani pješčar (podina Glavnog ugljenog sloja) je gradio markantan široki greben koji je imao generalni pravac pruženja jugoistok – sjeverozapad.

Pomenuti teren je više od 40 godina bio izložen uticaju egzogenih procesa tako da je bilo manjih osipanja materijal niz kosine, bez izraženih većih nestabilnosti, a vremenom je na ovom dijelu u zoni južne kosine teren zarastao niskom vegetacijom. Takođe u zaleđu Južne kosine izgrađen je veliki broj bespravno izgrađenih objekata u bokovima grebena kao i u blizini visoke i strme Južne kosine čija se udaljenost kretala od tri, osam i do maksimalnih 17 metara. Svi navedeni objekti nisu imali regulisan odvod oborinskih i otpadnih voda, a vidljivo je da su u zoni Južne kosine odlagane veće količine smeća.

Na osnovu provedenih geofizičkih istraživanja registrovana je veća prirodna zavodnjenost pješčara, kao i dublje u masivu veći broj diskontinuiteta (pukotina) koji u zoni Južne kosine (pružanje kosine istok – zapad), uglavnom imaju nepovoljnu orijentaciju na stabilnost. Navedene pukotine na Južnoj kosini, koje su različite orijentacije i nagiba, okonturivaju veće blokove pješčara. Nelegalno izgrađeni i neplanski postavljeni objekti značajno su opteretili dio terena u zaleđu Južne kosine što je dovelo do dodatne promjene naponskog stanja. Tek nakon provedenih geofizičkih istraživanja utvrđeno je da se u dijelu formiranog čeonog odsjeka odrona nalazi rasjed sa užom raslabljenom zonom, slične orijentacije i nagiba kao i Južna kosina, a što je bio glavni predisponiran diskontinuitet za formiranje nestabilnosti šireg karaktera.

Nakon nastupanja perioda relaksacije, napregnutog i prirodno zavodnjenog materijala, došlo je do većeg odvajanja i otkidanja blokova pješčara duž nepovoljno orijentisanog rasjeda i neotektonskih pukotina unutar masiva, tako da je formiran klasični odron u pješčaru sa blokovskim otkidanjem. Usljed naglog odvajanja mase pješčara po rasjedu (rasjed formiran upravno na trasu ugljenih slojeva), otkinut je veći blok širine oko 55 metara i dužine oko 17 metara, koji se naknadno usitnio na veći broj manjih blokova pješčara različitog oblika i mase (od jednog do više od tri metra). Dubina odrona kreće od 10 -12 metara i vezana je za dubinu zalijeganja glinovitog sloja (povlatni sloj podinskog ugljenog sloja) koji se nalazi ispod pješčara. Blokovsko otkidanje i usitnjavanje obavljeno je u pješčaru po pukotinama nižeg reda.

Kako se radi o poluvezanom i vezanom materijalu (mekani pješčari) usljed blokovskog odvajanja po predisponiranim diskontinuitetima došlo je do naglog kretanja blokova pješčara prema podnožju. Provedenim terenskih istraživanja, utvrđeno je da je potencijalna zona širenja odrona samo u zaleđu čeonog odsjeka, pa se širenje odrona u bokovima ne očekuje. U zaleđu čeonog odsjeka, utvrđeno je da postoji velika vjerovatnoća širenja odrona u dužini oko 28 metara gdje je registrovan veliki broj diskontinuiteta u masivu pješčara i jednom većom geofizičkom anomalijom (degradiraniya zona).



Slika 13. Katastarski list klizišta Crvene njive-Tuzla

#### 4. ZAKLJUČAK

Klizišta predstavljaju složene inženjerskogeološke procese, koji sve više ugrožavaju materijalna dobra, a indirektno i ljudske živote. Klizišta su pojave egzogenih geodinamičkih procesa, a produkt su geohazarda koji je zastupljen na području općine Tuzla. Prema podacima od 2007- 2011 godine evidentiran je u katastru klizišta 974, a uticajem geodinamičkih procesa evidentirani broj se povećao na

1.312. Podaci govore da se broj klizišta u posljednjih pet godina povećao za 74,23%. Povećanje broja klizišta na općini Tuzla je u interakciji klimatskih prilika, povećanja broja bespravno izgrađenih objekata bez predhodno pripremljene i izvedene infrastrukture, neblagovremenog djelovanja sa aspekta struke, nedovoljnog korištenja saznanja o geološkoj građi i geodinamičkim procesima klizanja. Općina Tuzla zauzima površinu 303 km<sup>2</sup>, a pod klizištima se nalazi 16,24% površine, odnosno 50,83 km<sup>2</sup>

Geološka građa područja općine Tuzla, karakteriše se stijenskim masama različitog litološkog sastava, hidrogeoloških, fizičko-gemehaničkih karakteristika, kao i uslova nastanka. Složena geološka građa i hidrogeološki uslovi koji vladaju na području općine Tuzla, smjenjivanje vodopropusnih i nepropusnih stijena, savremeni procesima raspadanja, dovode uz klimatske i antropogene uticaje, do pojave klizišta, slijeganja površine terena, odrona i sl..

Analizirana su četiri klizišta, koja se u periodu 2007-2011. godine aktiviraju na teritoriji: Simin Han, Čaklovići, Gornja Tuzla i Crvene Njive na kojima su izgrađeni bespravni objekti, bez poštovanja urbanističkih uslova građenja. Na pomenutim lokacijama nije bilo predhodnih inženjerskogeoloških i hidrogeoloških istraživanja. Uglavnom su rađene uprošćene karte za potrebe prostornog planiranja, sa nepreciznim podacima i procjenama o stepenu ugroženosti terena. Razmotren je trend povećanja broja klizišta u određenom vremenskom periodu i utvrđeni hidrogeološki, inženjerskogeološki i antropogenih odnosi koji vladaju na istraživanim lokacijama.

## LITERATURA

Avdić M., Žigić I., Bajraktarević I., Cuculić V., 2003.: Stabilization of landslides caused by soil creeping, International Workshop on Geotechnics of Soft Soils - Theory and Practice, Nooerdwijkerhout, Th Netherlands, Pore. 251-257

Barton, N. R., Lien, R., and Lunde, J., 1974.: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, Grupa autora; 1979, Prostorni plan općine Tuzla, Knjiga 1,2,2a,3,3a. Zavod za urbanizam Tuzla.

Grupa autora; 1985, Prostorni plan općine Tuzla, Knjiga 1.3 Prirodni uslovi i resursi – Geologija, Zavod za urbanizam Tuzla

Ibrahim Jašarević, Željko Lebo., 2002.: Racionalna sanacija plitkih klizišta u glinama visoke plastičnosti, Građevinar, 54. UDK 624.131.54:552.52.

I.Žigić . 2004.: Hidrogeološka istraživanja, Univerzitet u Tuzli

I.Žigić., 2005.: Hazard i smanjenje rizika praćenja pomijeranja pokrenutih kosina na površinskim kopovima, Zbornik radova RGGF Tuzla, broj XXVIII, ISSN 1512-7044, str. 153- 159.

M.Avdić, I.Bajraktarević, A.Jahić, M.Ljubojev, 2008.: Stabilizacija kosine primenom šipova, Bakar,

Mihalić, S., 2007.: Osnove inženjerske geologije, (Interna skripta), RGN fakulteta, Zagreb

Nonveiller, E., 1987.: Kliženje i stabilizacija kosina, Školska knjiga, Zagreb.

Rokić LJ. 2011; Fizička geologija, Nacionalna i univerzitetska biblioteka COBISS BiH –ID 19008006

Soklić. I.; 1964, Postanak i struktura tuzlanskog bazena, Geološki glasnik

## Determinacija inženjerskogeoloških parametara u stijenskoj masi gabra na brani Jablanica

Doc.dr.sc. ĐENARI ČERIMAGIĆ, dipl.ing.geol.  
Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Patriotske lige br. 30.  
*djenari.cerimagic@gf.unsa.ba*  
Mjesto stanovanja: Naselje Prijeko, Visoko, tel : 061 799 041

### Rezime

Opće je poznato da je Jablanički gabra najkvalitetniji građevinski kamen u BiH. Ovim radom je definitivno potvrđena vrijednost gabra kao povoljnog građevinskog temeljnog medija, u kojem je fundiran zahtjevan građevinski objekat, visokih tehničkih zahtjeva, u pogledu trajnosti, kvaliteta, čvrstoće, stabilnosti i sigurnosti. U radu su prezentirani meritorni parametri stijenske mase gabra, preko monoaksijalne čvrstoće, RQD-a, RMR-a, GSI-a, nivoa podzemne vode, koeficijenta vodopropusnosti te su klasificirani i kategorizirani prema najnovijim metodama inženjerske geologije, hidrogeologije, geotehnike i inženjerske mehanike stijena. Pokazana je „autentična” korelacija između određivanja geološkog indeksnog parametra čvrstoće, kartiranjem iz jezgra bušotine i preko dijagrama GSI-a za čvrste stijenske mase i ocjenjivanja Bienavskog-a.

**Ključne riječi:** *gabra, kvalitet ispućalosti stijenske mase, monoaksijalna čvrstoća na pritisak, geološki index čvrstoće,*

### Determination of engineering-geological parameters of gabra rock masses at HE dam Jablanica

#### Summary:

It is well known that the Jablanica gabra is the highest quality engineering stone in BH. In this paper the value of gabra as a good foundation medium for demanding civil engineering structures in terms of durability, quality, strength, stability and safety is definitely confirmed. Here we present relevant parameters of gabra rock mass using uniaxial strength, RQD, RMR, GSI, ground water level, water permeability which are classified and categorized according to latest methods of engineering geology, hydrogeology, geotechnics and engineering rock mechanics. We give an authentic correlation between determination of geological strength index and Bienavski classification by recognizing the hole core and by using GSI diagrams of solid rock mass.

**Key words:** *gabra, rock quality designation, uniaxial compressive strenght, geological strength index,*

## Uvod

Poznato je, da su na lokalitetu HE Jablanica izvedena obimna istraživanja i ispitivanja stijenske mase u proteklom vremenu. Istraživanja i ispitivanja provedena 2012.god. su prevashodno imala za cilj da potvrde inženjerskogeološke i geotehničke parametre potrebne za izradu modela stabilnosti brane koji se prema uputama Svjetske agencije za visoke brane u svijetu, izvode svakih 50 godina eksploatacije. Zbog toga su istraživanja i ispitivanja izvedena prema projektnom zadatku izrađenom od strane investitora. Svi rezultati objavljeni u radu, vezani za klasificiranje i kategoriziranje stijenske mase, proistekle iz istražnih radova izvedenih pod nadzorom autora članka.

## Geografski položaj i geomorfološke karakteristike

Jablaničko jezero je velika vještačka akumulacija u sjevernoj planinskoj dinarskoj Hercegovini. Po svom položaju ( $\alpha = 43^{\circ}42'$  sjeverna geografska širina i  $\lambda = 17^{\circ}50'$  istočne geografske dužine – centralni dio jezera), nalazi se u umjerenom toplotnom pojasu. Nastalo je izgradnjom betonske brane HE Jablanica visoke 85 metara, a vodna snaga tog jezera je osnova za rad hidroelektrane Jablanica. Po administrativnom kriteriju se nalazi u Hercegovačko – neretvanskom kantonu i svojom akvatorijom teritorijalno ulazi u sastav općina Konjic, Jablanica i Prozor. Gornji dio (nizvodno od Konjica) i centralni dio akumulacije (oko Ostrošca) je smješten u nekadašnjem neretvanskom dolinsko – kotlinskom proširenju, a donji (u općini Jablanica i Prozor / Rama) u klisurastim suženjima, srednjih i većih nagiba padona, između Bokševice planine (1350 m), Rajana (1023 m), Orlaca (889 m), Pisvira (1142 m) i Čeharskog vrha (827 m). Navedena akvatorija je većim dijelom saobraćajno dobro povezana i relativno pristupačna. Sa juga je skoro u cijelosti tangira magistralni put M 17 i elektrificirana pruga Ploče – Sarajevo, a sa sjeverozapada regionalna komunikacija Jablanica – Prozor.**[3;4;6;]** **Brana HE Jablanica** je betonska brana lučno – gravitacionog tipa izgrađena 1954. godine sa konstruktivnom visinom od 85 m i dužinom u kruni brane od 210 m, ukupne zapremine 318 miliona m<sup>3</sup> i korisne zapremine 288 hm<sup>3</sup>. Sastoji se od tijela brane sa mostom, prelivnim poljima, uređajima u tijelu brane i protočnim poljima, te temeljnog i srednjeg ispusta kao i zajedničke bučnice. Pri koti akumulacije od 270,00 m.n.m sve klapne evakuiraju 1625 m<sup>3</sup>/s vode.**[3;4;6;]** Geološki sastav, tektonski sklop, klimatske karakteristike i drugi prirodni elementi glavni su činioci formiranja morfologije ovog prostora. Dolina rijeke Neretve je po svom postanku, izgledu pojedinih elemenata dolinskog reljefa, svom osnovnom obliku, dužini i po geografskom položaju, jedinstvena morfološka pojava u središnjem dijelu Dinarskih planina. U svom gornjem i srednjem položaju, Neretva je usjekla duboku dolinu kanjonskog tipa. Pored ove markantne morfološke strukture na ovom prostoru se jasno izdvajaju morfostrukture visokih planina Bjelašnice, Prenja i Čvrstice, čije visine prelaze 2000 m.n.m. Na ovim prostorima je zastupljena velika heterogenost geomorfoloških mikroelemenata, koji se javljaju u različitim kombinacijama. Tu su zastupljene sve moguće forme različitih karstnih, glacijalnih i denudacionih elemenata reljefa: vrtače, uvale, strmi usjeci, sipari, pećine, cirkovi, morenski nanosi itd.**[3;4;6;]**

## Hidrografske i klimatske karakteristike

S obzirom na ravnomjernu zastupljenost padavina, ali nepovoljan geološki, geomorfološki i floristički sastav hidrografska mreža se može smatrati dobro razvijenom. Manji broj izvora i vrela javlja se u brdsko-planinskom području na kontaktu sa vodonepropusnim slojem. Rijeka Neretva gravitira Jadranskom slivu i najveća je Jadranska pritoka koja nastaje na području BiH. Gornjim tokom duboko račlanjuje Dinarsku morfostrukturu, stvarajući na taj način osnovne pretpostavke za intezivno podzemno i površinsko oticanje. Vodnom bogatiji mjeseci su:

novembar, decembar i april, a minimalne su u augustu. Prosječna izdašnost sliva je velika i iznosi 31,0 l/sec/km<sup>2</sup>. [3;4;6;15;17;] Čitavo područje predstavlja prelazno područje u kojem se prepliću submediteranski i kontinentalni klimatski uticaj. Prostor pripada izmijenjenoj mediteranskoj klimi, sa izuzetkom visokih planina kojima odgovara planinski ili alpski tip klime. Ovaj tip klime odlikuje se vrlo toplim ljetima (20-24<sup>0</sup>C), ali manje blagim zimama (0-5 <sup>0</sup>C). Prosječna godišnja temperatura iznosi 11°-14°C. Prosječne julske temperature su od 22°-24°C, a januarske do 5°C. Vjetrovi su najčešće zimi. Godišnja količina padavina iznosi 1250 – 1500 mm, što je dosta ujednačeno. Oblačnost je umjerena i kreće se između 46% i 53%, tako da se ovo područje može smatrati dosta osunčanim. Insolacija iznosi više od 2000 sati godišnje. [3;4;6;15;17;]

#### Geološke karakteristike terena

Od perioda projektovanja i izgradnje HE Jablanica pa do danas izvedena je respektivna lepeza geoloških istraživanja i ispitivanja terena. U narednom dijelu dokumentacije data je opća geološka slika terena područja brane Jablanica, na osnovu ispitivanja i istraživanja terena „različitih“ generacija geologa. Na osnovu **OGK list Prozor**, M : 1: 100.000, i Tumača OGK lista *Prozor*, [1;13;] **Jablanički gabra (v)** pokriva površinu od 15 km<sup>2</sup>. Detaljno ga je obradio **L. Marić (1928)**, dok je **Đ. Čelebić (1967)** opširnije prikazao geološke karakteristike, obuhvatajući kontaktni oreol kod Tovarnice. Prema navedenoj literature prethodnih autora, masiv gabra je lakolit, konkordantno utisnut u verfenske slojeve. Struktura gabra je hipidiomorfno-zrnasta, rjeđe ofitska, a tekstura masivna ili paralelna što se ogleda u slojevitom izdvajanju varijeteta različitog modalnog sastava ("svijetli" i "tamni" gabra) ili u planparalelnom slaganju mineralnih sastojaka. Plagioklas obično varira od jako bazičnog andezina (48% an) do jako bazičnog labradora (69% an). Ponekad su oko bazičnog plagioklasa razvijene bordure kiselijih plagioklasa. Od femskih sastojaka najčešći su diopsid, smeđa i zelena hornblenda i biotit; oni vrlo često stoje u međusobnom reakcionom odnosu. Sasvim su podređeni olivin i hipersten. Najčešći su biotistki i hornblenda gabri; normalni gabri su rijetki, dok su noritski i olivinski gabri sasvim podređeni. Po hemijskom sastavu, stijene gabroidne mase pokazuju prijelazan gabrodioritski karakter, što se ogleda u nešto povećanom sadržaju alkalija (5%) i SiO<sub>2</sub> (50-53%). Sadržaj CaO, je dosta visok (11-12%), a ukupno željezo je iznad magnezija; odnos se kreće između 2 i 3. Masa gabra je ispresijecana različitim žičnim ekvivalentima, a pukotine i manje šupljine različitim mineralnim paragenezama koje do sada nisu dovoljno proučavane. [1;13;]

#### Tektonske karakteristike terena

Na osnovu prethodno izrađene projektne dokumentacije [1;3;4;12;], i prije početka istražnih radova na brani (60-tih) god, za projekat konsolidacije padina u području preliva ispred brane, izvršeno je geološko kartiranje pukotina, te na osnovu navedenoga, data je njihova klasifikacija u zavisnosti od praktične funkcije tih pukotina. [1;3;4;12;14;].

*Danas, padine na kojima je izvršeno kartiranje pukotina [1;3;4;12;14;], betonirane su, te vise nije moguće doći do nekih dopunskih podataka o pukotinama na ovom području. Kako nema nikakvih tragova o snimanju pukotina u temeljnim jamama i bližoj okolini brane prije njene izgradnje, orijentisani smo samo na pomenute podatke sa padina u oblasti preliva i na osnovu kartiranja jezgra bušotina i vidljivog dijela padine iznad oporaca brane.*

Prilikom izvođenja istražnih radova 2012, na lijevom i desnom boku brane, u jezgru bušotina, determinirane su familije pukotina sa navedenim pravcima pružanja sa obje strane brane. Jasno je i dijelom vidljivo je da je lijeva obala nešto lošija sa aspekta ispucalosti u odnosu na desnu stranu.

#### Rezultati kartiranja pukotina - desni bok

Mora se istaći, da nije bilo moguće izvršiti genetsku klasifikaciju pukotina, nego samo mehaničku i to na: zatvorene pukotine, zjapeće pukotine, zjapeće pukotine sa vodom gdje se tečenje ne vidi, pukotine ispunjene grusom, i vodonosne pukotine iz kojih je bilo vidljivo isticanje vode. Na desnoj obali izdvojena su **tri sistema pukotina**.

1. Najveći broj pukotina pripada sistemu **Ep 250°/50°** koje se prostiru dijagonalno na padinu sa padom u brdo i nizvodno. Ovo su pretežno zatvorene pukotine. [1;3;4;]

2. Drugom sistemu **Ep 242°/80°** pripadaju također, procentualno dosta zastupljene pukotine, koje se protežu dijagonalno na dolinu sa padom u brdo i nizvodno. Vrlo su strme i pretežno otvorene. Znatno broj ovih pukotina zapunjen je grusom. Prema ovakvim azimutima pada, najveći broj pukotina na desnoj obali ima **pravac pružanja SSZ-JJI** što odgovara dinarskoj orogenoj fazi te se na bazi ovoga može zaključiti da je najveći broj pukotina tektonskog porijekla. Padni uglovi daleko preovlađujućeg broja pukotina su takvi da pokazuju prostiranje pukotina od periferije prema unutrašnjosti masiva. [1;3;4;]

3. Kao sporedni sistem na desnoj obali, je sistem **Ep 138°/80°**. a pukotine ovog sistema prostiru se dijagonalno na pravac doline, strme su i padaju **ka rijeci nizvodno orijentirane**. Često su zapunjene grusom ili su zjapeće i vodonosne.

#### Rezultati kartiranja pukotina – lijevi bok

Način obrade podataka i klasifikacija pukotina su isti kao i za desnu obalu. Također, podaci su interpretirani na osnovu dokumentacije iz prije obavljenih istražnih radova, ali su korelirani sa rezultatima istraživanja 2012. Na osnovu svrstavanja pukotina u sisteme izdvojena su **3 glavna sistema i 1 sporedni**. [1;3;4]

Sistemu **Ep 110°/60°** pripadaju sve pukotine koje su približno paralelne sa pravcem doline i sa padovima u brdo. Manje pukotine ovog sistema su pretežno zatvorene dok su veće zapunjene grusom. Procentualno su najviše zastupljene. Pravac pružanja ovih pukotina je SSI-JJZ što ukazuje da ne pripadaju dinarskoj orogenoj fazi.

Drugi po količini zastupljenosti je sistem **Ep 230°/70°** sa pružanjem SZ-JI. Ove pukotine prostiru se dijagonalno na dolinu sa padom suprotno padini i ka nizvodnoj strani. Pretežno su to zatvorene pukotine dok manji procenat čine veće otvorene i vodonosne pukotine.

Sistem **Ep 45°/60°** izdvojen je aproksimativno od pukotina sa elementima pada **Ep 62°/60°** i **Ep 30°/60°**. Pukotine sa ovim elementima pada prostiru se dijagonalno na dolinu, sa padom u brdo. Sa ovim elementima pada ima pukotina zapunjenih grusom, zjapećih vodonosnih. Pravac pružanja ovog sistema pukotina je SZ-JI.

Kao sporedni sistem pukotina na lijevoj obali izdvojene su pukotine sa elementima pada **Ep 350°/80°**. Ovaj sistem je poprečan na pravac doline sa padom orijentiranim uzvodno. Pretežno su to manje zatvorene pukotine i procentualno manje zastupljene.

#### Seizmičke karakteristike

U odnosu na novija saznanja o seizmičnosti BiH, može se konstatovati da postoji više seizmotektonskih blokova sa specifičnim mehanizmom i karakterom kretanja, na osnovu čega je

izvršena identifikacija najaktivnijih seizmičkih žarišta. Ovo područje spada u zonu 6° MCS. Prema instrumentalnim mjerenjima, u Konjicu se nalazi epicentralno područje u potresima jačine 4° MCS, a jugoistočno uz dolinu rijeke Neretve, dvije epicentralne lokacije sa potresima jačine 6° MCS, odnosno 7° MCS. Mikrosezmičke karakteristike pojedinih sredina su različite, tako da, kao referentnu sredinu za 6° mikrosezmičkog inteziteta, mogu se okvirno smatrati dolomiti u osnovnom gorju, dok se kod ostalih sredina, naročito nevezanih stijena sa visokim nivoom podzemnih voda može očekivati i znatno veći priraštaj seizmičkog inteziteta, čak i do 1°MCS. Lokalnu seizmičku aktivnost čine svi potresi uokolo lokacije brane HE Jablanica , unutar kruga od 75 km., (Herak, 1995). [14]

### **Geomehanička svojstva Jablaničkog gabra**

Iz izvedenih sedam bušotina, ispitana su po 4 uzorka iz svake bušotine, monoaksijalne čvrstoće, ukupno 28 uzoraka i to stijenske mase iz jezgra bušotine, sa eventualnim pukotinskim diskontinuitetima. Također su uzeti uzorci za ispitivanja intaktne stijene dimenzija 5 x 5 x 5 cm koji su u toku. U **tabeli br.1.** su prikazani rezultati monoaksijalnih čvrstoća Jablaničkog gabra /uzorci iz jezgra bušotina sa pukotinskim diskontinuitetima. Kao što se vidi u tabeli br.3., prosječna vrijednost monoaksijalnih čvrstoća je lepezasto promjenjiva. Ovisno o stanju pukotinskog diskontinuiteta , dijelom i sa dubinom, rezultati se razlikuju i to zone do 20,0 m dubine sa vrijednostima od  $\sigma =123-176$  Mpa. Zone bušotina od 20,0 -40,0 m registruju vrijednosti od  $\sigma =98,0-183$  Mpa.Navedene ispitane vrijednosti su bodovane prema **Bienavskom /1989/** za RMR klasifikaciju.[1;5;16;

**Tabela br.1** Rezultati ispitivanja čvrstoće na pritisak gabra HE Jablanica/5/

| Bušotina | Interval sa kojih su uzeti uzorci [m] | Max. sila prese [kN] | Izmjereno [kN] | Čvrstoća [MPa] |
|----------|---------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| B1       | 14,35-15,00                           | 970,00               | 963,11         | <b>120,21</b>  |
|          | 19,60-20,00                           | 1351,00              | 1326,61        | <b>165,58</b>  |
|          | 24,40-23,80                           | 801,20               | 785,81         | <b>98,08</b>   |
|          | 32,30-32,57                           | 800,90               | 793,60         | <b>99,05</b>   |
| B2       | 5,30-5,80                             | 1430,00              | 1451,35        | <b>181,15</b>  |
|          | 13,50-14,20                           | 1373,00              | 1383,54        | <b>172,69</b>  |
|          | 26,10-26,50                           | 1695,00              | 1714,01        | <b>213,93</b>  |
|          | 39,20-39,80                           | 1251,00              | 1239,72        | <b>154,74</b>  |
| B3       | 18,70-19,10                           | 1163,00              | 1183,31        | <b>147,69</b>  |
|          | 34,95-35,50                           | 1291,00              | 1292,24        | <b>161,29</b>  |
|          | 33,00-33,30                           | 727,00               | 715,25         | <b>89,27</b>   |
|          | 38,25-38,65                           | 1751,00              | 1751,19        | <b>218,57</b>  |
| B4       | 4,80-5,30                             | 1071,00              | 1045,25        | <b>130,46</b>  |
|          | 13,00-13,40                           | 946,00               | 931,00         | <b>116,20</b>  |
|          | 20,70-21,00                           | 1060,00              | 1044,64        | <b>130,39</b>  |
|          | 37,00-37,30                           | 1072,00              | 1073,82        | <b>134,03</b>  |
| B5       | 8,80-9,25                             | 864,20               | 882,28         | <b>110,12</b>  |
|          | 18,05-18,45                           | 1198,00              | 1222,25        | <b>152,56</b>  |
|          | 23,00-23,40                           | 1265,00              | 1264,56        | <b>157,84</b>  |



|    |             |         |         |               |
|----|-------------|---------|---------|---------------|
|    | 39,10-39,80 | 1143,00 | 1121,75 | <b>140,01</b> |
| B6 | 1,80-2,10   | 1170,00 | 1168,73 | <b>145,88</b> |
|    | 9,10-9,40   | 824,30  | 821,21  | <b>102,50</b> |
|    | 29,15-29,50 | 718,10  | 729,91  | <b>91,10</b>  |
|    | 36,80-37,20 | 1248,00 | 1225,84 | <b>153,00</b> |
| B7 | 30,50-30,85 | 840,30  | 829,60  | <b>103,55</b> |
|    | 31,90-32,50 | 863,20  | 884,68  | <b>110,42</b> |
|    | 33,95-34,30 | 859,30  | 881,27  | <b>110,00</b> |
|    | 34,50-34,90 | 916,70  | 893,69  | <b>111,55</b> |

### Geološki indeksni parametri stijenske mase

Zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stijenske mase, u inženjerskoj praksi razvio se cijeli niz indeksnih veličina kojima se *kvantitativno* određuje kvalitet stijenske mase. Osnovni princip razvoja gotovo svih tih indeksa, je izravno mjerenje jedne ili više veličina koje su uspoređene sa izmjerenim svojstvima stijenske mase u riješenim inženjerskim zadaćama. Time se dobiva sistem koji prikazuje kvalitetu stijenske mase kvantitativno ocijenjenu na osnovu tog indeksa. [8;9;11;18;] Uz napomenu da nisu jedine, u nastavku će se prikazati indeksne veličine koje su determinirane tokom istraživanja i ispitivanja stijenske mase **HE Jablanica**:

#### Indeks kvaliteta jezgre (RQD)

RQD je uveo **D.U.Deere 1964.** godine [8;9;11;18;]. Određuje se kao postotak jezgre izvađene prilikom sondažnog bušenja, koju čine dijelovi jezgre duži od 10 cm. Za potrebe proračuna RQD indeksa, međunarodna organizacija za mehaniku stijena (**ISRM**) preporučuje korištenje najmanje NX (54,7 mm) promjera bušenja s dijamantnom krunom i jezgrenom cijevi sa dvije stijenske. Pri mjerenju dijelova jezgre, dužih od 10 cm, potrebno je isključiti lomove koji su nastali umjetno kao posljedica bušenja. U *tabeli br.2.* je prikazan odnos između RQD indeksa i kvaliteta stijenske mase koju je predložio **Deere 1968.** [8]

*Tabela br. 2 Odnos između RQD i kvaliteta stijenske mase [2;8;9;11;16;18;].*

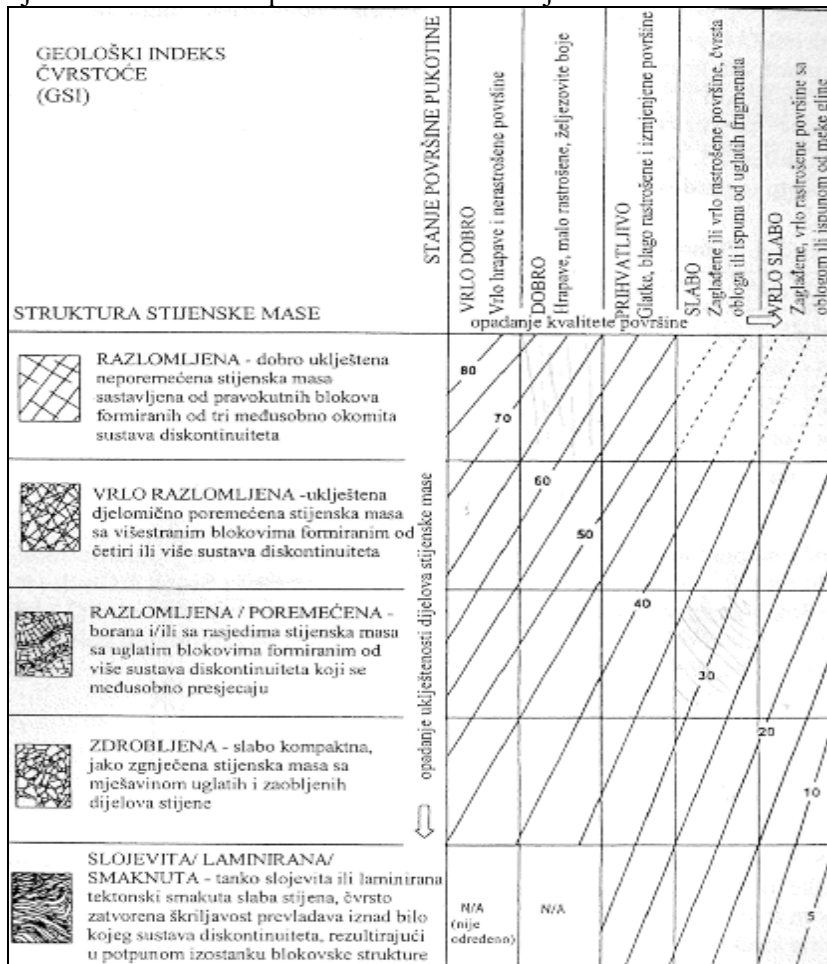
| RQD (%) | Kvaliteta stijenske mase |
|---------|--------------------------|
| ≤25     | Vrlo loša                |
| 25-50   | Loša                     |
| 50-75   | Prihvatljiva             |
| 75-90   | Dobra                    |
| 90-100  | Izvrсна                  |

Kada ne postoji sondažno bušenje iz kojeg se može dobiti jezgra potrebna za određivanje RQD indeksa, **Palmstrom (1982.,preuzeto iz Singh&Goel,1999.)** [8;11;18;] je predložio izraz za proračun na osnovu volumetrijskog broja pukotina ( $J_v$ ). Izraz vrijedi za stijenske mase sa zatvorenim pukotinskim sistemima (bez glinene ispune):  $RQD=115-3,3 \cdot J_v$

#### Geološki indeks čvrstoće (GSI)

GSI su uveli **Hoek&Brown 1997.** godine. [11;18;] Upotrebljiv je i za čvrste i za slabe stijenske mase. Proizišao je iz potrebe iskusnih inženjera i geologa za jednostavnijom ocjenom stijenske mase, i to na osnovu vizuelne procjene geoloških uvjeta. Ocjenjuje se stanje strukture stijenske mase i stanje diskontinuiteta. Na *slici br.1.* je prikazan dijagram za određivanje vrijednosti GSI

indeksa i to dopunjena verzija (*Hoek et al.,1998.*) u odnosu na izvorni prijedlog *Hoek&Brown-a.[11,18;]* koja je također korištena prilikom izrade GSI stijenske mase.



Slika br.1 Dijagram za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (GSI) na osnovu vizuelne ocjene geoloških uvjeta (*Hoek&Marinos, 1998*) [11;18;]

#### Klasifikacije stijenskih masa

Iako su tehnike ispitivanja stijena i stijenskih masa dostigle zavidan nivo, ostaje još uvijek mnogo problema pri primjeni teorija na rješavanje praktičnih inženjerskih problema. Sve klasifikacije uključuju nekoliko ključnih parametara stijenske mase i pridruživanje pojedinog parametra nekoj od unaprijed određenih klasa. Svakoj od klasa pridružena je odgovarajuća numerička vrijednost. Zbrajanjem pridruženih numeričkih vrijednosti za svaki od parametara stijenske mase, dobije se konačna numerička vrijednost koja obilježava ponašanje tretirane stijenske mase.[11;18;] Treba naglasiti da klasifikacija stijena ne može i ne smije zamjeniti kompletnu proceduru projektiranja. Kod primjene klasifikacijskih sistema, stijenska masa se podjeli u strukturne regione, i svaki se region klasificira odvojeno. Granice strukturnih regiona obično se podudaraju sa glavnim strukturnim obilježjima kao što su rasjedi ili s granicama različitih tipova stijena. Danas se najčešće koriste Gemehanička klasifikacija **RMR** *Bieniawskog* i *Q-klasifikacija Bartona*. [8;9;11;16;18;]

#### Geomehanička klasifikacija "RMR" (rock mass rating)

Na predmetnom terenu, u lijevom boku brane, 2012. izbušeno je ukupno 120 m jezgra u tri bušotine. Na desnoj obali izbušeno je 160 m jezgra u 4 bušotine. Izvedena je klasifikacija RMR-a prema uputama [11;18;] Klasifikacija-bodovanje RMR-a stijenske mase u bokovima brane,

na bušotinama HE Jablanica, izbušenim 2012. za potrebe izrade inženjerskogeološke i geotehničke projektne dokumentacije *tabela br.3.* iznosi prema autoru i to: [1]

*Tabela br.3. Klasifikacija stijenske mase u bušotinama lijevog i desnog boka brane [1]*

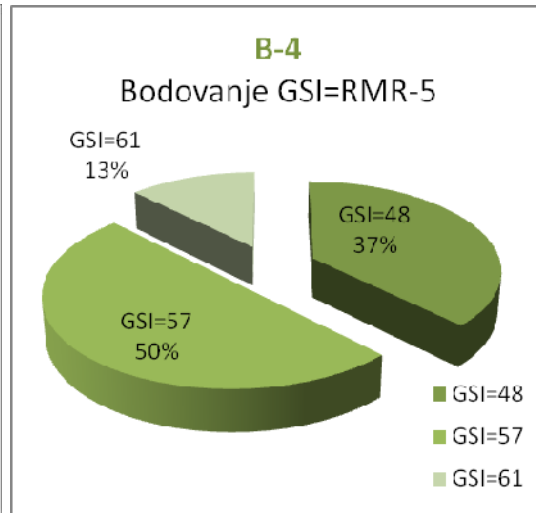
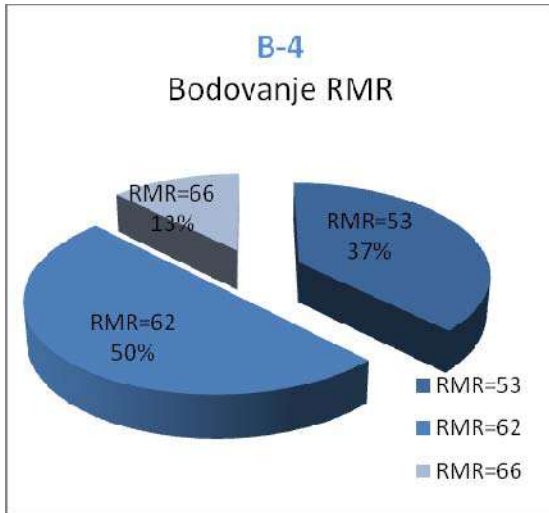
| <i>Bušotina B-7</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>i kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|---------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--|
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>0,0- 5,0 m</i>         | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>5,0- 10,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 3         | 10        | 8         | 8         | 41  | 36   |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | 53  | 48   |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 17        | 10        | 8         | 10        | 57  | 52   |
| <i>Bušotina B-6</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>i kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>0,0- 5,0 m</i>         | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>5,0- 10,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 8         | 51  | 46   |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 3         | 10        | 8         | 8         | 41  | 36   |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 7  | 3         | 10        | 8         | 8         | 46  | 41   |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 10        | 8         | 53  | 48   |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 17        | 10        | 10        | 8         | 57  | 52   |
| <i>Bušotina B-5</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>i kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>0,0- 10,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 10        | 48  | 43   |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | 53  | 48   |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 20        | 15        | 9         | 10        | 66  | 61   |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 9         | 10        | 63  | 58   |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 9         | 10        | 63  | 58   |
| <i>Bušotina B-4</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>I kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>0,0- 5,0 m</i>         | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | 53  | 48   |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | 53  | 48   |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 17        | 15        | 8         | 10        | 62  | 57   |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 20        | 15        | 9         | 10        | 66  | 61   |

| <i>Bušotina B-3</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>I kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|---------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--|
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 8         | 9         | 8         | 10        | <i>47</i>                                     | <i>42</i>                                  |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | <i>53</i>                                     | <i>48</i>                                  |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | <i>53</i>                                     | <i>48</i>                                  |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 10        | <i>53</i>                                     | <i>48</i>                                  |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 13        | 15        | 8         | 10        | <i>58</i>                                     | <i>53</i>                                  |
| <i>Bušotina B-2</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>I kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>5,0- 10,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | <i>46</i>                                     | <i>41</i>                                  |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | <i>46</i>                                     | <i>41</i>                                  |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | <i>46</i>                                     | <i>41</i>                                  |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 8         | <i>51</i>                                     | <i>46</i>                                  |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 8         | <i>51</i>                                     | <i>46</i>                                  |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 12   | 17        | 10        | 8         | 8         | <i>55</i>                                     | <i>51</i>                                  |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 8         | <i>51</i>                                     | <i>46</i>                                  |

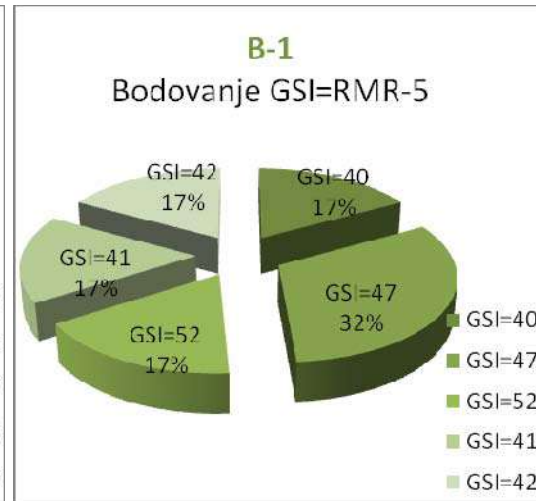
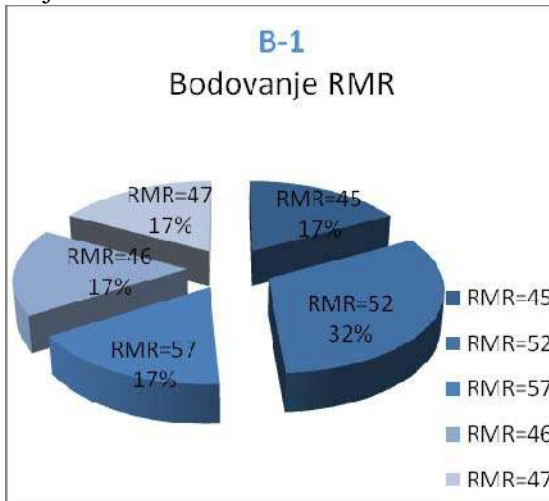
| <i>Bušotina B-1</i>       | <i>Klasifikacija- bodovanje<br/>RMR-a 1989</i> |           |           |           |           | <i>Ukupno bodova<br/>I kategorija<br/>RMR</i> | <i>Geološki index<br/>čvrstoće<br/>GSI</i> |
|---------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--|
|                           | <i>1.</i>                                      | <i>2.</i> | <i>3.</i> | <i>4.</i> | <i>5.</i> |   |  |
| <i>Interval Bodovanja</i> |  |           |           |           |           |   |  |
| <i>10,0-15,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 7         | <i>45</i>                                     | <i>40</i>                                  |
| <i>15,0-20,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 9         | <i>52</i>                                     | <i>47</i>                                  |
| <i>20,0-25,0 m</i>        | 7  | 17        | 15        | 8         | 10        | <i>57</i>                                     | <i>52</i>                                  |
| <i>25,0-30,0 m</i>        | 12   | 8         | 10        | 8         | 8         | <i>46</i>                                     | <i>41</i>                                  |
| <i>30,0-35,0 m</i>        | 7  | 13        | 10        | 8         | 9         | <i>47</i>                                     | <i>42</i>                                  |
| <i>35,0-40,0 m</i>        | 12   | 13        | 10        | 8         | 9         | <i>52</i>                                     | <i>47</i>                                  |

Na sljedećim dijagramima prikazani su rezultati bodovanja RMR i GSI u jezgrama bušotina izbušenim 2012. HE Jablanica [1] Primjeri se odnose za jednu karakterističnu bušotinu na desnom i lijevom boku brane:

Desni bok



Lijevi bok



Bartonova „Q“ klasifikacija

Klasifikacija koji su predložili **Barton, Lien&Lunde (1974.)**, je prilagođena problemima podzemnih otvora (projektovanje pregrade). Određuje se na osnovu šest parametara iz kojih se izračunava koeficijent Q prema izrazu: [9]

$$Q = \frac{RQP \cdot L_r \cdot J_w}{J_n \cdot J_a \cdot SRF}$$

Prilikom klasificiranja stijenske mase prema RMR-u, na ispitivanju iz 2012. vršena je samo korelaciona kontrola prema „Q“ klasifikaciji na slijedeći način i to prema obrascima [1] :

- 1.,  $RMR \approx 9 \cdot \ln Q + 44$  (Bieniawski, 1989)  $Q \gg \frac{(RMR-44)}{9}$
2.  $RMR \approx 15 \cdot \log Q + 50$  (Barton, 1995)  $Q \gg \frac{(RMR-50)}{15}$

**Primjer provjere klasifikacije „Q“ prema RMR-u:**

**Bušotina B-5**

RMR=48 od 0 do 10 m ; RMR=63 od 35 do 40 m ;

Po formuli za RMR>44  $Q \gg \frac{48-44}{9} = 1,56$

Po formuli (6.6.3) za RMR>50  $Q \gg \frac{63-50}{15} = 7,35$

Prema klasifikaciji Q, Za  $Q=1,56$  kategorija stijenske mase je slaba (poor), odnosno spada u III kategoriju prema RMR. Vrijednosti odgovaraju klasifikaciji RMR –a iz projektne dokumentacije [1]

Za  $Q=7,35$  kategorija stijenske mase je povoljna (fair), odnosno spada u II kategoriju prema RMR. Vrijednosti odgovaraju klasifikaciji RMR –a iz projektne dokumentacije [1] U tabeli br.4 prikazana je globalna podjela kategorije stijenske mase prema vrijednosti koeficijenta Q.[8;9;11;18;]

Tabela br.4 Kategorija stijenske mase prema Q klasifikaciji [8;9;11;18;]

| Q            | Kategorija stijenske mase |
|--------------|---------------------------|
| 0.001-0.01   | Krajnje slaba             |
| 0.01-0.1     | Iznimno slaba             |
| 0.1-1.0      | Vrlo slaba                |
| 1.0-4.0      | Slaba                     |
| 4.0-10.0     | Povoljna                  |
| 10.0-40.0    | Dobra                     |
| 40.0-100.0   | Vrlo dobra                |
| 100.0-400.0  | Iznimno dobra             |
| 400.0-1000.0 | Krajnje dobra             |

### Ispitivanje vodopropusnosti

U periodu 1962-63 god. izvedena su ispitivanja i istraživanja vodopropusnosti na 9 istražnih bušotina. Sedam bušotina su vertikalne a dvije su kose pod uglom od  $30^\circ$ . U prilogu su prikazani rezultati opita vodopropusnosti i korelirani preko Ližona. U današnjoj praksi razvilo se više metoda i postupaka za određivanje VDP-i stijenskih (kamenitih) masiva Načesće korištena metoda ispitivanja VDP-a u stijenskom (kamenitom) masivu je Lugeonov opit, zasnovan na principu utiskivanja vode u nezacijevljenu bušotinu na određenoj izolovanoj dužini (etaži) pod pritiskom od 0-10 bara (Wittke, 1990).[ 16 ] Danas se ova jedinica vodopropusnosti (VDP) skraćeno označava sa Lu, po imenu autora Lugeona (Ližona). U engleskoj literaturi je poznata kao „Water Pressure Tests“ (WPT).[16]

Na istražnim bušotinama korišteni su intervali od 5,0 m. Nije rijedak slučaj da se količina utisnute vode izražava i preko specifične vodopropusnosti, koja se dobije iz oblika dijagrama ovisnosti ukupne protoke (Q) i pritiska (H) i na bazi koje se proračuna koeficijent filtracije (k).[3;4;12;] Ukoliko se ispitivanje vodopropusnosti izvodi na etaži dužine 5,0 m i sa tri ciklusa od po 5 min do ustaljenja protoke, dobije se izraz za vodopropusnost što je bio slučaj na ispitivanju iz 1962-63 koje je korišteno.

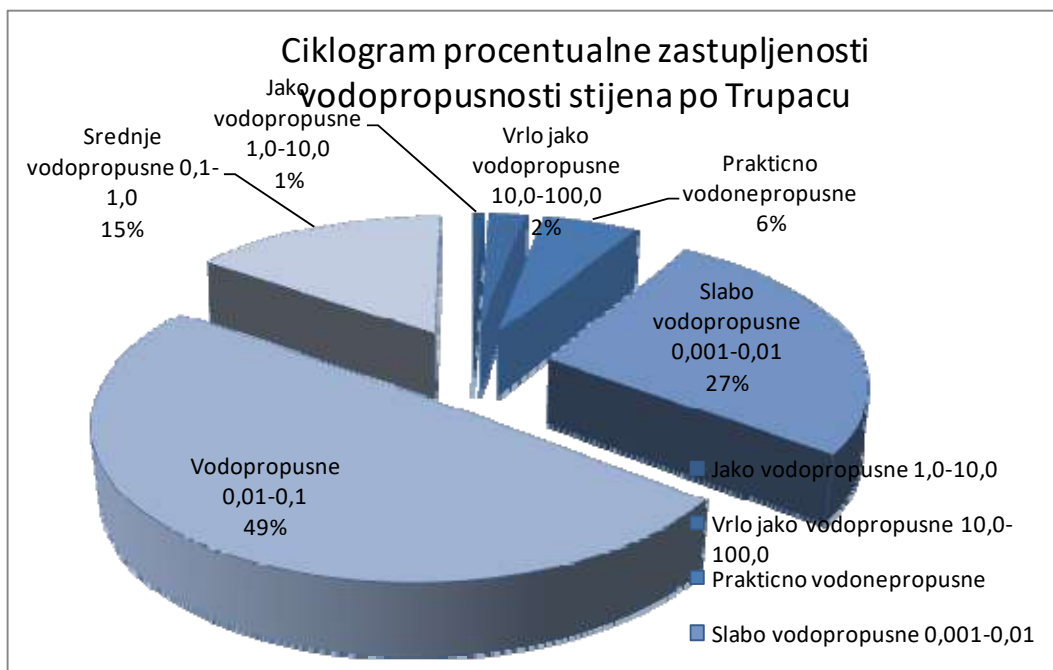
Postoji više pokušaja da se stijenski masivi klasificiraju po stepenu VDP-a, a kao najprihvatljiviji kriterij navodi se N.G. Trupaka (Milanović, 1979), koji je 1956. godine sve masive podijelio prema specifičnoj VDP-sti u sedam grupa tabela br. 5. i po (Kujundžić, 1974), gdje je stijenski masiv razvrstan prema Lugeonovoj jedinici VDP (tabela br.6).[1]

Tabela br.5. Kategorizacija stijenskog masiva po stepenu VDP-i Trupak [3;4;]

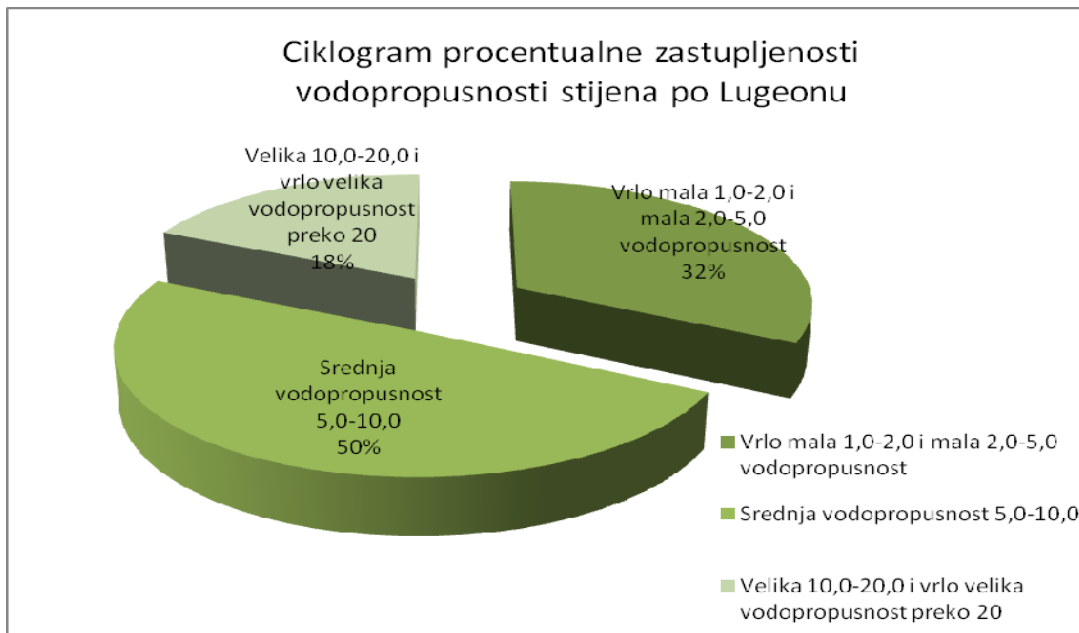
| Grupa | Specifična vodopropusnost | Kategorija                     |
|-------|---------------------------|--------------------------------|
| 1     | $\leq 0,001$              | Vodopropusni masivi            |
| 2     | $0,001 \div 0,01$         | Slabo propusni                 |
| 3     | $0,01 \div 0,1$           | Propusni                       |
| 4     | $0,1 \div 1,0$            | Srednje vodopropusni           |
| 5     | $1,0 \div 10,0$           | Velika vodopropusnost          |
| 6     | $10,0 \div 100,0$         | Veoma velika vodopropusnost    |
| 7     | $100,0 \div 1000,0$       | Izuzetno velika vodopropusnost |

Tabela br. 6. Ocjena vodopropusnosti stijenskog masiva po Lugeonu [1]

| Grupa | Ocjena VDP  | VDP(Lu)(l/min, m pri 10 bara) |
|-------|-------------|-------------------------------|
| 1     | Vrlo mala   | $1 \div 2$                    |
| 2     | Mala        | $2 \div 5$                    |
| 3     | Srednja     | $5 \div 10$                   |
| 4     | Velika      | $10 \div 20$                  |
| 5     | Vrlo velika | $\geq 20$                     |



Prethodni ciklogram se odnosi na specifičnu vodopropusnost iz istraživanja i ispitivanja iz šezdesetih godina. Naredni ciklogram je jasan i potvrđuje da su vrlo male do srednje vodopropusnosti stijenske mase gabra u vrijednosti od 82 %. Propusnost od 18 % se odnosi na ispucali dio gabroidne mase i to uglavnom velike i vrlo velike propusnosti prema Lugeonu.



• **Sažetak rada :**

Tokom zadnjeg provedenog istraživanja bušenja ,testiranja i ispitivanja , nabušeno je (sedam) 7 bušotina sa dubinama bušenja od 40 m , odnosno ukupno je izbušeno 280 m stijenske mase gabra i dijelom betona. Geološku osnovu terena izgrađuju sedimenti donjeg trijasa, predstavljeni litološkim članom hipidiomorfno-zrnastim gabrom, svjetlo zelene do sive boje. Na lijevom boku brane registrirana su četiri (4 ) pukotinska sistema, generalnog pravca pružanja SSZ-JJI, odnosno, sistemi sa Ep:110°/60° ; Ep: 230°/70°; Ep: 45°/60° i sistem poprečan na pravac doline i padom orjentiranim uzvodno i to Ep: 350°/80°. Na desnom boku brane , zastupljena su tri (3) sistema pukotina i to Ep: 250°/50°; Ep: 242°/80° i sporedni sistem Ep: 138°/80°. Na osnovu ispitivanja i testiranja uzoraka gabra iz svih 7 bušotina vrijednost monoaksijalnih čvrstoča na pritisak iznosi od 100-220 MPa. Radi se o vrlo čvrstim stijenskim masama a posebno se odnosi na intaktne uzorke gabra. Određena je klasifikacija ispucalosti stijenske mase (RQD) na jezgru bušotina, te na svakih 5,0 m intervala određena prosječna vrijednost za sve bušotine. Na osnovu inženjerskogeološkog i geotehničkog kartiranja jezgre bušotina, izvedena je procjena parametara prema RMR klasifikaciji. Preko dijagrama za određivanje GSI , te preko obrasca da je  $GSI = RMR - 5$ , određene su vrijednosti GSI na svakom intervalu od 5,0 m u bušotinama sa stijenskom masom gabra. Vrijednosti RMR-a pa prema tome i GSI su povoljne, te Jablanički gabra pripada "povoljnoj" stijenskoj masi . Određene su tri (3) zone GSI, koje su formirane na klasifikaciji RMR-a i podijeljene prema intervalima GSI-a i to GSI zona 1 = 36-46; GSI zona 2 = 46-56; i GSI zona 3 >56. Tokom izvođenja bušenja registrirani su nivoi podzemne vode i korelirani sa NPV-a u najbližim piježometrima na lijevoj i desnoj obali. Vidljivo je da je lijeva obala ispucalija od desne i da postoji određeni gubitak vode iz akumulacije.

Relevantni parametri za izvođenje modelskog proračuna stijenske mase brane Jablanica su : RQD = 25-75 % ; Monoaksijalna čvrstoča  $\delta = 100-220 \text{ MN/m}^2$  ; RMR = II i III kategorija ; GSI 1 zona = 36-46; GSI 2 zona = 46-56 ; GSI 3 zona > 56; Dinamički Modul deformabilnosti stijenske mase: GSI 1 zona = 15 GPa; GSI 2 zona = 25 GPa; GSI 3 zona = 44 GPa.



• **Literatura**

1. **Čerimagić, Đ. Kučinar S.** Elaborat o geološkim istaživanjima i ispitivanjima stijenske mase brane Jablanica, Građevinski fakultet Mostar, 2012/2013.
2. **Čerimagić, Đ.** "Inženjerska geologija" Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2009
3. **Energoinvest Sarajevo.**;Dopuna injekcione zavjese HE Jablanica, Glavni Projekt, Geološke podloge , knjiga I ,septembar 1962
4. **Energoinvest Sarajevo;** "Produbljenje injekcione zavjese HE Jablanica", Glavni Projekt Knjiga 1 i 2 ,1963.
5. **Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić** Preliminarna geomehanička ispitivanja uzoraka Jablaničkog gabra" , Mostar 2012.
6. **Javno preduzeće elektroprivreda BiH ,d.d. Sarajevo,podružnica hidroelektrane na Neretvi**, Plan aktivnosti sa mjerama i rokovima za postupno smanjenje emisija, odnosno zagađenja i za usaglašavanje sa najboljom raspoloživom tehnikom HE Jablanica,2007.
7. **Javno preduzeće elektroprivreda BiH, d.d. Sarajevo**, Ispitivanja bokova i bućnice, provjera stabilnosti brane i uzroka nastanka pukotine u "C" galeriji brane HE Jablanica,BiH,Institut IGH d.d.,Zagreb,2012.
8. **Jevremović D.** " Inženjerska geologija" , Građevinskoarhitektonski fakultet u Nišu, 2003.
9. **Kovačević, J.** "Osnovne koncepcije nove austrijske tunelske metode", Beograd, 2005.
10. **Milašinović, Z.** "Upojni bunari u vodosnabdijevanju", Građevinski fakultet u Sarajevu, 2004.
11. **Mišćević P.** Uvod u Inženjersku mehaniku stijena, Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet 2004.
12. **Nukić N.** HE Jablanica Elaborat o provedenim geološkim istražnim radovima na lokalitetu brane Jablanica, Elektroprivreda BiH, 2009.
13. **Osnovna geološka karta OGK list Prozor**, M 1 : 100.000, sa tumačem lista Prozor;
14. **PMF, Geofizički odsjek** Seizmološka istraživanja u sklopu geofizičkih istraživanja blokova i bućnice, provjera stabilnosti brane i uzroka nastanka pukotine u "C" galeriji brane HE Jablanica, BiH,Sveučilište u Zagrebu, 2012.
15. **Savić,Lj.** Uvod u hidrotehničke građevine, Građevinski fakultet Beograd, 2003,
16. **Selimović, M.**Drugi dio istraživanja stijenskih masa,Građevinski fakultet Mostar, 2004,
17. **Stojić,P.** Hidroenergetika,Građevinski fakultet sveučilišta u Splitu,1995,
18. **Vrkljan, I.**"Inženjerska mehanika Stijena" Građevinsko-arhitektonski fakultet u Rijeci

## Karakteristike sedimenata na desnoj obali rijeke Drine, lokacija buduće poslovne zgrade HE na Drini Višegrad

ĐURIĆ NEDO<sup>1</sup>, PERIŠIĆ MILAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Tehnički institut Bijeljina, e.mail: [tehnicki@tehnicki-institut.com](mailto:tehnicki@tehnicki-institut.com)*

### Sažetak

Lokacija buduće poslovne zgrade nalazi se na desnoj obali rijeke Drine, udaljena istočno oko četrdesetak metara od staroga zidanog mosta. Područje lokacije pripada užem gradskom jezgru na kome se nalazi dosta stambenih, poslovnih i vjerskih objekata, kao i objekata koji predstavljaju kulturno-istorijski baštinu grada.

Šira okolina istraživane lokacije je padina blago ustrmljena u pravcu zapada i predstavlja dio terase rijeke Drine. Tehnogenim zahvatima, odnosno padsijecanjem padine neposredno na lokaciji, formiran subhorizontalni plato na kome će se graditi objekat.

Istraživanje terena za potrebe upoznavanja geoloških i geomehaničkih karakteristika pored inženjerskogeološkog kartiranja lokacije i neposredne okoline, vršeno je kombinovanim radovima, istražnim bušenjem i izradom istražnih raskopa. Zajedno sa rezultatima laboratorijskih ispitivanja definisane su geološke sredine za koje su izdvojeni parametri koji su postavljeni u model za geotehničke analize.

Ključne riječi: *teren, istražni radovi, geološke sredine, geomehanički parametri*

## Characteristics of sediments on the right bank of the Drina River, location of future commercial building HPP on the Drina in Visegrad

### Abstract

Location of future commercial building is located on the right bank of the Drina River, located around forty meters east of the old masonry bridge. Area of locations belonging to the inner urban core where is located a lot of residential, commercial and religious buildings, as well as objects that represent the cultural and historical heritage of the city.

Wider environment is researched locations slopes mildly leaning towards the West and a part of the terrace of the Drina River. Technogenic operations or to distort the stability of the slope directly at the site, formed subhorizontalni plateau on which shall build building.

The research field for dating geological and geotechnical characteristics besides inženjerskogeološkog mapping the location and immediate environment was performed combined work, exploration drilling and drilling of exploration holes. Together with the results of laboratory tests are defined geological environments that are extracted parameters that are set in the model for geotehničke analysis.

Key words: *court, investigative work, geological environments, geotechnical the parameters*

## UVOD

Poslovna zgrada HE na Drini Višegrad, nalazi se na blago nagnutoj padini, oko stotinak metara udaljenoj od desne obale rijeke Drine. Lokacija je u centralnom dijelu grada okružena stambeno poslovnim objektima, kao i objektima koji imaju kulturno-istorijsku vrijednost. Zbog toga je bilo potrebno detaljnije proučiti kolaciju na kojoj će se graditi novi objekat. Prvo sa aspekta njegove stabilnosti, a zatim da se tokom gradnje ne naruši stabilnost postojećih objekata.

Složenost geološke građe terena, bliskost postojećih objekata i djelimična nepristupačnost cijeloj lokaciji usloveli su kombinovane istražne radove. Izvedene su istražne bušotine i istražni raskopi u rasporedu da da se zahvate sve ugaone i centralne tačke. Kartiranjem terena lokacije i neposrednje okoline, te snimanjem istražnih radova i korištenjem potataka laboratorijskih analiza, detaljno su sagledane karakteristike terena u vertikalnom profilu.

## PROVEDENA ISTRAŽIVANJA TERENA

Prethodnim kartiranjem terena, djelimično su sagledane njegove karakteristike, uočavajući da se radi o terasnim sedimentima, koje treba proučiti po dubini. U neposrednoj blizini je rijeka Drina, a oko 40,0 m je početak starog zidanog mosta, poznat kao „Na Drini ćuprija“.

Morfologija predmetne lokacije djelimično je narušena ranije izvedenim radovima u cilju blagog zaravnjenja. Ipak karakteristične tačke terena na kojima je trebalo postaviti istražne bušotine nisu bile pristupačne. Kombinacijom istražnih bušotina i raskopa postavljena je mreža radova da se sagledaju ugaone i centralne tačke terena na kome će se graditi objekat.

Dubine bušotina su različite od 10,0 – 21,0 m, zavisno od morfoloških karakteristika terena, litoloških članova, odnosno ocjene do koje dubine se očekuje uzajamni uticaj objekta i tla. Ukupno je izvedeno pet (5) istražnih bušotina dubine 70,0 m i 6 raskopa prosječne dubine oko 4,0 m, slika 1.

Kvalitet jezgra bušotina je zadovoljavajući, kako po procentu tako i kompaktnosti, što je omogućilo detaljnije sagledavanje karakteristika terena u profilu. Paralelno sa bušenjem uzmani su poremećeni i neporemećeni uzorci iz svake litološke promjene. U vim slojevima osim supstrata terena koji je predstavljen škriljcima sa tankim proslojcima pješčara, izvedeni su opiti SPT-a.

Istražni raskopi postavljeni su u tačkama gdje nije bilo moguće izvesti istražne bušotine, ali i na profilima terena radi detaljnijeg sagledavanja litoloških promjena u dijelu glavnih opterećenja budućeg objekta. Paralelno sa kartiranjem otvorenog profila terena pomoću raskopa, uzeti su poremećeni uzorci iz nevezanih sedimenata.

Laboratorijska ispitivanja provedena su na svim uzetim uzorcima, tako da je svaki litološki član obrađen i laboratorijskim putem. Za litološke članove u kojima su uzeti neporemećeni uzorci određene su fizičko-mehaničke karakteristike. Kod nevezanih sedimenata na poremećenim uzorcima dobivene su fizičke karakteristike sedimenata, a mehaničke su određene preko Standardnog penetracionog opita SPT-a izvedenog u bušotinama.

## GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA PROUČAVANE LOKACIJE

Šira okolina predstavlja dio desne strane kanjona rijeke Drine u kome su uskom pojasu istaloženi kvartarni sedimenti. Prema OGK list Višegrad, R 1 : 100.000 i njenom tumaču, kao i rezultatima izvedenih istraživanja površinski dio terena neposredne lokacije i njene bliže okoline izgrađuju ostatci terasa rijeke Drine. Terasni sedimenti predstavljeni su šljunkovito – pjeskovito – glinovitim sedimentima

istaloženim preko škriljaca, krečnjaka i pješčara donjeg trijasa ( $T_1$ ). Sedimenti donjeg trijasa leže diskordantno preko jurskog ofiolitskog melanža.

U geološkoj građi terena, do dubine istraživanja od 21,00 m učestvuju tehneni i prirodni materijali predstavljeni sledećim slojevima:

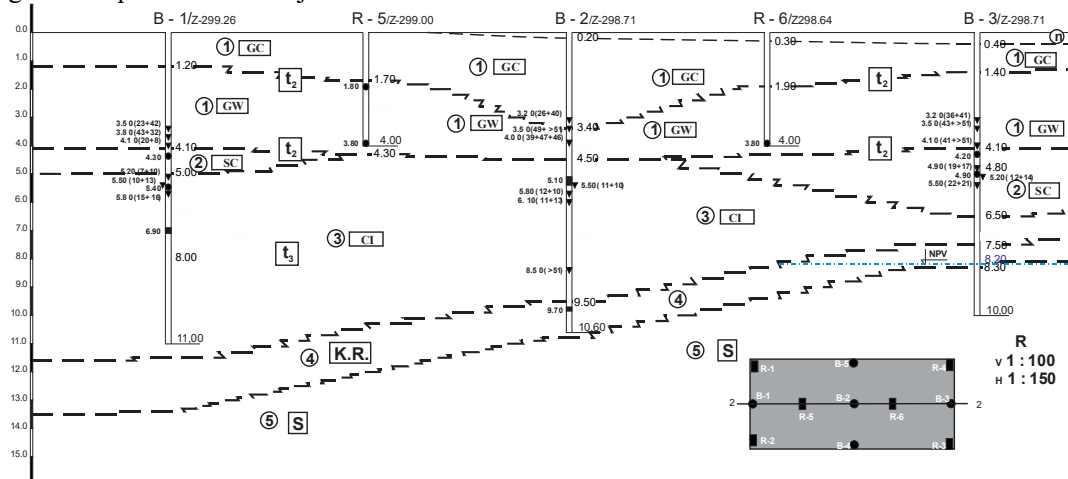
- Nasip tehnogenog porijekla
- Sedimenti terasa rijeke Drine
  - ❖ Nevezane stijene druge terase ( $t_2$ )
    - Šljunak glinovit do zaglinjen
    - Šljunak pjeskovit
    - Pijesak, zaglinjen, sitnozrn do srednjezrn
  - ❖ Slabovezane i nevezane stijene treće terase ( $t_3$ )
    - Glina prašinsto pjeskovita sa uklopcima i sočivima zaglinjenog pijeska
    - Pijesak glinovit do zaglinjen
- Kora raspadanja
- Supstrat terena – klastične stijene donjeg trijasa ( $T_1$ )
  - predstavljene škriljcima, silifikovanim krečnjacima
  - pješčarima sa silikatnim vezivom

Svi navedeni članovi ne prostiru se u cjelosti na istraživanoj lokaciji, a pojedini članovi imaju različitu moćnost, što opravdava obim istražnih radova i detaljnost istraživanja.

**Nasip**, se nalazi na površini već približno zaravnjenog dijela terena. Na zasječenom dijelu padine, umjesto nasipa prisutan je hunus kao površinski pokrivač ispod koga se nalazi paket sedimenata druge riječne terase ( $t_2$ ).

### Sedimenti riječne terase ( $t_2$ )

**Šljunak glinovit i pjeskovit.** Gornji dio paketa sedimenata mlađe terase ( $t_2$ ) rijeke Drine u litostratigrafskom stubu izgrađuje šljunak glinovit do zaglinjen. Obrazuje sloj promjenjive moćnosti, koji se kontinuirano rasprostire na istraživanom terenu, slika 1. Maksimalnu moćnost do 5,00 m dostiže u centralnom dijelu istraživane lokacije, zona bušotine B – 5, a minimalnu od oko 1,20 m u zoni istražnih radova B – 4 i R – 2 i R – 3. Šljunak je srednjezrn do krupnozrn, sa visokim procentom učešća sitnozrne glinovito-prašinsto frakcije.



Slika 1. Geološki profil terena

1. šljunak glinovit i pjeskovit, 2. pijesak zaglinjen,
3. glina prašinsto pjeskovita, 4. kora raspadanja, 5. supstrat terena

Neposredno ispod šljunka zaglinjenog istaložen je sloj šljunka pjeskovitog, mjestimično sa manjim sočivima šljunkovitog pijeska. Kontinuirano prati gornji sloj zaglinjenog šljunka, a karakteriše manje prisustvo sitnozrne glinovito-prašinate frakcije.

**Pijesak zaglinjen**, predstavlja najniži član paketa sedimenata mlađe terase ( $t_2$ ) rijeke Drine. Istaložen je neposredno preko djelimično erodovanih sedimenata starije terase ( $t_3$ ) i obrazuje sloj promjenjive moćnosti do 1,0 m, a koji isklinjava u pravcu istražnih radova B – 2 i R – 5, R – 2. Granulacija pijeska je sitnozrna do srednjezna. Pijesak u masi sadrži valutice šljunka i visok procenat sitnozrne frakcije koja mjestimično unutar sloja formira manja sočiva pjeskovite gline, sa valuticama šljunka različite granulacije u masi.

### Sedimenti riječne terase ( $t_3$ )

**Glina prašinato pjeskovita**, čini gornji član paketa sedimenata starije terase ( $t_3$ ) rijeke Drine. Obrazuje sloj registrovan svim istražnim bušotinama koji u zapadnom dijelu terena u pravcu rijeke Drine, odnosno istražnih radova B – 5 i R – 1, R – 4, leži preko donjeg člana starije terase, odnosno pijeska glinovitog do zaglinjenog. U centralnom i istočnom dijelu terena – istražni radovi B – 4 i R – 2, R – 3, sloj je istaložen preko sedimenata supstrata terena, odnosno kore raspadanja supstrata terena. Unutar sloja registrovana su manja sočiva zaglinjenog pijeska.

**Pijesak zaglinjen**, predstavlja donji član paketa sedimenata starije terase ( $t_3$ ) rijeke Drine istaložen neposredno preko kore raspadanja supstrata terena. Ne prostire se na cijeloj lokaciji, odnosno manje je zastupljen u centralnom dijelu lokacije. Sadrži visok procenat sitnozrne frakcije koja mjestimično unutar sloja formira manja sočiva pjeskovite gline, sa valuticama šljunka različite granulacije u masi.

### Kora raspadanja

Neposredno ispod terasnih naslaga nalazi se kora raspadanja supstrata terena u vidu sloja moćnosti 1,00 – 1,50 m koji paralelno prati ravan zalijeganja paleoreljefa. Sloj izgrađuje nesortirana drobina stijenskog materijala u glinovito – pjeskovitom detritusu. Registrovan je na svim istražnim bušotinama.

### Supstrat terena

U litostratigrafskom stubu supstrat terena izgrađuje paket slojeva klastičnih sedimenata donjeg trijasa ( $T_1$ ) predstavljeni škriljcima sa trakama pješčara. Karakteriše se izmjenom tamno sivog silifikovanog ispućalog krečnjaka, škriljca i pješčara, te sivim sitnozrnim do srednjezrnim pješčarom sa silikatnim vezivom. Posmatrano od zapada ka istoku, odnosno istražnih radova B – 5 do B – 4, supstrat terena oplićava.

### HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Rijeka Drina predstavlja glavni kolektor kome gravitiraju sve podzemni i površinski vodotokovi i ima dvojaku funkciju. U vrijeme niskog vodostaja vrši prihvat površinskih i podzemnih voda, a u vrijeme visokih vodostaja vrši prihranjivanje registrovanih vodonosnika.

Osmatranjem nivoa podzemne vode u periodu istraživanja i desetak dana poslije toga, utvrđeno je da se nivo podzemne vode u istražnim bušotinama hipsometrijski nalazi u nivou površine rijeke Drine. Tokom navedenog perioda mijenja se nivo u skladu sa kolebanjem vodostaja čime je utvrđena hidraulička veza između rijeke i vodonosnika. Ovakav zaključak se može izvesti, obzirom da je navedeni period karakterisao značajnije prisustvo kišnih padavina.

Prema rezultatima geomehaničkog bušenja i laboratorijskim ispitivanjima može se konstatovati da teren do dubine istraživanja sa hidrogeološkog aspekta, u odnosu na njihovu hidrogeološku funkciju, izgrađuju sledeće vrste stijena:

- Stijene dobro vodopropustljive, intergranularne poroznosti, koje predstavljaju šljunak glinoviti do zaglinjeni, šljunak pjeskoviti i pesak glinoviti do zaglinjeni. U vertikalnom stubu učestvuju u građi terena u dva horizonta. Prema svojim filtracionim karakteristikama obavljaju funkciju kolektora u kome se formira zbijeni tip izdani. Filtracione karakteristike određene preko granulometrijskog sastava kreću se od  $k = 1,2 \times 10^0 - 3,3 \times 10^{-3}$  cm/s.
- Srednje vodopropustljive stijene intergranularne, mikropukotinske i pukotinske poroznosti. To je kora raspadanja koju izgrađuje drobina degradiranog škriljca, pješara i podređeno krečnjaka u glinovitom detritusu predstavlja stijene slabe do srednje vodopropustljivosti. Litološki sklop je uslovio veliki broj pora i pukotina u masi stijene što rezultuje mogućnošću kretanje vode u vertikalnim i horizontalnim pravcima. Koeficijant vodopropusnosti prema USBR-u se kreće od  $k = 1,6 \times 10^{-4} - 2,9 \times 10^{-5}$  cm/s.
- Slabo do vrlo slabo vodopropustljive stijene pukotinske poroznosti. Stijene supstrata terena, u neporemećenom stanju, prema svojim filtracionim karakteristikama obavljaju funkciju izolatora. Zbog ispučnosti, izazvane tektonskim procesima u škriljcima, pješčarima i krečnjacima, kao i procesa karstifikacije unutar slojeva krečnjaka, karakteriše ih pukotinski tip poroznosti te predstavljaju malo do vrlo malo vodopropustljive stijene pukotinske poroznosti unutar kojih je moguće formiranje manjih izdani razbijenog tipa.

U stijene slabe do vrlo slabe vodopropustljive spadaju i stijene intergranularne, mikropukotinske i pukotinske poroznosti. Predstavljene su glinama pjeskovitim i prašinsto pjeskovitim sa uklopocima i sočivima zaglinjenog pijeska. U vertikalnom stubu izgrađuju dublje dijelove terena. Prema svojim filtracionim karakteristikama obavljaju hidrogeološku funkciju izolatora, odnosno predstavljaju stijene bez vodonosnika. Ipak, zbog složenog litološkog sklopa, odnosno visokog procenta sadržaja uklopaka degradiranog stijenskog materijala i prisustva sočiva zaglinjenog šljunka omogućavaju slabo procjeđivanje vode. Koeficijant vodopropusnosti prema USBR-u kod navedenih stijena kreće se od  $k = 3,6 \times 10^{-6} - 4,7 \times 10^{-7}$  cm/s.

Izdvojena podjela stijena po vodopropusnosti je relativna, obzirom da filtracione karakteristike određene po USBR-u nisu dovoljno reprezentativne. Ipak, ova metoda ako ne daje empirijski najtačnije rezultate, može u dovoljnoj mjeri napraviti razliku između sedimenata po vodopropusnosti.

## GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Anliziranjem geološkog sastava i geomehaničkih karakteristika pojedinih članova dobivenih laboratorijskim ispitivanjem, izdvojene su sljedeće sredine koje su postavljene u model za geotehničke analize.

**Sredina 1**, šljunak zaglinjen, prašinsto i pjeskoviti, srednjezrni do krupnozrni, heterogenog sastava. Prostire se kontinuirano na cijeloj lokaciji, moćnosti od 1,5 – 5,0 m. Za geotehničku analizu izdvojene su sljedeće vrijednosti parametra:

- |                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| • zapreminska težina      | $\gamma = 20,6 \text{ kN/m}^3$ |
| • ugao unutrašnjeg trenja | $\phi = 39^\circ$              |
| • kohezija                | $c = 0,0 \text{ kPa}$          |
| • modul stišljivosti      | $M_v = 40\,000 \text{ kPa}$    |

**Sredina 2**, pijesak zaglinjen sitnozrn do srednjezrn sa uklopcima šljunka mm do cm dimenzija, na pojedinim mjestima manji proslojci glinovite komponente. Moćnosti pijeska je do 1,0 m i ne prostire se kontinuirano na cijeloj lokaciji. Na terenu gdje registrovano njegovo prisustvi izdvojeni su parametri za geotehnički analizu:

- zapreminska težina  $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$
- ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 30^\circ$
- kohezija  $c = 5,0 \text{ kPa}$
- modul stišljivosti  $M_v = 9\,000 \text{ kPa}$

**Sredina 3**, glina prašinsto pjeskovita, prostire se kontinuirano na cijeloj lokaciji moćnosti od 1,0 m do 6,5 m. U sloju su prisutna manja sočiva zaglinjenog pijeska, a posmatrano u cijeloj masi prisutan je visok procenat uklopaka stijenskog materijala. Donji dio sloja je više pjeskovit i leži preko kore raspadanja – supstrata terena. Izdvojeni parametri za geotehničke analize su sljedeći:

- zapreminska težina  $\gamma = 20,1 \text{ kN/m}^3$
- ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 20^\circ$
- kohezija  $c = 22,0 \text{ kPa}$
- modul stišljivosti  $M_v = 3\,200 \text{ kPa}$

**Sredina 4**, kora raspadanja koju čine nesortirani sedimenti drobine u glinovito-pjeskovitom detritusu. Nalazi se ispod terasnih sedimenata kao prelaz ka sedimentima supstrata, moćnosti do 1,5 m. Na geotehničkom modelu izdvojeni su sljedeći parametri sa vrijednostima dobivenim u laboratoriji i literaturno usvojenim:

- zapreminska težina  $\gamma = 19,1 \text{ kN/m}^3$
- ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 25^\circ$
- kohezija  $c = 0,0 \text{ kPa}$
- modul stišljivosti  $M_v = 40\,000 \text{ kPa}$

**Sredina 5**, supstrat terena koga izgrađuje paket slojeva klastičnih sedimenata predstavljeni škrljcima sa trakama pješčara. Prisutna je izmjena tamno sivog silifikovanog ispucalog krečnjaka, škrljca i pješčara, te sivog sitnozrnog do srednjezrnog pješčera sa silikatnim vezivom.

- zapreminska težina  $\gamma = 27,1 \text{ kN/m}^3$
- ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 27^\circ$
- kohezija  $c = 300,0 \text{ kPa}$
- jednoaksijalna pritisna čvrstoća  $\sigma = 60\,000 \text{ kPa}$

Teren na kome će se graditi objekat karakteriše dvoslojnu sredinu u nivou temeljenja. Da bi se izbjeglo temeljenje u dvoslojnoj sredini neophodno je sloj gline prašinsto pjeskovite zamijeniti šljunkovitim materijalom do dubine maksimalnih napona od opterećenja objekta.

## ZAKLJUČAK

Istraživanja terena izvršena su u sklopu izrade projektne dokumentacije za izgradnju poslovne zgrade HE na Drini u Višegradu. Lokacija je na desnoj obali rijeke Drine neposredno pored starog zidanog mosta. Sve je to u centralnom gradskom dijelu okruženo stambenim, poslovnim i vjerskim objektima.

Složenost geološke građe terena i slaba pristupačnost lokaciji usloveli su kombinovani način istražnih radova sa istražnim bušotinama i raskopima. Radovi su postavljeni tako da se u dovoljnoj mjeri mogu sagledati karakteritike terena po dubini do nivoa interesovanja.

Na osnovu provedenih terenskih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja određene su geološke, hidrogeološke i geotehničke karakteristike terena. Izdvojeni broj podataka za svaku

geološku sredinu, predstavlja dobru osnovu za geostatičke analize i određivanja načina i dubine temeljenja za budući objekat.

### Literatura

1. Đurić, N., Perišić Milan. (2011). Elaborat o geološkim i geotehničkim karakteristikama terena na lokaciji izgradnje poslovne zgrade Hidroelektrane na Drini u Višegradu. Bijeljina, Tehnički instit. Fond stručnih dokumenata.
2. Đurić, N. (2011). Hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja. Subotica – Bijeljina. Građevinski fakultet Subotica, Tehnički institut Bijeljina.
3. Maksimović, M. (2005). Mehanika tla. Treće izdanje. Beograd. Građevinska knjiga.
4. Najdanović, N. (1979). Mehanika tla u inženjerskoj praksi. Beogra. Rrski institute Zemun.
5. Dokumentacija istražnih radova: Istražne bušotine, istražne jame, laboratorijska ispitivanja. Tehnički institut Bijeljina, 2011.



## Geološke karakteristike terena na lokaciji Termoelektrane Ugljevik 3 u Ugljeviku

NEDO ĐURIĆ<sup>1</sup>, ANĐA ĐUJIĆ<sup>2</sup>, ALISA BABAJIĆ<sup>3</sup>, DADO SRKALOVIĆ<sup>3</sup>,  
SNEŽANA TADIĆ<sup>2</sup>, MILAN PERIŠIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Građevinski fakultet Subotica, e.mail: [nedjoi@tehnicki-institut.com](mailto:nedjoi@tehnicki-institut.com)

<sup>2</sup>Tehnički institut Bijeljina, e.mail: [tehnicki@tehnicki-institut.com](mailto:tehnicki@tehnicki-institut.com)

<sup>3</sup>Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla

### REZIME

Termoelektrana Ugljevik 3 planirana je da se gradi pored postojeće Termoelektrane Ugljevik 1 i ranije započete a ne završene Termoelektrane Ugljevik 2. Sve tri elektrane su odvojene jedna od druge, ali predstavljaju jedinstven energetska kompleks, smješten na prostoru manjem od 1,0 km<sup>2</sup>. Ranija istraživanja za postojeće objekte nisu bila dovoljna, tako da se pristupilo potpunom geološkom i geotehničkom istraživanju terena na lokaciji planirane Termoelektrane Ugljevik 3.

Provedena su istraživanja u dvije faze. U prvoj fazi istraživanja su rađena za nivo idejnog projekta, a u drugoj fazi za nivo glavnog projekta. Predviđen je bio kontinuitet istraživanja gdje bi druga faza istraživanja dala odgovor na eventualno neka neriješena pitanja iz prve faze.

Različito viđenje projekatana po pojedinim fazama istraživanja, opredijelili su da istraživanja u drugoj fazi više budu terenska, a manje laboratorijska, obzirom da projektanti glavnog projekta više daju značaj podacima vizuelnih osmatranja nabušenog materijala i opitima izvedenim u bušotinama.

Ključne riječi: *istraživanje terena, rasjedi, objekti, seizmičnost*

### ABSTRACT

Thermal power plant Ugljevik 3 planned to be built next to the existing thermal power plants Ugljevik 1 and previously started and not completed TPP Ugljevik 2nd. All the three power plants are separated from each other, but represent a unique energy complex, located on a small area of 1.0 km<sup>2</sup>. Earlier research for existing buildings were not sufficient, so that access to the complete geological and geotechnical research on the location of the planned thermal power Ugljevik 3<sup>rd</sup>.

Studies were conducted in two phases. In the first phase of the study were carried for the preliminary design level, in the other phase for the main level of the project. Foreseen was the continuity of research where the second phase of the research responded to possibly some unresolved issues from the first phase.

Different visions of designers at different stages of research, they have chosen to research in the second phase to be more terrain and less laboratory, given that the main project planners give the more significance to data of visual observations of cutting transportation and experiment derived in boreholes.

Key words: *research terrain, faults, buildings, seismic activity*

### UVOD

Za potrebe izgradnje Termoelektrane Ugljevik 3 u Ugljeviku provedena su određena geološka i geotehnička istraživanja. Njihov zadatak je bio da se sagledaju karakteristike terena, kako na samoj lokaciji buduće termoelektrane, tako i širi prostor, koristeći rezultate ranijih istraživanja.

Istraživanja su provedena i dvije faze. U prvoj fazi bilo je dovoljno sagledati karakteristike terena, posebno na lokacijama budućih objekata prema idejnim rješenju. Dobiveni rezultati iz ove faze su otvorili određena nedovoljno definisana pitanja koja je trebalo riješiti u drugoj fazi.

Na prostoru od 24 ha prosječne širine oko 300 m i dužine oko 800 m u prvoj fazi urađeno je 35 istražnih bušotina, dok je za drugu fazu koja je podloga za glavni projekat urađeno 100 bušotina, sve dubine od 20 – 35 m. Ipak istraživanja u drugoj fazi nisu dala nivo istraženosti kao što je to urađeno u prvoj fazi. Razlozi su u različitom prilazu projekatnata koji su pratili istraživanje i mijenjali su u dijelu izrade projektne dokumentacije.

### **ISTRAŽIVANJA TERENA PROVEDENA U PRVOJ FAZI**

Prva faza istraživanja terena na lokaciji buduće Termoelektrane Ugljevik 3, pored proučavanja postojeće dokumentacije koja je vezana za ranije izgrađenu termoelektranu Ugljevik 1, obuhvatila je istraživanja planirana za nivo idejnog projekta [1].

I pored intenzivne gradnje u neposrednoj okolini nije sa raspolagalo sa značajnijom dokumentacijom o provedenim istraživanjima terena. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Brčko, L 34 – 110 i list Tuzla, L 34 - 122, sa tumačima je polazni dokumenta za upoznavanje geološke građe i geotektonskih jedinica [2]. Od specijalističkih geotehničkih istraživanja dostupna je bila dokumentacija urađena za potrebe postojeće termoelektrane Ugljevik 1.

U ovoj fazi istraživanja je lokacija na kojoj će se nalaziti budući objekti termoelektrane. Njihov prostorni raspored, kao i građevinske karakteristike nisu jasnije definisane, osim lokacijskog položaja turbine i dimnjaka. Istraživanjem terena, u ovoj fazi potrebno je jasnije definisati njegove osnovne karakteristike i istaći da li su neka pitanja ostala nejasna, kako bi se u drugoj fazi planirala detaljnija istraživanja.

### **Terenski istražni radovi**

Obuhvatili su kompleksna inženjerskogeološka, geomehanička i hidrogeološka istraživanja. Započeta su sa detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem terena, istražnim geomehaničkim bušenjem i kartiranjem jezgra bušotina, iskopom istražnih CBR jama, ugradnjom piezometara u određene bušotine i praćenjem nivoa podzemne vode. Sve u cilju sagledavanja karakteristika terena do dubine do koje se očekuje uzajamni uticaj objekta i tla.

Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem obuhvaćen je nešto širi prostor buduće termoelektrane Ugljevik 3, dužine oko 1400 m i prosječne širine oko 400 m, odnosno površine 0,56 km<sup>2</sup>, slika 1. Teren je jednostavnije geološke građe, ali ipak je zahtijevao detaljnije sagledavanje svih prirodnih izdanaka i izdanaka u zasjecima koji su otvoreni u vremenskom periodu početak – završetak istraživanja, a rađeni su u okviru čišćenja terena i "spuštanja" nivelete do projektovanih kota. Posebna pažnja posvećena i pojavama nestabilnosti, zabarenja, pištavina kao i drugim sličnim pojavama u terenu, koje mogu biti od značaja za ocjenu uslova izgradnje objekata. Tokom kartiranja razdvajane su čvrste stijenske mase (kamenite i polukamenite) od poluvezanih i nevezanih (deluvijalnih, deluvijalno - eluvijalnih, proluvijalnih, i aluvijalnih) sedimenata [3, 4].

U okviru čvrstih stjenjskih masa detaljno su obrađeni način pojavljivanja stjenjskih masa i mehanički diskontinuiteti, prvenstveno površine slojevitosti, pukotine, rasjedi, rasjedne zone, zatim stepen ispucalosti i raspadnutosti stjenjskih masa.



Slika 1. Lokacija buduće termoelektrane Ugljevik 3

Bušenje je izvedeno mašinskim putem sa kontinuiranim jezgrovanjem i procentom preko 95%. Izvedeno je ukupno trideset pet (35) geomehaničkih bušotina, ukupne dubine 1.133,80 m. U bušotinama je urađen veliki broj opita SPT, uzeti neporemećeni i poremećeni uzorci tla, kao i uzorci stijena, tabela 1. Pred istraživih bušotina urađen je o određen broj istražnih jama.

Tabela 1. Pregled izvedenih terenskih istraživanja

| Istražni radovi | Planirano | Urađeno | SPT |     | Uzorci tla |     |          |     | Uzorci stijena |     | Piezomet |     |
|-----------------|-----------|---------|-----|-----|------------|-----|----------|-----|----------------|-----|----------|-----|
|                 |           |         | Pl. | Ur. | Poremećeni |     | Neporem. |     | Pl.            | Ur. | Pl.      | Ur. |
|                 |           |         |     |     | Pl.        | Ur. | Pl.      | Ur. |                |     |          |     |
| Bušotine        | 35        | 35      | 175 | 360 | 35         | 11  | 35       | 31  | 70             | 149 | 4        | 2   |
| CBR jame        | 4         | 3       | -   | -   | 3          | 3   | 3        | 3   | -              | -   | -        | -   |
| UKUPNO:         | 39        | 38      | 175 | 360 | 38         | 14  | 38       | 34  | 70             | 149 | 4        | 2   |

Paralelno sa izvođenjem istražnog bušenja vršeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje jezgra pri čemu je urađena detaljna identifikacija i klasifikacija nabušenog materijala. Naročita pažnja posvećena je registraciji:

- litološkog sastava,
- ispucalosti stijenskog materijala,
- nagibu, veličini, obliku i zapunjenosti pukotina
- pojava procurivanja vode duž pukotina
- pojava koje bi upućivale na klizanje terena
- pojava koje bi upućivale na rasjedne linije ili zone rasjeda

Nakon inženjerskogeološkog kartiranja jezgra i fotografisanja, uzimani su uzorci za laboratorijska ispitivanja. Plan uzorkovanja prilagođavan je na osnovu novih podataka i podataka iz okolnih radova kako bi se uzorci iz istog litološkog člana uzeli na različitim dubinama iz susjednih radova. Razlog je detaljnijeg pokrivanja po vertikalnom litostratigrafskom stubu i horizontalnom rasprostranju pojedinih članova. Oprobavanje je rađeno linijski.

Niivo podzemnih voda praćenje na ugrađenim piezometrima, koji su postavljeni u bušotinama gdje registrovana podzemna voda, a da pri tome nisu na poziciji budućih objekata. Otuda su i podaci dobiveni osmatranjem polupouzdanji, ali ipak dovoljni da ukažu na sredine sa prisustvom podzemnih voda.

### **Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijska ispitivanja uzoraka vršena su prema planu nadzornog inženjera, koji je pratio kretanje uzoraka od uzimanja na terenu do njihovog dolaska u laboratoriju:

- popis svih uzoraka sa upisanim podacima o broju bušotine, dubine uzimanja uzorka, litološkog opisa i datuma prijema
- selekcija uzoraka prema vrsti, tla ili stijene
- selekcija uzoraka prema planom predviđenim vrstama potrebnih laboratorijskih ispitivanja
- uslovno skladištenje svih uzoraka, što podrazumjeva odgovarajući skladišni prostor u kojem neće doći do narušavanja osnovnih karakteristika uzoraka (prirodna vlažnost, struktura i oblik),

Laboratorijska ispitivanja uzoraka tla izvršena su na poremećenim i neporemećenim uzorcima. Ispitivanje poremećenih uzoraka obuhvatilo je:

- određivanje zapremniske težine u prirodnom, suvom i vlažnom stanju
- granulometrijsku analizu sa određivanjem koeficijenata vodopropusnosti i oblika zrna te procentualnog sadržaja gline, prašine, pjeska i šljunka u uzorku

Ispitivanje neporemećenih uzoraka je sljedeće:

- određivanje zapreminske težine u prirodnom, suvom i zasićenom stanju
- granulometrijska analiza sa određivanjem koeficijenata vodopropusnosti i oblika zrna te procentualnog sadržaja gline, prašine, pjeska i šljunka
- Aterberg-ove granice plastičnosti
- ispitivanje modula stišljivosti u aparatu za edometarski opit
- ispitivanje parametara smičuće čvrstoće u aparatu za direktno smicanje
- ispitivanje standardnog bubrenja i aktivnosti gline.

Ispitivanje uzoraka stijena je obuhvatilo je

- određivanje osnovnih dimenzija uzorka
- određivanje zapreminske mase u prirodnom i suvom stanju
- određivanje mase čvrstih čestica i mase vode u uzorku
- poroznost i stepen saturiranosti
- određivanje deformacionih karakteristika „treniranjem uzorka“ u opitu jednoosne pritisne čvrstoće
  - za mekše stijene na presi kapaciteta 50 [kN]
  - za stijene veće čvrstoće na hidrauličnoj presi kapaciteta 1000 [kN]za različita vertikalna opterećenja – rasterećenja, praćene su vertikalne i poprečne deformacije
- određivanje granične smičuće čvrstoće
- određivanje dinamičkih parametara čvrstoće, kao i brzina prostiranja UV talasa

Rezultati ispitivanja prezentirani su u zajedničkoj tabeli i grafički na svakoj istražnoj bušotini, te na karakterističnim profilima terena.

## Rezultati provedenih istraživanja

U sklopu detaljnog inženjersko geološkog kartiranja terena, definisane su i druge njegove karakteristike. Sa geomorfološkog aspekta, teren karakteriše fluvio – akumulacioni i eroziono denudacioni tip reljefa, odnosno ravničarski i brdski tip. Prisutni su površinski tokovi Janje i Mezgrajice, koji su u dijelu istraživanja terena regulisani.

Uže područje na kojem je planirana izgradnja termoelektrane Ugljevik 3 izgrađeno je sedimentima kvartarne i tercijarne starosti.

Najstariji sedimenti su paleocen - eocenske starosti (Pc,E<sub>1</sub>) čija odredba je potvrđena Osnovnim geološkim kartama SFRJ 1:100 000, list Tuzla i list Brčko sa tumačima. Izgrađuju najveći dio brdskog terena na kojem su planirani sadržaji termoelektrane. Predstavljani su alteracijom crnih i tamno sivih laporaca, glinaca i pješčara sa odlikama turbiditne sedimentacije. Osnovna teksturna karakteristika serije, utvrđena bušenjem je izraziti ritmički karakter taloženja sa brojnim internim teksturama, gradacionom slojevitošću i laminacijom kao i ostaci tragova vučenja i utiskivanja naročito na donjim površinama sloja. Prema mišljenju autora OGK list Tuzla ove naslage mogu se tretirati kao fliš.

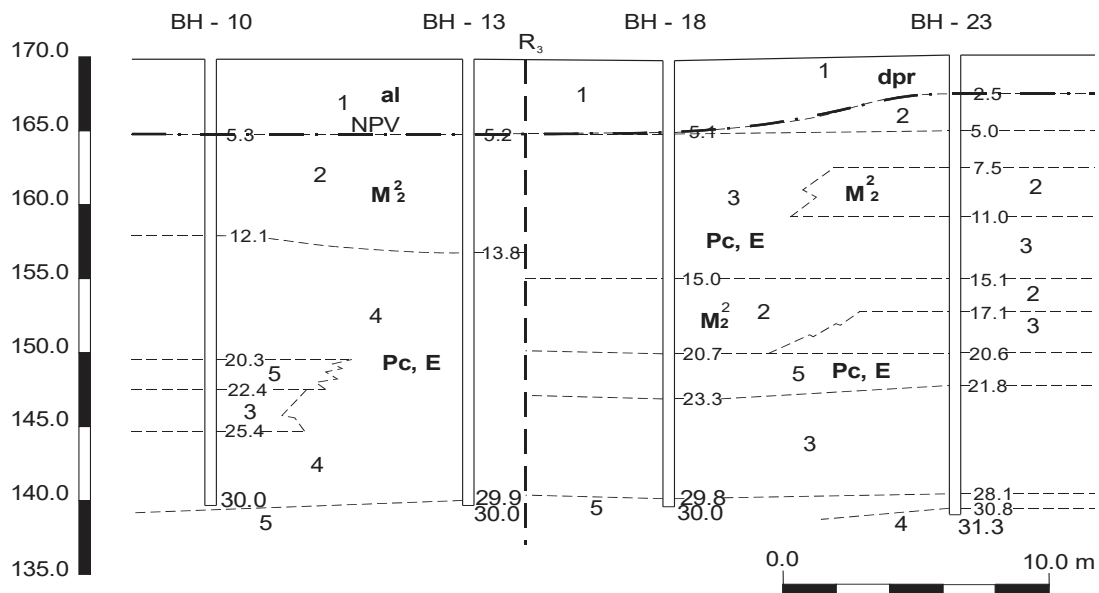
Sedimenti neogene starosti predstavljani su sedimentima koji čine zonu laporaca kao povlatnih naslaga ugljenosne serije (M<sub>1,2</sub>) i sedimenti koji su ostali kao neraščlanjeni dio srednjeg miocena (M<sub>2</sub><sup>2</sup>). U litološkom sastavu ove zone dominiraju laporci i lapori, ali se uz njih javljaju gline, pješčari, tufovi i tufitični pješčari. Svi navedeni litološki članovi potvrđeni su geomehaničkim bušenjem, slika 2.

Sedimenti srednjeg miocena ((M<sub>2</sub><sup>2</sup>) zauzimaju najmanji prostor unutar granica istražnog prostora. U diskordantnom su odnosu sa naslagama PC,E a predstavljani su crvenkastim konglomeratima u bazi na kojima slijede laporci, gline i oolitični krečnjaci koji su dosta trošni a ponekad i brečoliki.

Riječni sediment (al) izgrađuju pripovršinske dijelove terena u dolini rijeke Janje i potoka Mezgrajice. Predstavljani su tipičnim razvojem rječnih nanosa u kojem donji dio naslaga čine šljunci i pijesci a u gornjem dijelu je sitnozrni povodanjski nanos. Debljina riječnih sedimenata je oko 3 m.

Sedimenti deluvijalno – proluvijalni (dpr), kao produkt padinskih procesa i riječne erozije, pokrivaju stijene supstrata terena, a debljine su oko 6,0 do 7,0 m. Predstavljani su uglavnom sitnozrnim materijalima u kojemu je glina dominantan član. Lokalno se pojavljuje i drobinski zaglinjeni materijal čiju granicu prema sedimentima kore trošenja supstrata terena je teško definisati.

Prema tektonskoj rejonizaciji OGK lista Brčko, istraživano područje pripada graničnom prostoru između dvije strukturno–facijelne jedinice. To su: strukturno – facijelna jedinica ubranog kompleksa Majevice i jedinica neogenih basena, odnosno Ugljevički neogeni bazen. Prvu karakterišu glinci i pješčari a drugu izgrađuju sedimenti miocena, uglavnom laporac i laporovite stijene.

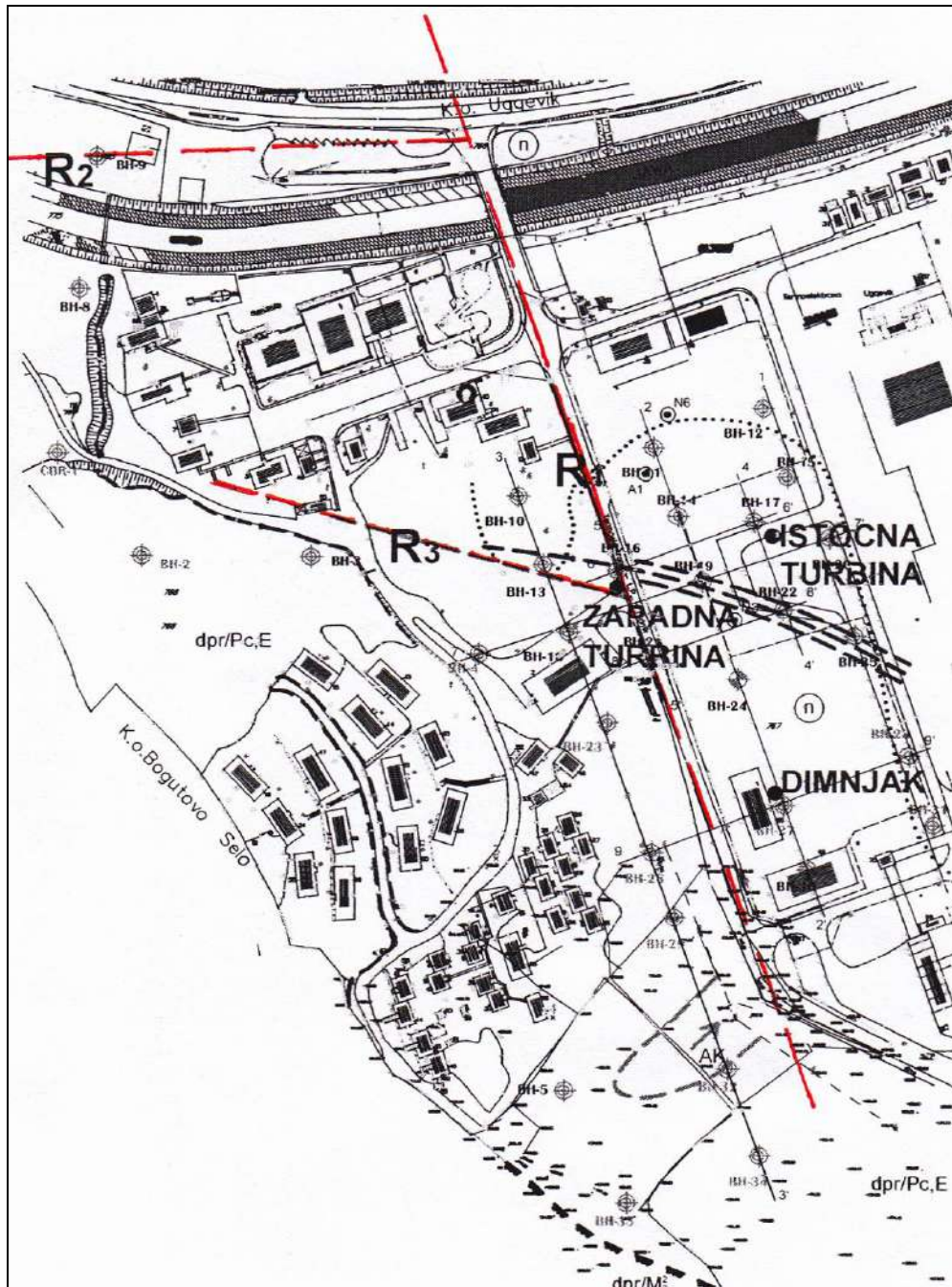


Slika 2. Geološki profil terena na lokaciji Termoelektrane Ugljevik 3

1. aluvijalno-deluvijalno sedimenti, 2. laporovit-glinovite stijene, 3. stijene laporca sa proslojcima pješčara, 4. laporovite stijene, 5. stijene pješčara sa proslojcima laporca

Tektonske linije su registrovane provedenim istražnim radovima. Analizom podataka sa rezultatima prehodnih istraživanja, utvrđeno je postojanje nekoliko rasjeda ili rasjednih zona:

- Rasjed smjera sjever-sjeverozapad – jug-jugoistok koji se proteže kontaktnim područjem aluvijalne zaravni sa paleocen – eocenskim sedimentima ( $R_1$ ). U odnosu na strukturno – tektonski sklop šireg područja, vjerovatno je najmlađi rasjed
- Rasjed smjera zapad – istok, na krajnjem sjevernom djelu istražnog prostora ( $R_2$ ). Proteže se jednim djelom duž korita rijeke Janje a zatim se produžava sjeverno od regulisanog korita rijeke Janje sve do rasjeda  $R_1$
- Rasjed smjera sjeverozapad – jugoistok koji se prostire duž nekadašnjeg korita rijeke Janje ( $R_3$ ).



Slika 3. Položaj rasjeda u odnosu na značajne objekte Termoelektrane Ugljevik 3

Rasjedi R<sub>1</sub> i R<sub>2</sub> registrovani su na osnovu materijalnog sastava i stanja stijena, te na osnovu superpozicije pojedinih litoloških članova u bušotinama u odnosu na okolni teren. Osim toga velika uskriljenost zaglinjenih dijelova jezgra i uglacanost pukotina smicanja sa haotično raspoređenim odlomcima pješčara koji su utisnuti u glinovitu masu, nedvojbeno potvrđuju postojanje tektonskih razloma R<sub>1</sub> i R<sub>2</sub>.

Rasjed R<sub>3</sub> je pretpostavljen na osnovu neusklađenosti pojedinih litoških članova sa okolnim terenom. Tačan položaj i širinu tektonizirane zone nije bilo moguće utvrditi na ovom stepenu istraženosti prostora. To je veoma bitno za rasjede R<sub>1</sub> i R<sub>3</sub> iz razloga što je u prostoru između njih locirana zapadna turbina, slika 3.

Tačan položaj rasjeda  $R_1$  potrebno je utvrditi radi ocjene podobnosti lokacije za dimnjak. Na osnovu rezultata do sada provedenih istraživanja uključujući i istraživanja u okvirima ove faze, pretpostavka je da se rasjedna linija proteže zapadno u odnosu na predloženu lokaciju dimnjaka. Analiziranjem sastava i stanja jezgra okolnih bušotina, pretpostavlja se pružanje rasjedne linije preko lokacije ili na maloj udaljenosti, istočno od lokacije dimnjaka. Rješenje problema potrebno je tražiti u dodatnim istraživanjima bušenjem, uključujući i geofizička istraživanja.

Hidrogeološke karakteristike ovog terena uslovljene su heterogenim litološkim sastavom i složenim tektonskim sklopom. U terenu se mogu izdvojiti tri hidrogeološke kategorije stena:

- Dobro vodopropusne stijene sa preovlađujućom međuzrnskom poroznošću, gdje su najviše prisutni šljunak i pijesak. Nalaze se u okviru aluvijalnih sedimenata, moćnosti oko 2,0 m.
- Slabo vodopropusne stijene sa preovlađujućom sitno prslinskom poroznošću izgrađene su uglavnom od glina, a u manjoj mjeri zastupljena je i glinovita sitnozrna drobina. Debljine su od 6,0 – 7,0 m. U hidrogeološkom pogledu, imaju funkciju relativnog pripovršinskog hidrogeološkog izolatora.
- Vodonepropusne stene koje predstavljaju kompleks laporovitih stijena eocenske i miocenske starosti.

Za region Ugljevika može se reći da je region umjerene seizmičke aktivnosti. Obzirom da se radi o objektima prve kategorije neophodno je izvesti sva istraživanja vezana za seizmičnost terena a koja su propisana zakonskim i podzakonskim aktima, bez obzira na generalnu konstataciju da je lokacija buduće termoelektrane u zoni umjerene seizmičnosti.

U drugoj fazi istraživanja pored detaljnosti koja je potrebna za glavni projekat, neophodno je definisati otvorena pitanja iz ove faze istraživanja:

- Lokacija zapadne turbine zbog prisustva rasjeda  $R_1$  i  $R_3$  nije pogodna za izgradnju, što treba potvrditi dodatnim istraživanjima
- Tačan položaj rasjeda  $R_1$  potrebno je utvrditi radi ocjene podobnosti lokacije za dimnjak

Za detaljnije sagledavanje karakteristika terena u rasjednim zonama, neophodno je provesti određena geofizička istraživanja i paleontološka ispitivanja.

## **ISTRAŽIVANJA TERENA PROVEDENA U DRUGOJ FAZI**

Na osnovu rezultata istraživanja iz prve faze i otvorenih pitanja, planirana su istraživanja za drugu fazu, uvažavajući i zakonske propise o potrebnim istraživanjima za glavni projekat ovako značajnih objekata. Naručioc radova, nadzorni organi i predstavnici projekatanta su se promijenili, a imali su drugačiju pristup geološkim i geotehničkim istraživanjima, posebno u dijelu sagledavanja geomehaničkih karakteristika nabušenog materijala. Lokacija na kojoj su izvedena istraživanja je ista kao i u prvoj fazi, ali su istražni radovi sada znatno češći [5].

### **Terenski istražni radovi**

Terenski istražni radovi predstavljali su pugušćavanje mreže bušotina na terena. Obzirom da su se istražnim radovima za fazu idejnog projekta generalno definisale karakteristike terena i ostavila otvorena pitanja, to su bušotine u ovoj fazi postavljane ispod svake stope temelja. Takođe planiran je određen broj



bušotina za prozračivanje Cross hole, radi definisanja karakteristika ranije utvrđenih rasjeda. Projektom istraživanja terena za ovu fazu predviđena su detaljnija istraživanja prije svega laboratorijska ispitivanja uzoraka iz bušotina i definisanje karakteristika pojedinih sredina, kao i rasjeda registrovanih i prvoj fazi istraživanja.

Izvedeno je ukupno sto (100) geomehaničkih bušotina, ukupne dubine 2.288,8 m u vremenu od 29 dana. Na terenu je bilo konstantno 17 radnih mašina, pet (5) geoloških inženjera ispred izvođača koji su konstantno pratili bušenje, kartirali jegro, uzimali uzorke, fotografisali i otpremali sanduke jezgra u skladište za čuvanje. Pored inženjera izvođača, rad na terenu su pratili predstavnici nadzornog organa ispred investitora, lokalnih konsultanata i predstavnici projekatana iz Kine. Ukupno nadzor nad izvođenjem radova, pratilo je jedanaest (11) inženjera, a odlučujuću ulogu su imali predstavnici projektanta iz Kine.

Na početku se odustalo od programom predviđenih istraživanja, posebno u dijelu uzimanja uzoraka za laboratorijska ispitivanja, vrsti i obimu laboratorijskih ispitivanja. Više se insistiralo na kartiranju i fotografisanju jezgra, te izvođenju opita SPT-a [6,7].

Tokom kartiranja jezgra bušotina neophodno je bilo detaljnije sagledati njegove inženjerskogeološke karakteristike. Urađena detaljna identifikacija i klasifikacija nabušenog materijala, a naročita pažnja posvećena je registraciji:

- litološkog sastava
- ispucalosti stijenskog materijala
- nagibu, veličini, obliku i zapunjenosti pukotina
- pojava procurivanja vode duž pukotina
- pojava koje bi upućivale na klizanje terena
- pojava koje bi upućivale na rasjedne linije ili zone rasjeda
- ostale značajnije pojave koje mogu biti lokalnog karaktera

U odnosu na broj istražnih bušotina i projektom planirani obim uzimanja uzoraka za laboratorijsku analizu, svega je ostvareno 25 – 30%, tabela 2. Uglavnom su uzeti uzorci iz tla gdje nije vršen opit SPT-a ili iz polučvrstih i čvrstih kompaktnih stijena. Mjesto i broj uzoraka određivali su projektanti iz Kine.

Tabela 2. Pregled izvedenih terenskih istraživanja druge faze

| Istražni radovi |     |     | SPT |     | Uzorci tla |     |          |     | Uzorci stijena |     | Piezomet |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|------------|-----|----------|-----|----------------|-----|----------|-----|
|                 |     |     | Pl. | Ur. | Poremećeni |     | Neporem. |     | Pl.            | Ur. | Pl.      | Ur. |
|                 |     |     |     |     | Pl.        | Ur. | Pl.      | Ur. |                |     |          |     |
| Bušotine        | 100 | 100 | 360 | 250 | 33         | 10  | 50       | 95  | 100            | 16  | 2        | -   |
| CBR jame        | 3   | 3   | -   | -   | 3          | 3   | -        | -   | -              | -   | -        | -   |
| UKUPNO:         | 103 | 103 | 360 | 250 | 36         | 13  | 50       | 95  | 100            | 16  | 2        | -   |

Umjesto planiranih geofizičkih istraživanja Cross hole, izvedena su seizmička ispitivanja u tri bušotine Down hole metodom. Ovaj seizmički karotaž izveden je u cilju definisanja brzine prostiranja elastičnih talasa kroz pojedine litološke članove koji učestvuju u građi terena ispitivane lokacije.

Ispitivanja su se sastojala u sledećem:

- Na površini terena veoma blisko samoj bušotini vršeno je generisanje elastičnih talasa padajućim teretom a prijem ovih talasa u bušotinama na svakom metru a u prvih 5 metara na svakih pola

metra. Za ova ispitivanja korišteni su specijalni vodootporni seizmički kablovi u kojima su ugrađeni prijemnici (geofoni).

### **Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijska ispitivanja uzoraka, samo u manjem obimu izvedena su u istoj laboratoriji i prema istim standardima kao i kod prve faze istraživanja. Pored uzoraka tla i stijena uzeto je nekoliko uzoraka vode u svrhu ispitivanja njenog negativnog hemijskog uticaja na beton i željezo. Uzorci su uzimani nakon potpunog ispiranja bušotine do pojave bistre vode, odnosno eliminisanja tehničke vode sa kojom je bušeno, a taj period je nakon 3-4 dana.

Na zahtjev projekatata uzeti su uzorci za hemijska ispitivanja tla, odnosno za utvrđivanje negativnog uticaja tla na beton i željezo. Uzorci su uzeti iz jezgra bušotina tako da se do dubine 6,0 m uzme po jedan uzorak na svakih 1,0 m.

### **Rezultati provedenih istraživanja**

Rezultati istraživanja u drugoj fazi više su bazirana na određivanje geotehničkih karakteristika tla, neophodnih za postavljanje geotehničkih modela terena. U prvoj fazi sasvim dovoljno su definisane geološke karakteristike terena, tako da su u ovoj fazi izostala ispitivanja petrografskog sastava, litogenetskih karakteristika, tektonskih odnosa i hidrogeoloških karakteristika terena i stijena.

Fizičko-mehaničke karakteristike tla i stijena su urađene na manjem broju uzoraka od predviđenih, ali sasvim dovoljno da se sa korelacijom podataka iz prve faze dobiju reprezentativni parametri.

### **KOMENTAR PROGRAMA I REZULTATA ISTRAŽIVANJA PRVE I DRUGE FAZE**

Provedena terenska istraživanja su na zadovoljavajućem obimu u obje faze, za razliku od laboratorijskih ispitivanja gdje u drugoj fazi uzeto znatno manji broj uzoraka.

Istraživanjima u prvoj fazi, a koja su imala preliminarni karakter u svrhu ocjene podobnosti lokacije za izgradnju planiranih objekata dobiveni su značajni podaci o karakteristikama terena. Pri tome su otvorena neka pitanja koja je trebalo razjasniti novim istraživanjima, prilikom pogašćavanja mreže istražnih bušotina. Prvenstveno to se misli na detaljnije proučavanje terena u dijelu rasjedne zone, sa aspekta njegovih metrijskih karakteristika. Planirano je bilo da se uradi nekoliko bušotina poprečno na rasjed gdje bi se izvršilo.

- prozračivanje između bušotina Cross Hole metoda
- uzimanje uzoraka za paleontološka ispitivanja, radi superpozicioniranja slojeva i mogućnosti određivanja elemenata rasjeda

Navedena istraživanja nisu urađena, tako da u ovom dijelu terena nisu dobiveni jasniji podaci o njegovim karakteristikama u odnosu na ranije provedena istraživanja.

Veoma malo je uzeto uzoraka iz dubljih dijelova terena, tako da nema dovoljno podataka za proračun dubokog temeljenja objekata. Predstavnici projekatata su se izjasnili da neće biti značajnijeg dubokog temeljenja objekata tako da nije bilo potrebe za uzimanjem uzoraka sa veće dubine.

Sa aspekta stepena istraženosti, može se istaći da su provedena istraživanja realizovana u cjelosti sa nešto većim obimom od planiranih. Ista zadovoljavaju nivo istraženosti za idejni projekat [8] i glavni projekat [9]. Ipak, složenost geološke građe, posebno u dijelu rasjeda i značaja objekata koji su na tom mjestu predviđeni za gradnju, zahtijevaju detaljnija istraživanja sa aspekta seizmičnosti terena u toj zoni [10]. Neophodno je uraditi posebnu geofizičku studiju koja će definisati seizmogenost rasjeda.

Obim laboratorijskih istraživanja u drugoj fazi je znatno manji u odnosu na obim istražnih radova. Iz tih razloga će se za fazu glavnog projekta uglavnom koristiti parametri dobiveni istraživanjima iz prve faze. Realno je očekivati da će se u fazi izgradnje objekta raditi dodatni istražni radovi u dijelu značajnijih objekata, prije svega turbine i dimnjaka [11].

## LITERATURA

- [1] Đurić, N. (2012). Projeekat detaljnih geoloških istraživanja za potrebe izgradnje Termoelektrane Ugljevik 3 u Ugljeviku. Bijeljina. Tehnički institut, Fond stručnih dokumenata Tehničkog instituta.
- [2] Čičić, S., Mojičević, M., Jovanović, Č., Tokić, S., Dimitrov, P. (1980). Osnovna geološka karta, OGG list Tuzla 1:100000. Beograd. Savezni geološki zavod.
- [3] Đurić, N. (2009): Osnove geologije i inženjerske geologije. Subotica. Građevinski fakultet Subotica, Tehnički institut Bijeljina.
- [4] Hrvatović, H. Geološko kartiranje. Tuzla/Sarajevo. Grafičar promet Sarajevo.
- [5] Đurić, N. (2011). Hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja. Subotica. Građevinski fakultet Subotica, Tehnički institut Bijeljina.
- [6] Standard Test Procedures Manual (1992). Fondation investigation – Dynamic cone Penetrometer, Saskat chewanHighways and Transportation.
- [7] Mn Road – Office of Minesota Road Reaserch – User guide to the Dinamic cone Penetrometer.
- [8] Elaborat o provedenim geološkim i geotehničkim istraživanjima za prvu fazu – nivo idejnog projekta. Tehnički institut Bijeljina, 2012.
- [9] Elaborat o provedenim geološkim i geotehničkim istraživanjima za drugu fazu – nivo glavnog projekta. Tehnički institut Bijeljina, 2012.
- [10] Đurić, N. (2013). Stepen istraženosti terena za Termoelektranu 2 x 200 MW, Ugljevik 3 – nivo idejnog projekta. IV simpozijum sa međunarodnim učešćem „Rudarstvo 2013“ Planovi razvoja i unapređenje rudarstva. Srebrno jezero, Srbija.
- [11] Đurić, N. (2011). Stepen istraženosti terena na trasi autoputa koridor Vc, dionica Svilaj – Vukosavlje. Sanski Most. Geo-expo 2011. Društvo za geotehniku u Bosni i Hercegovini.

## Geološki sastav i inženjerskogeološke karakteristike terena u zoni slivnog područja Bistrička rijeka

ZIJAD FERHATBEGOVIĆ<sup>33</sup>, IZUDIN ĐULOVIĆ<sup>34</sup>, AZEMA JAHIĆ<sup>35</sup>

### SAŽETAK

U cilju izgradnje površinske akumulacije na rijeci Bistrici kod Srebrenika radi vodosnabdijevanja provedena su istovremeno geološka, inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja.

Ovim istraživanjima obuhvaćeno je slivno područje planirane akumulacije, područje akumulacije i zone pregradnog mjesta akumulacije.

U geološkoj građi terena učestvuju stijene koje pripadaju jurskoj ofiolitskoj zoni. Diskordantno na jurskim stijenama leži kompleks sedimenata paleocen-eocenske starosti. Predstavljeni su pješčarima, laporcima, podređeno konglomeratima, glincima, sprudnim krečnjacima.

Preko pomenutih klastita, diskordantno leže srednjemiocenski organogeni, sprudni krečnjaci badenske starosti. Diskordantno na badenskim krečnjacima leže sedimenti sarmata predstavljeni sprudnim krečnjacima i laporcima. Na osnovu inženjerskogeološkog kartiranja sve stijene i tla podjeljeni su u dvije inženjerskogeološke skupine :

*Geološki substrat* sa izdvojenim dvjema vrstama : litološki tip ( K ) je predstavljen krečnjacima badenske i sarmatske starosti (  $M_2^1$  i  $M_2^2$  ) dok litološki kompleksi su predstavljeni : pješčarima, laporcima i krečnjacima ( PŠ, LC, K ) paleocensko-eocenske starosti.

*Genetski pokrivači* :

a) fluvijalni -Litološki kompleks ( Š, P, G<sub>at</sub> ) -šljunkovi, pijeskovi, gline ( aluvijona )

b) padinski-litološki kompleksi :

-Glina, prašnasta glina, drobina –klizišni nanosi aktivnih klizišta ( G, PRG, D<sub>ka</sub> )

-Glina, prašnasta glina , drobina-klizišni nanosi umirenih klizišta ( G, PRG, D<sub>ku</sub> )

-Glina, pjeskovita glina, drobina –eluvijalno-deluvijalni pokrivač ( G, PG, De-d )

U inženjersko-geološkom pogledu ispitivani teren je zahvaćen inženjerskogeološkim procesima i pojavama ( erozioni procesi, jaružanja, klizni procesi itd.). Izdvojene su veće površine sa nestabilnim padinama, u okviru kojih postoje brojna aktivna i umirena klizišta i drugi inženjerskogeološki procesi.

Ključne riječi : akumulacija, geološki substrat ( litološki tip i litološki kompleksi ), genetski pokrivači (nanosi aktivnih klizišta, nanosi umirenih klizišta i eluvijalno-deluvijalni ).

### SUMMARY

In order to build surface reservoirs on the river Bistrica in Srebrenik for water supply were also conducted geological, engineering geological and hydrogeological investigations.

This research covers the catchment area of the planned reservoir, area of the reservoir and dam of the reservoir zone. The geological structure of the terrain involved rocks belonging to Jurassic- Ophiolite Zone. Discordant over Jurassic sedimentary rocks is complex of sediments of Paleocene-Eocene age. These sediments are represented by sandstone, shale, subordinate conglomerates, claystones, and reef limestones. Middle Miocene organogenic, reef limestones of Badenian age lie discordant over mentioned clastics. Discordant over limestones of Badenian age, are sediments of Sarmatian represented by reef limestones and marls. Based on geological mapping, rock and soil are divided into two engineering geological groups:

geological substrate, with two types:

lithological type ( K ) represented by limestones of Badenian and Sarmatian age (  $M_2^1$  i  $M_2^2$  ) and

<sup>33</sup> Dr.sc., vanr.prof. Univerzitet u Tuzli, RGGF, [fzijad@yahoo.com](mailto:fzijad@yahoo.com)

<sup>34</sup> Dr.sc., docent, Univerzitet u Tuzli, RGGF, [izudin.dulović@untz.ba](mailto:izudin.dulović@untz.ba)

<sup>35</sup> Mr.sc. PAPAGO d.o.o. Lukavac [www.papago.bistrik.com](http://www.papago.bistrik.com)

lithological complexes represented by sandstones, marls and limestones of Paleocene-Eocene age (Pc,E)

Genetic covers:

a) fluvial-lithologically complex (G, S, C al)-gravel, sand, clay (alluvial)

b) slope-lithological complexes :

- detritus of active landslides,(Clay, silt clay and debris ) (C, SG, D)

- detritus of no active landslides ,(Clay, silt clay and debris ) (C, SG, D)

- eluvial-diluvial cover (Clay, silt clay and debris ) C, SG, D)

The engineering-geologic terrain is affected by the tested engineering geological processes and phenomena (erosion processes, dredging, plain processes etc.). There are larger areas with unstable slopes, within which there are numerous active and no active landslides and other engineering geological processes.

Keywords : reservoirs, geological substrate (lithological type and lithological complexes), genetic covers, detritus of active and no active landslides and eluvial-diluvial cover.

## 1. UVOD

Realizacija „Programa geološkog kartiranja za akumulaciju Bistrica“ kao dijela hidrogeoloških istraživanja i studije izvodljivosti; Bistrička rijeka, općina Srebrenik, izvršena je 2010. godine. Kartiranje je realizovao Rudarsko-geološko-građevinski fakultet iz Tuzle. Kartiranje su izveli: I. Đulović, Z. Ferhatbegović, D. Pašić-Škripić i I. Žigić. Glavni ciljevi geološkog, inženjersko-geološkog, hidrogeološkog kartiranja i pratećih laboratorijskih analiza su da se izrade karte koje će dati važne podatke na osnovu kojih će biti moguće projektovati istražne radove. Budući istražni radovi treba da daju konačnu ocjenu mogućnosti izgradnje površinske akumulacije na rijeci Bistrici kod Srebrenika. Kartiranje je izvršeno prema Programu istražnih radova za akumulaciju Bistrica. Tokom kartiranja zone pregradnog profila brane i dijela akumulacije uočen je nedovoljan broj otvorenih izdanaka. To se posebno odnosi na pregradni profil gdje ne postoji ni jedan otvoreni izdanak. Za interpretaciju je korišten jedan veći izdanak dobro otkriven u neposrednoj blizini.

Za slivno područje planirane akumulacije urađene su: geološka, inženjersko-geološka i hidrogeološka karta razmjere 1:25000. Za područje akumulacije urađene su: geološka, inženjersko-geološka i hidrogeološka karta razmjere 1:5000 i za zonu pregradnog mjesta akumulacije urađene su: geološka, inženjersko-geološka i hidrogeološka karta razmjere 1:2500. Laboratorijska istraživanja koja su obuhvatila: petrografska ispitivanja, ispitivanje čvrstoće stijena, ispitivanje upijanja vode, određivanje zapreminske i specifične mase i hemijske analize vode iz izvora u prostoru akumulacije, urađena su na 10 uzoraka, skladno Programu istražnih radova.

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Najstarije stijene na kartiranom *području sliva* pripadaju jurskoj ofiolitskoj zoni. Izdvojene su na malim površinama na krajnjem jugoistoku gornjeg sliva rijeke Bistrice. Diskordantno na jurskim stijenama leži kompleks sedimenata paleocen-eocenske starosti. Predstavljani su pješčarima, laporcima, podređeno konglomeratima, glincima, sprudnim krečnjacima. Karakteristično je da se u okviru ovog kompleksa stijena često nalaze klastiti flišnog karaktera. Na kartiranom slivnom području kompleks klastičnih stijena paleocen-eocenske starosti zauzima dominantno najveću površinu. Preko pomenutih klastita, diskordantno leže srednjemiocenski organogeni, sprudni krečnjaci badenske starosti. Otkriveni su na sjeverozapadnom području kartiranog sliva. Diskordantno na badenskim krečnjacima leže sedimenti sarmata predstavljani sprudnim krečnjacima, laporcima. Otkriveni su na krajnjem sjeverozapadu kartiranog područja.

Najstarije stijene na kartiranom području *akumulacije Bistrica* pripadaju kompleksu sedimenata paleocen-eocenske starosti. Predstavljani su pješčarima, laporcima, podređeno konglomeratima, glincima, sprudnim organogenim krečnjacima. Karakteristično je da se u okviru ovog kompleksa stijena često nalaze klastiti flišnog karaktera. Na kartiranom području akumulacije klastični paleocen-eocenski

sedimenti su jedini prisutni na cijelom prostoru akumulacije. Preko pomenutih klastita, samo u širem području akumulacije, diskordantno leže srednjemiocenski organogeni, sprudni krečnjaci badenske starosti. Otkriveni su na jugozapadu katiranog područja izvan područja akumulacije na relativno maloj površini.

U zoni *pregradnog profila brane „Bistrica”* izdvojene su stijene koje pripadaju kompleksu sedimenata paleocen-eocenske starosti. Sedimenti su predstavljeni laporcima, pješčarima, podređeno konglomeratima, glincima, a izvan položaja budućeg objekta brane, prisutni su sprudni organogeni krečnjaci.

Karakteristično je da se u okviru ovog kompleksa stijena često nalaze klastiti flišnog karaktera. Na terenu na kome je predviđena mogućnost gradnje brane prisutni su samo klastični paleocen-eocenski sedimenti. Preko pomenutih klastita, samo u širem području zone pregradnog profila na jugozapadnom dijelu katiranog terena, diskordantno leže srednjemiocenski organogeni, sprudni krečnjaci badenske starosti. Otkriveni su na relativno maloj površini izvan položaja budućeg objekta brane.

### 3.0. INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Prikaz inženjerskogeoloških karakteristika dat je preko sastava, strukture i svojstava stijena i pojedinih dijelova terena, kao i egzogeno-geoloških pojava i procesa. Inženjerskogeološka karta je urađena na osnovu preuzetog Uputstva za izradu OIGK SFRJ 1:100 000 ( drugo izmjenjeno i dopunjeno izdanje-1988.god.) i smjernica IAEG ( Internacionalne asocijacije za inženjersku geologiju ). Prema Uputstvima sve stijene razvrstane su na dvije velike inženjerskogeološke skupine: skupina stijena i tla koja pripada geološkom substratu i druga skupina gdje se tla i mješavina tla is stijena svrstava u skupinu pokrivača koji leže preko tvorevina geološkog substrata. Osnovna podjela stijena i tla izvedena je u 2 osnovne kategorije i to:

- a) Litološki tip
- b) Litološki kompleks

*Litološki tip* predstavlja jasno determinisan tip stijene, određene strukture, teksture, ali nije uvijek sa uniformnim fizičkim karakteristikama. Svojstva stijene kao što je stepen raspadnutosti, ispucalosti i fizičko-mehanička podložna su mijenjanju, pri čemu ova svojstva ne isključuju ove stijene izvan kriterijuma za litološki tip. Od inženjerskogeoloških svojstava ovih stijena zavisi pripadnost određene inženjerskogeološke jedinice određenoj grupi, podgrupi, klasi i potklasi.

*Litološki kompleks* predstavlja skup dvije ili više stijena koje se vertikalno i bočno često smjenjuju pri čemu pri razvrstavanju u neku od grupa, odnosno podgrupa, klasa i potklasa, kao mjerodavan činilac uzeta su svojstva onog člana koji najbitnije određuje svojstva kompleksa.

*Vezane stijene* na istraživanom području zauzimaju veliku površinu prostiranja. Predstavljene su inženjerskogeološkim kompleksima ( litološkim kompleksima ) i inženjerskogeološkim jedinicama ( litološkim tipovima ).

#### 3.1.GEOLOŠKI SUBSTRAT

Na predmetnom području generalno je izdvojeno dvije vrste geoloških podloga , od kojih jedna pripada litološkom tipu, a druga litološkom kompleksu. Litološki tip ( K ) je predstavljen krečnjacima badenske i sarmatske starosti (  $M_2^1$  i  $M_2^2$  ) dok litološki kompleksi su predstavljeni :

- a) pješčarima, laporcima i krečnjacima ( PŠ, LC, K ) paleocensko-eocenske starosti.

##### 3.1.1.Litološki tip (K)- krečnjaci

Ovaj litološki tip ( inženjerskogeološka jedinica ) na osnovu svojih karakteristika a prema inženjerskogeološkoj klasifikaciji iz Uputstva svrstava se u vezane slabo okamenjene stijene. Na inženjerskogeološkoj karti izdvojene su kao stijene badenske (  $M_2^1$  ) i sarmatske starosti (  $M_2^2$  ). Opšta karakteristika krečnjaka je da im je tekstura bankovita do masivna, podložni su karstifikaciji i tektonski su jako polomljeni i izdjeljeni u blokove srednje veličine. Teren koje izgrađuju ove stijene spada u slabo skaršćene. U pojedinim dijelovima terena zbog veće mehaničke oštećenosti krečnjaka formirani su

pokrivači različite debljine. Pokrivači su eluvijalno-deluvijalnog tipa izgrađeni od glina, pjeskovitih glina sa nešto drobine krečnjaka. Na onim padinama gdje su se formirali deblji pokrivači i gdje su nagibi veći, razvijen je i proces klizanja. Klizišta su trenutno umirena i konsekventnog tipa. U hidrogeološkom pogledu predstavljaju hidrogeološke kolektore odnosno propusne stijene pukotinsko-kavenozne poroznosti. Kao radna sredina imaju povoljna svojstva.

### 3.1.2. Litološki kompleks (PŠ,LC,K)- pješčari, laporci, krečnjaci

Stijene ovog kompleksa izdvojene su na dijelu terena koji pripada paleocensko-eocenskim tvorevinama. Na osnovu svojih inženjerskogeoloških karakteristika svrstane su u vezane slabookamenjene stijene. U litološkom pogledu zastupljeni su sitnozrni do srednjezrni pješčari sa gradacionom slojevitosti kao i sivi laporci. Pukotinski sistemi su dobro izraženi u pješčarskim slojevima, a znatno manje u laporcima. Krečnjaci su manje zastupljeni u vidu manjih partija. Litološki članovi se naizmjenično smjenjuju u vertikalnom pravcu u vidu ritmova što je karakteristika fliša. Pješčari imaju slojevitost do masivnu teksturu. Pomenute stijene podložne su procesu raspadanja tako da se na ovim materijalima formira deblji eluvijalno deluvijalni pokrivač koji je sklon jaružanju, klizanju i selektivnom spiranju gdje je uništena vegetacija. U hidrogeološkom pogledu imaju ulogu hidrogeološkog kompleksa sa preovladavajućom funkcijom vodonepropusnih stijena. Sa geotehničkog aspekta predstavljaju povoljnu radnu sredinu.

## 3.2. GENETSKI POKRIVAČI

Na istraživanom terenu zastupljeni i izdvojeni površinski pokrivači, međusobno se razlikuju po litološkom i granulometrijskom sastavu, mjestu nastanka, debljini, stepenom stabilnosti, stepenu zavodnjenosti kao njihovim općim fizičko-mehaničkim karakteristikama. U okviru skupine pokrivača izdvojene su dvije podskupine:

- a) Fluvijalni pokrivač (Šljunkovi, pijeskovi, gline- aluvijon (Š,P,G<sub>al</sub>))
- b) Padinski pokrivači :
  - Glina, prašinasta glina, droбина –klizišni nanosi aktivnih klizišta (G,PRG,D<sub>ka</sub>)
  - Glina, prašinasta glina , droбина-klizišni nanosi umirenih klizišta (G,PRG,D<sub>ku</sub>)
  - Glina, pjeskovita glina, droбина –eluvijalno-deluvijalni pokrivač (G,PG,De-d)

### 3.2.1. Fluvijalni pokrivač

*Litološki kompleks (Š,P,G<sub>al</sub>)-šljunkovi, pijeskovi, gline (aluvijona)*

Kompleks aluvijalnih šljunkova i pijeskova predstavlja savremeni riječni nanos rijeke Bistrice. Ovaj kompleks predstavlja srednjezbijene stijene različitog granulometrijskog i mineraloško-petrografskog sastava. Facija korita je izgrađena od zaglinjenog šljunka i pijeska. Valutice šljunka su izgrađene od pješčara, krečnjaka, magmatskih stijena, a njihova veličina se kreće od 0,5-100 cm. U hidrogeološkom pogledu to su hidrogeološki kolektori intergranularne poroznosti. Grade zaravnjene i stabilne terene. Predstavljaju povoljnu sredinu za gradnju.



Slika 1. Aluvijalni sedimenti

( Foto: Zijad Ferhatbegović, 2010 )

rijeke Bistrice

### 3.2.2. Padinski pokrivači

*Litološki kompleks (G, PRG, D<sub>ka,ku</sub>)- glina, prašinstva glina, drobinna*  
(klizišni nanosi aktivnih i umirenih klizišta)

Klizišni nanosi pripadaju grupi koluvijalnih pokrivača-pokrivači koji su nastali premještanjem materijala na padini. U suštini ovi nanosi su dijelovi eluvijalno-deluvijalnog pokrivača koji je gravitaciono premješten iz viših dijelova u niže padine te njihovog nagomilanja na određenom dijelu padine gdje se formira tip pokrivača koji ima loša geotehnička svojstva. U građi nanosa ulaze raznobojne gline, prašinstve gline sa sitnom drobinom matične stijene. Ovi nanosi se karakterišu veoma heterogenom litološkom i granulometrijskom građom kako u vertikalnom tako i u horizontalnom pravcu. Karakterišu se mekanom do plastičnom konzistencijom. Debljina je promjenljiva i kreće se od 1.0m-5.0m u zavisnosti od mikrolokaliteta, što direktno zavisi od intenziteta i veličine klizišnog procesa. Klizišni nanos se odlikuje velikim stepenom zavodjenosti. Klizno tijelo je izdijeljeno velikim brojem sekundarnih pukotina tako da se velike količine vode s površine terena direktno ulijevaju u klizni nanos čime se pogoršavaju fizičko-mehanička svojstva zastupljenog materijala. Na istraživanom dijelu terena zastupljen je veliki broj aktivnih i umirenih klizišta koja su na karti označena *ka* i *ku*.



Slika 2. Pojava klizenja sa odronjavanjem  
(Foto: Zijad Ferhatbegović, 2010)

*Litološki kompleks (G, PG, D<sub>e-d</sub>)- glina, pjeskovita glina, drobinna (eluvijum-deluvijum)*

Eluvijalno-deluvijalni pokrivač je vrsta pokrivača koji je nastao raspadanjem matičnog geološkog substrata i njegovim transportovanjem niz padinu. Na istraživanom terenu ovaj pokrivač se nalazi na vrhovima padina i većim grebenima tj. na vododjelnim površinama. Karakteriše se različitim litološkim sastavom u zavisnosti od vrste geološkog substrata. U sastavu ovog pokrivača preovladava glina i sitnozrna frakcija pjeskovitih gline sa sitnom i trošnom drobinom matične stijene. Debljina eluvijalno-deluvijalnog pokrivača je promjenljiva i kreće se od 0.5-3.0 metara. Materijali koji grade pokrivač imaju subkapilarnu do intergranularnu poroznost.

## 4. EGZODINAMIČKI PROCESI I POJAVE

Na istraživanom dijelu terena javljaju se različiti egzodinamički procesi i pojave koji su nastali kao posljedica uticaja prirodnih sila. Ovi procesi su izdvojeni skoro na svim inženjerskogeološkim jedinicama i razlikuju se po načinu postanka, intenzitetu i opasnosti koju predstavljaju po čovjeka.

Jedan od veoma raširenih procesa su erozioni procesi koji su relativno spori i kontinuirani. Ovi procesi su razvijeni na terenu i manifestuju se u vidu fizičkog, hemijskog i biogenog raspadanja stijena pri čemu se formira kora raspadanja ili eluvijalni pokrivač. Za razliku od prvih procesa drugi procesi su intenzivniji i manifestuju se u vidu planarnog i selektivnog spiranja pri čemu se formira deluvijum. U široj zoni akumulacije rijeke Bistrice odnosno zone prihranjivanja jedan od veoma izraženih procesa je jaružanje nastao povremenim i stalnim površinskim tokovima i koje za posljedicu ima formiranje veoma



dubokih jaruga ( preko 2 metra ) velike dužine. U ovim jarugama se povremeno formiraju bujični tokovi koji imaju velik uticaj na formiranje klizišta. U dijelovima terena gdje su prisutna jaružanja prisutni su i procesi klizanja. Treći najrašireniji procesi na istraživanom dijelu terena su *klizni procesi* koji se predstavljaju velikim brojem umirenih i aktivnih klizišta. Nakon detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja terena i izrade inženjerskogeološke karte na istraživanom dijelu terena registrovano je 36 klizišta različitih veličina i stepena aktivnosti koji zahvataju površinu od 5.6 km<sup>2</sup>

### 5. ZAKLJUČAK

U okviru programa geološkog kartiranja za akumulaciju Bistrica kao dijela hidrogeoloških istraživanja i studije izvodljivosti Bistrička rijeka izvršena su inženjerskogeološka istraživanja koja su obuhvatila slivno područje planirane akumulacije, područje akumulacije i zonu pregradnog mjesta akumulacije. Cilj istraživanja je bio da se dobiju geološki, hidrogeološki i inženjerskogeološki podaci potrebni za buduće istražne radove .

U inženjersko-geološkom pogledu karakteristično je to da je veliki dio površine zahvaćen inženjerskogeološkim procesima i pojavama ( erozioni procesi, jaružanja, klizni procesi iitd. ). Izdvojene su veće površine sa nestabilnim padinama, u okviru kojih postoje brojna aktivna i umirena klizišta i drugi inženjerskogeološki procesi. Klizišta su većinom plitka sa kliznom plohom na dubini do pet metara. Značajno je istaći da će se podizanjem nivoa vode u budućoj akumulaciji znatno povećati površine sa inženjerskogeološkim pojavama.

Na osnovu detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja terena urađene su karte:

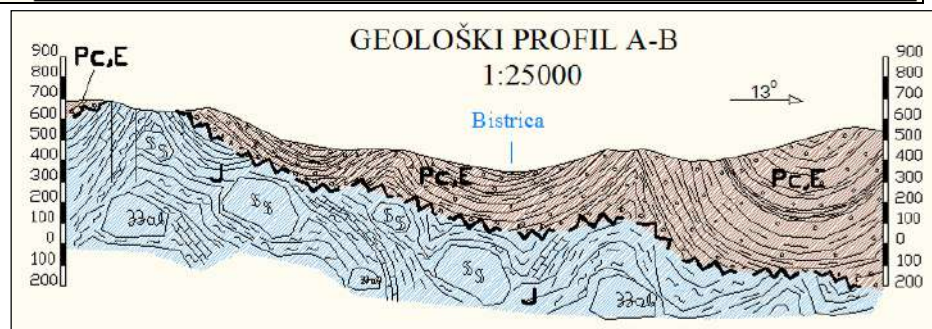
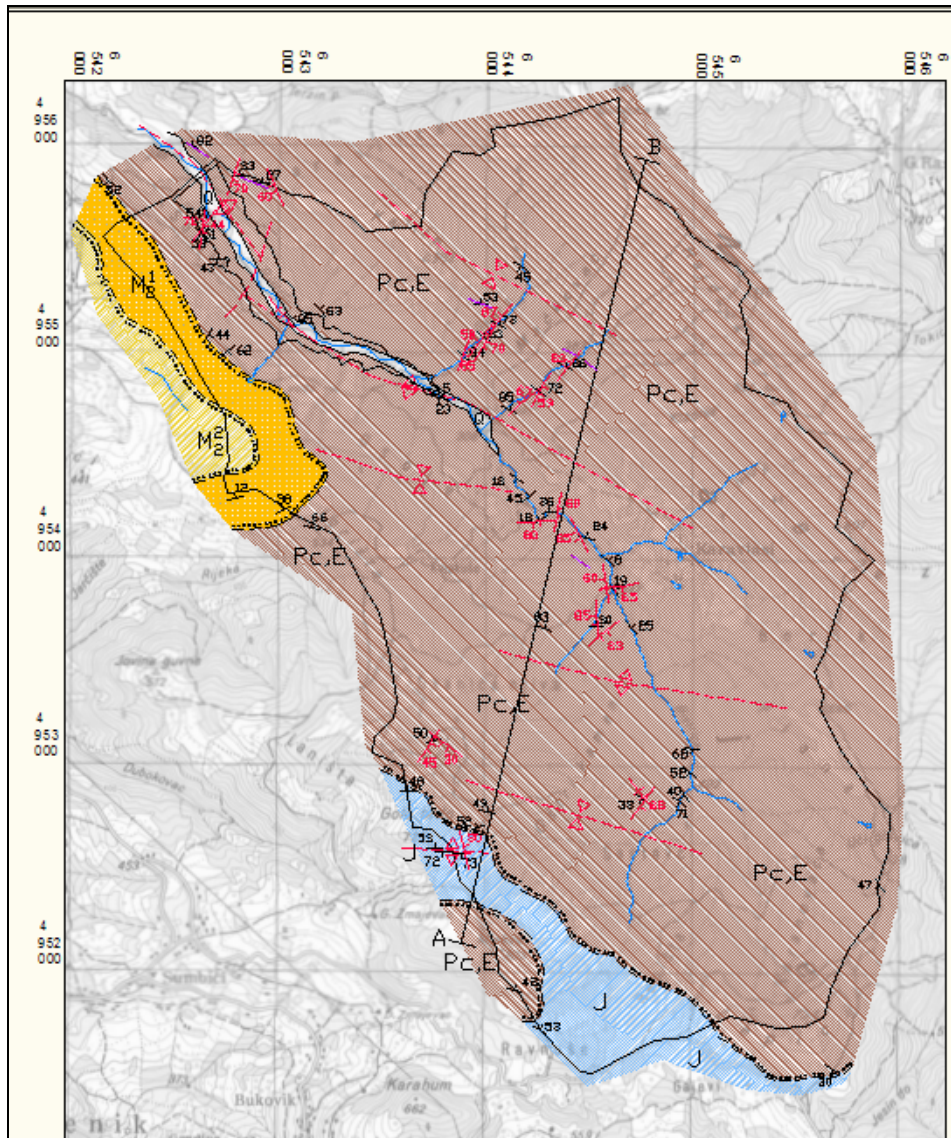
- a) Geološka i inženjerskogeološka karta za slivno područje planirane akumulacije Bistrice u razmjeri 1:25000;
- b) Geološka i inženjerskogeološka karta za područje akumulacije u razmjeri 1:5000
- c) Geološka i inženjerskogeološka karta za zonu pregradnog mjesta akumulacije u razmjeri 1:2500

Naredna istraživanja potrebno je usmjeriti na detaljna inženjerskogeološka kartiranja jezgra istražnih bušotina , raskopa, kartiranje zidova, podova i stropova potkopa u krupnoj razmjeri do 1:100, u zoni pregradnog profila, nizvodno od akumulacije i u zoni akumulacije.

### 6. LITERATURA

1. Butorac, M., 1990: Hidrogeološka analiza područja opštine Srebrenik o mogućnostima vodosnabdijevanja (geološka karta).
2. Čičić, S., 1977: Paleogen. Geologija Bosne i Hercegovine, Knjiga III, Kenozojske periode, 9-62. Sarajevo.
3. Čičić, S., 2002: Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Earth science institute, 199-235. Sarajevo.
4. Đulović, I., 2007: Litološko-paleontološke i strukturno-tektonske karakteristike područja Zubovo Brdo kod Špionice. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXXI, 1-4, Tuzla.
5. Đulović, I., 2007: Geološke karakteristike profila Huremska rijeka kod Srebrenika. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXXIII, 1-6, Tuzla.
6. Jelaska, V., Bulić, J., Velimirović, Z., Bauer, V., Benić, J., 1976: Prilog potpunijem poznavanju stratigrafije Vučjaka i Trebovca (sjeverna Bosna). Geološki vjesnik 29, str 389-395. Zagreb.
7. Pavlovec, R., Pavšić, J. & Vrabac, S. 2005: Spodnji eocen na Majevidi severno od Tuzle (severozhodna Bosna). Geologija 48/1, 5-11, Ljubljana.
8. Soklić, I: (1951/53: Stratigrafija naftonosnog tercijara sjeverne Bosne. Geološki vjesnik, 5-7. Zagreb; 1953a: Rezultati istraživanja naftnih terena sjeverne Bosne. Nafta, 11. Zagreb; 1957a: Kenozoik Bosne i Hercegovine Zbornik II, Kongres geologa Jugoslavije. Sarajevo. (Iz Kranjec, V., 1965: Geološka građa šireg tuzlanskog područja, doktorska disertacija, Zagreb.).
9. Soklić, I., 1965: Horizontalni i vertikalni pokreti tektonskih blokova kao uzrok ubiranja i rasijedanja u tercijaru sjeveroistočne Bosne. Acta geologica V., str. 157-173. Zagreb.

10. Soklić, I., 1988: Velika sarmatska transgresija u Panonskom bazenu. Zbornik referata naučnog skupa „Minerali, stijene, izumrli i živi svijet BiH“, Zemaljski muzej BiH, 145-155, Sarajevo.
11. Soklić, I., 1988: Hronologija geotektonskih pokreta u Dinaridima u mezozoiku i kenozoiku. Radovi LXXXV odjeljenja tehničkih nauka, knjiga 12, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, 111-139, Sarajevo.
12. Soklić, I., Vrabac, S., 1995: Fauna moluska i biostratigrafija sarmata sjeverne Bosne. Geološki glasnik BiH, 33, 31-43, Zavod za geologiju, Sarajevo.
13. Vrabac, S., Đulović, I., Ferhatbegović, Z. 2000: O nalasku diskordancije između badenskih i sarmatskih krečnjaka na sjevernom obodu Majevice. Zbornik radova RGGF-a, XXII/1, 169-172, Tuzla.
14. Vrabac, S., Ferhatbegović, Z., Đulović, I., 2005: Paleogeografija sjeverne Bosne u sarmatu. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXIX/II, 189 -192, Tuzla.
15. Vrabac, S., Ferhatbegović, Z., Đulović, I., 2007: Paleogeografija sjeverne Bosne u miocenu. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, XXXIII, 55 -60, Tuzla.
16. Vrsaljko, D., Pavelić, D., Miknić, M., Brkić, M., Kovačić, M., Hećimović, I., Hajek-Tadesse, V., Avanić, R., and Kurtanjek, N., 2006: Middle Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) Palaeoecology and Evolution of the Environments in the Area of Medvednica Mt. (North Croatia). *Geologia Croatica* 59/1, 51-63, Zagreb.
17. Đulović, I. 2008: Geologija sjeverozapadnog oboda Majevice. Doktorska disertacija, Tuzla.



**GEOLOŠKA KARTA**

1:25000

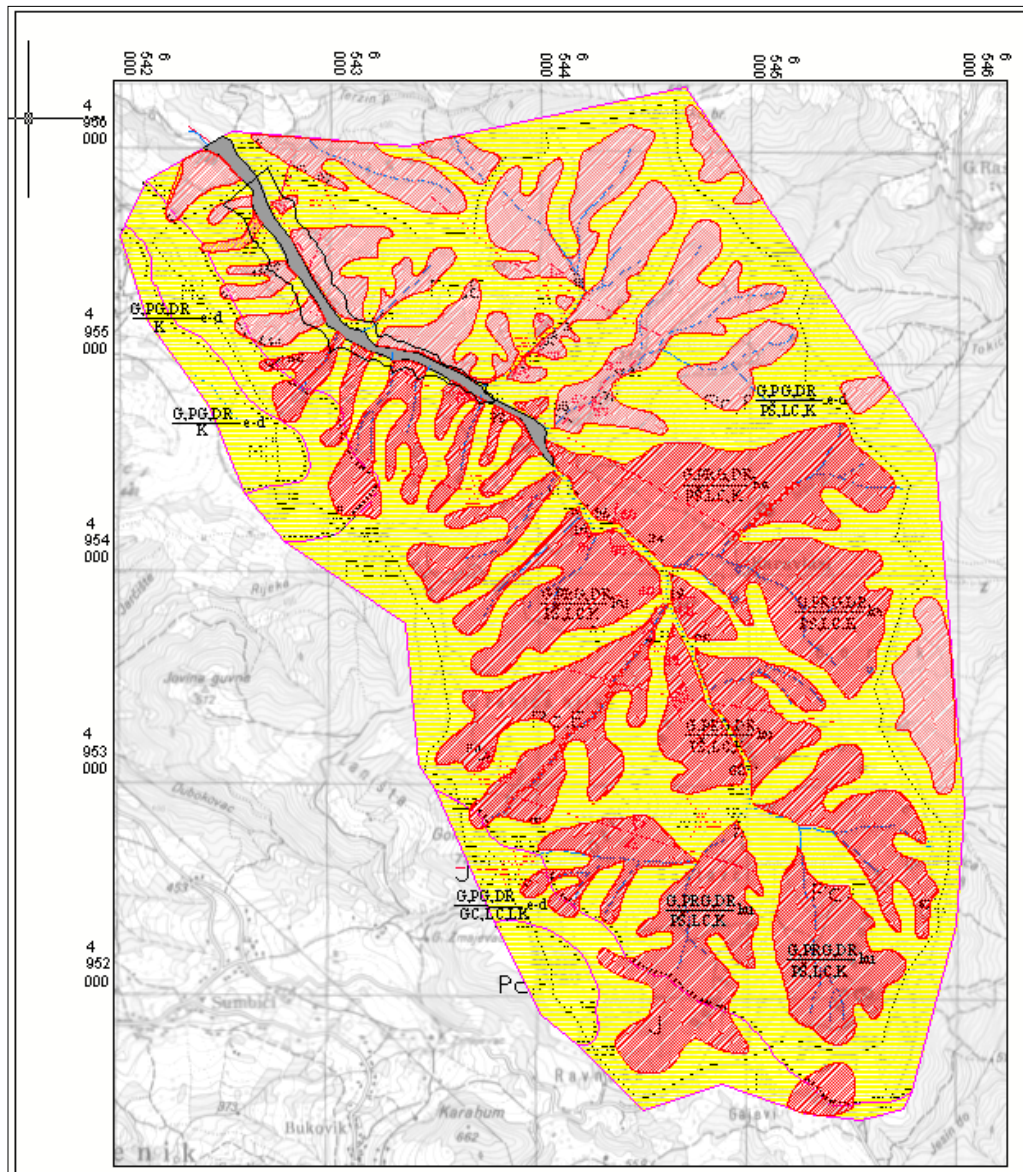
Autori : Dr.sc.Izudin Đulović, docent  
Dr.sc.Zijad Ferhatbegović, vanr.prof.

INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA

1:25000

Autori : Dr.sc.Zijad Ferhatbegović, vanr.prof.

Dr.sc.Izudin Đulović, docent



| Litoški tip      |  | LITOLošKI KOMPLEKS |  |                             |  | LITOLošKI SASTAV |  |                  |  |                  |  |                  |  |                  |  | INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE |  |                  |  |                  |  |                  |  |                  |  |                  |  |                  |  |                  |  |
|------------------|--|--------------------|--|-----------------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|--|
|                  |  | V osnovu stijene   |  | Složeno okamenjenje stijene |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV                   |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  |                  |  |
|                  |  | LITOLošKI SASTAV   |  | LITOLošKI SASTAV            |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV                   |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  |                  |  |
| LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV   |  | LITOLošKI SASTAV            |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV                   |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  | LITOLošKI SASTAV |  |

### HIDROLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE OZNAKE

- Stalni veći površinski vodotok
- Stalni manji površinski vodotok
- Povremeni površinski vodotok
- Stalan izvor najmanje izdašnosti (l/s)
- Povremeni izvor srednje izdašnosti (l/s)

### OZNAKE EGZODINAMIČKIH PROCESA I POJAVA

- Aktivno klizište
- Nestabilna padina
- Elementi pada sloja
- Aktivna jaruga sa naznakom dubine

### STRUKTURNO-TEKTONSKE OZNAKE

- Normalna granica: pretpostavljena
- Erozijska ili tektonsko-erozijska granica: pretpostavljena (teren pokriven)
- Elementi pada sloja
- Rasjed bez oznake karaktera
- Osa antiklinale, pretpostavljena
- Elementi pada sistema pukotina

### Područje sliva akumulacije Bistrica

Kontura maksimalnog nivoa vode, kota 300 m nm.

## Inženjersko geofizičko-seizmološka istraživanja na lokalitetu Zgoni u Mostaru

ELDAR HUSEJNAGIĆ<sup>1</sup>, REJHANA DERVIŠEVIĆ<sup>2</sup> BOŽO PADOVAN<sup>3</sup>, NIKICA VIDOVIĆ<sup>4</sup>

### SAŽETAK

U sklopu geotehničkih istražnih radova na lokaciji Zgoni u Mostaru izvedena su geofizička istraživanja sa ciljem određivanja fizičko-mehaničkih karakteristika plićeg podzemlja, te definisanja seizmičkog hazarda na istraživanoj lokaciji. Istraživanja su obuhvatila inženjersko-geofizička mjerenja u svrhu izrade detaljnog geotehničkog modela i kategoriziranja tla prema Eurokodu-8, prikupljanje makroseizmičkih podataka kao i analizu kataloga potresa, proračun parametara maksimalne vršne akceleracije i maksimalnog intenziteta, mjerenja mikrotremora na lokaciji i proračun HVSR spektara, te izradu sintetskog akceleroograma.

Inženjersko-geofizička istraživanja obuhvatila su primjenu metode seizmičke refrakcije P i S-talasa, višekanalne analize površinskih talasa, MASW-a, te geoelektrične tomografije. Cilj ovih istraživanja je bio da se dobije pouzdan geotehnički model, definisan brzinama P i S-talasa i vrijednostima električne otpornosti, a kojim će se odrediti dubina do osnovne stijene, brzine u slojevima iznad osnovne stijene, ustanoviti zone jače saturiranosti vodom, te pomoću prosječne brzine S-talasa u prvih trideset metara dubine,  $V_s-30$ , kategorizirati tlo prema Eurocode-8.

Inženjersko-seizmološkim istraživanjima određeni su parametri maksimalne akceleracije tla i intenziteta potresa na nivou osnovne stijene. Za proračun parametara maksimalnog intenziteta, maksimalne akceleracije i koeficijenta seizmičnosti primjenjena je deterministička metoda. Kako bi se pouzdanije procijenio uticaj lokalnog tla, izvedena su i mjerenja mikro-seizmičkog nemira te je izrađen sintetski akceleroogram i spektar odziva tla.

**Ključne riječi: seizmički rizik, inženjerska geofizika, mikro-seizmički nemir**

### ZAKLJUČAK

Na lokaciji Zgoni u Mostaru, u okviru geotehničkih istražnih radova izvedena su geofizička istraživanja. Sastojala su se od inženjersko-geofizičkih te inženjersko-seizmoloških istražnih radova. Inženjersko-geofizička istraživanja obuhvatila su primjenu metode seizmičke refrakcije P i S-talasa, višekanalne analize površinskih talasa, MASW te geoelektrične tomografije. Rezultati ovih mjerenja poslužit će i kao ulazni podaci pri inženjersko-seizmološkim istraživanjima kod odabira atenuacijskih funkcija, analizi rezultata obrade mikrotremora (HVSR), te izradi sintetskog akceleroograma.

Cilj ovih istraživanja je da se dobije pouzdan geotehnički model, definisan brzinama P i S-talasa, a kojim će se odrediti dubina do osnovne stijene, brzine u slojevima iznad te pomoću prosječne brzine S-talasa u prvih trideset metara dubine,  $V_s-30$ , kategorizirati tlo prema Eurocode-8. Rezultati su ukazali na pojavu osnovne stijene, lapora, karakterizirane brzinom S-talasa većom od 750 m/s i brzinom P-talasa većom od 1800 m/s, na dubinama pet do šest metara u prosjeku. Također, izračunati parametar  $V_s-30$  (918 m/s za profil 1 i 897 m/s za profil 2) svrstava tlo u tlo:

**tip A prema Eurocode-8**

---

<sup>1</sup> Dr.sc., Eldar Husejnagić, vanr.prof. Univerzitet u Tuzli, RGGF, [eldar.husejnagic@untz.ba](mailto:eldar.husejnagic@untz.ba)

<sup>2</sup> Dr.sc., Rejhana Dervisević, vanr.prof. Univerzitet u Tuzli, RGGF, [rejhana.dervisevic@untz.ba](mailto:rejhana.dervisevic@untz.ba)

<sup>3</sup> Mr.sc., Božo Padovan, Geoarheo d.o.o. Hrvatska, [bpdovan@arheo.hr](mailto:bpdovan@arheo.hr)

<sup>4</sup> Mr.sc., Nikica Vidović, asistent Univerzitet u Tuzli, RGGF, [nikica\\_b\\_vid@hotmail.com](mailto:nikica_b_vid@hotmail.com)

Sukladno tipu tla prema EC-8, tzv. *soil-factor* (faktor koji opisuje amplifikaciju tla), S iznosi 1. Ovi podaci korišteni su dalje, pri analizi seizmičkog hazarda. Inženjersko-seizmološkim istraživanjima određeni su parametri maksimalne akceleracije tla i intenziteta potresa na nivou osnovne stijene, na lokaciji Zgoni-Mostar. Primjenjena je deterministička metoda. Izračunate su maksimalne moguće vrijednosti za tzv. maksimalni potres:

$$A_{\max}=0.273 \text{ g}$$
$$I_{\max}= 8.0^{\circ}\text{MSK}$$

Također, iskazana je vrijednost koeficijenta seizmičnosti  $K_s=0.68$ . Kako bi se pouzdanije procijenio uticaj lokalnog tla, izvedena su mjerenja mikrosezmičkog nemira te je izrađen sintetski akcelerogram. Dobiveni HVSR spektri ukazali su na visoku dominantnu frekvenciju, u prosjeku 18 do 22 Hz. Takvi rezultati potvrdili su rezultate seizmičke refrakcije i MASW-a o dubini do osnovne stijene od pet do šest metara te klasifikaciju prema EC-8 i ukazali da je amplifikacija površinskih slojeva zanemariva.

## UVOD

U sklopu geotehničkih istražnih radova na lokaciji Zgoni u Mostaru izvedena su geofizička istraživanja sa ciljem određivanja fizičko-mehaničkih karakteristika plićeg podzemlja, te definiranja seizmičkog hazarda na istraživanoj lokaciji. Istraživanja su obuhvatila inženjersko-geofizička mjerenja u svrhu izrade detaljnog geotehničkog modela i kategoriziranja tla prema Eurokodu-8, prikupljanje makroseizmičkih podataka i analizu kataloga potresa, izračun parametara maksimalne vršne akceleracije i maksimalnog intenziteta determinističkim pristupom, mjerenja mikrotremora na lokaciji i izračun HVSR spektara te izradu sintetskog akcelerograma. Rezultati istraživanja bit će iskorišteni kao ulazni parametri kod projektovanja temeljenja budućih objekata na lokaciji Zgoni.

## INŽENJERSKO-GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Kako bi se što preciznije procijenile seizmičke odlike lokacije, potrebno je imati što bolja saznanja o inženjerskogeološkim odnosima. Inženjersko-geofizičke metode nužan su alat pri izradi pouzdanog geotehničkog modela. Cilj geofizičkih mjerenja je bio utvrditi dubinu do osnovne stijene te odrediti fizičko-mehaničke karakteristike osnovne stijenske mase i povlatnih slojeva. Na lokaciji Zgoni primijenjene su metode plitke seizmičke refrakcije, P i S-talasa i višekanalne analize površinskih talasa, MASW te geoelektrična tomografija. Interpretacija rezultata omogućit će i klasifikaciju istraživanog tla prema Eurocode-8 te pouzdaniji odabir atenuacijskih funkcija i parametara za izradu sintetskog akcelerograma pri analizi seizmičkog hazarda.



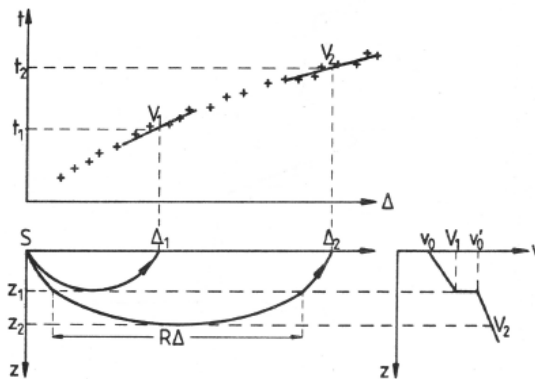
*Slika 1 Snimanje seizmičke refrakcije*

## B. METODA PLITKE SEIZMIČKE REFRAKCIJE

U području istraživanja izvedena su mjerenja seizmičke refrakcije P i S talasa. Ukupno su snimljena dva seizmička profila. Seizmičko snimanje izvedeno je 24-kanalnim seizmografom, te vertikalnim (P-talasi), odnosno horizontalnim (S-talasi) geofonima. Podaci su obrađeni Delta-t-v-metodom.

### DELTA-T-V-METODA:

Predstavlja postupak inverznog modeliranja (Gebrande i Miller, 1985). Temelji se na pretpostavci da se brzina blago mijenja s porastom dubine. Za razliku od klasičnih metoda obrade, Delta-t-v ne polazi od pretpostavke da su prvi nailasci dodjeljeni hipotetskim, matematički idealiziranim refraktorima (Rohdewald, 1999). Prvi nailasci sortirani su za svaku zajedničku središnju tačku CMP (eng. *Common Mid Point*) te se na taj način smanjuje uticaj greške očitavanja prvih nailazaka na seizmičkim snimkama i geometrije.



Slika 2 Višeslojni model

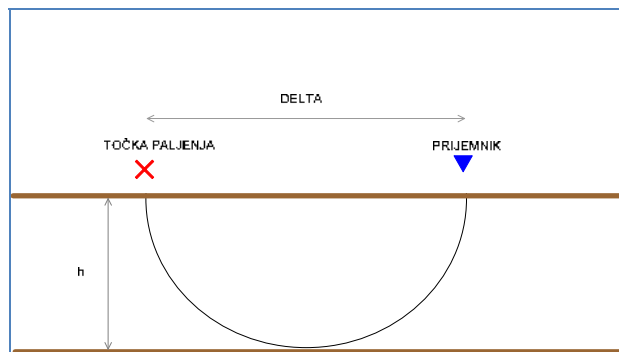
Naziv metode sadrži i parametre koji se razmatraju inverznim modeliranjem:

Delta,  $\Delta$  – horizontalna udaljenost

t – vrijeme nailaska

V – prividna brzina

Osnovna pretpostavka metode je da je gradijent brzine unutar svakog pojedinog sloja konstantan (Gibson et al, 1979). Putanja seizmičke zrake, na putu *delta*,  $\Delta$  od izvora (tačke paljenja) do prijemnika prikazana je kružnim segmentima unutar svakog sloja (slika 2).



Slika 3 Model horizontalnog sloja



Za jednostavan model horizontalnog sloja (slika 3) debljine  $h$ , s tačkom paljenja i prijemnikom na površini sloja te pripadnom seizmičkom zrakom čija putanja dodiruje dno sloja, vrijede sljedeće jednačine (Gebrande i Miller, 1985):

$$\Delta = \frac{2\sqrt{1-p^2b^2}}{\gamma} \quad (2.1)$$

$$t = \frac{2}{\gamma} \log \left( 1 + \frac{\sqrt{1-p^2b^2}}{pb} \right) \quad (2.2)$$

$$\beta = b + \gamma h \quad (2.3)$$

$$p = \frac{1}{\beta} \quad (2.4)$$

gdje je  $\Delta$  udaljenost između tačke paljenja i prijemnika,  
 $t$  - vrijeme putovanja zrake od tačke paljenja do prijemnika,  
 $p$  - parametar zrake,  
 $\gamma$  - gradijent brzine unutar sloja,  
 $b$  - brzina na vrhu sloja (brzina pri  $z=0$ ) i

$\beta$  - brzina na dnu sloja (brzina pri  $z=h$ )

Iz jednačina (2.1-2.4) proizlazi (Gebrande i Miller, 1986):

$$\Delta(\beta) = \frac{2}{\gamma} \sqrt{\beta^2 - b^2} \quad (2.5)$$

$$t(\beta) = \frac{2}{\gamma} \operatorname{arccosh} \left( \frac{\beta}{b} \right) \quad (2.6)$$

Delta-t-v iteracija, za jedan sloj, sastoji se iz sljedećeg:

Brzina na dnu sloja,  $\beta$ , se, uz pretpostavku da nema jačih vertikalnih diskontinuiteta brzine, izračunava direktno iz krivulje prvih nailazaka (iz vrijednosti  $\Delta$  i  $t$ ), sortiranih prema CMP tački. Brzina na vrhu sloja,  $b$ , izračunava se iz jednačina (2.5) i (2.6). Poznavajući  $\Delta$ ,  $\beta$  i  $b$ , jednačina (2.7) daje  $\gamma$  gradijent brzine unutar sloja:

$$\gamma = \frac{2}{\Delta} \sqrt{\beta^2 - b^2} \quad (2.7)$$

Debljina sloja,  $h$  računa se iz jednačine (2.3):

$$h = \frac{\beta - b}{\gamma} \quad (2.8)$$

Nakon što se ovim postupkom izračunaju navedeni parametri prvog, gornjeg sloja za sve zrake s udaljenošću  $\Delta$  većom od one za gornji sloj, udaljenost  $\Delta'$  i vrijeme putovanja zrake  $t'$  se korigiraju za efekt gornjeg sloja (Gibson et al, 1979). Parametri sljedećeg sloja određuju se novom Delta-t-v iteracijom pri čemu se računa s prethodno korigiranim vrijednostima  $\Delta'$  i  $t'$ . Izračunata brzina  $b'$ , na vrhu novog sloja, može biti veća, jednaka ili manja od brzine  $\beta$  na dnu prethodnog sloja. Dakle, moguće je

izračunati inverziju brzine seizmičkih talasa (Rohdewald, 1999). Ovaj postupak ponavlja se do posljednjeg para  $\Delta$ -t.

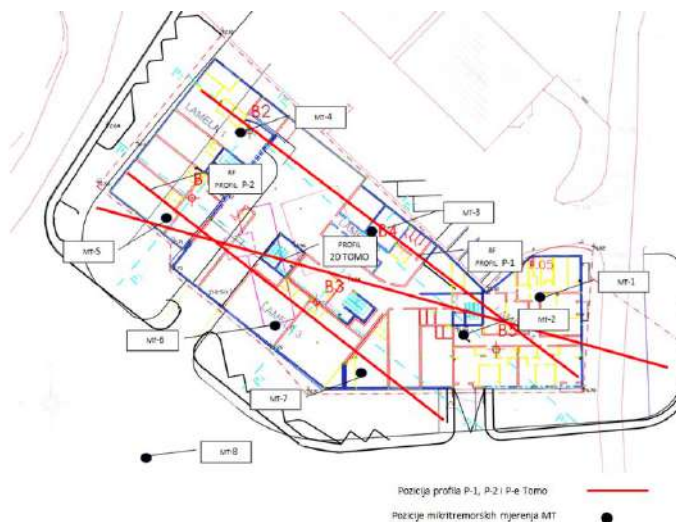
TERENSKO MJERENJE:

Parametri seizmičkih mjerenja odabrani su sukladno sa teoretskim postavkama Delta-t-v-metode te provedenim testiranjima na terenu, a sa ciljem dobivanja krajnjeg rezultata koji će biti u skladu s traženom dubinom zahvata od približno 30 metara i zadovoljavajućom rezolucijom.

Tabela 1: Parametri snimanja (refrakcija)

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Broj aktivnih geofona    | 24             |
| Razmak među geofonima    | 2.5 m          |
| Duljina snimke (s)       | 0.5            |
| Vrijeme uzorkovanja (ms) | 0.0125         |
| Izvor elastičnog talasa  | Čekić s pločom |

Ukupno su snimljena dva refrakcijska profila dužine po 57.5 metara. Njihov položaj ucrtan je u geodetskoj situaciji (slika 4).

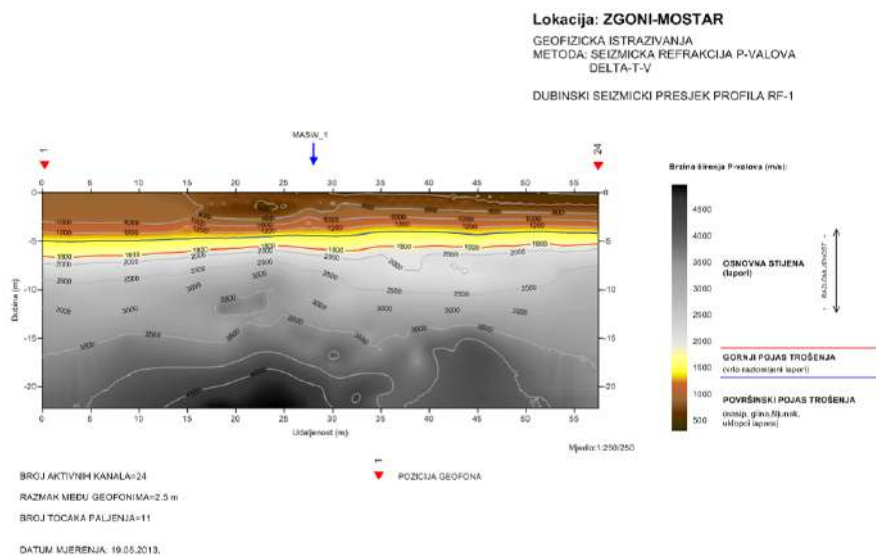


Slika 4 Geodetska situacija položajem profila i mjernih tačaka

INTERPRETACIJA:

Prikupljeni seizmički podaci obrađeni su prema Delta-t-v-metodi. Za prikaz rezultata korištena je Kriging metoda interpolacije.

Rezultati obrade prikazuju se su u obliku dubinskih seizmičkih presjeka (slika 5). Na interpretiranim 2D profilima prikazana je promjena brzine P-talasa, odnosno S-talasa po dubini.



Slika 5 Dubinski seizmički presjek Delta-t-v metoda

Sukladno vrijednostima brzine izvedena je uslovna klasifikacija stijenske mase:

Tabela 2 : Klasifikacija tla i stijenske mase prema brzinama P i S-talasa

| BRZINA ŠIRENJA<br>UZDUŽNOG<br>P-TALASA (m/s) | BRZINA ŠIRENJA<br>POPREČNOG<br>S-TALASA (m/s) | VRSTA I STANJE TLA/STIJENE   |
|--|---|--|
| <1400  | < 600   | POVRŠINSKI POJAS TROŠENJA<br>(nasip, glina, šljunak, odlomci lapora) |
| 1400 – 1800                                  | 600 - 750                                     | GORNJI POJAS TROŠENJA<br>(vrlo razlomljeni lapori)                   |
| 1800>  | 750 >   | OSNOVNA STIJENA (lapori)<br>Razlomljenost opada s povećanjem brzine  |

Na svakom profilu može se, koristeći se klasifikacijom iz tablice 2, interpretirati promjena u vrsti i kvaliteti tla i stijenske mase s dubinom.

PROFILI RF-1 i RF-2 (P i S talasi):

Prema klasifikaciji iz tabele 2, na profilima RF-1 i RF-2 se može izdvojiti površinski pojas trošenja debljine do pet metara. Ispod njega pojavljuju se lapori koji su na dubini od 5 do 6.5 metara vrlo razlomljeni (brzine P-talasa 1400 do 1800 m/s, S talasa 600 do 750 m/s), dok dublje postaju kompaktniji (brzine P-talasa veće od 1800, S-talasa 750 m/s).

C. MASW-metoda

MASW (eng. *Multichannel Analysis of Surface Waves*) je seizmička geofizička metoda razvijena na sveučilištu u Kansasu, na institutu *Kansas Geological Survey* (Park et al., 1997). Temelji se na analizi površinskih talasa i činjenici da su površinski talasi disperzivni, tj. da im se brzina mijenja s promjenom

frekvencije. MASW-metodom se, kao rezultat mjerenja i obrade, dobiva uzdužni presjek raspodjele brzina transverzalnih talasa po dubini. Razlog velikoj primjeni metode leži u jednostavnosti mjerenja na terenu, relativno brzog i jednostavnoj obradi te konačnom rezultatu, modelu brzina S-talasa, potrebnom za geotehničko projektovanje. Kod ostalih seizmičkih metoda kao što su seizmička refrakcija i, posebno, seizmička refleksija, površinski talasi predstavljaju smetnju koja otežava obradu podataka te se ulaže veliki napor kako ih eliminirati ili barem minimalizirati.

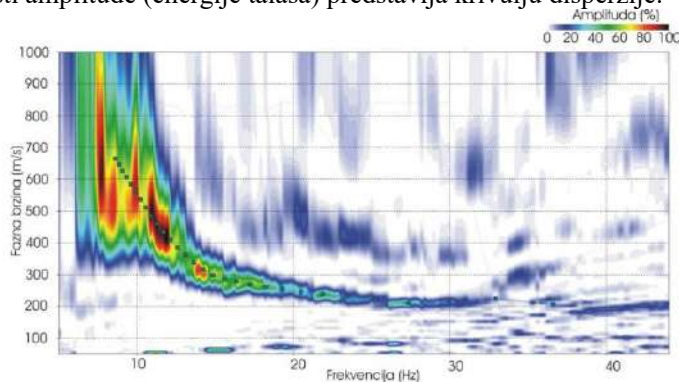
Procedura dobivanja brzine transverznog talasa iz fazne brzine površinskog talasa može se svesti na tri najbitnije faze:

- snimanje površinskog talasa na terenu
- izračunavanje krivulje disperzije snimljenog površinskog talasa
- izračunavanje profila raspodjele brzina transverzalnih talasa iz dobivene krivulje disperzije.

Krivulja disperzije predstavlja zavisnost brzine talasa na površini i talasne dužine, odnosno frekvencije. Površinski talas snima se na određenom broju geofona postavljenih u profil na tlu, s jednakim razmakom  $dx$  između svakog od njih. Iz dobivene seizmičke snimke izračunavaju se fazne brzine ( $C_f$ ) za različite frekvencije talasa. Postupak se zasniva na izrazu:

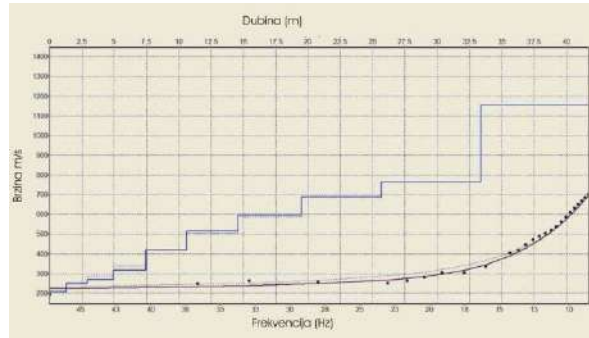
$$C_f = dx / \Delta t_f$$

gdje je  $C_f$  fazna brzina za pojedinu frekvenciju,  $dx$  razmak između susjednih geofona, a  $\Delta t_f$  razlika u vremenu nailaska površinskog talasa na susjednim geofonima. Postupak se ponavlja za svaku od  $N$  frekvencijskih komponenti. Vrijednosti dobivenih amplituda unose se u graf kojem je na apscisi frekvencija, a na ordinati fazna brzina. Navedenim postupkom dobiva se niz parova vrijednosti frekvencije  $f$  i pripadajuće fazne brzine  $C_f$  različite amplitude, tj. energije (slika 5). Područje izraženog povećanja vrijednosti amplitude (energije talasa) predstavlja krivulju disperzije.



Slika 5 Disperzijska krivulja

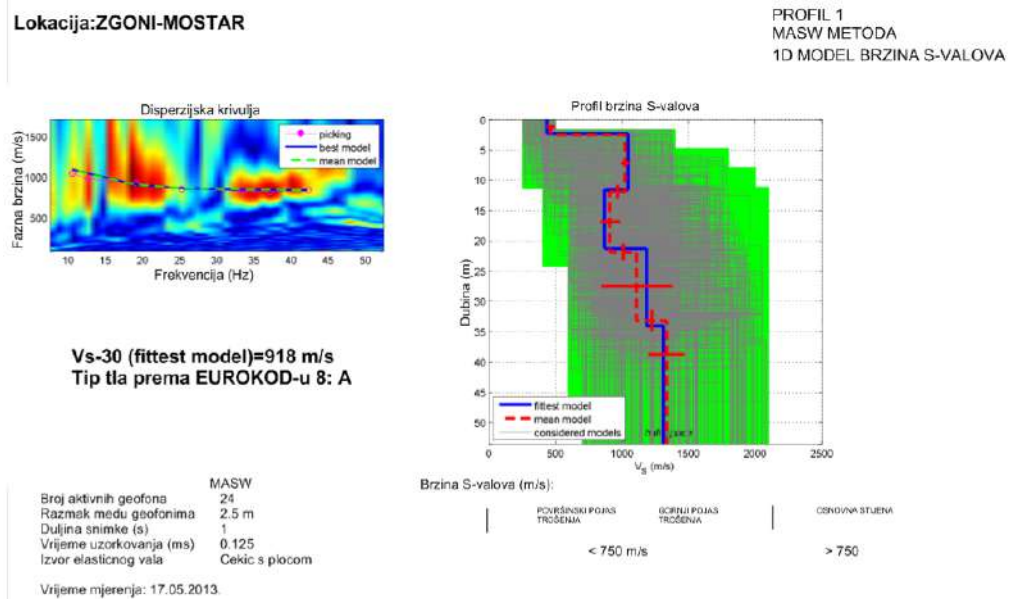
Kako bi se iz krivulje disperzije dobio model promjene brzina transverzalnih talasa po dubini primjenjuje se postupak inverznog modeliranja. Za svaku pojedinačnu snimku, nakon izračunavanja krivulje disperzije i postupka inverznog modeliranja, dobiva se rezultat u obliku 1D profila promjene brzine transverznog talasa po dubini, kako je prikazano na slici 6.



Slika 6 1D model promjene brzine transverzalnih talasa

INTERPRETACIJA REZULTATA MASW MJERENJA:

Rezultati interpretacije mjerenja MASW-metodom prikazani su u obliku 1D presjeka promjene brzine longitudinalnih i transverzalnih talasa po dubini i položajno i odnose se na sredinu pripadajućih profila. Mjerenja MASW-metodom izvedena su, prvenstveno sa ciljem izračuna parametra  $V_{s-30}$  (prosječne brzine S-valova u prvih 30 metara tla) i kategorizacije tla prema Eurocode-u 8, slika 7.



Slika 7 MASW metoda 1D model promjene brzine transverzalnih talasa

MASW-1  $V_{s-30} = 918 \text{ m/s}$   
 MASW-2  $V_{s-30} = 897 \text{ m/s}$

Dobiveni rezultati svrstavaju istraživano tlo u **tip A** prema Eurocode-u 8.

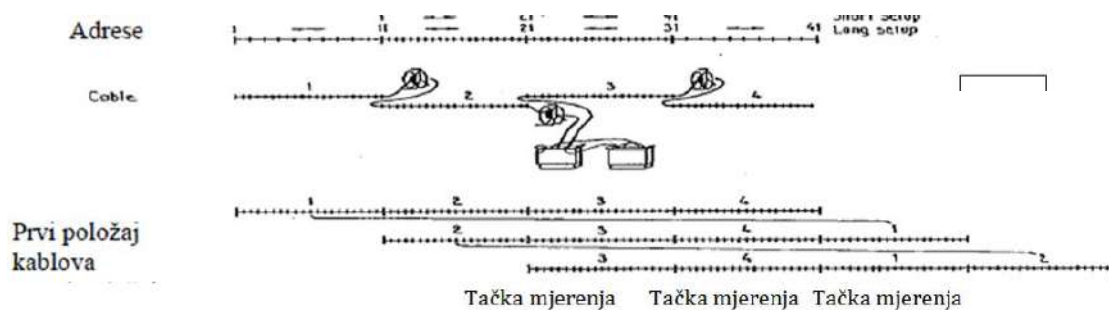
Tipu tla A odgovara Soil faktor **S=1**.

D. GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA

Geoelektrične metode zasnivaju se na mjerenju površinskih efekata i anomalija dobivenih tokom struje u podzemlju. Metoda mjerenja otpornosti je najčešće korištena geoelektrična metoda. Podaci dobiveni

mjerenjem otpornosti koriste se za prognozu litološke građe terena, utvrđivanje rasjednih ili pukotinskih zona te karaktera pukotina i ispuna u pukotinama, kao i utvrđivanju razlike u provodljivosti naslaga.

2D mjerenje električne otpornosti izvodi se metodom geoelektrične tomografije, uvođenjem strujnog toka u podzemlje pomoću većeg broja elektroda uzemljenih na površini. Mjerenje se izvodi za pojedinu tačku mjerenja na pravcu pomoću 4 aktivne elektrode, dvije strujne i dvije potencijalne. Mjerenje se obavlja za sve uzemljene elektrode s konstantnim razmakom između elektroda. Zatim se mijenja razmak između elektroda, a time i dubinski zahvat, te tako dobiva kontinuirani presjek prividnih otpornosti (pseudosekcija). Izbor mjernih elektroda prilikom mjerenja radi računar automatski. Proces prikupljanja podataka shematski je prikazan na slici 8:



Slika 8 Shema prikupljanja podataka geoelektričnom tomografijom

Oprema za 2D i 3D mjerenja metodom otpornosti sastoji se od uređaja za mjerenje otpora u tlu, selektora elektroda, 4 kabela za elektrode od kojih svaki ima 16 izlaza za elektrode s konstantnim razmakom između izlaza za elektrode, elektrode od nehrđajućeg čelika sa vezicama do kabla i spojnicama između kabela.

Rezultati dobiveni mjerenjem na terenu obrađuju se programom za inverzno modeliranje. Program koji se koristi za obradu i interpretaciju je RES2DINV i RES3DINV. Inverznim modeliranjem nastoji se pronaći model otpornosti u podzemlju koji će najbolje odgovarati izmjerenim prividnim otpornostima. Raspodjela otpornosti u podzemlju daje se u presjeku gdje je na apscisi položaj mjerene tačke na površini terena, a na ordinati nadmorska visina.

#### TERENSKO MJERENJE:

Na lokaciji Zgoni snimljen je jedan profil geoelektrične tomografije, dužine 78 metara, slika 9. Parametri mjerenja prikazani su u tabeli:

Tabela 3 Parametri snimanja metodom geoelektrične tomografije

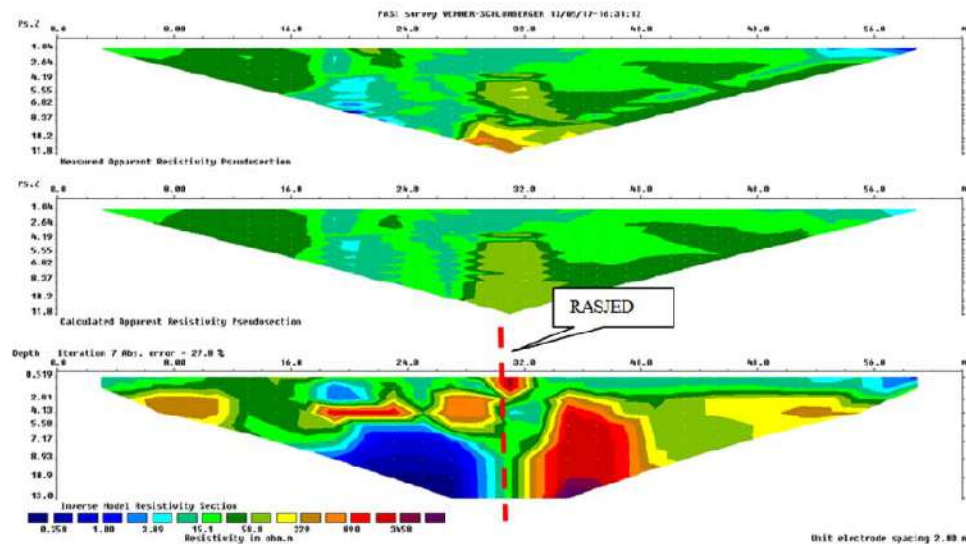
| PARAMETRI SNIMANJA          |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| METODA                      | GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA |
| RAZMAK MEĐU ELEKTRODAMA (m) | 3                         |
| BROJ ELEKTRODA              | 32                        |
| POSTUPAK SNIMANJA           | WENNER-SCHLUMBERGER       |



Slika 9 Snimanje geoelektrične 2D tomografija

INTERPRETACIJA PROFILA GE-3:

Mjerenja električnih otpornosti izvedena su upotrebom Wenner-Schlumbergerovog rasporeda dužine 66 m. Na izmjenenom profilu P-3 ZGONI-Mostar, električne otpornosti su u rasponu od 0.258 do preko 3450  $\Omega$ m Prilog 2.5. Najniže otpornosti (0.25-60  $\Omega$ m) nalaze se u površinskom dijelu duž cijelog profila. Vrlo visoke otpornosti (oko 3500  $\Omega$ m) se nalaze u dubljim dijelovima u drugoj (sjeveroistočnoj) polovini profila, te u sjeverozapadnom dijelu, od 0.25 do 60  $\Omega$ m do kraja profila. Niže otpornosti (oko 230  $\Omega$ m) nalaze se u središnjem dijelu profila, na položaju od 0 m do 32 m. Ove otpornosti ukazuju na više ili manje razlomljeno tlo, odnosno na rasjednu zonu. Položaju rasjedne zone odgovara i položaj izvora (na 24 m).



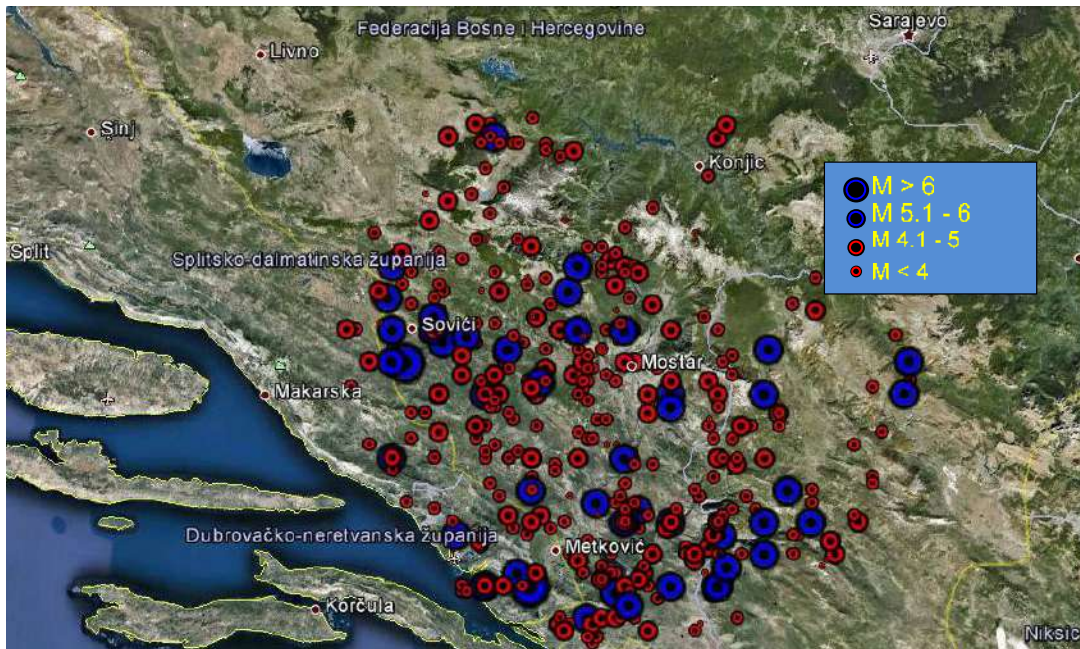
Slika 10 Profil P-3 2D električne otpornosti izmjeren pomoću Wenner-Schlubgerovim rasporedom

## INŽENJERSKO-SEIZMOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Inženjersko-seizmološka istraživanja izvode se sa ciljem određivanja ulaznih parametara kao što su maksimalna očekivana akceleracija tla i intenzitet potresa na lokaciji. Navedeni parametri nužni su za proračun uticaja seizmičkih sila na objekte u području istraživanja. Prikazan je postupak kao i rezultati određivanja navedenih parametara determinističkim pristupom.

## E. KATALOG POTRESA

U svrhu analize seizmičnosti lokacije Zgoni u Mostaru korišten je dostupni katalog potresa Federalnog hidrometeorološkog Zavoda-Centra za seizmologiju, tabela 4. Prostorni razmještaj navedenih potresa prikazan je na slici 11. Iz kataloga potresa izdvojeni su potresi magnitude  $M \geq 3$  koji su se dogodili u maksimalnom radijusu od 50 km od lokacije u Zgoni u Mostaru.



Slika 11 Prostorna razdioba potresa korištenih u analizi

Analizom podataka iz kataloga potresa ustanovljeno je da su najjači zabilježeni potresi u epicentru imali magnitude preko 6 (najjači je od 20.10.1479, magnitude 6.5). Epicentri ovih potresa su južno od Mostara, na udaljenostima većim od 35 km. Maksimalna akceleracija tla uzrokovana ovim potresima je, prema katalogu potresa, između 100 i 135  $\text{cm/s}^2$ . Prema katalogu potresa, najviši iznosi akceleracije tla na predmetnoj lokaciji u Mostaru uzrokovani su potresima epicentralne udaljenosti pet do deset kilometara. Maksimalni iznos akceleracije prikazan u katalogu potresa iznosi 197.051  $\text{cm/s}^2$  (0.2g) i uzrokovan je potresom od 31.12.1897. magnitude 5.8, epicentralne udaljenosti 9.4 km. Intenzitet na istraživanoj lokaciji iznosio 7.5°MCS. U tabeli 4 navedeni su podaci o potresima magnitude veće od pet  $M > 5$ , zabilježni u radijusu 50 kilometara oko lokacije u Mostaru.

Tabela 4 Podaci o potresima magnitude veće od 5, zabilježenima u radijusu od 50 km oko lokacije istraživanja (izvor: Federalni Hidrometeorološki zavod, Sarajevo).



| No. | Datum |      |      | Vrijeme |      |       | Seizmički parametri u epicentru |       |      |      |     |        | Seizmički parametri na lokaciji |          |        |          |
|-----|-------|------|------|---------|------|-------|---------------------------------|-------|------|------|-----|--------|---------------------------------|----------|--------|----------|
|     | Dan   | Mj.  | God. | h       | m    | s     | latt                            | long  | M    | h    | lo  | D (km) | a (cm/s <sup>2</sup> )          | v (cm/s) | d (cm) | I (°MCS) |
| 3   | 20    | 10   | 1479 | 0       | 0    | 0.0   | 43.00                           | 17.60 | 6.5  | 10.0 | 9.0 | 42.3   | 131.379                         | 14.619   | 6.141  | 6.7      |
| 53  | 15    | 3    | 1923 | 5       | 40   | 18.9  | 43.35                           | 17.33 | 6.2  | 8.1  | 8.6 | 38.6   | 117.024                         | 11.934   | 4.823  | 6.5      |
| 1   | 1     | 1    | 306  | 0       | 0    | 0.0   | 43.02                           | 17.57 | 6.0  | 10.0 | 8.3 | 41.2   | 98.362                          | 9.563    | 3.865  | 6.1      |
| 2   | 20    | 1    | 1473 | 0       | 0    | 0.0   | 43.00                           | 17.60 | 6.0  | 10.0 | 8.3 | 42.3   | 96.261                          | 9.374    | 3.809  | 6.0      |
| 4   | 23    | 1    | 1496 | 17      | 0    | 0.0   | 43.50                           | 17.30 | 6.0  | 10.0 | 8.3 | 44.2   | 92.847                          | 9.067    | 3.717  | 6.0      |
| 30  | 1     | 8    | 1907 | 10      | 7    | 37.2  | 43.10                           | 17.90 | 5.9  | 12.0 | 8.1 | 28.8   | 115.171                         | 10.452   | 3.905  | 6.3      |
| 19  | 27    | 3    | 1903 | 3       | 6    | 3.0   | 43.20                           | 17.30 | 5.8  | 20.0 | 8.0 | 44.4   | 80.194                          | 7.370    | 2.978  | 5.6      |
| 13  | 30    | 5    | 1890 | 18      | 40   | 0.0   | 43.28                           | 17.90 | 5.8  | 10.0 | 8.0 | 10.9   | 186.707                         | 15.973   | 5.218  | 7.4      |
| 15  | 31    | 12   | 1897 | 17      | 25   | 0.0   | 43.30                           | 17.90 | 5.8  | 10.0 | 8.0 | 9.4    | 197.051                         | 16.788   | 5.412  | 7.5      |
| 329 | 23    | 5    | 2004 | 15      | 19   | 6.6   | 43.40                           | 17.39 | 5.7  | 7.7  | 7.9 | 34.2   | 94.588                          | 8.397    | 3.209  | 6.0      |
| 146 | 21    | 3    | 1966 | 21      | 39   | 1.6   | 43.50                           | 17.70 | 5.7  | 21.0 | 7.8 | 18.7   | 134.716                         | 11.412   | 3.943  | 6.2      |
| 204 | 13    | 5    | 1984 | 12      | 45   | 54.6  | 42.97                           | 17.81 | 5.7  | 13.4 | 7.8 | 42.2   | 77.076                          | 6.816    | 2.702  | 5.5      |
| 5   | 6     | 3    | 1544 | 9       | 0    | 0.0   | 43.00                           | 17.60 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 42.3   | 70.531                          | 6.012    | 2.362  | 5.4      |
| 6   | 17    | 4    | 1827 | 13      | 30   | 0.0   | 43.00                           | 17.50 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 46.2   | 65.643                          | 5.626    | 2.250  | 5.2      |
| 7   | 20    | 10   | 1853 | 15      | 25   | 0.0   | 43.40                           | 17.80 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 5.6    | 196.843                         | 15.504   | 4.732  | 7.4      |
| 9   | 27    | 1    | 1880 | 15      | 30   | 0.0   | 43.30                           | 18.10 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 24.5   | 105.268                         | 8.700    | 3.098  | 6.1      |
| 11  | 24    | 1    | 1883 | 6       | 58   | 0.0   | 43.10                           | 18.10 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 36.6   | 79.134                          | 6.685    | 2.554  | 5.6      |
| 14  | 5     | 11   | 1897 | 6       | 32   | 0.0   | 43.40                           | 17.70 | 5.6  | 10.0 | 7.6 | 10.2   | 163.729                         | 13.080   | 4.178  | 7.1      |
| 16  | 22    | 7    | 1901 | 8       | 28   | 16.0  | 43.15                           | 17.60 | 5.5  | 16.0 | 7.5 | 27.8   | 92.638                          | 7.565    | 2.738  | 5.7      |
| 333 | 27    | 9    | 2005 | 0       | 25   | 34.3  | 43.15                           | 18.15 | 5.5  | 20.8 | 7.5 | 35.7   | 77.372                          | 6.406    | 2.424  | 5.3      |
| 17  | 27    | 4    | 1902 | 9       | 23   | 0.3   | 43.30                           | 17.50 | 5.5  | 30.0 | 7.5 | 25.4   | 97.935                          | 7.946    | 2.832  | 5.4      |
| 151 | 25    | 8    | 1970 | 1       | 40   | 11.0  | 43.35                           | 18.41 | 5.4  | 13.0 | 7.4 | 48.8   | 57.416                          | 4.759    | 1.908  | 4.9      |
| 235 | 3     | 4    | 1990 | 22      | 2    | 37.2  | 43.38                           | 17.41 | 5.4  | 6.9  | 7.4 | 32.1   | 80.163                          | 6.476    | 2.392  | 5.6      |
| 186 | 3     | 10   | 1979 | 22      | 57   | 50.8  | 43.37                           | 18.11 | 5.4  | 10.0 | 7.3 | 24.7   | 91.914                          | 7.189    | 2.529  | 5.8      |
| 236 | 31    | 7    | 1990 | 15      | 50   | 52.6  | 42.99                           | 17.78 | 5.4  | 6.5  | 7.3 | 39.7   | 65.245                          | 5.240    | 2.005  | 5.2      |
| 325 | 2     | 8    | 2003 | 10      | 18   | 39.8  | 43.13                           | 17.74 | 5.4  | 5.4  | 7.3 | 25.2   | 90.673                          | 7.100    | 2.505  | 5.9      |
| 18  | 4     | 7    | 1902 | 1       | 58   | 0.3   | 43.00                           | 17.90 | 5.3  | 20.0 | 7.3 | 39.6   | 64.516                          | 5.152    | 1.968  | 5.0      |
| 8   | 7     | 8    | 1866 | 0       | 0    | 0.0   | 42.95                           | 17.72 | 5.3  | 10.0 | 7.3 | 45.0   | 57.421                          | 4.596    | 1.798  | 4.9      |
| 54  | 30    | 5    | 1924 | 4       | 22   | 6.0   | 43.10                           | 18.20 | 5.3  | 6.1  | 7.3 | 42.2   | 59.444                          | 4.704    | 1.814  | 5.0      |
| 164 | 21    | 4    | 1976 | 20      | 20   | 20.0  | 43.39                           | 17.46 | 5.3  | 10.0 | 7.2 | 28.4   | 80.230                          | 6.204    | 2.222  | 5.5      |
| 169 | 1     | 1    | 1978 | 19      | 5    | 0.0   | 43.37                           | 17.55 | 5.3  | 5.0  | 7.3 | 20.9   | 97.740                          | 7.445    | 2.540  | 6.1      |
| 107 | 18    | 5    | 1942 | 0       | 35   | 46.9  | 43.03                           | 18.02 | 5.3  | 12.3 | 7.2 | 39.4   | 61.529                          | 4.804    | 1.823  | 5.0      |
| 79  | 21    | 6    | 1931 | 14      | 19   | 0.3   | 43.00                           | 17.50 | 5.2  | 20.0 | 7.1 | 46.2   | 52.892                          | 4.132    | 1.615  | 4.7      |
| 81  | 13    | 12   | 1931 | 18      | 57   | 0.3   | 43.40                           | 17.30 | 5.2  | 20.0 | 7.1 | 41.4   | 57.894                          | 4.492    | 1.717  | 4.8      |
| 24  | 6     | 10   | 1905 | 23      | 44   | 40.0  | 43.10                           | 17.80 | 5.2  | 7.0  | 7.1 | 27.8   | 76.010                          | 5.700    | 2.019  | 5.5      |
| 27  | 5     | 5    | 1906 | 9       | 52   | 13.0  | 43.05                           | 18.10 | 5.2  | 7.0  | 7.1 | 41.0   | 56.829                          | 4.358    | 1.658  | 4.9      |
| 46  | 7     | 10   | 1919 | 9       | 13   | 0.0   | 43.00                           | 18.00 | 5.2  | 10.0 | 7.1 | 42.0   | 54.826                          | 4.179    | 1.595  | 4.8      |
| 50  | 5     | 9    | 1921 | 23      | 54   | 0.3   | 43.00                           | 18.00 | 5.2  | 28.0 | 7.1 | 42.0   | 54.826                          | 4.179    | 1.595  | 4.8      |
| 55  | 27    | 9    | 1924 | 8       | 50   | 0.0   | 43.35                           | 17.30 | 5.2  | 10.0 | 7.1 | 41.0   | 55.838                          | 4.250    | 1.614  | 4.8      |
| 190 | 22    | 6    | 1980 | 19      | 14   | 34.2  | 43.08                           | 17.44 | 5.2  | 10.0 | 7.1 | 42.1   | 54.674                          | 4.169    | 1.592  | 4.8      |
| 364 | 21    | 6    | 2009 | 11      | 20   | 6.0   | 43.45                           | 17.29 | 5.2  | 15.0 | 7.1 | 43.3   | 53.480                          | 4.085    | 1.568  | 4.7      |
| 28  | 3     | 10   | 1906 | 2       | 48   | 29.0  | 43.20                           | 17.80 | 5.1  | 6.0  | 7.0 | 16.7   | 99.399                          | 7.160    | 2.341  | 6.1      |
| 178 | 17    | 12   | 1976 | 2       | 16   | 49.2  | 43.42                           | 17.39 | 5.1  | 17.0 | 7.0 | 34.7   | 62.239                          | 4.647    | 1.706  | 4.9      |
| 49  | 25    | 4    | 1921 | 17      | 51   | 36.5  | 43.30                           | 18.40 | 5.1  | 15.0 | 7.0 | 48.5   | 46.518                          | 3.514    | 1.375  | 4.4      |
| 22  | 4     | 1938 | 14   | 50      | 44.6 | 43.08 | 18.01                           | 5.1   | 11.9 | 7.0  | 7.0 | 34.5   | 61.164                          | 4.524    | 1.655  | 5.0      |
| 186 | 19    | 4    | 1977 | 2       | 23   | 43.5  | 43.12                           | 17.83 | 5.1  | 7.0  | 7.0 | 25.6   | 75.515                          | 5.495    | 1.908  | 5.4      |
| 226 | 23    | 8    | 1988 | 17      | 38   | 48.5  | 43.70                           | 17.52 | 5.1  | 14.4 | 7.0 | 45.0   | 49.556                          | 3.725    | 1.435  | 4.6      |
| 22  | 5     | 1    | 1905 | 15      | 10   | 2.1   | 43.00                           | 17.60 | 5.1  | 10.0 | 6.9 | 42.3   | 51.678                          | 3.855    | 1.465  | 4.7      |
| 120 | 29    | 10   | 1951 | 16      | 38   | 3.0   | 43.46                           | 17.68 | 5.1  | 4.0  | 6.9 | 15.9   | 97.469                          | 6.879    | 2.226  | 6.1      |
| 284 | 1     | 3    | 1998 | 7       | 22   | 43.1  | 43.32                           | 17.62 | 5.1  | 16.4 | 6.9 | 15.5   | 98.880                          | 6.971    | 2.248  | 5.7      |

|                        |  |
|------------------------|--|
| No.                    | - redni broj zemljotresa u katalogu  |
| Datum                  | - datum pojave zemljotresa (dan, mjesec godina)                                |
| Vrijeme                | - vrijeme pojave zemljotresa (sat, minuta, sekunda)                            |
| latt.                  | - geografska širina epicentra zemljotresa                                      |
| long.                  | - geografska dužina epicentra zemljotresa                                      |
| D (km)                 | - udaljenost epicentra zemljotresa od predmetne lokacije u km (centar Mostara) |
| a (cm/s <sup>2</sup> ) | - maksimalna akceleracija tla na predmetnoj lokaciji u cm/s <sup>2</sup>       |
| v (cm/s)               | - maksimalna brzina tla na predmetnoj lokaciji u cm/s                          |
| d (cm)                 | - maksimalni pomak tla na predmetnoj lokaciji u cm                             |
| I (°MCS)               | - maksimalni intenzitet na predmetnoj lokaciji u °MCS                          |

## F. ODABIR ATENUACIJSKIH FUNKCIJA

Iznosi najveće horizontalne akceleracije ( $a_{max}$ ) i intenziteta ( $I_{max}$ ) koje potres može uzrokovati na istraživanoj lokaciji izračunati su korištenjem empirijskih formula koje opisuju njihovo opadanje s udaljenošću od epicentra potresa i ovisnost o magnitudi potresa. Odabir empirijske funkcije ovisi o inženjerskogeološkim karakteristikama terena. Korišteno je pet preporučenih empirijskih funkcija te je kao konačan rezultat izračunata srednja vrijednost dobivenih akceleracija, odnosno intenziteta.

1. Herak, M., Markušić, S., Ivančić, I.

$$\log PGA_{HMI} (g) = -1.300 + 0.331M - 1.152 \log(D^2 + 11.8^2)^{1/2}$$

gdje je  $PGA_{HMI}$  (g) veća od dvije horizontalne komponente,  $M_L$  je lokalna magnituda potresa,  $D$  je epicentralna udaljenost u kilometrima. Formula je izvedena uglavnom za potrese s područja Dinarida te vrijedi za tlo kategorije A prema Eurocode-8.

2. Sabbeta, F., Pugliese, A.

$$\log PGA_{SP} (g) = -1.845 + 0.363M_L - \log \sqrt{D^2 + 2.5} + S$$

gdje je  $PGA_{SP}$  veća od dvije horizontalne komponente,  $M_L$  je lokalna magnituda potresa,  $D$  je epicentralna udaljenost u kilometrima. Parametrom  $S$  definiše se tip tla,  $S = 0.195$  opisuje plitke sedimente, a  $S = 0$  duboke sedimente ili čvrsto tlo. Relacija je izvedena za područje Italije.

3. Ambraseys, N.N., Sarma, J., Douglas, J., Smith, P.M.

$$\log PGA_{ASDS} (ms^{-2}) = 2.522 - 0.142 M_W + (-3.184 + 0.314 M_W) \log \sqrt{D^2 + 144} + S + F$$

Formula je izvedena za potrese širom Europe i Srednjeg Istoka. Parametri su  $S = 0.137$  za meko tlo,  $S = 0.050$  za tvrdo tlo,  $F = -0.084$  za normalne rasjede,  $F = 0.062$  za reversne rasjede.  $M_W$  je momentna magnituda potresa, a izračunata je iz lokalne magnitude  $M_L$  prema izrazu:

$$M_W \approx 1.33 M_L - 1.77$$

4. Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E.

$$\ln PGA_{BJF} (g) = -0.242 + 0.527 (M_W - 6) - 0.778 \ln \sqrt{D^2 + 144} - 0.371 \ln(V_S/1396)$$

$PGA_{BJF}$  je veća od dvije horizontalne komponente,  $M_W$  je momentna magnituda potresa, a  $D$  epicentralna udaljenost u kilometrima.  $V_S$  je prosječna brzina širenja transversalnih valova do dubine od 30 metara, a korištena je prosječna brzina izračunata MASW-metodom, od 800 m/s.

5. Fukushima, Y., Berge-Thierry, C., Volant, P., Griot-Pommeroy, D.A., Cotton, F.

$$\log PGA_{FBVGC} (cms^{-2}) = 0.307 M_W - \log(\sqrt{D^2 + 144}) + 1.3 \times 10^{-2} \times 10^{e(f)M_W} - 1.17 \times 10^{-3} \times \sqrt{D^2 + 144} + 1.640$$

$PGA_{FBVGC}$  je veća od dvije horizontalne komponente,  $M_W$  je momentna magnituda potresa,  $e(f)$  je koeficijent funkcije frekvencije (Hz). U izračunu je korišten 0.42.

Maksimalna akceleracija,  $A_{max}$  izračunata je tako da se u prvom koraku izračunata za svaku od gore navedenih pet relacija, a zatim je izračunata srednja vrijednost i ona predstavlja konačan rezultat:

$$A_{max} = (PGA_{HMI} + PG_{ASP} + PGA_{ASDS} + PGA_{BJF} + PGA_{FBVGC})/5$$

Maksimalni intenzitet  $I_{max}$  na lokaciji procijenjen je prema Sponheuer-ovoj formuli:

$$I_{max} = I_0 - 3 \log(r/h) - 3\mu\alpha (r-h)$$

gdje je  $\alpha$  koeficijent atenuacije makroseizmičkog polja, pretpostavljen 0.005,  $r$  je hipocentralna udaljenost,  $h$  žarišna dubina,  $\mu$  je  $\log(e)=0.4343$ .

## G. PRORAČUN SEIZMIČKOG HAZARDA

### H. Proračun parametara determinističkim pristupom

U prostoru oko istraživane lokacije analizirana su epicentralna područja i definisani seizmički izvori. Procijenjene su, sukladno katalogu potresa, maksimalne očekivane magnitude potresa. Maksimalna akceleracija i intenzitet na lokaciji izračunati su prema vrijednostima očekivane magnitude 5.8, dubine žarišta 10 km i epicentralne udaljenosti 5 km. Maksimalna akceleracija  $A_{max}$  i intenzitet  $I_{max}$  izračunati su prema relacijama navedenima u tekstu ovog rada. Izračunate vrijednosti predstavljaju apsolutne maksimume koji se mogu očekivati na istraživanoj lokaciji. Također, iz vrijednosti maksimalne akceleracije izračunat je koeficijent seizmičkog intenziteta,  $K_s$ , prema relaciji:

$$K_s = \frac{A}{g} * 0.25$$

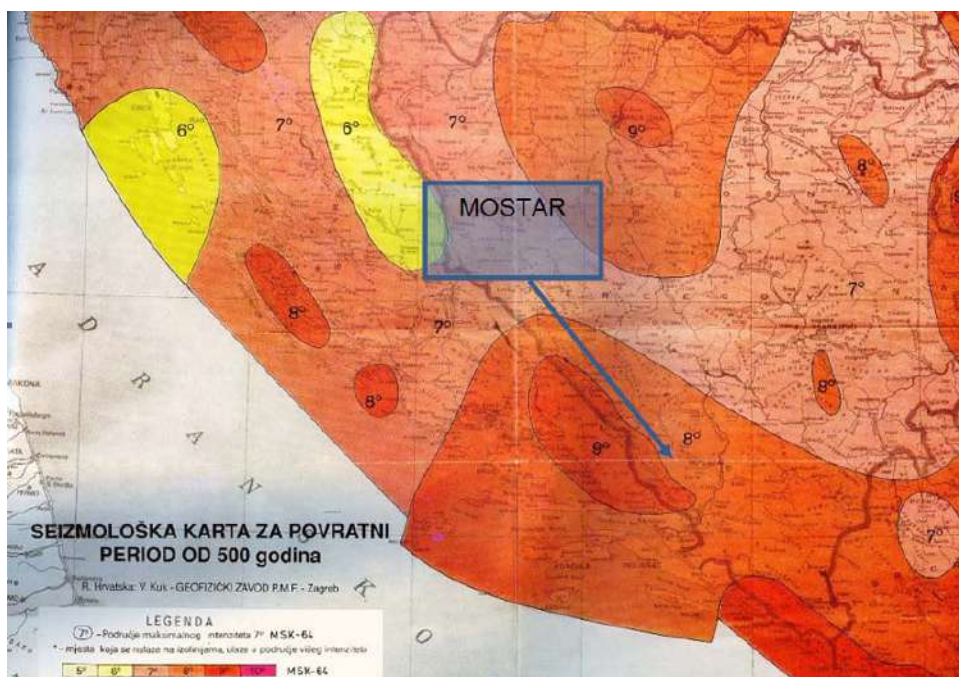
gdje je  $A$  maksimalna akceleracija izražena u postotnom dijelu od  $g$  ( $g$  predstavlja akceleraciju zemljine sile teže).

U tabeli 5 prikazani su dobiveni rezultati:

Tabela 5: Vrijednosti maksimalne akceleracije, maksimalnog intenziteta te koeficijenta seizmičnosti izračunati determinističkim pristupom

|                    |       |
|--------------------|-------|
| <b>Amax (g)</b>    | 0.273 |
| <b>Imax (°MKS)</b> | 8.0   |
| <b>Ks</b>          | 0.068 |

Dobiveni rezultati definišu maksimalne značajke potresa koji se može pojaviti na lokaciji, tj. opisuju značajke potresa tipa SSE.



Slika 12 Seizmološka karta za povratni period od 500 godina

#### REZULTATI MJERENJA MIKROSEIZMIČKOG NEMIRA



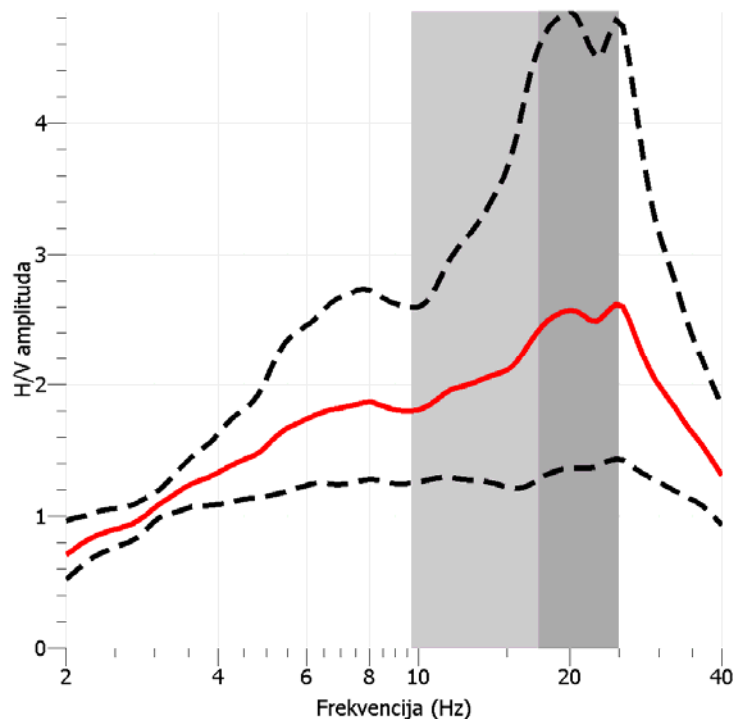
Slika 13 Mjerenje mikrosezmičkog nemira

U području uže lokacije, unutar kruga iskopa izvedena su i mjerenja mikro seizmičkog nemira trokomponentnim geofonom niske rezonantne frekvencije (2 Hz), SARA SL07. Mjerenja su izvedena na ukupno 7 lokacija (slika 13). Svako pojedino mjerenje trajalo je 20 minuta. Iz dobivenih mjerenja izračunati su HVSR spektri. HVSR spektar predstavlja omjer spektara horizontalne i vertikalne komponente nemira. Rezultati su prikazani kao HVSR spektri svakog pojedinačnog mjerenja te kao ukupna srednja vrijednost svih opažanja (slika 14). Na prosječnom HVSR spektru na slici 14 može se uočiti da je maksimum amplitude na višim frekvencijama 18 do 22 Hz, dok je amplituda spektra na nižim frekvencijama između jedan i dva. Takav rezultat ukazuje na jaki kontrast, tj. veliku seizmičku impedanciju između osnovne stijene i gornjih naslaga. Na osnovu dobivenih rezultata može se procijeniti dubina do osnovne stijene prema formuli:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h}$$

gdje je  $V_s$  prosječna brzina u sloju iznad osnovne stijene,  $h$  dubina do osnovne stijene, a  $f_0$  rezonantna frekvencija.

Ukoliko se za prosječnu brzinu u slojevima iznad uzme 400 m/s, a na što ukazuju rezultati inženjersko-geofizičkih mjerenja, ovom formulom se pokazuje da je dubina do osnovne stijene, za frekvencije 18 do 22 Hz, između pet i šest metara, a što je u skladu s detaljnim mjerenjima seizmičke refrakcije i MASW-a. Pregledom pojedinačnih HVSR spektara u prilogima 5.1 i 5.2 može se uočiti variranje dominantne frekvencije maksimuma amplitude što ukazuje na blagu promjenu u dubini do osnovne stijene u rasponu od prije spomenutih pet do šest metara. HVSR tehnikom pokazano je da je dominantna frekvencija osciliranja tla visoka, u rasponu od 18 do 22 Hz, što potvrđuje da je osnovna stijena plitko ispod površine te da ne postoji opasnost od jače amplifikacije.



Slika 14 Usrednjeni HVSR spektar (crvena linija) na lokaciji Zgoni-Mostar izračunat iz sedam pojedinačnih mjerenja mikro seizmičkog nemira

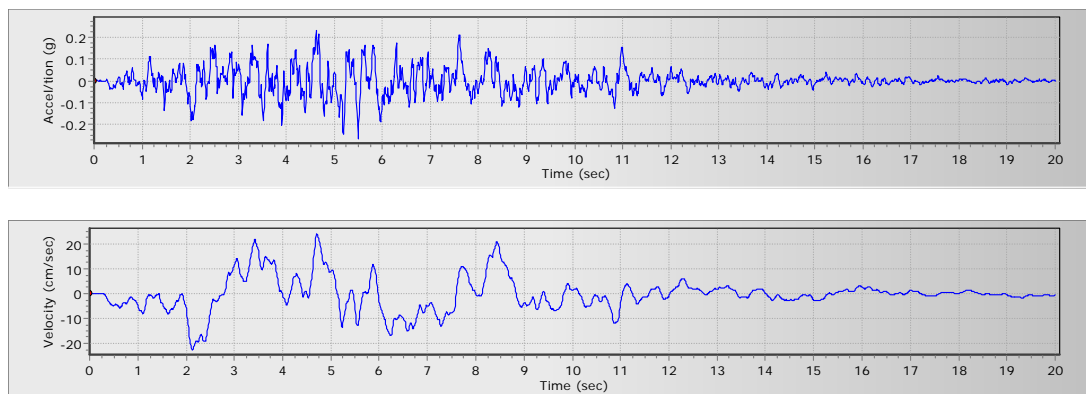
## I. DEFINISANJE REPREZENTATIVNOG AKCELEROGRAMA

Reprezentativni akceleroگرام i spektar odziva definisani su izradom sintetskog akcelerograma izračunatim prema prosječnim svojstvima već zabilježenih potresa.

Pretpostavke kod izrade sintetskog akcelerograma su bile:

- reprezentativni oblik Fourierovog spektra amplituda ( $S_0$ ) akcelerograma može se opisati funkcijom magnitude potresa i udaljenosti njegovog žarišta od lokacije;
- fazni spektar je slučajna funkcija frekvencije;
- oblik ovojnice akcelerograma modeliran je funkcijom Saragoni – Hart;
- najveći iznos akceleracije bez amplifikacijskih efekata u skladu je s već datim relacijama. Pretpostavljena je magnituda potresa  $M=5.8$ , dubina žarišta 10 km te epicentralna udaljenost 5 km.

Dobiveni su sljedeći rezultati:



Slika 15 Sintetski akceleroگرام i velositigram

Maksimalna akceleracija  $PGA=0.267$  g

Maksimalna brzina  $PGV=24.114$  cm/s

Tip envelope: Saragoni i Hart

## ZAKLJUČAK

Na lokaciji Zgoni u Mostaru, u okviru geotehničkih istražnih radova izvedena su i geofizička istraživanja. Sastojala su se od inženjersko-geofizičkih te inženjersko-seizmoloških istražnih radova. Inženjersko-geofizička istraživanja obuhvatila su primjenu metode seizmičke refrakcije P i S-talasa, višekanalne analize površinskih talasa, MASW te geoelektrične tomografije. Cilj ovih istraživanja je bio dobiti pouzdan geotehnički model definisan brzinama P i S-talasa, a kojim će se odrediti dubina do osnovne stijene, brzine u slojevima iznad te pomoću prosječne brzine S-talasa u prvih trideset metara dubine,  $V_s-30$ , kategorizirati tlo prema Eurocode-8. Rezultati su ukazali na pojavu osnovne stijene, lapora, karakterizirane brzinom S-talasa većom od 750 m/s i brzinom P-talasa većom od 1800 m/s, na dubinama pet do šest metara u prosjeku. Također, izračunati parametar  $V_s-30$  (918 m/s za profil 1 i 897 m/s za profil 2) svrstava tlo u tlo:

## tip A prema Eurocode-8

Sukladno tipu tla prema EC-8, tzv. *soil-factor* (faktor koji opisuje amplifikaciju tla), S iznosi 1. Ovi podaci korišteni su dalje, pri analizi seizmičkog hazarda. Inženjersko-seizmološkim istraživanjima određeni su parametri maksimalne akceleracije tla i intenziteta potresa na nivou osnovne stijene, na

lokaciji Zgoni-Mostar. Primjenjena je deterministička metoda. Izračunate su maksimalne moguće vrijednosti za tzv. maksimalni potres:

$$A_{\max}=0.273 \text{ g}$$

$$I_{\max}= 8.0^{\circ}\text{MSK}$$

Također, iskazana je vrijednost koeficijenta seizmičnosti  $K_s=0.68$ . Kako bi se pouzdanije procijenio uticaj lokalnog tla izvedena su mjerenja mikrosezmičkog nemira te je izrađen sintetski akcelerogram. Dobiveni HVSR spektri ukazali su na visoku dominantnu frekvenciju, u prosjeku 18 do 22 Hz. Takvi rezultati potvrdili su rezultate seizmičke refrakcije i MASW-a o dubini do osnovne stijene od pet do šest metara te klasifikaciju prema EC-8 i ukazali da je amplifikacija površinskih slojeva zanemariva.

## LITERATURA

- Ambraseys N.N., Sarma J., Douglas J., Smith P.M. (2005):** Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 3, 1–53.
- Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E. (1997):** Equations for estimating horizontal spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work. *Seism. Res. Lett.*, Vol. 68, 128-153.
- Cornell, C.A. (1968):** Engineering Seismic Risk Analysis, BSSA, Vol. 58.
- CEN, 2004, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European standard, EN 1998-1: 2004 (E), Stage 64, European Committee for Standardization, Brussels.**
- Fukushima, Y., Berge-Thierry, C., Volant, P., Griot-Pommeroy, D.A., Cotton, F. (2003):** Attenuation relation for west Eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan and Turkey. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 7, No. 3, 1-26.
- Herak, M. (1989):** The magnitude-intensity-focal depth relation for the earthquakes in the wider Dinara region, *Geofizika*, Vol.6.
- Kuk, V. (1982):** O maksimalnom intenzitetu potresa, Magistarski rad, PMF Zagreb.
- McGuire, R. (1976):** Seismic Risk Analyses, USGS, Open File Rep.,76-67.
- Nakamura, Y. (1989):** A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute*, 30, 25-33.
- Padovan, B. (2011):** Određivanje optimalnih postupaka seizmičkih istraživanja za karakteristične inženjerskogeološke modele. Magistarski rad, RGN fakultet, Zagreb.
- Park, C. B. (1995):** Characterization of geotechnical sites by multichannel analysis of surface waves. *Proceedings of the Korean Ground Society, 95th annual meeting, Seoul, Korea.*
- Park, C.B., Miller, R.D., & Xia, J. (1999):** Multi-channel analysis of surface waves (MASW). *Geophysics*, 64/3, 800-808.
- Rohdewald, S. R. (1999):** Rayfract manual
- Sabetta, F., Pugliese, A. (1987):** Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records. *Bull. seism. soc. Am.*, Vol. 77., 1491-1513.
- Sponheuer, W. (1960):** Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. *Freiberger Forschungshäfte, C88, Akademic Verlag, Berlin.*

## Utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta za potrebe vodosnabdijevanja Mokrog, opština Pale, Republika Srpska

IVANKOVIĆ BRANKO, BEGOVIĆ PETAR,

### Apstrakt

Podzemne vode se karakterišu sa dva osnovna parametra i to kvalitet i kvanitet. Cilj izrade zona sanitarne zaštite je očuvanje ova dva parametra. Prema postojećoj zakonskoj regulativi definisana je izrada Programa zona sanitarne zaštite za sva izvorišta koja se koriste za javnu upotrebu. Međutim, ovim Pravilnikom je definisan jedan kriterijum za određivanje zona, a to je vrijeme transporta, a propisane su i minimalne udaljenosti pojedinih zona sanitarne zaštite. Ovaj kriterijum je primjenljiv u uslovima zahvatanja podzemnih voda iz zbijenog tipa izdani.

Vodosnabdijevanje Mokrog se obavlja preko 4 karstna izvora u planinskom dijelu Romanije. Izvorišta koja se nalaze u karstnim područjima zahtjevaju drugačiji pristup u određivanju zona sanitarne zaštite. Razlog tome je heterogenost kartne izdani i specifičani uslovi prihranjivanja, cirkulacije i dreniranja iste.

U ovom radu je prezentovana metodologija i kriterijumi koji su korišćenje prilikom izrade zona sanitarne zaštite izvora koji se koriste za vodosnabdijevanje Mokrog, opština Pale.

**Ključne riječi.** Zone sanitarne zaštite, karstni izvor, hidrogeologija

### 1. UVOD

Mokro se snabdijeva vodom sa izvorištima Božića Vrelo, Javor, Musina Česma i Sedra koji se nalaze u planinskom dijelu Romanije. Glavni cilj izrade Programa o zonama sanitarne zaštite je trajno održavanje kvaliteta podzemnih voda u cilju održivog korišćenja istih. Sastavni dio Programa sanitarne zaštite izvorišta je i Elaborat o rezervama podzemnih voda na nivou C<sub>1</sub> rezervi podzemnih voda prema svim raspoloživim podacima kao i katastar zagađivača u široj okolini izvorišta kojima se vrši snabdijevanje Mokrog.

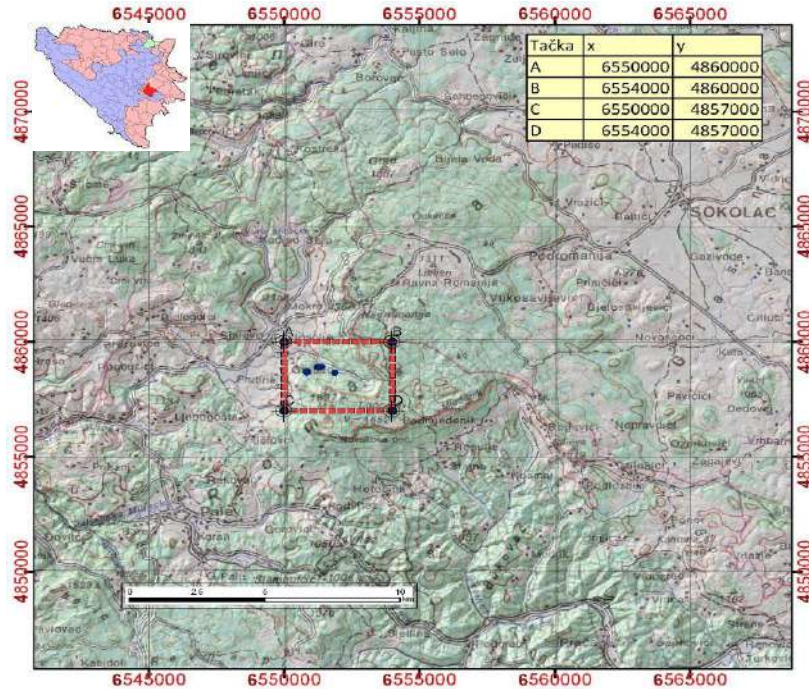
Važno je napomenuti da su istraživanja na izvorištu koje je predmet ovog Rada praktično počela sedamdesetih godina prošlog vijeka kada je ovo izvorište pušteno u funkciju. Trenutno se vodom iz izvorišta snabdijeva blizu 2750 stanovnika i oko 55 privrednih objekata sa osnovnom školom.

Predmetno područje se nalazi u istočnom dijelu opštine Pale u planinskom dijelu opštine (slika 1). Nadmorska visina izvorišta je oko 1200mnv.

U okolini izvorišta "Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra" u Mokrom, nije registrovana privredna proizvodnja u vidu farme ili fabrike što je povoljno sa aspekta zaštite ovog područja. Imajući u vidu da je eksploatacija šume jedina privredna aktivnost u području izvorišta nije registrovana ni jedna pilana koja bi svojim radom mogla da utiče na izvorište i podzemne vode koje se eksploatišu na predmetnim izvorištima.

---

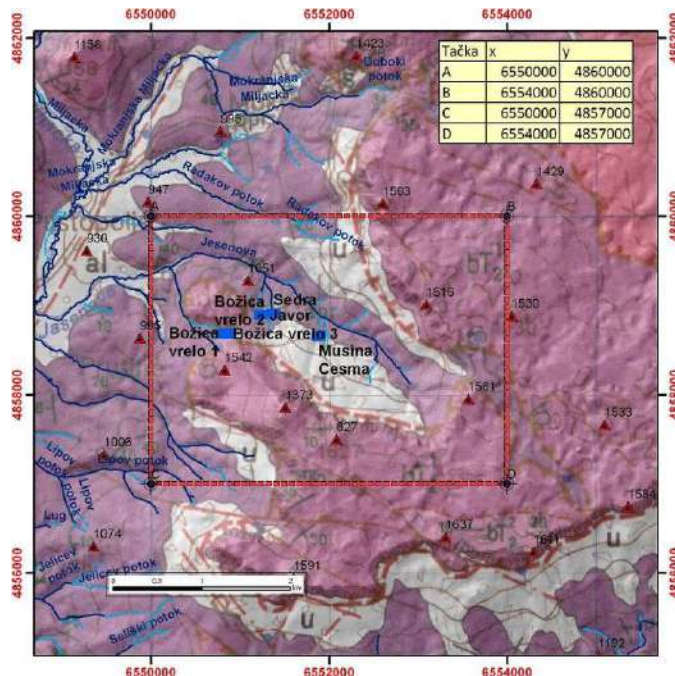
<sup>1</sup> Ibis-inženjering d.o.o., Omladinska 28, 78 000 Banja Luka, e-mail: [info@ibis.ba](mailto:info@ibis.ba), tel/fax: 051 213 813



Slika 1. Geografski položaj izvorišta Mokro sa prikazom istražnog prostora

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Istražno područje se u nalazi na listu OGK Prača 1 : 100 000. Teren se odlikuje složenom geološkom i tektonskom građom, sa više litoških članova različite starosti i sastava. Najzastupljeniji su mezozojski tj. trijaski sedimenti preko kojih su istaloženi kvartarni sedimenti (aluvion, sipari, deluvijalno-proluvijalni zastori). Geološka građa šireg područja istraživanja je prikazana na slici 2. Geološke karakteristike terena su obrađene na osnovu OGK list Prača sa pripadajućim tumačem i na osnovu ostale dostupne dokumentacije i detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja terena.



Slika 2. Geološka karta šireg istražnog prostora

**Legenda:** al-aluvion; u- urnisi i sipari; d-deluvijalni nanosi;dpr-deluvijalno-proluvijalni zastori; pr-proluvijum; aT<sub>2</sub><sup>1</sup>-bankoviti i masivni krečnjaci i brečasti krečnjaci Han Buloga; bT<sub>2</sub><sup>2</sup>-pločasti rožnaci, krečnjaci, tufovi i glinci; bT<sub>2</sub><sup>1</sup>-bankoviti i masivni krečnjaci; aT<sub>1</sub>-subgrauvakni i kvarcni pješčari, alevroliti i glinci; dT<sub>2,3</sub>-masivni i sprudni krečnjaci.



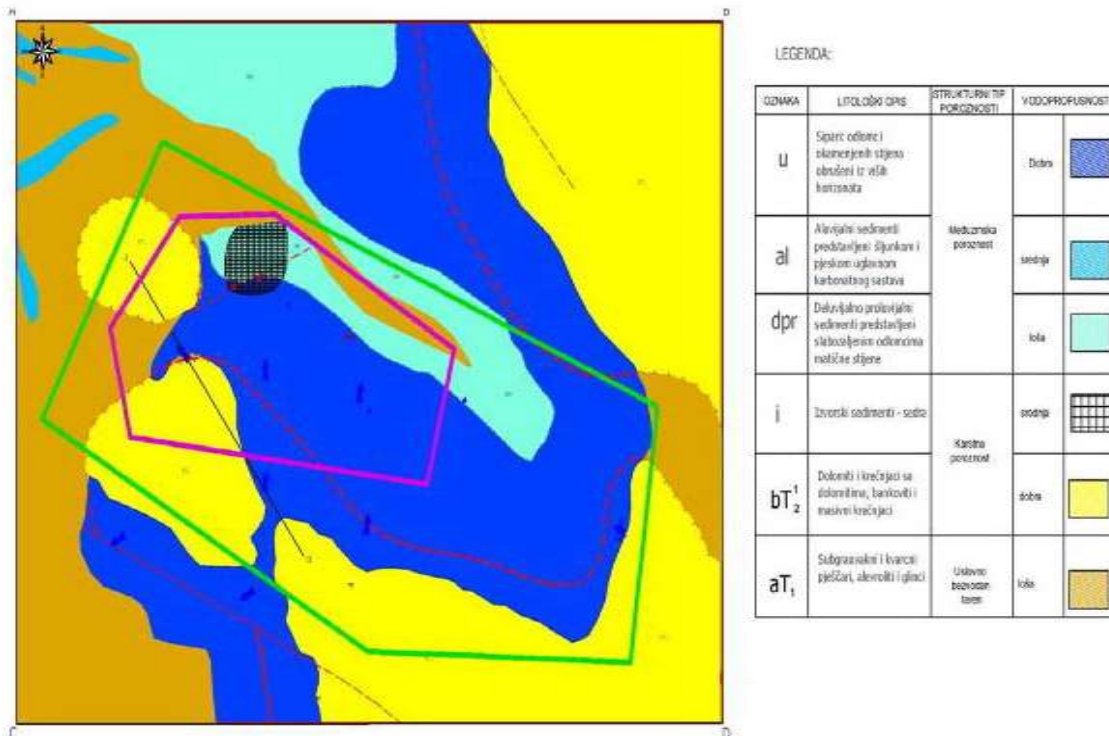
## HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ZASTUPLJENIH TIPOVA IZDANI

Za prikazivanje hidrogeoloških karakteristika terena na području istraživanja, neophodno je bilo najprije prikupiti i analizirati rezultate ranijih geoloških i hidrogeoloških istraživanja u bližoj i široj okolini, opisati kartirane jedinice kao i dati njihov prostorni položaj u tom terenu.

S obzirom, na raznolikost prisutnih stijenskih masa u pogledu litološkog sastava, strukturnog tipa poroznosti i dr., na istražnom terenu je izdvojeno više tipova izdani.

Na osnovu svih do sada iznijetih činjenica, tipa poroznosti i filtracionih karakteristika stijenskih masa na istražnom području, izdvojeni su sljedeći tipovi izdani (slika 3):

- **zbijeni tip izdani veće izdašnosti** u okviru sipara i urvina;
- **zbijeni tip izdani srednje izdašnosti** u okviru aluvijalnih sedimenata;
- **zbijeni tip izdani manje izdašnosti** u okviru deluvijalno-proluvijalnih zastora;
- **karstni tip izdani** u okviru trijaskih krečnjaka i dolomita;
- **uslovno bezvodni dijelovi terena** u okviru pješčara, alevrolita i glinaca trijaskog starosti ( $T_1$ ).



Slika 3. Hidrogeološka karta izvorišta Mokro

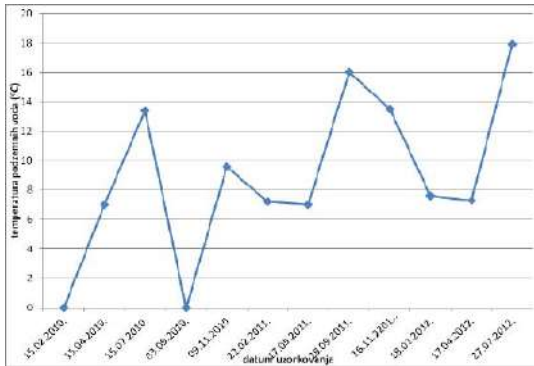
### 3. HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA IZVEDENA ZA POTREBE IZRADE ELABORATA O REZERVAMA I PROGRAMA ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Kao što je u uvodu rečeno ovo izvorište je u funkciji od 1982 godine kada je se koristilo za vikend naselje Mokro, da bi nakon ratnih dešavanja došlo do povećanja broja stanovnika i vodovodne mreže, zatim je 2003 godine ovaj vodovod prešao u nadležnost ViK Pale. Određen obim istraživanja izveden je u toku izrade samog programa tj. u toku 2012. godine.

**Hidrogeološka istraživanja izvedena u periodu 1983-2003 godine.** Period od 1983-2003 godine je period kad je ovo bio mjesni vodovod i pod hidrogeoloških istraživanjima u ovom periodu se smatraju mjerenja kapaciteta izvora i izrada fizičko-hemijskih analiza. Ova istraživanja nisu sistematski i

kontinulano izvođenja i podaci nisu bili dostupni. U ovom periodu izvršena je i izrada kaptaža na izvorima Božića Vrelo, Musina Česma i Javor ali ne postoji prateća tehnička dokumentacija u vezi ovih kaptaža (izgled kaptaže, elemnetni iste i ostalo). Količine i kvalitet vode u ovom peridou su zadovoljavale potrebe stanovnika i korisnika ovih voda.

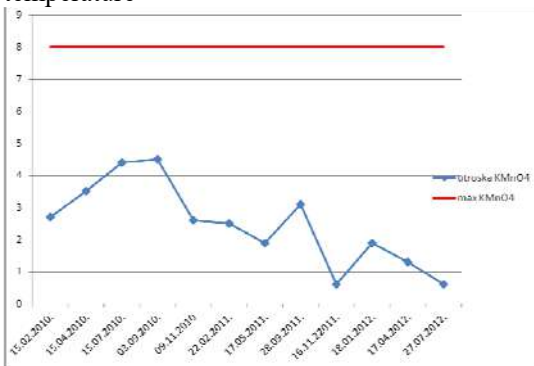
**Hidrogeološka istraživanja u periodu od 2004-2012. godine.** Kao što je rečeno od 2003 godine upravljanje nad ovim mjesnim vodovodom prelazi u nadležnost ViK Pale i od tada se vrše redovna kontrolisanja kvaliteta podzemnih voda kroz izradu osnovnih fizičko-hemijskih analiza a rezultati ovih analiza su prikazani na slici 4-9.



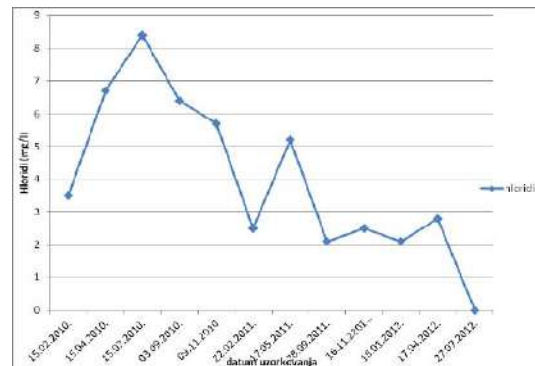
Slika 4. Dijagram zavisnosti vremena i temperature



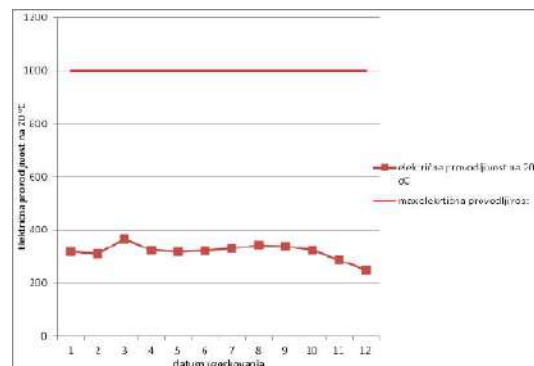
Slika 5. Dijagram zavisnosti vremena i pH



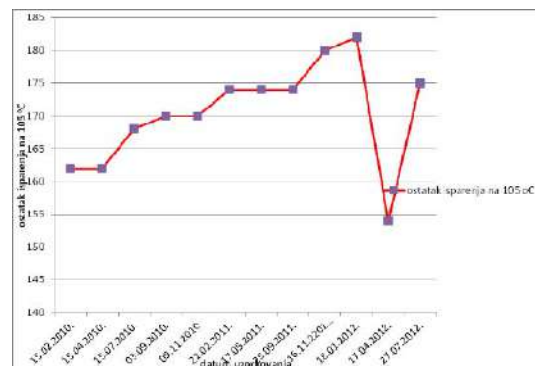
Slika 6. Dijagram zavisnosti vremena i utroška KMnO<sub>4</sub>



Slika 7. Dijagram zavisnosti vremena i koncentracije jona hlorida



Slika 8. Dijagram zavisnosti vremena i električne provodljivosti



Slika 9. Dijagram zavisnosti vremena i ostatka isparenja

Pored ovih hidrohemijskih ispitivanja vrši se i povremeno mjerenje kapacitet izvorišta. Prema ovim podacima dobijenim od strane predstavnika ViK Pale vršena su mjerenja izdašnosti izvora i ona su (period od 17.1.2009-26.1.2009 i od 22.8.2009-13.10.2009):

- Izvor Javor sa izvorom Musina Česma  $Q_{\min}=6,5$  l/s
  - Javor  $Q_{\min}=5,0$  l/s
  - Musina Česma  $Q_{\min}=1,5$  l/s
- Izvor Božića Vrelo  $Q_{\min}=8,0$  l/s

Prema podacima mjerenja izvedenih u periodu od 12.8.2010-17.8.2010. rezultati mjerenja izdašnosti su sljedeći (prema podacima ViK Pale):

- Izvor Javor sa izvorom Musina Česma  $Q_{\min}=5,5$  l/s
  - Izvor Javor  $Q_{\min}=4,5$  l/s
  - Izvor Musina Česma  $Q_{\min}=1,0$  l/s
- Izvor Božića Vrelo  $Q_{\min}=8,0$  l/s

Prema istom izvoru podataka prosječna izdašnost sva tri izvora je oko 17-20 l/s.

Mjerenja su takođe vršena i na izvoru Sedra koji treba da se stavi u sistem vodosnabdjevanja i prema rezultatima mjerenja od 2006-2012 godine kapaciteti ovog izvora su:

- Izvor Sedra  $Q_{\min}=2$  l/s  
 $Q_{pr}=2,2-4,4$  l/s

**Hidrogeološka istraživanja u 2012. godini.** Kao što je u uvodu rečeno 2012. godine opština Pale je pokrenula kao investitor inicijativu izrade Program sanitarne zaštite vode na izvorištima Božića Vrelo, Javor, Musina Česma i Sedra u Mokrom. Tom prilikom je definisan projektni zadatak i jedan od aktivnosti je bila izvođenje dodatnih hidrogeoloških istraživanja radi utvrđivanja zona sanitarne zaštite izvorišta. Kao prva faza istraživanja izvršeno je prikupljanje, analiza i reinterpetacija postojećih podataka. Tom prilikom su prikupljene topografske, geološke i hidrogeološke karte uže i šire zone izvorišta u različitim razmjerama.

U toku avgusta 2012. godine je izvedeno hidrogeološko rekognosciranje terena i tom prilikom su obišeni svi izvori koji su predmet ovog rada. Zatim su pripremljene terenske geološke i hidrogeološke karte za narednu fazu istraživanja. U toku septembar 2012. izvršeno je detaljno hidrogeološko kartiranje šire zone istraživanja. Kartiranje je izvedeno metodom praćenja kontakta i obilazaka svih hidrogeoloških objekata i pojava. Kartiranje uže zone je izvedeno u razmjeri 1:1.000 a rezultati su prikazani na hidrogeološkoj karti u razmjeri 1:5.000 slika 6.

U toku hidrogeološkog kartiranja vršena je valorizacija terena tj. izrada katastra potencijalnih zagađivača. Tom prilikom izvršena je klasifikacija i kategorizacija postojećih i potencijalnih zagađivača. U toku izrade programa zona sanitarne zaštite izvršeno je uzorkovanje i izrada skraćenih fizičko-hemijskih i mikrobioloških analiza vode sa sva 4 izvora i uzorkovanje i izrada jedne kompletne fizičko-hemijske analize "V" obima sa izvora Božića Vrelo. U tabeli 1. su prikazani rezultati osnovnih fizičko-hemijskih analiza sa izvora Božića Vrelo, Javor, Sedra i Musina Česma.

**Tabela 1.** Rezultati fizičko-hemijskih ispitivanja (avgust-septembar 2012)

| Parametar                         | Jedinica mjere | Božića Vrelo | Javor     | Sedra     | Musina Česma | Referentna vrijednost |
|-----------------------------------|----------------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------------------|
|                                   |                | 31.8.2012    | 14.9.2012 | 31.8.2012 | 31.8.2012    |                       |
| Temperatura*                      | °C             | 7,1          | 8,7       | 6,9       | 7,3          | -                     |
| Boja                              | °Co-Pt skala   | bez          | bez       | bez       | bez          | ≤5                    |
| Miris                             | -              | bez          | bez       | bez       | bez          | bez                   |
| Ukus                              | -              | bez          | bez       | bez       | bez          | bez                   |
| Mutnoća                           | NTU            | 0,15         | 0,25      | 0,05      | 0,23         | ≤1                    |
| pH                                | pH             | 7,72         | 7,94      | 7,68      | 7,46         | 6,8-8,5               |
| Utrošak KMnO <sub>4</sub>         | mg/l           | 0,60         | 0,90      | 0,90      | 0,90         | ≤8                    |
| Amonijak                          | mg/l           | <0,03        | <0,03     | <0,03     | <0,03        | ≤0,1                  |
| Hloridi                           | mg/l           | <5,0         | <5,0      | <5,0      | <5,0         | ≤200                  |
| Nitriti (NO <sub>2</sub> )        | mg/l           | < 0,03       | < 0,03    | < 0,03    | < 0,03       | ≤0,03                 |
| Nitrati (NO <sub>3</sub> )        | mg/l           | 1,94         | 2,29      | 2,36      | 0,92         | ≤50,0                 |
| Gvožđe (Fe)                       | mg/l           | < 0,05       | -         | < 0,05    | < 0,05       | ≤0,3                  |
| Ostatak isparenja na 105 °C       | mg/l           | 150          | 169       | 150       | 128          | -                     |
| Električna provodljivost na 20 °C | µScm-1         | 250          | 281       | 251       | 213          | ≤1000                 |

Prema ovim rezultatima utvrđene vrijednosti parametara su u granicama referentnih vrijednosti prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. glasnik br.40/03.

U toku hidrogeološkog kartiranja je vršeno mjerenje izdašnosti izvora uz pomoć suda poznate zapremine. Tom prilikom su dobijene sljedeće vrijednosti:

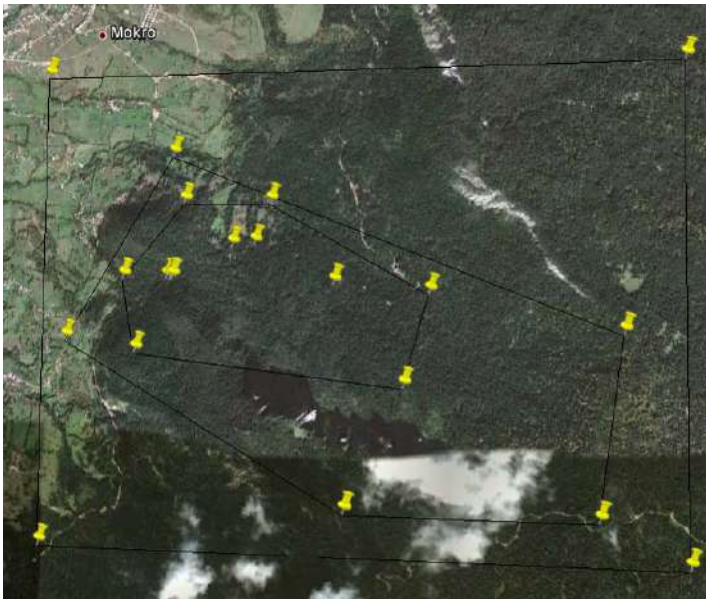
- Izvor Javor sa izvorom Musina Česma
  - Izvor Javor  $Q_{\min}=5,0$  l/s
  - Izvor Musina Česma  $Q_{\min}=4,0$  l/s
- Izvor Božića Vrelo  $Q_{\min}=1,0$  l/s
- Izvor Sedra  $Q_{\min}=6,0$  l/s
- izvor Sedra  $Q_{\min}=1,5$  l/s

Imajući u vidu da je mjerenje izvršeno u periodu hidrološkog minimuma može se reći da su ovo i minimalne količine podzemnih voda koje se mogu zahvatiti na ovim izvorima.

#### **4. POSTOJEĆI I POTENCIJALNI ZAGAĐIVAČI IZVORIŠTA BOŽIĆA VRELO, JAVOR, MUSINA ČESMA I SEDRA U MOKROM, OPŠTINA PALE**

U okviru utvrđivanja zona sanitarne zaštite izvorišta Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra u Mokrom, opština Pale neophodno je definisati i katastarski evidentirati sve potencijalne i postojeće zagađivače tj. izvore zagađenja.

Cilj katastra je da realno sagleda i registruje relevantne izvore zagađivanja, te da kroz mjere zaštite izvorišta umanjí njihov postojeći ili potencijalni negativni uticaj na kvalitet podzemnih voda koje se koriste za ljudsku upotrebu.



Katastar uključuje postojeće kao i potencijalne izvore zagađivanja.

Na slici 10 data je pozicija istražnog područja i zona sanitarne zaštite na satelitskom snmku gdje se takođe vidi daje izvorište formirano u šumskom području.

**Slika 10.** Satelitski snimak sa pozicijom zona sanitarne zaštite i istražnog područja

Katastar je izrađen na osnovu terenskog kartiranja, analize postojeće dokumentacije (postojećih elaborata i projekata, satelitskih snimaka) kao i na osnovu svih raspoloživih podataka.

Na širem području izvrišta „Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra u Mokrom,“ izdvojenie su dvije grupe izvora zagađenja prema prostornom djelovanju i to:

**Linijski izvori zagađivanja.** Od linijskih izvora zagađivanja izdvajaju se saobraćajnice , tj lokalni nekategorisani putevi. Saobraćajnice nisu asfaltirane. Nasute su tucanikm bez rigola i vodonepropusnih kanala sa separatorima ulja i masti. Ovim saobraćajnicama prolaze traktori, kamioni i lokalni saobraćaj. Imajući u vidu rijetku (ne naseljeno) naseljeno područje ovaj vid zagađenja predstavlja najveći izvor zagađenja.

**Površinski ili difuzni izvori zagađivanja.** Registrovani difuzni izvori zagađivanja uglavnom su svrstana u grupu organskih zagađivača prema svom porijeklu. Predmetno izvorište formirano je u šumi. Šuma svojim prirodnim procesima vrši produkciju organskog zagađenja koje može da degradira kvalitet podzemnih voda. S obzirom da je šuma u tom dijelu starija od samog izvorišta ne očekuje se pogoršavanje kvaliteta podzemnih voda u odnosu na postojeće stanje kvaliteta voda. Skreće se pažnja da debalans prirodne ravnoteže formirane između šumskog zemljišta i podzemnih voda može da se naruši eksploatacijom šuma u neposrednoj zoni izvorišta kao i u zoni rasprostranjenja izdani podzemnih voda koje se eksploatišu na predmetnom izvorištu. S tim u vezi, naglašava se da zone sa golom sječom su potencijalno erodovano tlo čime se otkriva izdan podzemnih voda i zagađenje se direktno može infiltrirati u izdan podzemnih voda. Zone sa registrovanom sječom koje u vezi sa morfologijom terena i geološkom građom predstavljaju žarišta koja mogu dadegradiraju kvalitet podzemnih voda te se u tim područjima predviđaju mjere kojima bi se umanjio negativan uticaj na podzemne vode.

**Potencijalni zagađivači.** Program sanitarne zaštite izvorišta Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra u Mokrom, će dati jedan od ulaznih programskih elemenata budućem Prostornom planu opštine tako da će se mjere iz programa ugraditi u prostorni plan i u ostale strateške dokumente. Na taj nači će se predisponirati potencijalni zagađivači na ovom prostoru. Od mogućih potencijalnih zagađivača ističu se samo zagađenja u akcidentnim slučajevima ukoliko dođe do havarija u jednoj od predviđenih zona. Kako je područje ruralno sa rijetkom saobraćajnom infrastrukturom uglavnom makadamskom, tim područjem se ne transportuju opasne materije što će biti praksa i u budućem periodu. S tim u vezi, ne očekuju se veće akcidentne situacije u području izvorišta.

## 5. ZONE SANITARNE ZAŠTITE

### Kriterijumi za određivanje zona sanitarne zaštite

U hidrogeološkoj praksi je, za potrebe zaštite eksploatacionih objekata u prirodnim ili vještački nastalim uslovima, pored administrativnog određivanja tzv. zona sanitarne zaštite, potrebno definisati određene mjere koje odgovaraju stvarnim potrebama u rješavanju problematike zaštite u smislu ukupnog poznavanja i eksploatacije podzemnih voda.

Kompleksno definisanje uslova formiranja, pojavljivanja, odnosno isticanja podzemnih voda predmetnim izvorima, zahteva sagledavanje opštih i pojedinačno specifičnih uslova sredine u kojima te vode egzistiraju. Rezultati takve kompleksne analize i sinteze geoloških, odnosno hidrogeoloških i drugih uslova sredine, omogućavaju utvrđivanje svih neophodnih činjenica za propisivanje odgovarajućih mjera zaštite izvorišta u cilju očuvanja kvaliteta podzemne vode.

Svaki od kriterijuma na svoj specifičan način doprinosi sagledavanju uslova formiranja, egzistiranja i isticanja podzemnih voda u izvorištima, ali u isto vrijeme, oni su neodvojivi jedan od drugog u pogledu sagledavanja ukupnih hidrogeoloških prilika.

**Geomorfološki kriterijum.** U okviru ovog rada, date su generalne geomorfološke karakteristike područja istraživanja, sa naznačenim osnovnim obilježjima faktora i procesa koji učestvuju u oblikovanju reljefa. Fluvijalni proces, pojave jaružanja i spiranje, daju osnovni ton u oblikovanju terena u zoni predmetnog izvorišta, a naročito karstni proces u zoni izvorišta „Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra“ u Mokrom. Intenzitet ovih procesa je u direktnoj vezi sa geološkom građom terena, položajem erozionog bazisa i klimatskim karakteristikama. Jače aktivnosti osipanja konstatovane su neposredno iznad samih kaptaža koje su formirane u nožičnom dijelu sipara. Nagib terena, s obzirom, na ranjivost podzemnih voda je u direktnoj vezi sa oticajem sa terena. Tako su tereni sa manjim nagibom terena podložni sporijem oticaju sa terena, a potencijalno zagađenje se brže odnosno više infiltrira u tlo, a zatim u podzemne vode. Preme ovom kriterijumu teren sa manjim nagibom je ranjiviji u odnosu na teren sa većim nagibom. Transport materijala se odvija u periodu intenzivnijeg izlučivanja padavina preko formiranih stalnih ili povremenih vodotoka ka hipsometrijski nižim dijelovima terena, a deponovanje istog najčešće u vidu proluvijalnih lepeza ili proluvijalno-deluvijalnih naslaga.

**Hidrološki kriterijum.** Znatna uticaja na uslove zaštite podzemnih voda na području izvorišta Mokra, (kao i na uslove formiranja i pojavljivanja) imaju elementi hidrološkog režima. Najveći stalni vodotok Jasenova koji protiče nizvodno od predmetnih izvorišta sa karakterističnim režimom, koji je uslovljen hidrometeorološkim karakteristikama i reljefom terena, što važi i za ostale površinske tokove. U toku ljetnjeg sušnog perioda, skoro svi površinski tokovi, osim glavnih, u gornjem toku presušuju, dok za vreme jesenjih kiša i u periodu proljećnog topljenja snijega, imaju maksimalne proticaje. Ovo je, svakako, posljedica prihranjivanja na račun izvora, odnosno, podzemnih voda. Korita tokova su samo na pojedinim mjestima u gornjem dijelu sliva duboko usječena u teren sa relativno strmim dolinskim stranama, dok su u središnjem toku one znatno blaže, što je svakako, rezultat geološke građe i tektonike. Bujični karakter tokova omogućava transport raznih otpadnih materijala iz gornjeg toka, tj. uzvodno od izvorišta, što, takođe, predstavlja dodatnu sezonsku prijetnju kvalitetu podzemnih voda.

**Geološki kriterijum.** Neodvojivi od prethodno pomenutih, geološki kriterijumi su analizirani sa aspekta uticaja pojedinih zastupljenih litoloških članova na području istraživanja i njihovog međusobnog položaja i tektonskog odnosa na uslove formiranja i isticanja podzemnih voda. Već je istaknuto da u geološkoj građi šire i uže okoline istražnog terena učestvuju krečnjaci, laporoviti krečnjaci, laporci, laporovite gline, pješčari, pjeskovi neogene starosti i aluvijalne naslage šljunkova, pjeskova i glina koji, svaki na svoj način, učestvuju u formiranju fizičkih i hemijskih karakteristika podzemnih voda. Najvažniji geološki kriterijum koji je imao ulogu u definisanju oblika i položaja zona sanitarne zaštite jeste otvorenost krečnjačkih naslaga, te pokrivenost siparom. Primarna zona

isticanja u slučaju izvorišta Mokro je pokrivena siparom tako da se po rubnom dijelu sipara javljaju stalnai povremena vrela zavisno od hidrološkog perioda godine. Poznavanje tektonskih karakteristika u široj okolini područja istraživanja, predstavlja jedan od neophodnih preduslova za realizaciju ukupnih mjera preventivne zaštite podzemnih voda na području istraživanja. Definisane su glavne rasjedne strukture koje su od posebnog značaja za cirkulaciju i isticanje karstnih izdanskih voda. Očigledno je da rasedne strukture omogućavaju infiltraciju značajnih količina površinskih i voda od padavina. U dubljim, a naročito u plićim delovima terena, omogućena je intenzivna cirkulacija podzemnih i površinskih voda.

### **Hidrogeološki kriterijum.**

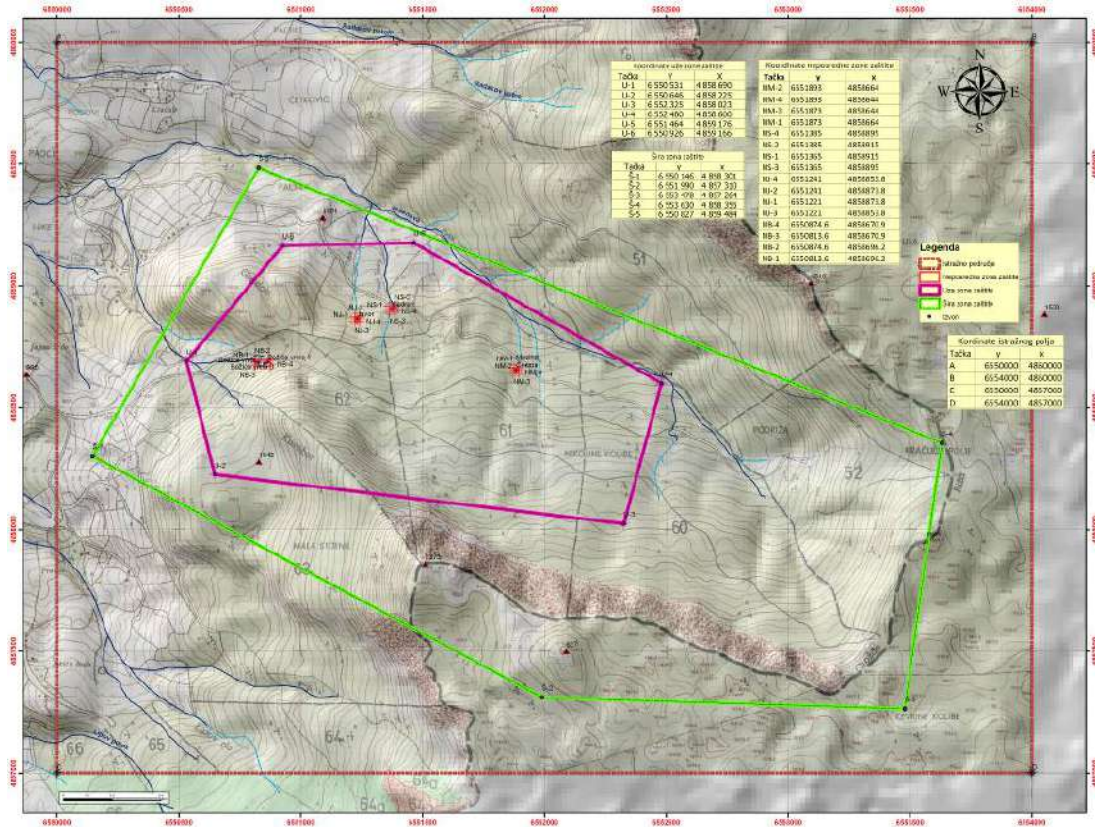
Kao najvažniji od svih pomenutih kriterijuma za pravilnu ocjenu uslova i načina trajnog očuvanja kvaliteta podzemnih voda na području istraživanja, analiziran je hidrogeološki kriterijum, odnosno uloga i značaj pojedinih litoloških formacija u formiranju karstne izdani. Trijaski krečnjaci su u ovom slučaju, sa hidrogeološkog aspekta najznačajniji. Naime u njima su akumulirane značajne količine kvalitetnih prirodnih podzemnih voda. Vode iz krečnjaka ističu ispod sipara kojiima ulogu tranzitnog kolektora kojim se kompenzuju oscilacije karstnog vrela. O značajnoj ulozi na formiranje i isticanje podzemnih voda istražnog terena u drugim stijenskim masama, u ovom radu se neće govoriti, s obzirom da je akcenat stavljen na postojeće izvore podzeme vode koji su u funkciji vodosnabdijevanja Mokrog.

### **Zakonski kriterijum za izdvajanje zona sanitarne zaštite.**

Pravilnikom o mjerama zaštite, načinu određivanja i održavanja zona i pojaseva sanitarne zaštite, područja na kojima se nalaze izvorišta, kao i vodnih objekata i voda amjenjenih ljudskoj upotrebi (Sl.gl. RS 07/03). definisan je način definisanja zona sanitarne zaštite kako slijedi: Zona neposredne zaštite jeste tačno određena, omeđena i ograćena zemljišna površina, sa svim rastinjem na njoj, kao i na njoj postavljeni, zahvatni objekti, pumpna postrojenja, rezervoari, polja i objekti za prihranjivanje, trafo stanice, hlorne stanice, objekti za održavanje i upravljanje sistemom, prilazni i unutrašnji putevi i drugi objekti koji služe neposredno izvorištu, a koja se određuje tako da odgovara vremenu toka podzemne vode od 7 (sedam) dana do vodozahvatnog objekta najbližeg periferiji te površine, s tim da najmanja udaljenost granice zone od najbližeg vodozahvatnog/vodo objekta ne može biti manja od 50 metara. U izuzetnim slučajevima, gdje je zahvat iz izvorišta do 5 l/sek. (pet litara u sekundi), ukoliko se koriste vode za piće u duboko bušenom bunaru, ili kaptiranom izvorištu, dozvoljava se i kraće odstojanje granice zaštitne zone od najbližeg vodozahvatnog objekta, koje ne može biti manje od 10 metara. Zona uže zaštite jeste tačno određena i omeđena zemljišna površina, sa na njoj postavljenim objektima, koji nisu isključivo vodoprivredni i u te svrhe izgrađeni, a koji ispunjavaju uslove za funkcionisanje koji su propisani ovim pravilnikom, kao i prilaznim i unutrašnjim putevima i drugim objektima koji služe neposredno izvorištu, koja zonu određuje tako da odgovara vremenu toka podzemne vode od 90 dana do vodozahvatnog objekta najbližeg periferiji te površine, s tim da najmanja udaljenost vanjske granice zone od vanjske granice Zone neposredne zaštite, ne može biti manja od 250 metara. Za izuzetne slučajeve, primjenjuje se proporcionalno utvrđena udaljenost u odnosu na Zonu neposredne zaštite, a koja ne može biti kraća od 20 metara. Zona šire zaštite jeste tačno određena i omeđena zemljišna površina, sa na njoj postavljenim objektima, koji nisu isključivo vodoprivredni i u te svrhe izgrađeni, a koji ispunjavaju uslove za funkcionisanje koji su propisani ovim pravilnikom, kao i prilaznim i unutrašnjim putevima i drugim objektima koji služe neposredno toj zoni, koja zonu određuje tako da odgovara vremenu toka podzemne vode od 180 dana do vodozahvatnog objekta najbližeg periferiji te površine, s tim da najmanja udaljenost vanjske granice zone od vanjske granice. Uže zone zaštite, ne može biti manja od 200 metara. Za izuzetne slučajeve za određivanje Zone šire zaštite, primjenjuje se proporcionalno utvrđena udaljenost u odnosu na Zonu neposredne zaštite, a koja ne može biti kraća od 50 metara.

## Zona sanitarne zaštite izvorišta Mokro

Imajući u vidu, sve kriterije te rezultate provedenih istraživanja definisane su zone sanitarne zaštite. Zone sanitarne zaštite odražavaju realnu sliku uslova na terenu i ispunjavaju svrsishodnost same zaštite izvorišta Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra u Mokrom. Na karti zona sanitarne zaštite na slici 11 dat je prikaz zona sanitarne zaštite. Zone sanitarne zaštite definisane su kompilacijom svih raspoloživih kriterija koji su ranije opisani, a imaju direktan uticaj na podložnost zagađenju izdanih voda izvorišta Božića vrelo, Javor, Musina česma i Sedra u Mokrom.



Slika 11. Zona sanitarne zaštite izvorišta Mokro, opština Pale

## 6. ZAKLJUČAK

Svi raspoloživi podaci dosadašnjih istraživanja su integrisani i kao finalni rezultat urađen je ovaj rad koji definiše Zone sanitarne zaštite vode na izvorištima Božića Vrelo, Javor, Musina Česma i Sedra u Mokrom, opština Pale.

Sintezom i analizom svih rezultata ističemo slijedeće zaključke:

- 1) Izvorište Božića Vrelo, Javor, Musina Česma i Sedra u Mokrom raspolaže sa 11,25 l/s rezervi podzemnih voda C<sub>1</sub> kategorije.
- 2) Kvalitet podzemnih voda je vrlo visok čak i bez ikakvog tretmana kako po pitanju hemijskog, tako i po pitanju mikrobiološkog sastava.
- 3) Izvori koji su kaptirani za potrebe vodosnabdijevanja Mokrog su gravitacionog tipa, sekundarna zona isticanja je formirana u siparima i urvinama, a pretpostavka je da je primarna



zona isticanja iz trijaskih krečnjaka i dolomita i u trenutnom režimu eksploatacije omogućavaju maksimalnu zaštitu podzemnih voda u prirodnom stanju.

- 4) Analizom potencijalnih i postojećih izvora zagađenja nisu konstatovani ozbiljniji izvori zagađenja što daje sigurnost u održivo korišćenje ovog obnovljivog resursa.
- 5) Predložene zone sanitarne zaštite predstavljaju realnu situaciju na terenu i svojim sprovođenjem omogućavaju održivo korišćenje podzemnih voda.

Prilikom utvrđivanja zona sanitarne zaštite korišćenja je višeparameterska analiza da bi se dobile što realnije zone sanitarne zaštite koje na najbolji način oslikavaju stanje stvari na samom izvoristu.

#### **LITERATURA:**

- Ivanković B, Begović P, 2012: Program sanitarne zaštite vode na izvoristima Božića Vrelo, Javor, Musina Česma i Sedra u Mokrom, opština Pale
- Krešić N, Vujasinović S, Matić I, 2006: Remedijacija podzemnih voda i geosredine, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Stoilković D, 1999: Kategorizacija izvorista podzemnih voda prema osjetljivosti na zagađenje; Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja, knjiga 1, s. 157-162.
- Vujnović, L 1983: Karta i Tumač za OGK 1 : 100 000 list Prača, SGZ, Beograd
- Fondovska dokumentacija J.P. Vodovod i kanalizacija a.d. Pale, IBIS-inženjeringa Banja Luka i Instituta za građevinarstvo IG Banja Luka

## Osnove za analizu i procjenu rizika od pojava klizišta na cestama Tuzlanskog kantona

Dr sc AMIR JAHIĆ, dipl.inž.geol.

Direkcija cesta Tuzlanskog kantona  
amirjahic@yahoo.com

Dr sc DINKA PAŠIĆ-ŠKRIPIC, red.prof.  
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla  
dinkapasic@yahoo.com

Dr sc IZET ŽIGIĆ, red.prof.  
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla  
izet.zigic@untz.ba

### SAŽETAK

U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja uslova nastanka klizišta, kao i labilnih zona na regionalnim cestama Tuzlanskog kantona, sa ciljem analize i procjene rizika od pojave novih i reaktiviranja starih. Regionalne ceste protežu se kroz sve općine Tuzlanskog kantona. Složena geomorfološka i geološka građa područja ovog kantona, uslovlila je izgradnju cesta, uglavnom izradom zasjeka i nasipa, kao i njihov položaj u padinama, sa složenim horizontalnim i vertikalnim krivinama. Analizirana su 223 klizišta, koja su se zadnjih deset godina pojavila na jedanaest regionalnih cestovnih pravaca na području Tuzlanskog kantona. Svaka pojava klizišta ili labilne padine na izučavanom terenu je dokumentovana i obrađena, pri čemu su istražene geomorfološke, geološke, inženjerskogeološke, hidrogeološke i geomehaničke karakteristike istraživanog područja. Zbog složenosti geološke građe i veoma česte izmjenljivosti pojedinih litoloških članova, izvršeno je detaljno geološko kartiranje u području trasa regionalnih cesta. Višegodišnjim istraživanjima klizišta na cestama tuzlanskog regiona, pristupano je kroz upoznavanje geološke građe terena, hidrogeoloških i inženjerskogeoloških karakteristika terena, stanja cestovnih konstrukcija, kao i drugih bitnih elemenata u definisanju nestabilnih i labilnih dijelova terena na i oko trasa cesta. Otkriveni profili su kartirani, a karakteristični foto-dokumentovani, pri čemu su korišteni i podaci dobiveni kartiranjem bušotina i raskopa, na velikom broju klizišta koja su se javila na ovim cestama. Prilikom kartiranja, posebna pažnja posvećena je utvrđivanju hidrogeoloških, hidroloških i inženjerskogeoloških uslova, kao i antropogenih pojava bitnih za formiranje klizišta. Prvi korak u procjeni opasnosti od pojave klizišta na nekom području predstavlja priprema i izrada karte i katastra zabilježenih klizišta. Katastar je moguće izraditi sustavnim kartiranjem područja korištenjem različitih tehnika (terenskim istraživanjem, interpretacijom aerofoto snimki, evidentiranjem starih klizišta, ili na druge načine). Nakon toga se može pristupiti procjeni i analizi stanja i izradi karte osjetljivosti terena na klizanje, a sve u cilju smanjenja opasnosti od klizišta.

Urađene podloge i rezultati istraživanja poslužiti će za analizu i procjenu rizika od pojave klizišta na cestama Tuzlanskog kantona, sa ciljem blagovremenog poduzimanja mjera u cilju sprečavanja pojave novih klizišta, kao i kod planiranja rekonstrukcije dijelova cestovnih trasa.

Ključne riječi: klizište, rizik, hazard, labilne zone, planiranje radova, sanacione mjere.

Keywords: land, risk, hazard, unstable zone, work planning, restorative measures.

### UVOD

Niti su mala klizišta uvijek mali, a ni velika klizišta veliki problem, ali ono što im je zajedničko da predstavljaju opasnost za ljude i materijalna dobra, te da se uvijek javljaju tamo gdje čovjek zanemari neke od mnogih prirodnih faktora koji u sadejstvu s antropogenim, padinu čine stabilnom. Klizišta se pojavljuju u određenim geološkim sredinama pri odgovarajućim inženjerskogeološkim uslovima kada uticajni faktori dostignu svoju najvišu vrijednost. Da bi nastanak, razvoj i uticaj kliznih procesa i pojava na prirodu i infrastrukturne objekte shvatili, dokazali i pravilno intepretirali neophodno ih je

istraživati sa više aspekata, odnosno, potreban je multidisciplinarni naučni pristup u istraživanju, gdje bi bila zastupljena geološka, hidrogeološka, hidrološka, inženjerskogeološka, tektonska i druga posmatranja. Podaci dobiveni metodama istraživanja ovih naučnih disciplina koriste se za definisanje svojstava i karakteristika sredina u kojima klizišta nastaju ili mogu da nastanu, svojstava i karakteristika samih kliznih procesa i pojava, a sve u svrhu optimalnog odabira sanacionih mjera koje ujedno predstavljaju i krajnji cilj svakog istraživanja. Kartiranje i proučavanje padinskih područja kroz koje prolaze ceste, imaju za cilj da se izvrši zoniranje područja na kojima postoji opasnost od pojave klizanja i uradi karta osjetljivosti na klizanje, kao neophodna podloga za planiranje održavanja i rekonstrukcije cesta.

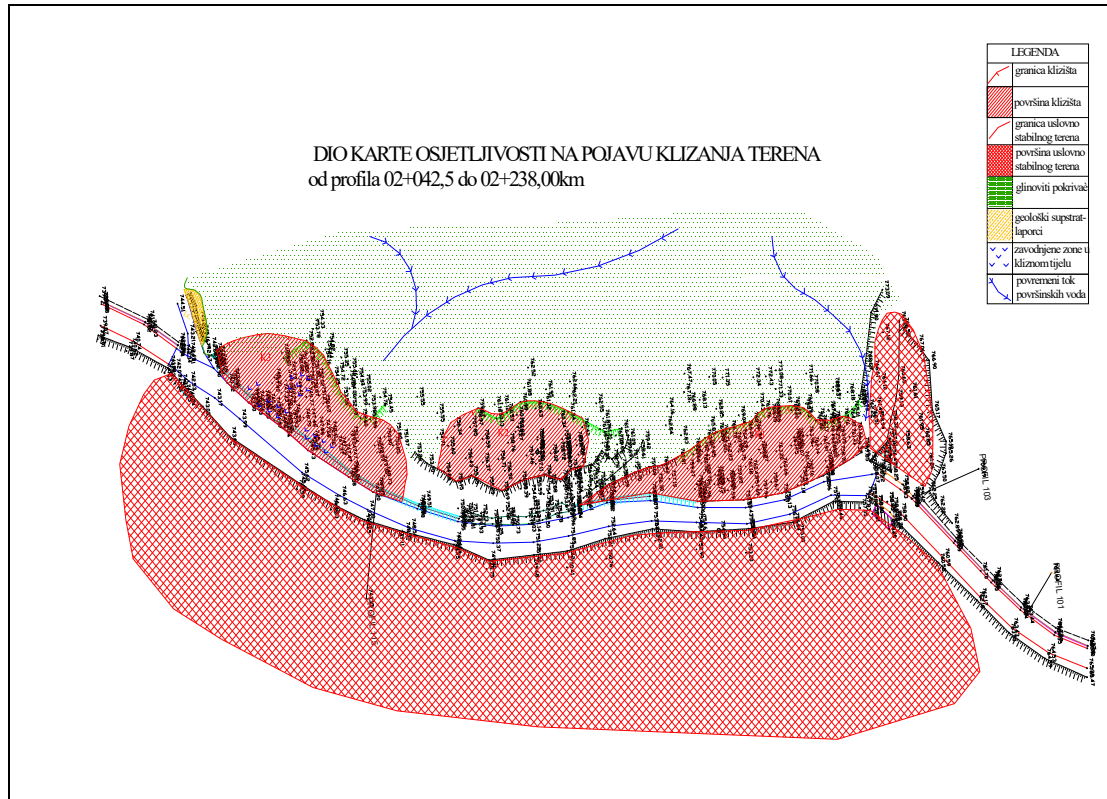
## OSNOVE ZA IZRADU KARATA OSJETLJIVOSTI I HAZARDA KLIZANJA

Klizišta na cestama Tuzlanskog kantona postala su uobičajena pojava, kako zbog prirodnih, tako i antropogenih uticaja koji su prisutni na ovom području. Sa željom da se veća naselja i opštine povežu sa većim industrijskim centrima ozbiljnija izgradnja asfaltnih puteva na ovom području započinje nakon Drugog svjetskog rata. Veći dio trasa rađen je po već postojećim makadamskim cestama, od kojih neke potiču još iz rimskog doba, a radovi na izgradnji ovih cesta izvođeni su bez većih istraživanja, oslanjajući se na iskustva graditelja. Određeni cestovni pravci urađeni su zadnjih dvadesetak godina, ali i na njima se zbog pojave klizišta javljaju problemi, kako u toku izgradnje, tako i u toku eksploatacije. U želji da se određeni pravci što prije urade, naročito u planinskim i padinskim područjima, ponekad je dolazilo do zapostavljanja neophodnih kompleksnih istraživanja radne sredine. Ponegdje su se ta istraživanja koncentrisala na samu trasu ceste bez sagledavanja sklopa terena kroz koji trasa prolazi, bez istraživanja šireg pojasa ceste i prirodnih uticajnih faktora na stabilnost ceste i padine preko koje prelazi trasa. Istraživanja klizišta i nestabilnih padina na cestama i padinama preko kojih prelaze cestovni pravci na području Tuzlanskog kantona, sistematski se provode zadnjih dvadesetak godina, pri čemu je stvorena značajna baza podataka o svim pojavama nestabilnosti cesta i okolnog terena, bilo da se radi o cestama regionalnog ili lokalnog značaja. Osim izrade katastarskih listova klizišta, utvrđivanja činjeničnog stanja u pogledu stanja održavanja ceste (propusti, potporne i drenažne konstrukcije i sl.), na odgovarajućim kartama nanose se i podaci o labilnim padinama oko putnih pravaca i vrši procjena relativne osjetljivosti na klizanje tih padina. Relativna osjetljivost na klizanje predstavlja mjeru o potencijalnoj opasnosti od klizanja određenog područja. Naravno, ovisno od djelovanja prirodnih i antropogenih uticaja, procjene se vrše u kontinuitetu i nemaju vremesko ograničenje posmatranja. U Federaciji Bosne i Hercegovine, nadležnost nad održavanjem i izgradnjom putnih pravaca, podijeljena na Federaciju, kantone i općine. Regionalne ceste na području Tuzlanskog kantona građi i održava nadležna kantonalna direkcija za ceste, gdje se i prikupljaju i sistematizuju svi podaci vezano za tematiku ovog rada. Dužina cestovne mreže na području Tuzlanskog kantona kojom upravlja Direkcija cesta Tuzla, iznosi oko 350 kilometara. Cestovni pravci djelimično su prekriveni tucaničkim materijalom, a većim dijelom asfaltnim zastorom. Bez obzira koji se od cestovnih pravaca analizira, vidljivo je da su u većoj ili manjoj mjeri ugroženi tj. podložni uticaju savremenih inženjersko-geoloških procesa i pojava, sa izraženim odronima i klizanjima terena.

Izučavanje stepena opasnosti od pojave klizišta, odnosno na stručnim i naučno zasnovanim očekivanjima pojave klizišta, zasniva se na geološkim i antropogenim uslovima određenog područja. Svaka nestabilnost padine, bez obzira što se javlja u istoj geološkoj sredini, ima svoje posebne specifičnosti, kako zbog uzroka koji su doveli do pojave klizanja, veličine, tako i zbog značaja obzirom na objekte koje ugrožava, te je zbog toga neophodno vršiti istraživanja kao da se radi o potpuno novom terenu. Iskustva dobivena na klizištima koja se javljaju na izučavanom području potvrđuju datu konstataciju, jer je puno primjera pojava klizišta na cestama koja se javljaju na vrlo malom rastojanju, u istoj geološkoj sredini, vrlo sličnog načina pojavljivanja, ali se istraživanjima pokazalo da su im različiti elementi, uzroci pojave, a time i uslovi sanacije. Dakle, osjetljivost na klizanje pojedine zone na istom području nije indentično i svaka zona se mora posebno istražiti i definisati. Čak i uslovima detaljnih istraživanja i nadzora, često je nemoguće sa apolutnom sigurnošću

predvidjeti opasnost od pojave procesa klizanja, zbog čega se i vrše procjene, odnosno utvrđuju elementi koji predstavljaju potencijal za pojavu klizišta.

Osjetljivost na klizanje predstavlja vjerojatnoću da će na nekom doći do pojave klizišta, a procjena se vrši na osnovu uslova koji vladaju na izučavanom lokalitetu. Mjesta na kojima je moguć nastanak klizišta označavaju se na kartama osjetljivosti na klizanje, pri čemu se ne pretpostavlja ni vrijeme niti veličina prostora koje će biti zahvaćeno klizanjem. Izučavanje i kartiranje područja na kojima su se u geološkoj prošlosti dogodila klizanja terena, čine osnovu za zaključivanje da je moguće da će, kod postojanja istih ili sličnih uslova koji su u prošlosti doveli do procesa klizanja, doći do ponovnog klizanja terena. Naravno, karte osjetljivosti na klizanje, odnosno karte hazarda klizanja ukazuju na osjetljivost terena na klizanje šireg područja, pri čemu svaka pojava klizanja kod projektovanja sanacija, mora biti predmet kompleksnih geoloških i geomehaničkih istraživanja.



Slika 1. Dio karte osjetljivosti na klizanje terena

Hazard klizanja predstavlja vjerovatnoću da će se klizište određene magnitude dogoditi u određenom vremenskom razdoblju na istraživanom području. Zoniranje hazarda klizanja omogućuje urbanistima i projektantima infrastrukturnih objekata (cesta, pruga, cjevovoda i sl.) dovoljan broj informacija o opasnosti od klizanja, a što u nekim situacijama može predstavljati odlučujući faktor kod donošenja određenih projektanskih rješenja.

Konceptualni model istraživanja urađen je prema zahtjevima metodologije zoniranja hazarda klizanja koji su definirali Carrara i dr., i ta metodologija predstavlja osnovu za istraživanja mogućnosti od pojave klizanja na regionalnim cestama Tuzlanskog kantona. Na svim regionalnim cestovnim pravcima izvršeno je kartiranje postojećih klizišta, definisani su geološki, nženjerskogeološki, hidrogeološki, hidrološki, morfološki i antropogeni faktori, kao i procjena uticaja ovih faktora na pojavu nestabilnosti područja oko, kao i samih cesta. U ovoj fazi istraživanja urađene su karte klizišta po pojedinim cestovnim pravcima Kantona, geološke i strukturne karte, hidrogeološke karte sa procjenama zavodnjivosti terena, karte vegetacijskog pokrivača, kao i morfološki elementi

područja cesta. Na slici 1. prikazan je dio karte na kojoj su naznačena područja sa klizištima i labilni dijelovi terena.

U slijedećoj fazi istraživanja i obrade podataka izvršiti će se klasifikacija područja na domene različitog stepena hazarda. Model osjetljivosti na klizanje zasnivat će se na primjeni analize uslovne vjerojatnoće na jedinicama jednakih uslova, a prema preporukama za određivanje uslovne vjerojatnoće koju je definirao Carrara (1995. god.).

## ZAKLJUČAK

Istraživanjem uslova nastanka klizišta na regionalnim cestama Tuzlanskog kantona, došlo se do zaključka o potrebi procjene osjetljivosti na klizanje područja cesta. Ceste, pruge i riječne obale trajno čuvaju znakove o postojanju klizišta u prošlosti. Znakovi mogu biti vidljivi na trupu saobraćajnice, (trajne i privremene sanacione mjere), kao i na padini ispod i iznad puta. Izradom karata osjetljivosti na klizanje moguće je planirati i blagovremeno intervenirati na području podložnom klizanju, čime se postiže jeftinije održavanje, a i povećava sigurnost na izučavanim cestama. Višegodišnja istraživanja nestabilnih i labilnih dijelova cestovnih pravaca, uslova i uzroka pojava klizanja, činila su osnovu za ovaj pokušaj stvaranja osnove za procjene hazarda i rizika od klizanja izučavanih područja.

Ovim radom autori su željeli i da ukažu na potrebu da se i kod nas počne primijenivati ova vrsta geoloških istraživanja.

## LITERATURA

- 1) A. Carrara, M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, GIS-based Techniques for Mapping Landslide Hazard. In A. Carrara, F. Guzzetti (eds), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1995, str. 135-175
- 2) A. Jahić., Uslovi stabilizacije klizišta na cestama nastalih antropogenim djelovanjem u složenim geološkim uslovima, doktorski rad, RGGF Tuzla, 2012.
- 3) A. Jahić., D. Pašić-Škripić., Stabilizacija trupa cesta i klizišta u ulovima visokog nivoa podzemnih voda, Zbornik radova RGGF Tuzla, Tuzla, 2010., str. 125-128.
- 4) A. Jahić., I. Žigić., D. Pašić-Škripić., geološka građa i zavodnjenost terena na dionici ceste R-458 Gornja Tuzla-Površnice, Zbornik radova RGGF Tuzla, 2010., str. 129-133,
- 5) Anderberg, M.R. Cluster Analysis for Applications (New York: Academic Press, 1973).
- 6) D.J. Varnes, Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice, UNESCO Press, Paris, 1984.
- 7) F. Guzzetti, F. Ardizzone, M. Cardinali, M. Galli, P. Reichenbach, M. Rossi, Distribution of Landslides in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Geomorphology, Vol. 96, Iss. 1-2, 2008, str. 105-122.
- 8) Hopkins, L.D. "Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation" in American Institute of Planning Journal, vol. 43 (1977), pp. 386-400.
- 9) S.H. Marsh, Landslide Hazard Mapping: Summary Report, BGS Technical Report WC/00/11, Keyworth, 2000, 25 str.
- 10) S. Mihalić, T. Vujnović, G. Škrinjar, B. Mihaliček, J. Martinjak, T. Markovinović, Ublažavanje opasnosti od klizanja – zoniranje osjetljivosti na klizanje, Zbornik radova Savjetovanja 'Zagrebačke vode', Zagreb, 2010.
- 11) Comitee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Research Council of the National Academies, Partnership for Reducing Landslide Risk, Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, The National Academies Press, Washington, 131 str.
- 12) Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, UNESCO Natural Hazards Series No. 3 (Paris: UNESCO, 1985).

## Obezbjedenje stabilnosti sjeverne završne kosine na PK „Šikulje“ metodom dreniranja vertikalnim bušenim bunarima

IBRAHIM JAHIĆ<sup>(1)</sup>; DAMIR HALILAGIĆ<sup>(2)</sup>; ENES DAJDŽIĆ<sup>(3)</sup>

### SAŽETAK:

Sjeverna završna kosina na površinskom kopu "Šikulje" predstavlja važan objekat koji treba da obezbijedi nesmetanu eksploataciju uglja. Pored toga predstavlja i objekat koji treba da obezbijedi prostor za trajno prevođenje Šikuljačke rijeke koja trenutno ugrožava sigurnost i bezbjednost prilikom eksploatacije uglja.

Definisanjem geometrijskih parametara površinskog kopa utvrđeno je da se sjeverna završna kosina nalazi u izrazito nepovoljnim geotehničkim uslovima, a da geološki, hidrogeološki i geomehanički faktori stabilnosti kosine moraju biti dodatno obezbijedeni poduzimanjem adekvatnih mjera stabilizacije. Pored toga specifično je da su i prirodni uslovi djelimično poremećeni prethodnim rudarskim radovima na tom području.

Pored nepovoljne strukturne građe na prostoru sjeverne kosine konstatovana su tri litološka člana, kao hidrogeološki kolektori, odnosno tri vodonosna sloja:

- prvi vodonosni sloj (I izdan) - podinski pijesak u podini podinskog ugljenog sloja
- drugi vodonosni sloj (II izdan) - podinski pijesak u podini glavnog ugljenog sloja
- treći vodonosni sloj (III izdan) - podinski pijesak u podini I krovnog ugljenog sloja

Vode u podinskim pijescima su pod hidrostatičkim pritiskom, osim u zoni izdanaka vodonosnih slojeva, gdje je tečenje sa slobodnim nivoom.

Na osnovu provedenih analiza stabilnosti na karakterističnim kritičnim profilima, utvrđeno je potrebno sniženje u I i II vodonosnom sloju prema dubini potencijalne klizne ravni tako da sniženi nivo vode generalno bude na dubini klizne ravni odnosno na apsolutnim kotama:

- prvi vodonosni sloj (podinski pijesak podinskog sloja) – 145
- drugi vodonosni sloj (podinski pijesak glavnog sloja) - 115

Kao optimalne metode stabilizacije koristit će se metoda preraspodjela masa i metoda dubinskog dreniranja podzemnih voda.

U ovom radu obuhvaćen je segment metode dubinskog dreniranja podzemnih voda.

**Ključne riječi:** *stabilnost kosine, metoda stabilizacije kosine, zavodnjenost, dreniranje*

### SUMMARY:

North end slope from the open mine "Šikulje" is an important facility that should provide a smooth coal mining. In addition, an object, and that should provide a permanent translation Šikuljacke river that currently threatens the safety and security of coal exploitation.

Defining geometrical parameters open pit was found that the northern end slope is in unfavorable geotechnical conditions, and geological, hydrogeological and geotechnical factors of slope stability must be additionally secured by taking appropriate measures for stabilization. In addition, specific to the natural conditions and partly disrupted previous mining operations in this area.

---

(1), (2), (3) - JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo ZD Rudnici "Kreka" d.o.o. Tuzla

In addition to adverse structural material on the northern slopes of the three hives litological as hydrogeological collectors or three aquifers :

- I water-bearing layer (I aquifer) underlying stratum sand in the basement footwall coal seam
- II water-bearing layer (II aquifer) underlying stratum sand in the basement of the main coal seam
- III water-bearing layer (III aquifer) underlying stratum sand in the basement of the first roof coal seam

Water in the footwall sandstones a under hydrostatic pressure, except in the zone outcrops of aquifers, where is the flow of the free water level .

On the basis of the analysis of stability on the critical sections, it was found necessary to decrease in the first and second aquifer to a depth of potential sliding surface so that lowered the water level is generally at a depth of sliding surface and the absolute elevations :

- I aquifer ( underlying stratum sand flookwall coal seam ) – 145
- II aquifer ( underlying stratum sand of the main coal seam ) – 115

As the optimal method of stabilization will be used method of mass redistribution method of deep drainage groundwater.

This work included the segment method of deep drainage groundwater.

**KEYWORDS:** stability of the slope , slope stabilization methods, drainage

## UVOD

U sklopu rješavanja zaštite površinskog kopa „Šikulje“ od površinskih voda bilo je neophodno pronaći trajno rješenje izmještanja i regulaciju korita Šikuljačke rijeke koja ugrožava egzistenciju nastavka eksploatacije uglja. U početno fazi razvoja rudarskih radova izvršeno je privremeno izmještanje toka Šikuljačke rijeke preko ležišta odnosno ograničenog površinskog kopa, a nakon toga pristupilo se iznalaženju trajnog rješenja. Razmatran je veliki broj tehničkih mogućnosti prevođenja voda Šikuljačke rijeke i ujedno su vršene i ekonomske analize opravdanosti varijantnih rješenja.

Nakon razmatranja svih predloženih tehničkih rješenja, koja su prošla ustaljenu proceduru, prihvaćena je varijanta prevođenja voda Šikuljačke rijeke otvorenim kanalom preko sjeverne završne kosine. Ovo tehničko rješenje je nametnulo izmjenu oblika i djelimično položaja sjeverne kosine na površinskom kopu i ujedno povećala značaj ovog objekta.

## 1. OBLIK I POLOŽAJ SJEVERNE KOSINE

Sjevernu kosinu potrebno je formirati u takvom obliku da se omogući izrada otvorenog kanala za provodjenje voda Šikuljačke rijeke.

Oblik sjeverne kosine određuje veličina otvorenog kanala i potrebno sigurnosno ostojanje od donje i gornje ivice. Maksimalna visinska razlika između najniže kote površinskog kopa i najviše kote terena je 186 m<sup>1</sup> (kote 260 i 74). Sistem etaža koje čine završnu kosinu sastoji se od 5 osnovnih etaža koje se otkopavaju u sklopu rudarskih radova

na dobijanju uglja kontinuiranom tehnologijom i 4 etaže koje se otkopavaju primjenom diskontinuirane tehnologije. Za prevođenje voda Šikuljačke rijeke izrađuje se plato koji će se koristiti za izradu otvorenog kanala i koji ujedno dijeli završnu kosinu na dva dijela. Donji dio kosine ima visinu cca 120 m a gornji do 60 m.

Nagibi kosina na etažama i generalni nagib kosine (slika 1 i slika 2) su ovisni o lokalnim geomehaničkim uslovima a usaglašeni sa propisanim zahtjevima faktora sigurnosti  $F > 1,5$  i definisani nakon provedene analize stabilnosti po pripadajućim karakterističnim profilima.

Posebna pažnja je posvećena dimenzionisanju platoa za prevođenje korita Šikuljačke Rijeke na prosječnoj koti 195 m.n.m., koji treba da zadovolji određene kriterije kao što su:

- smještaj i dimenzionisanje korita Šikuljačke rijeke na vode ranga pojave jednom u petstotina godina koje su definisane hidrološkim proračunima i iznose  $Q_{1/500} = 81,50 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
- eliminisanje mogućnosti infiltracije u podlogu korita upotrebom vodonepropusnih obloga,
- dovoljno potrebnu širinu platoa koja podrazumijeva bezbjedno rastojanje ivice kosine do budućeg korita Šikuljačke rijeke,
- smještaj i udaljenost putne komunikacije planirane za prolaz obodom sjeverne kosine kako prema ivici korita Šikuljačke Rijeke tako i ivici bočne kosine.
- obezbjeđenje prosrora za izradu uliva dva potoka (Prlinski i Bezimeni) sa sjeverne strane korita, i dr.

Sigurna udaljenost ivice korita platoa Šikuljačke Rijeke od kosine prema krateru kopa, utvrđena je prema potencijalnim linijama loma, tako da u središnjem dijelu iznosi 80 -100 metara, dok je u području uliva Prlinskog potoka, gdje je širina platoa najuža i iznosi do 50 metara.

Zbog toga se kod projektovanja sjeverne završne kosine pristupilo tako da tokom njene izgradnje i kasnijeg korištenja ima dovoljnu sigurnost da neko od graničnih stanja ne bi bilo poremećeno. Definisanjem geometrijskih parametara površinskog kopa utvrđeno je da se sjeverna završna kosina nalazi u izrazito nepovoljnim geotehničkim uslovima, a da geološki, hidrogeološki i geomehanički faktori stabilnosti kosine moraju biti dodatno obezbijeđeni poduzimanjem adekvatnih mjera stabilizacije. Pored toga specifično je da su i prirodni uslovi djelimično poremećeni prethodnim rudarskim radovima na tom području.

## **2. GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI USLOVI KOD DEFINISANJA SJEVERNE KOSINE**

### **2.1. Geološke i tektonske karakteristike šireg područja sjeverne kosine**

PK "Šikulje", je lociran u tzv. Lukavačkoj sinklinali koja je u strukturnom smislu sastavni dio Sjevernog sinklinorijuma Krekanskog ugljenog basena, odnosno predstavlja njegovu krajnu strukturnu jedinicu prema sjeverozapadnom rubu bazena.

U litostratigrafskom pogledu, ova sinklinala ima identične karakteristike sa ostalim dijelovima sinklinorijuma. Produktivna serija sedimenata je pliocenske starosti (donji i gornji pont) i karakteristična je ciklična izmjena uslova sedimentacije, koja je uslovala ritmičku izmjenu slojeva uglja, gline i pijeska.

Razvijena su četiri ugljena sloja i to *podinski*, *glavni*, *I krovni* i *II krovni ugljeni sloj* kod kojih se u podini nalaze slojevi *pijeska* a u krovini *gline*. Ova pravilnost je izostala kod II krovnog ugljenog sloja gdje se i u podini nalazi glina. Cijela produktivna serija debljine oko 400 m je taložena konkordantno preko gornjomiocenskih naslaga (panona) sa kojima je prema



sjeveru ograničena i na površini, a prema jugu (dolina rijeke Spreče) je prekrivena mlađim kvartarnim naslagama.

Sedimentacioni ciklus započinje podinskim ugljenim slojem. Moćnost podinskog ugljenog sloja je utvrđena i iznosi 4 – 6 m ( registrovana su i mjestimična isklinjenja ). U podini ovog ugljenog sloja su gornjomiocenski pijesci a u krovini je sloj glina nekontinuiranog rasprostiranja (mjestimično nedostaje), koja postepeno prelazi u prašinasto – pjeskovite i pjeskovite materijale. Pjeskoviti materijali su ukupne moćnosti oko 40 metara.

Ovi pjeskoviti materijali čine podinu glavnog ugljenog sloja, čija je moćnost utvrđena i iznosi 6 – 8 m. Krovinu glavnog ugljenog sloja predstavljaju gline moćnosti oko 5 m, koje postepeno prelaze u prašinasto - pjeskovite materijale moćnosti oko 50 m i konačno sloj srednjozrnog pijeska u intervalu 16 – 20 m.

Na ovaj sloj pijeska taložen je "I krovni ugljeni sloj" prosječne moćnosti 7 m u čijoj krovini je sloj gline oko 30 m a zatim "II krovni ugljeni sloj", prosječne moćnosti 9 m.

Krovinu ovog ugljenog sloja čine gline, moćnosti do 175 m (u osi sinklinale), koje predstavljaju zadnji član u sedimentacionom ciklusu ugljenosne serije.

Kvartarne naslage (aluvijalni nanos) prekrivaju sve od navedenih slojeva u području njihovog izdanjivanja u dolini rijeke Spreče, debljine su 5 – 12 m i predstavljene su sa oko 2 – 4 m šljunka u osnovi i 8 – 10 m detritičnog sitnozrnog materijala heterogenog sastava.

U strukturnom smislu ugljeni slojevi sa pratećim naslagama čine asimetričnu sinklinalu pružanja zapad – istok, čija krila su relativno strma na sjevernom – zapadnom i južnom obodu a na istoku prelaze u antiklinalu Lukavačka rijeka koja razdvaja ovaj dio od krekanske sinklinale.

Ova sinklinala je široka sa blagim generalnim padom od zapada ka istoku, odnosno jugoistoku. Generalno gledajući dominira tangencionalna tektonika kao rezultat postepenog tonjenja dna sinklinale, sa izuzecima radijalnog pomjeranja na jugoistočnom krilu, gdje su evidentirani rasjedi malog indeksa pomjeranja blokova.

## 2.2. Opšte hidrogeološke karakteristike područja sjeverne kosine

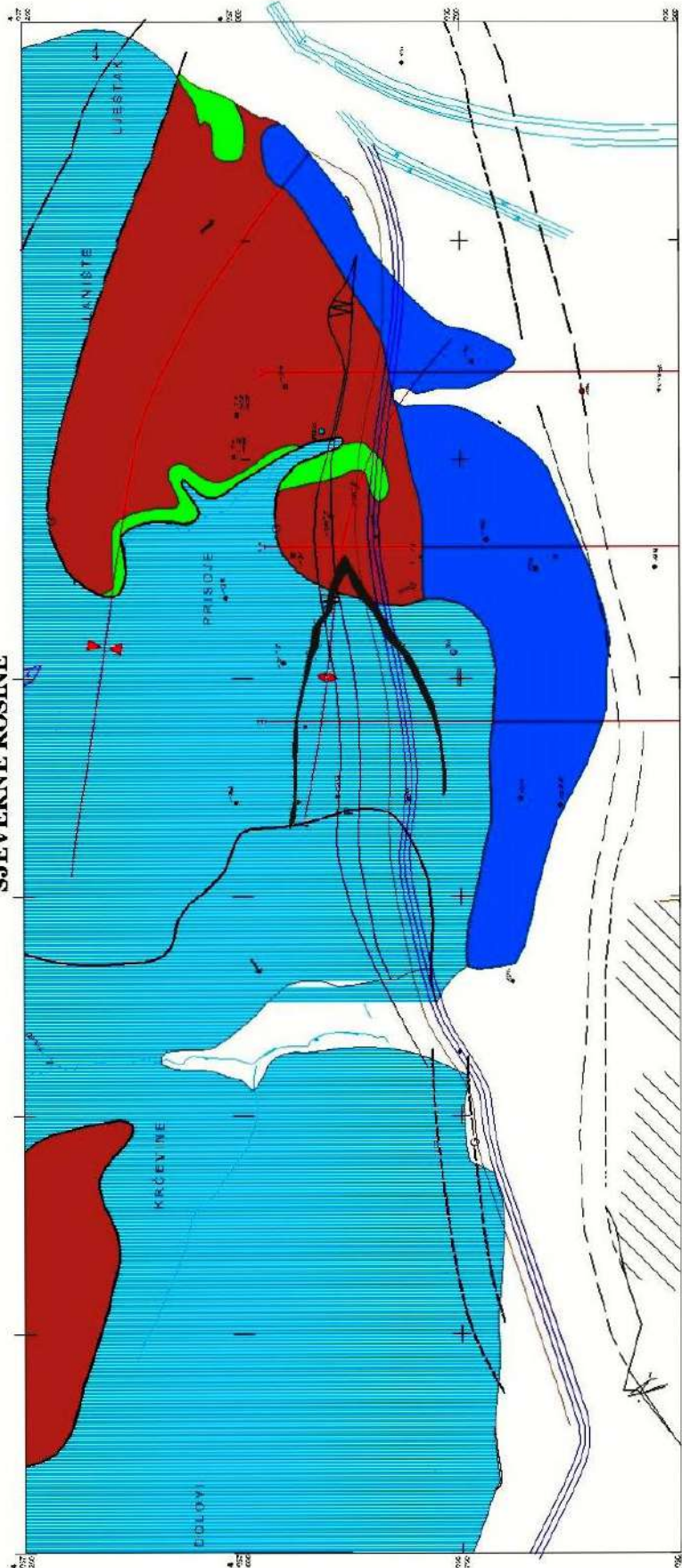
Hidrogeološka istraživanja PK "Šikulje" su započela u okviru širih geoloških istraživanja. U prvom redu su imala regionalan karakter sa ciljem utvrđivanja hidrogeološkog karaktera litoloških članova, da bi tokom vremena, razvojem površinskog kopa, prerasla u detaljna hidrogeološka istraživanja.

Izdvojena su četiri litološka člana, kao hidrogeološki kolektori, odnosno četiri vodonosna sloja:

- prvi vodonosni sloj (I izdan) - podinski pijesak u podini podinskog ugljenog sloja
- drugi vodonosni sloj (II izdan) - podinski pijesak u podini glavnog ugljenog sloja
- treći vodonosni sloj (III izdan) - podinski pijesak u podini I krovnog ugljenog sloja
- četvrti vodonosni sloj (IV izdan) - aluvijalni nanos doline rijeke Spreče

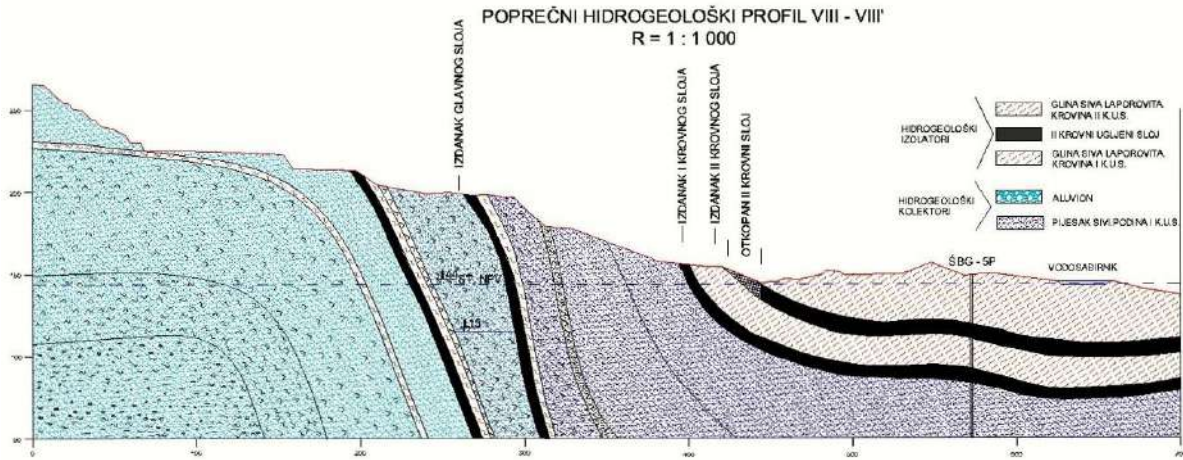
Vode u podinskim pijescima su pod hidrostatičkim pritiskom, osim u zoni izdanaka vodonosnih slojeva, gdje je tečenje sa slobodnim nivoom. Izdan u aluvijalnom nanosu je sa slobodnim nivoom. Prostorni odnos opisanih vodonosnih slojeva može se vidjeti na slikama 1, 2 i 3.

### HIDROGEOLOŠKA KARTA PODRUČJA SJEVERNE KOSINE

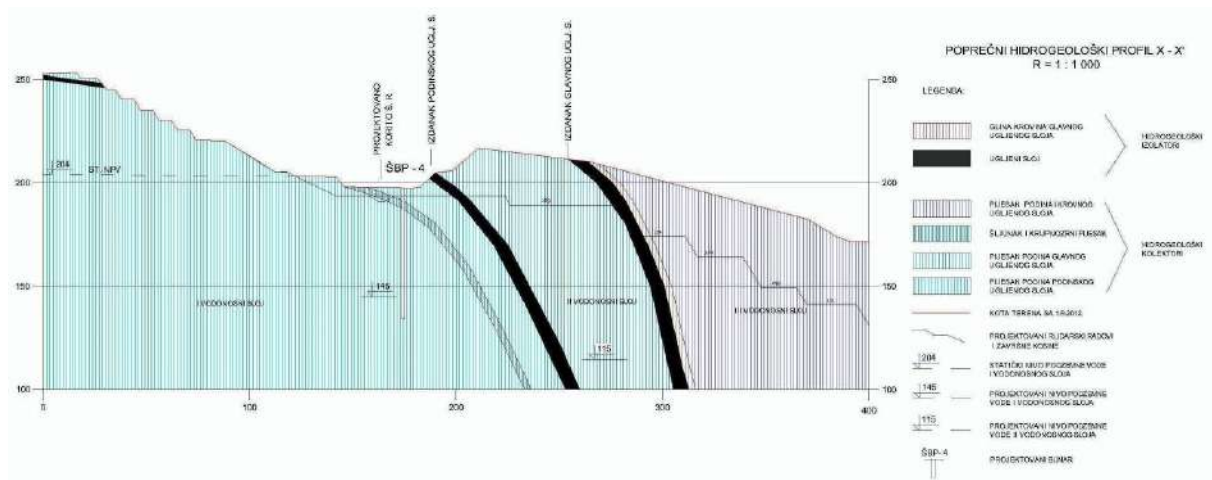


- LEGENDA:**
- ██ CILIPROG SLOJA
  - ██ CONIUTTA
  - ██ CILISA KROČEVINE (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ IZ OŠTICE (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA (PUNISREKA)
  - ██ SUTIR (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ NADOKA (SLOJA)
- LEGENDA:**
- ██ CILIPROG SLOJA
  - ██ CONIUTTA
  - ██ CILISA KROČEVINE (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ IZ OŠTICE (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA (PUNISREKA)
  - ██ SUTIR (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ NADOKA (SLOJA)
- LEGENDA:**
- ██ CILIPROG SLOJA
  - ██ CONIUTTA
  - ██ CILISA KROČEVINE (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ POKRAN PODRUK (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ CUVANIS IZ DAVAR PODRUK (CILIPROG SLOJA)
  - ██ DAVAR (PUNISREKA) CILIPROG SLOJA
  - ██ DAVAR (GLAVNI) CILIPROG SLOJA
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ OSA (KROČEVINE)
  - ██ BUKAR (KROČEVINE)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ IZ OŠTICE (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA (PUNISREKA)
  - ██ SUTIR (SUTIR)
  - ██ PUNISREKA
  - ██ NADOKA (SLOJA)

## Hidrogeološka karta područja sjeverne kosine Slika broj 1.



**Poprečni hidrogeološki profil VIII-VIII'**  
Slika broj 2.



**Poprečni hidrogeološki profil X - X'**  
Slika broj 3.

### *Prvi vodonosni sloj*

Ova izdan vezana je za pješčani sloj koji se nalazi u podini podinskog ugljenog sloja. Obzirom na mali ekonomski značaj ugljenog sloja, dosadašnja istraživanja nisu usmjeravana u tom pravcu. Definisanjem geometrijskih parametara PK "Šikulje" utvrđeno je da se sjeverna završna kosina u području Prline - Šikulje nalazi u izrazito nepovoljnim geotehničkim uslovima, a da geološki, hidrogeološki i geomehanički faktori stabilnosti kosine nisu dosadašnjim istraživanjima zadovoljavajuće istraženi. Istražni radovi tog područja su obavljani u toku 1986 – 87. godine tako da je vodonosni sloj u podini podinskog ugljenog sloja jednim dijelom prostorno definisan.

Vodonosni sloj se sastoji od pješkovito-glinovite serije sa proslojcima pješčara. Debljina serije znatno varira i zbog nepovoljne istraženosti pretpostavlja se da je od preko 200

m. Bližu podinu čine sitnozrni do srednjevni pijesci moćnosti oko 60 m da bi u nastavku profila slijedila izmjena glina, šljunka, lapora, breča i pješčara. Sloj se rasprostire kontinuirano na cijelom području i na sjevernom rubu sinklinale izdanjuje na površinu dok je na zapadnom i jugozapadnom rubu sinklinale u dolini Spreče područje izdanjivanja prekriveno aluvijalnim nanosom. Na istoku se preko antiklinale Lukavačka rijeka dalje proteže u području sjeverne krekanske sinklinale. U vertikalnom smislu, sloj je ograničen podinskim ugljenim slojem male moćnosti i nekontinuiranog rasprostranjenja.

Obzirom na nedostatak detaljnih istraživanja može se govoriti, samo o opštim karakteristikama izdani formirane u ovom vodonosnom sloju.

Opšti geološki, strukturni i hidrogeološki uslovi formirali su izdan subarteškog i mjestimično arteškog karaktera sa zonom hranjenja na području sjevernog oboda sinklinale gdje je podinski pijesak izložen infiltraciji oborinskih voda. Na zapadnom, jugozapadnom i južnom rubu sinklinale ovaj vodonosni sloj je prekriven aluvijalnim nanosom doline Spreče preko koga se vrši dreniranje. Ova hidraulička veza u znatnoj mjeri definiše hidrodinamičke karakteristike. Najviši izmjereni nivo podzemne vode u prirodnim uslovima je oko kote 225m (L-306) a zona dreniranja u prirodnim uslovima su na kotama 180-200 m. u sjevernom dijelu, u području izdanjivanja ovog vodonosnog sloja formirana izdan je freatskog karaktera (sa slobodnim nivoom) i prema pojedinim vodnim pojavama na terenu (izvori, bunari i sl.) nivoi vode kreću se i preko kote 250. U cjelini gledano, izdan formirana u I vodonosnom sloju je složenog arteškog-subarteškog-freatskog režima sa generalnim pravcem podzemnog toka od sjevera ka jugu.

Kada se govori o graničnim uslovima izdani kao prostornom i hidrodinamičkom ograničenju uslova filtracije onda treba imati na umu da se evidentirano stanje u prirodnim uslovima znatno razlikuje od stanja koje će biti mjerodavno tokom odvodnjavanja.

U prirodnim uslovima I izdan se prihranjuje na širokom području izdanjivanja na sjevernom rubu sinklinale gdje vlada uslov " $Q=konst.$ " a drenira na zapadnom i južnom rubu u aluvijalni nanos gdje vlada uslov " $H=konst.$ ". Prema istoku sloj se neograničeno proteže u područje krekanske sinklinale. Sa aspekta šematizacije ovih graničnih uslova sloj se može tretirati kao "ograničen sloj složene konture – sloj kvadrant" sa jednom nepropusnom granicom i dvije sa konstantnim nivoom.

U uslovima odvodnjavanja, odnosno prethodnih radova (izmještanje i regulacija vodotoka, izrada vodonepropusnih ekrana, dreniranje aluvijalnog nanosa i sl.) bitno se mijenja hidrodinamičko stanje na utvrđenim prostornim granicama. Izmještanjem Spreče na jugozapadnom rubu i izgradnjom nepropusnog ekrana uz nju eliminisana je neposredna hidraulička veza između aluvijalnog nanosa u području izdanjivanja pijeska i rijeke, odnosno eliminiše se granični uslov " $H=konst.$ ". Na južnom rubu se zadržavaju prirodni uslovi jer nema prethodnih radova (važi uslov " $H=konst.$ "). Na istoku se također ne mijenja ništa, odnosno sloj se neograničeno proteže prema krekanskoj sinklinali, a na sjevernom rubu ostaje područje hranjenja odnosno zadržava se uslov " $Q=konst.$ ".

### ***Drugi vodonosni sloj***

Ovaj vodonosni sloj je vezan za pješčani sloj koji se nalazi u podini glavnog ugljenog sloja. U krovini, pješčani sloj je ograničen nepropusnim glavnim slojem i glinom, a u podini, podinskim ugljenim slojem. Sloj se kontinuirano rasprostire na cijelom području, na sjevernom, južnom i zapadnom dijelu izdanjuje, a prema istoku kontinuirano prelazi u sjevernu krekansku sinklinalu.

Prihranjuje se infiltracijom u višim područjima izdanjivanja na sjeverozapadnom i sjevernom rubu, a drenira, u neporemećenim uslovima u području izdanjivanja u dolini

Spreče, prekrivenim sa aluvijalnim nanosom, sa generalnim pravcem podzemnog toka od sjevera ka jugu.

U prirodnim uslovima ovaj vodonosni sloj se može tretirati kao "ograničen sloj složene konture". Na sjeveru vlada uslov "Q - const.". Zapadna i južna granica je područje izdanjivanja u području Spreče, gdje preko aluvijalnog nanosa postoji hidraulička veza sa rijekom odnosno vlada "H - const.". Prema istoku sloj se prostire u područje sjeverne sinklinale.

Ovi uslovi se znatno mijenjaju u uslovima efektivnog odvodnjavanja. Izgradnjom bunara za odvodnjavanje na PK "Šikulje" i njihovim aktiviranjem stvorena je sekundarna zona dreniranja u području bunara i formirana izražena depresija sa koncentričnim radijalnim tokom ka bunarima. Obzirom da bunari sa kaptažom u ovom vodonosnom sloju ne rade (zbog uništenja ili nedostatka crpne opreme) može se govoriti da se tok podzemne vode u ovom vodonosnom sloju vratio u prirodno stanje sa pravcem toka sjever – jug.

### ***Treći vodonosni sloj***

Treći vodonosni sloj je formiran u podinskom pijesku I krovnog ugljenog sloja. U granulometrijskom smislu to je pijesak srednje i sitne homogene granulacije pri čemu je u pravilu krupnija granulacija u gornjih 10 - 20 m, a dublje je sitni pijesak sa postepenim prelaskom u prah. Moćnost ovog pijeska varira od 37 - 75 m, odnosno srednja moćnost je 45 m od čega je 15 m pijesak srednjezrni, a oko 30 m pijesak sitnozrni.

U vertikalnom smislu sloj je ograničen u krovini nepropusnim I krovnim ugljenim slojem, a u podini postepeno prelazi u prah koji je slabo propustan i predstavlja relativni izolator. Ispod praha je sloj krovinske gline glavnog ugljenog sloja (0,5 - 7,5 m) koja mjestimično izostaje pa prah leži na glavnom ugljenom sloju (izolatoru). U prirodnim uslovima područje dreniranja izdani je u dolini Spreče a područje hranjenja je na sjevernom obodu sinklinale u zoni izdanjivanja pijeska ispod I krovnog ugljenog sloja i na istočnom dijelu gdje preko zone izdanjivanja ovog pijeska teče Lukavačka rijeka.

Vodonosni pijesak ograničen je sa juga i zapada dolinom rijeke Spreče gdje vladaju uslovi "H - const.". Na istočnoj granici u direktnom kontaktu Lukavačke rijeke sa vodonosnim slojem vlada uslov "H - const.". Sjeverna granica je područje izdanjivanja pijeska gdje infiltracija oborinskih voda uslovljava "Q - const.". Analizirajući sve to proističe da je u prirodnim uslovima vodonosni sloj prostorno ograničen sa svih strana, a u hidrodinamičkom smislu tri granice su sa konstantnim nivoom ("H - const.") a jedna sa konstantnim doticajem ("Q - const.").

U uslovima odvodnjavanja ovi granični uslovi se mijenjaju te će granični uslovi sa tri strane imati uslove "Q - const.", a sa jedne strane "H – const."

Aktiviranjem sistema odvodnjavanja ovog vodonosnog sloja stvorena je sekundarna zona dreniranja u području sistema i formirana depresija u području aktivnih bunara a također i depresija prema otkopanom prostoru gdje je ovaj sloj otkriven.

### ***Četvrti vodonosni sloj***

Ovaj vodonosni sloj je vezan za aluvijalni nanos u doline Spreče i zahvata oko ¼ područja kopa i to njegov zapadni dio. Moćnost aluvijalnog nanosa kreće se od oko 0 – 11 m, a najvećim dijelom 8 - 10 m. U granulometrijskom smislu sastavljen je od šljunkovito - pjeskovitog sloja u donjem dijelu i glinovito - pjeskovitog sloja u gornjem dijelu. Šljunkovito - pjeskoviti sloj ima kontinuirano rasprostiranje promjenljive moćnosti od 2 - 6 m i heterogenog je sastava. U vertikalnom smislu glinovito - pjeskovita serija aluvijalnog nanosa

također je kontinuirano rasprostranjena po cijelom području, promjenljive moćnosti 4 - 7 m i heterogenog pretežno glinovitog sastava.

U aluvijalnom nanosu je formirana izdan koja je u neposrednoj hidrauličkoj vezi sa izdani formiranoj u vodonosnim pijescima u podini nanosa. U prirodnim uslovima hranjenje ove izdani su od podzemnog doticanja iz vodonosnih slojeva i infiltracije oborinskih voda kroz slabo propusnu krovinu nanosa. Dreniranje nanosa je u rijeku Spreču.

Prostorno ograničenje izdani u aluvijalnom nanosu definisano je njegovim rasprostriranjem i položajem rijeke. Izmiještanjem površinskog toka i izradom kanala, razmatrano područje ograničeno je sa svih strana graničnim uslovima "Q – 0".

### **Filtracione karakteristike vodonosnih slojeva**

Filtracione karakteristike vodonosnih slojeva su određivane na osnovu rezultata probnog crpljenja po više metoda. Primjenjene su metode grafoanalitičkog rješenja osnovne jednačbe (Theiss) razrađene od Jacob-a, a takođe su korištene i metode proračuna u stacionarnim uslovima (po Dupuit-u i Bubuškin-u) za različite šeme rasporeda bunara i osmatračkih bušotina.

Pregledom i analizom svih dobijenih vrijednosti parametara, može se konstatovati visok stepen podudarnosti za neke parametre, te se mogu za dalje proračune koristiti njihove srednje vrijednosti sa velikim stepenom pouzdanosti (parametri T i k).

U drugom vodonosnom sloju vrijednosti parametra T i k su dosta ujednačeni, ali su vrijednosti parametara  $\mu$  i  $a$  u velikom rasponu.

U tabeli 1. dati su srednje vrijednosti parametri za sva četiri vodonosna sloja:

*Tabela broj 1.*

| Hidrogeološki parametri | Izdan ( vodonosni sloj ) |   |   |   |
|-------------------------|--------------------------|---|---|---|
|                         | I                        | II  | III   | IV  |
| T (m <sup>2</sup> /s)   | 1,85 x 10 <sup>-4</sup>  | 3,91 x 10 <sup>-4</sup>                               | 7,00 x 10 <sup>-4</sup>                               | 1,95 x 10 <sup>-3</sup>                               |
| k (m/s)                 | 3,08 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,96 x 10 <sup>-5</sup>                               | 2,51 x 10 <sup>-5</sup>                               | 2,19 x 10 <sup>-4</sup>                               |
| $\mu$                   | 10x10 <sup>-4</sup>      | 1,84 x 10 <sup>-3</sup><br>do 8,50 x 10 <sup>-2</sup> | 3,56 x 10 <sup>-4</sup><br>do 1,0 x 10 <sup>-15</sup> | 3,91 x 10 <sup>-6</sup><br>do 2,67 x 10 <sup>-3</sup> |
| a (m <sup>2</sup> /s)   | 1,84x10 <sup>0</sup>     | 4,9 x 10 <sup>-2</sup><br>do 2,24 x 10 <sup>0</sup>   | 3,38x10 <sup>-3</sup><br>do 1,48x10 <sup>0</sup>      | 0,68 - 0,92   |

Vrijednosti nekih parametara zahtijeva detaljnije razmatranje, kako zbog relativno velikog raspona dobivenih vrijednosti tako i zbog promjene tokom vremena (crpljenja). To su u prvom redu vrijednosti specifične izdašnosti sloja pod pritiskom  $\mu$  i koeficijenta pijezoprovodnosti  $a$ .

### **Akumulacije podzemnih voda**

Akumulacija podzemnih voda na ovom području su značajne sa aspekta istraživanja a formirane su unutar stijenskog masiva podine ugljenih slojeva i to:

- Podinski pijesak podinskog sloja – I vodonosni sloj
- Podinski pijesak glavnog ugljenog sloja – II vodonosni sloj
- Podinski pijesak I krovnog ugljenog sloja – III vodonosni sloj.

Na području sjeverne kosine (istražnog prostora) formirane su tri izdani. Prva, druga i treća izdan je formirana okviru pliocenskih pijeskova, naslaga koje su pretežno arteškog – subarteškog i djelimično slobodnog karaktera, a u indirektnoj su vezi sve tri izdani na ovom lokalitetu površinskog kopa "Šikulje".

Prihranjivanje akumulacija se vrši prirodnom infiltracijom od oborina na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu izdanjivanja pliocenskih pijeskova uz prisustvo vodotoka na tom području. Dreniranje ovih vodonosnih slojeva je najvjerojatnije u samom krateru površinskog kopa.

### **3. ANALIZA STABILNOSTI KOSINE**

#### **3.1. Polazni uslovi za analizu stabilnosti sjeverne kosine**

Kod razmatranja stabilnosti sjeverne kosine Površinskog kopa "Šikulje" pošlo se od realnih uslova koji obuhvataju slijedeće:

- geološka gradnja područja završne kosine definisana je detaljnim istraživanjima, bušenjem geomehaničkih bušotina, laboratorijskim ispitivanjima uzoraka, ugradnjom piezometara za opažanje nivoa podzemne vode za sve izdani i dr.
- za definisanu kotu platoa, na sjevernoj završnoj kosini na kojem se nalazi novo korito Šikuljačke rijeke, dobiva se visina kosine čiji stabilan ugao treba odrediti sa zahtjevanim koeficijentom sigurnosti od  $F = 1,50$ .
- pijesak i prah, u neposrednoj podini kopa i u području završne kosine do I krovnog ugljenog sloja, su predhodno odvodnjeni do najniže tačke kopa.
- vodonosni slojevi u području završne kosine su međusobno izolovani vodonepropusnim slojevima uglja i gline i hidraulički su nezavisni.
- proračun stabilnosti završne kosine je izveden za uslove maksimalne zavodnjenosti svakog vodonosnog sloja i za uslove potpune odvodnjenosti svakog vodonosnog sloja do nivoa potencijalne klizne plohe da bi se sagledali efekti dreniranja.
- proračun stabilnosti se prvo izvodio za kompletnu kosinu bez platoa za provodjenje Šikuljačke rijeke, a zatim za odstranjenu masu jalovine iznad plaota, da bi se odredili uslovi potrebne udaljenosti korita buduće rijeke od ivice kosine.
- proračun stabilnosti se izvodio za uslove kada svaki sloj karakterišu odgovarajući otporni parametri i kada se ti parametri unose u analizu za metodu koja to može prihvatiti, kao što je to u konkretnom slučaju metoda Morgenstern-Pricea.
- proračun stabilnosti se izvodio za moguće klizne plohe, s tim da te klizne plohe imaju ili nemaju direktan uticaj na položaj korita buduće Šikuljačke rijeke na platou u području završne kosine.

#### **3.2. Analiza stabilnosti sjeverne kosine**

Analiza stabilnosti Sjeverne kosine površinskog kopa Šikulje izvedena je na karakterističnim geološkim profilima, koji predstavljaju kritične profile u području završne kosine. Na tim profilima kosina ima najveću visinu. U realnim geološkim uslovima na odabranim profilima za analizu stabilnosti razmatrane su slijedeće moguće klizne plohe:

- Klizna ploha se razvija duž kontakta krovinske gline i glavnog ugljenog sloja, a zatim kao krivolinijska klizna ploha prolazi kroz prašinski i pjeskoviti materijal i izlazi u nožicu kosine,

- Klizna ploha se razvija po kontaktu gline i podinskog ugljenog sloja i kao krivoliniska ploha prolazi kroz pijesak, presijeca glavni ugljeni sloj, te kroz prah i pijesak izlazi u nožicu kosine,
- Klizna ploha se razvija kao krivolinijska klizna ploha, prolazi kroz sve materijale u kosini i izlazi na platou kojim se provodi Šikuljačka rijeka.

Stabilnost kosine je provjerena za sva tri slučaja za različite raspone nagiba kosine, sve dok se nisu dokazale mogućnosti postizanja nagiba završne kosine od  $27^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  i  $22^{\circ}$ , zavisno od uslova zavodnjenosti.

Analiza stabilnosti izvedena je po metodi Morgenstern-Pricea, i na osnovu dobijenih rezultata izvedeni su slijedeći zaključci:

- Moguće klizanje po kontaktu gline i glavnog ugljenog sloja ne eliminiše se dreniranjem pijeska i praha u zoni završne kosine jer je uticaj dreniranja na promjenu koeficijenta sigurnosti relativno mali. Mnogo veći uticaj u ovom slučaju ima ublažavanje nagiba kosine sa  $27^{\circ}$  na  $22^{\circ}$ . Ovo ublažavanje nagiba kosine ima poseban značaj kada se razmatra druga mogućnost klizanja po kontaktu gline i podinskog ugljenog sloja. Koeficijent sigurnosti smanjuje se za nedreniranu kosinu, jer se u pijesku između dva ugljena sloja nalazi zbijena izdan. Dreniranjem ovog pijeska koeficijent sigurnosti dovodi se na zahtjevani nivo od  $F = 1,50$ .
- Najznačajniji problem koji treba riješiti analizom stabilnosti je položaj budućeg korita Šikuljačke rijeke na platou završne kosine. Kritični uslovi pojavljuju se na profilu XVIII. Na tom profilu kosina ima najveću visinu, a geološki uslovi su najnepovoljniji, zbog zavodnjenosti pijeskova koji se pojavljuju u profilu. Analizom je pokazano da dreniranje pijeskova ima presudan značaj za stabilnost završne kosine. Snižanjem nivoa vode ispod kritične klizne plohe smanjio bi se porni pritisak na zadovoljavajući nivo potreban za zahtjevani koeficijent sigurnosti.
- Buduće korito Šikuljačke rijeke nalazilo bi se u sigurnosnoj zoni, u sedimentnima podine podinskog ugljenog sloja.

#### **4. HIDROGEOLOŠKI USLOVI OBEZBJEĐENJA STABILNOSTI SJEVERNE ZAVRŠNE KOSINE**

Zavodnjenost vodonosnih slojeva u potencijalnom kliznom tijelu predstavlja jedan od osnovnih faktora stabilnosti. Uticaj vode se manifestuje preko sila uzgona i strujnog tlaka a u praktičnim analizama najčešće se izražava putem faktora zavodnjenosti  $r_u$  (Skemptonov faktor), čija vrijednost se kreće od  $r_u = 0,1$  (za izdrenirano klizno tijelo) do  $r_u = 1,0$  (potpuno zavodnjeno klizno tijelo).

Prije projektovanja oblika i položaja sjeverne kosine, izvršena su značajna geotehnička, kao i geološka, hidrogeološka, geomehanička i druga istraživanja. Istražnim radovima je utvrđeno da prostor sjeverne kosine pripada asimetričnoj sinklini pružanja zapad-istok čija su krila relativno strma. Sam prostor obuhvata dio strmog sjevernog krila, odnosno može se u strukturnom smislu posmatrati kao monoklinala u kojoj su razvijeni ugljeni slojevi sa pratećim naslagama glina i pijeskova različite granulacije.

Istražnim radovima utvrđen je nivo podzemne vode na koti cca 204 m.n.m. u I vodonosnom sloju (podina podinskog ugljenog sloja), na koti cca 170 m.n.m. u II vodonosnom sloju (podina glavnog ugljenog sloja) i na koti cca 130 m.n.m. u III vodonosnom sloju (podina I krovnog ugljenog sloja). Projektom dokumentacijom koja je urađena za



potrebe izrade sjeverne kosine na PK „Šikulje“ te za potrebe prevođenja Šikuljačke rijeke i za stabilnost kosine neophodno je značajno sniziti nivo podzemne vode u toj zoni. Analizom stabilnosti je dokazano da dreniranje pijeskovia koji se pojavljuju u zoni sjeverne kosine ima presudan značaj za stabilnost završne kosine. Snižanjem nivoa podzemne vode ispod kritične klizne plohe obezbijedio bi se zahtijevani koeficijent sigurnosti. Na osnovu provedenih analiza stabilnosti na karakterističnim kritičnim profilima, utvrđeno je potrebno sniženje u I i II vodonosnom sloju prema dubini potencijalne klizne ravni tako da sniženi nivo vode generalno bude na dubini klizne ravni odnosno na apsolutnim kotama:

- prvi vodonosni sloj (podinski pijesak podinskog sloja) – 145
- drugi vodonosni sloj (podinski pijesak glavnog sloja) - 115

Kao što se vidi u prethodnom tekstu sniženje nivoa podzemne vode u području sjeverne završne kosine u prvom vodonosnom sloju potrebno je izvesti za 55-60 m., dok je u drugom vodonosnom sloju potrebno sniženje za oko 35-55 metara. Prethodnim odvodnjavanjem III vodonosnog sloja snižen je nivo podzemne vode na kotu cca 130 m.n.m. te dodatne mjere dreniranja nisu potrebne u zoni sjeverne kosine jer su u potpunosti zadovoljeni postavljeni kriteriji za stabilnost kosine.

## **5. OBEZBJEĐENJE STABILNOSTI SJEVERNE ZAVRŠNE KOSINE METODOM DRENIRANJA VERTIKALNIM BUŠENIM BUNARIMA**

Kad su utvrđeni potencijalni uzroci, mehanizam klizanja i potrebni parametri za analize stabilnosti, pristupilo se izboru optimalne metode preventivne stabilizacije. Kao optimalne metode stabilizacije koristit će se metoda preraspodjela masa i metoda dubinskog dreniranja podzemnih voda.

U ovom radu obuhvćen je segment metode dubinskog dreniranja podzemnih voda. Kao hidrotehnički objekti za sniženje nivoa podzemnih voda odabrani su vertikalni bušeni bunari, i to tri bunara za odvodnjavanje I vodonosnog sloja i četiri bunara za odvodnjavanje II vodonosnog sloja. Kod izbora ove metode stabilizacije, odnosno iznalaženja tehničkih rješenja dreniranja kosine vodilo se računa o značajnim ograničenjima zbog naglašene ovisnosti od prostora, uslova i vremena izvođenja objekata.

### **5.1. Osnovna metoda dreniranja sjeverne završne kosine**

- Osnovna koncepcija dreniranja sjeverne završne kosine se satojala u slijedećem:
- Dreniranje prvog vodonosnog sloja je predviđeno metodom vertikalnih bušenih bunara. Koncepcijski je predviđena linija bunara (ŠBP-1, ŠBP-2, ŠBP-3 i ŠBP-4) sa usvojenim međurazmakom 230-250 m. Predviđeno je da u radu uvijek budu 3 bunara sa sumarnim kapacitetom od 750 l/min. Kod lociranja bunara uticaj je imao položaj projektovanog platoa za prevođenje Šikuljačke rijeke zbog mogućnosti trajnog održavanja bunara u radu, neometan od rudarskih radova.
  - Za dreniranje drugog vodonosnog sloja je također predviđena linija od 4 bunara. Obzirom na potrebu sniženja nivoa podzemne vode u ovom vodonosnom sloja u širem području površinskog kopa a ne samo u području sjeverne završne kosine, bunari su locirani približno po osi sinklinale izvan aktivnih rudarskih radova (ŠBG-5 i 6). Ovi bunari su već izvedeni i bili aktivirani u vrijeme usvajanja koncepcije zaštite sjeverne kosine od podzemnih voda. Obzirom da u fazi formiranja završne kosine bunar ŠBG-

4 biva zahvaćen radovima otkrivke, za održavanje postignutog sniženja buši se zamjenski bunar ŠBG-3a. Lokacija ovog bunara je u zoni platoa.

Prema tome, osnovna koncepcija obezbjeđenja stabilnosti užeg područja sjeverne završne kosine je sistem sa po jednom linijom bunara za svaki vodonosni sloj, paralelno pružanju sloja a na dubini i odstojanju uslovljenoj postavljenim zahtjevima potrebnog sniženja u zoni potencijalnog klizanja. Crpljenje vode je predviđeno bunarskim potapajućim pumpama i evakuacija vode pomoću cjevovoda van zone sjeverne kosine.

## 5.2. Izmjenjena koncepcija dreniranja sjeverne završne kosine

Neki od razloga za uvođenje izmjene koncepcije dreniranja područja sjeverne završne kosine su navedeni u prethodnom tekstu a ovdje će se nabrojati samo osnovni razlozi:

- Izmjena dinamike napredovanja rudarskih radova u odnosu na Glavni rudarski projekat,
- Neizvršeno rasterećenje sjeverne kosine,
- Pokretanje masa i deformacije dijela ugljenog sloja na području sjeverne kosine,
- Zavodnjenost, odnosno visok nivo podzemne vode u I i II vodonosnom sloju na području sjeverne kosine,
- Neprevođenje Šikuljačke rijeke (II faza),
- Pokretanja masa unutar kratera kopa, od sjeveroistoka prema jugozapadu,
- Postignuta dubina kratera PK.

Prethodni period eksploatacije na PK "Šikulje" karakteriše se skraćanjem fronte rudarskih radova uslijed pojave klizišta u sjevernom dijelu eksploatacionog polja u odnosu na projektno rješenje po Glavnom rudarskom projektu. Pored toga relativno je smanjena planirana proizvodnja uglja sa oko 3.000.000 na oko 1.000.000 tona godišnje što je doprinijelo značajna odstupanja u dinamici otkrivanja ugljenog sloja i radovima koji su trebali biti izvedeni.

Obzirom da je došlo do određenih izmjena u dinamici napredovanja rudarskih radova sjeverna kosina nije dobila svoj projektovani oblik. Trenutno je završeno izvođenje platoa za prevođenje Šikuljačke rijeke dok se planira rasterećenje sjeverne kosine u narednom periodu.

Zbog neuređenosti sjeverne kosine, odnosno zbog neizvođenja planiranih rudarskih radova u toj zoni, a jednim dijelom i zbog nepostojanja kvalitetnog obodnog kanala došlo do određenih pomjeranja tla u toj zoni. Zbog pomijeranja tla došlo je do deformacije ugljenih slojeva, naročito podinskog ugljenog sloja u području od profila II-II' do IV-IV' gdje je ugali nakon deformacije erodovan.

Zbog navedenih činjenica nisu se stvorili uslovi za izvedbu projektovanog sistema dreniranja i zaštite sjeverne kosine od podzemnih voda. Ali i dalje se nameće potreba dreniranja podinskog pijeska podinskog i glavnog ugljenog sloja da bi se stvorili preduslovi za stabilnost sjeverne kosine naročito ako se ima u vidu da je to jedino moguće za prevođenje Šikuljačke rijeke u narednoj fazi razvoja kopa.

Deformacija podinskog ugljenog sloja u tom području je doprinijela i relativno do značajnog sniženja nivoa podzemne vode u podinskom pijesku gdje se u periodu od 1997. godine do danas vrši dreniranje tog vodonosnog sloja na koti 173,2 m.n.m. Prema ranijim mjerenjima (1987-1988.) nivo podzemne vode u podinskom pijesku podinskog ugljenog sloja u toj zoni je bio na kotama 218,67 (L-303) do 224,86 (L-306). Trenutno nivo podzemne vode je na koti 204 (PPŠ-1 i PPŠ-2) a u području dreniranja od profila II-II' do IV-IV' na koti 173,2

m.n.m. Kao što se vidi nivo podzemne vode je niži u ovom vodonosnom sloju za 20 m iako nije bilo izvedenog sistema dreniranja.

Za potrebe zaštite površinskog kopa od podzemnih voda iz II vodonosnog sloja (podinskog pijeska glavnog ugljenog sloja) u toku 2010. godine urađeni su vertikalni bušeni bunari ŠBG-1P i ŠBG-2P. Ovi bunari su izvedeni iza rudarskih radova, odnosno u zonama gdje je završena eksploatacija I i II krovnog ugljenog sloja, a imaju funkciju "prelivnih" bunara (arteški bunari). Rad ovih bunara uslovio je sniženje nivoa podzemne vode koji je trenutno na kotama oko 147 – 170 m.n.m..

Kao što se vidi u prethodnom tekstu sniženje nivoa podzemne vode u području sjeverne završne kosine u I vodonosnom sloju potrebno je izvesti za 55-60 m., dok je u II vodonosnom sloju potrebno sniženje za oko 35-55 metara.

Kao specifičan problem u razmatranom području, se nameće potreba prevođenja toka Šikuljačke rijeke, koja u ovoj fazi razvoja i stanja kopa značajno ugrožava stabilnost na fronti napredovanja rudarskih radova (istok) a i sjeverne kosine. Neprevođenje Šikuljačke rijeke u ranijem periodu značajno je uticalo na razvoj kopa. Trenutno radovi se ne izvode na I i II etaži, a ujedno nije izvršeno rasterećenje masa na sjeveroistoku ispred I etaže. Radovima na eksploataciji uglja (I i II krovni) povećana je dubina kopa i zbog toga je ugao radnih kosina znatno iznad projektovanih, te zbog infiltracije vode kroz oštećeno korito Šikuljačke rijeke dolazi do stalnog pomijeranja masa u tom području.

Zbog složenosti problema i trenutne situacije na području sjeverne kosine kao i na hidrogeološke uslove područja sjeverne završne kosine, zadate uslove odvodnjivosti pojedinih vodonosnih slojeva i projektovani sistem za odvodnjavanje površinskog kopa u cjelini, imajući u vidu sve faktore od uticaja na izbor metode dreniranja, konceptijski se predviđaju dopunske mjere zaštite sjeverne kosine od podzemnih voda.

### **5.3. Konceptija dreniranja I vodonosnog sloja u području sjeverne kosine**

Dreniranje I vodonosnog sloja (podina podinskog ugljenog sloja) konceptijski je zadržano sa metodom vertikalnih bušenih bunara. Izmjene u odnosu na idejna rješenja su u broju bunara i prostornom rasporedu bunara. Zadržana je konceptijski linija bunara paralelna sa aproksimiranom hidrogeološkom granicom (nepropusna granica  $q = 0$ ), čiji efekti crpljenja treba da obezbijede zahtijevano sniženje u datom vremenu, u domenu potencijalnog klizanja. Obzirom na generalno monoklinalnu strukturu, linija bunara je po pravcu generalnog pružanja sloja, uslovljena potrebnom dubinom zahvatanja vodonosnog sloja (dinamičkim sniženjem u bunaru), dispozicijom i dinamikom rudarskih radova sa platoom za prevođenje Šikuljačke rijeke kao i ostalim mjerodavnim faktorima.

Obzirom na sadašnje hidrodinamičko stanje u vodonosnom sloju, predviđena su tri bunara u liniji koja je u pravcu generalnog pružanja sloja. Kod lociranja bunara poseban uticaj je imao položaj projektovanog i djelimično izvedenog platoa za prevođenje Šikuljačke rijeke. Naime u fazi izrade ovog rada plato za prevođenje Šikuljačke rijeke nije u potpunosti završen. Da bi omogućili izvođenje bunara a u toku je izvođenje radova na izradi platoa lokacija bunara je izmještena van usjeka platoa i to u zoni koja je predviđena za rasterećenje sjeverne kosine. Pri određivanju lokacije značajan faktor je strma monoklinalna forma slojeva koja uslovljava pomicanje bunara u zonu rudarskih radova neophodnih kod izrade sjeverne kosine, a u obratnom smjeru (uz nagib sloja) ne omogućava potrebnu dubinu zahvatanja vodonosnog sloja, odnosno potrebno dinamičko sniženje u bunaru.

Usvojene lokacije bunara su optimalne u odnosu na sve analizirane faktore. Zbog ograničenog prostora na platou Šikuljačke rijeke i male udaljenosti kosine površinskog kopa nisu u potpunosti zadovoljeni uslovi da vrh filtera bude ispod kote 145 m.n.m. koja je uzeta kao generalna kota dinamičkog nivoa podzemne vode. Na osnovu analiza stabilnosti sjeverne kosine dinamički nivo podzemne vode je potrebno održavati između 145 i 150 m.n.m.

To se odnosi naročito na bunar ŠBP-2, gdje je vrh filtera na koti 153 m.n.m. Pomijeranjem lokacije ovog bunara prema jugu bili bi ugroženi uslovi izvođenja i na kraju opstanka tog bunara. Tokom razmatranja položaja bunara vodilo se računa da se bunarski filteri lociraju ispod kote 145 m.n.m. odnosno na najnižu moguću kotu kako to prostorni uslovi dozvoljavaju. Povoljna okolnost je da su kod bunara ŠBP-3 vrh filtera locirani na kotu 65 m.n.m. i pretpostavka je da će u nekom narednom periodu (više od nekoliko godina) kada je i realno očekivati izradu završne kosine, doći do povećanja radijusa uticaja bunara i smanjenja crpnih kapaciteta, te da će ovaj bunar moći održavati NPV na koti ispod 145 m.n.n.

Za izvođenje ovih bunara odabrana je metoda bušenja sa direktnim ispiranjem bentonitnom isplakom i proširenjem kanala bušotine u pjeskovitoj zoni ugradnje filterske konstrukcije sa primjenom čiste vode. Dubine bušenja bunara su: ŠBP-2 71 m; ŠBP-3 144 m i ŠBP-4 64 m.

#### **5.4. Konceptija dreniranja II vodonosnog sloja u području sjeverne kosine**

Dreniranje II vodonosnog sloja (podina glavnog ugljenog sloja) u području sjeverne završne kosine je usko vezano za sistem odvodnjavanje šireg prostora, odnosno kratera površinskog kopa. Za potrebe sniženja pritiska na glavni ugljeni sloj u zoni rudarskih radova izvedeni su vertikalni bušeni bunari ŠBG-1P i ŠBG-2P. Ovi bunari su locirani iza rudarskih radova, odnosno u zonama gdje je završena eksploatacija I i II krovnog ugljenog sloja, a imaju funkciju "prelivnih" bunara. Istim projektom predviđena je sanacija ranije izbušenih bunara ŠBG-5, 6 i 7, na lokalitetu Pandurišta, a nalaze se van dohvata rudarskih radova u narednom periodu.

Bunari ŠBG-1P i ŠBG-2P su u funkciji, bunar ŠBG-5 je trajno uništen, u bunar ŠBG-6 je ugrađena crpna oprema ali nije u funkciji zbog problema napajanja električnom energijom, dok bunar ŠBG-7 nije u funkciji i potrebno je obezbijediti određen vid sanacije i napajanje električnom energijom. Pored ovih bunara koji su prvenstveno u funkciji odvodnjavanja izveden je i bunar ŠBV-1 za potrebe vodosnabdijevanja rudnika "Šikulje".

Za potrebe dreniranja, odnosno za intenzifikaciju sniženja nivoa podzemnih voda u ovom vodonosnom sloju u zoni sjeverne završne kosine predviđa se izvođenje 4 nova bunara. Dva bunara ŠBG - 3P i ŠBG - 4P su predviđeni za rad u toku 2013. godine, a bunari ŠBG-5P i ŠBG-6P početkom 2015. godine kada preuzimaju funkciju bunara ŠBG - 1P i ŠBG - 2P. To znači da će u centralnom dijelu PK biti u funkciji 4 bunara.

Ovi bunari se izvode iza rudarskih radova, odnosno u zonama gdje je završena eksploatacija I i II krovnog ugljenog sloja, a imaju funkciju "prelivnih" bunara. Bunari su locirani na ovom prostoru iz razloga što je smanjen intenzitet sniženja nivoa vode u vodonosnom sloju, a teren koji je ispred rudarskih radova je pokrenut te izvedba po prethodnim projektnim rješenjima nije moguća.

Namjena bunara je dvostruka, odnosno u funkciji su sniženja pritiska iz podine na glavni ugljeni sloj u području aktivnih rudarskih radova, a ujedno vrše sniženje nivo podzemne vode u zoni sjeverne završne kosine.

Pored ovih novih bunara za intenzifikaciju sniženja nivoa podzemne vode neophodna je sanacija ranije izbušenih bunara ŠBG – 6 i 7 na lokalitetu Pandurišta, a nalaze se van dohvata rudarskih radova u narednoj fazi eksploatacije (narednih 5 godina).

Za izvođenje ovih bunara odabrana je također metoda bušenja sa direktnim ispiranjem bentonitnom isplakom i čistom vodom u pjeskovitoj zoni ugradnje filterske konstrukcije. Razlika je u tome da se bunari izvode u dvije faze. Prva faza je bušenje i ugradnja zaštitno eksploatacione kolone do ugljenog sloja, a druga je nastavak bušenja kroz ugljeni sloj i vodonosni sloj sa bentonitnom isplakom i proširenje kanala bušotine u zoni vodonosnog sloja sa čistom vodom kao ispirnim sredstvom.

Važno je napomenuti da se bunari izvode u vodonosnoj sredini gdje vlada arteški pritisak (oko 5 bara na ušću bunara) te će se morati obezbijediti dodatna oprema na ušću bušotine kako bi se izbjegle neželjene posljedice na sigurnost ljudi i opreme. Dubina bušenja bunara je od 96 m do 105 m.

## 6. PRORAČUNA EFEKATA RADA SISTEMA DRENIRANJA

Prognozno sniženje nivoa podzemne vode kao rezultat rada izvedenog sistema za dreniranje, podrazumjeva hidrodinamičku analizu podzemne filtracije u datom području i vremenu a poslužiti će za ocjenu pouzdanosti rješenja odabranog sistema dreniranja. Obzirom da su vrlo složeni elementi podzemnog toka (granični uslovi različitog tipa po obodu, heterogene filtracione karakteristike sredine, složen sistem i karakter podzemnog toka, promjenjiva moćnost i niz drugih) i heterogenost sistema za dreniranje (vrste i dispozicija drenažnih objekata, vrijeme izrade i aktiviranje i dr.) vrlo je teško postaviti praktično upotrebljiv hidrodinamički model i provesti odgovarajuće proračune sniženja nivoa podzemne vode koji bi nedvosmisleno prognozirali vrijeme rada sistema dreniranja, potrebno za zadato sniženje nivoa podzemne vode. U takvim uslovima nužno je izvesti određena pojednostavljena i šematizacije uslova filtracije, koji naravno imaju svoju opravdanost u realnoj procjeni hidrogeološkog modela ležišta i uslova dreniranja.

Na osnovu složenosti, a djelimično uvažavajući različito hidrodinamičko okruženje I i II vodonosnog sloja, odgovarajući proračuni su izvršeni odvojeno.

### 6.1. Proračun efekata rada sistema za dreniranje I vodonosnog sloja

Za usvojeni sistem dreniranja izvršen je odgovarajući hidrodinamički proračun sniženja nivoa podzemne vode u određenoj karakterističnoj tački za provjeru mogućnosti obezbjeđenja postavljenih uslova zavodnjenosti.

Obzirom na sadašnje hidrodinamičko stanje u vodonosnim slojevima u razmatranom području proračun će se izvršiti za I vodonosni sloj. Kao karakteristična tačka za proračun sniženja uzeta je tačka A (pijezometar PPŠ-2) gdje je nivo podzemne vode registrovan na koti 204 m.n.m..

Proračun sniženja je izveden analitičkim postupkom po opštem obrascu Theiss-a, za zadatu hidrogeološku šemu vodonosnog sloja (slika broj 4.) u uslovima nestacionarnog režima tečenja i za različita vremena crpljenja.

$$S = \frac{Q_{sm}}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot N \quad N = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i \cdot E_i \left( -\frac{r_i^2}{4at} \right) + E_i \left( -\frac{\rho_i^2}{4at} \right) \right]$$

Gdje je:

S – sniženje nivoa u datoj tački vodonosnog sloja,

$Q_{sm}$  – sumarni kapacitet crpljenja sistema,

T – transmisivnost sloja,  
 N – sumarni hidraulički otpor sloja u datoj tački,

Za usvojenu hidrogeološku šemu "poluograničenog sloja sa nepropusnom granicom" opšti hidraulički otpor je izračunat po obrascu F.M.Bočevera.

$$N = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i \cdot E_i \left( -\frac{r_i^2}{4at} \right) + E_i \left( -\frac{\rho_i^2}{4at} \right) \right]$$

Gdje je:

$\alpha$  - odnos kapaciteta pojedinačnog bunara i sumarnog kapaciteta crpljenja,

$E_i \left( -\frac{r_i^2}{4at} \right)$  - eksponencijalna funkcija izraza u zagradi,

$r_i$  – udaljenost proračunske tačke od pojedinog bunara,

$\rho_i$  - udaljenost proračunske tačke od "imaginarnog (projeciranog) bunara,

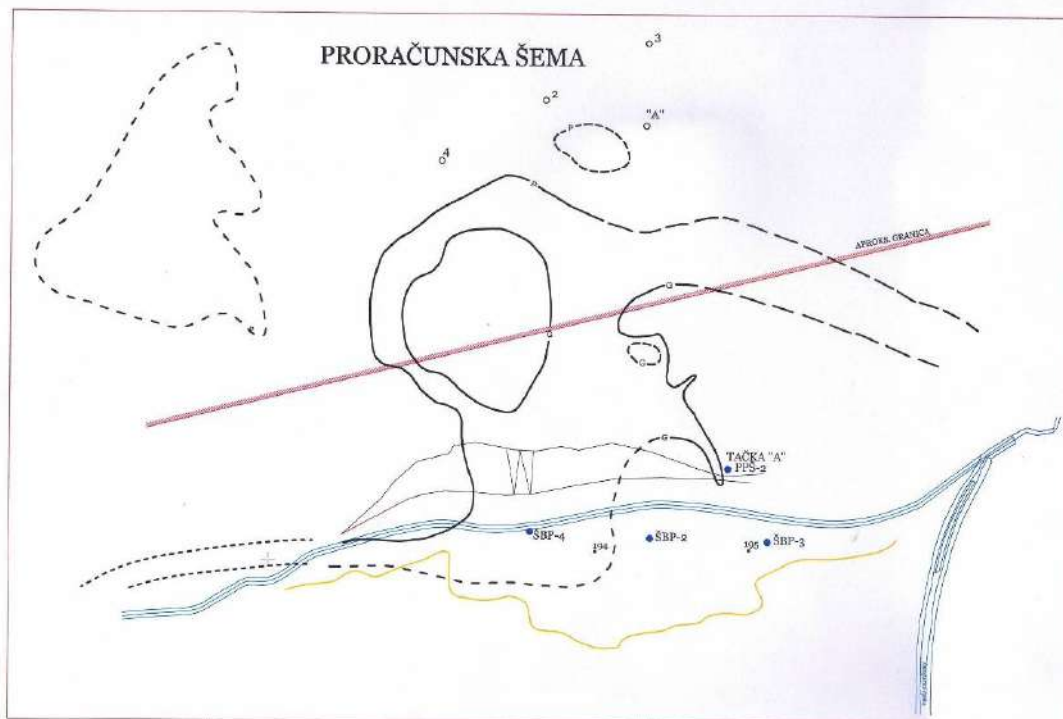
$a$  – koeficijent pijezoprovodnosti,

$t$  – vrijeme crpljenja (rada sistema) za koje se računa sniženje,

Za odabranu tačku proračun je proveden uz pretpostavku da su istovremeno u radu 3 bunara (ŠBP-2, 3 i 4) što se realno može obezbijediti obzirom na planiranu dinamiku razvoja rudarskih radova i mogućnost rada bunara na platou Šikuljačke rijeke.

Pojedinačni kapaciteti crpljenja su usvojeni kako slijedi:

|       |           |
|-------|-----------|
| ŠBP-2 | 300 l/min |
| ŠBP-3 | 300 l/min |
| ŠBP-4 | 150 i/min |



Proračunska šema za I vodonosni sloj

**Slikabroj 4.**

Sumarni kapacitet crpljenja za koji je računato sniženje je usvojen:

$$Q_{\text{sum}} = 750 \text{ l/min ili } Q_{\text{sum}} = 1080 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

Proračun sniženja NPV je izvršen za slijedeća vremena crpljenja:

$$t_1 = 180 \text{ dana}$$

$$t_2 = 360 \text{ dana}$$

$$t_3 = 550 \text{ dana}$$

i pri tome dobiveno je sniženje nivoa podzemne vode u tački „A“:

$$S_1 = 25,55 \text{ m}$$

$$S_2 = 26,90 \text{ m}$$

$$S_3 = 27,92 \text{ m}$$

Iz navedenog proračuna vidi se da će se uključanjem bunara u rad za 550 dana sniziti nivo za 27,92 m, odnosno do kote 176 m.n.m. što zadovoljava potrebu rudarskih radova u području sjeverne kosine u tom periodu. Period od 550 dana odnosi se za period izrade korita Šikuljačke rijeke kada nivo podzemne vode mora biti ispod kote 190 m.n.m.

**6.2. Proračun efekata rada sistema za dreniranje II vodonosnog sloja**

Sa aspekta uspostavljanja hidrogeološke šeme II vodonosnog sloja treba naglasiti složene uslove prihranjivanja i kombinirani režim filtracije naročito od kada su poremećeni odnosi koji su nastali pomjeranjem masa na sjeveroistočnom dijelu PK i ne zna se pouzdano da li je i koliko deformisan ugljeni sloj uslijed neodvodnjavanja u periodu prije izvođenja samoizlivnih bunara ŠBG-1P i ŠBG-2P. Zbog toga nije moguće usvojiti uobičajene šeme (neograničen sloj, poluograničen sloj, sloj traka ili sl.) za koje postoje standardni obrasci i metode (superpozicija strujanja i preslikavanja) za proračun elemenata filtracije, odnosno, u ovom slučaju, vremena potrebnog za sniženje nivoa podzemne vode u svim tačkama polja filtracije, odnosno područja sjeverne kosine.

U odnosu na ranije opisane hidrogeološke uslove, usvojiti će se opća hidrogeološka šema "neograničenog vodonosnog sloja pod pritiskom".

U datim uslovima formiran je sistem objekata za dreniranje koga čini određen broj pojedinačnih tačaka dreniranja (bunara) u relativno pravilnom dvolinijskom rasporedu, uslovljenom položajem rudarskih radova, na kojima se izvode bunari. Takav sistem drenažnih objekata predstavlja sistem „međusobno uplivnih bunara“ za koje bi proračun sniženja i međusobnog upliva za svaki pojedinačni objekat bio besmislen jer je teoretski poznato da, saglasno općim principima superpozicije strujanja, filtracioni tok na određenom rastojanju od grupe drenažnih objekata postaje ovisan isključivo od sumarnog kapaciteta drenažnih objekata a ne od njihovog broja i rasporeda ili stepena savršenosti zahvatanja sloja. Poznato je da određena grupa linijskih raspoređenih međusobno uplivnih bunara formira polje filtracije čiji elementi su vrlo bliski polju filtracije pojedinačnog bunara, ekvivalentno povećanog radijusa i kapaciteta jednakog sumarnom kapacitetu te grupe bunara. Za ovakav sistem se koristi pojam „veliki bunar“ a proračun efekata dreniranja se svodi na proračun uopštenog sistema drenažnih objekata (linijskih, prstenastih ili plošnih) i računске postupke raspoložive u stručnoj literaturi dinamike podzemnih voda.

U prilog ovim razmatranjima je i činjenica da nakon izvođenja bunara ŠBG-5P i ŠBG-6P bunari ŠBG-1P i ŠBG-2P gube funkciju samoizlivnih bunara jer novi bunari se izvode na koti 80 m.nm. To znači da će u radu biti 4 bunara koji su u skoro kvadratnom rasporedu. Zbog toga u pravom smislu ova 4 bunara imaju funkciju velikog bunara koji je uvijek na najnižoj koti površinskog kopa.

Zbog toga će se šematski pristup pojednostaviti tako da se zanemare granice prihranjivanja nego će se usvojiti šema "neograničenog sloja pod pritiskom". Ovakva šema je nepovoljnija od realnog stanja, gdje postoje granice ograničenog prihranjivanja ( $q = f(t)$ ) i dijelom granice bez prihranjivanja ( $q = 0$ ), pa će rezultati proračuna biti pomjereni na stranu sigurnosti. Ovdje se ne daje detaljan opis graničnih uslova jer on proizilazi iz opštih hidrogeoloških uslova. Naglašava se samo da je broj i raspored drenažnih objekata, između ostalog, prilagođavan utvrđenim granicama prihranjivanja tako, da su objekti (bunari) locirani i pogađavani prema stvaranju uslova za njihovo izvođenje u određenom vremenu.

U konkretnom slučaju sistema za dreniranje II vodonosnog sloja površinskog kopa "Šikulje" u čijem sklopu je i sjeverna kosina, broj i raspored drenažnih objekata je prvenstveno uslovljen rudarsko tehnološkim uslovima, odnosno dinamičkim otkopavanja I krovnog ugljenog sloja. Zbog toga se može usvojiti šema plošnog sistema drenažnih objekata u „neograničenom vodonosnom sloju“ i provesti odgovarajući proračun sniženja za "veliki bunar" ekvivalentnog radiusa ( $R_o$ ) u "nestacionarnom režimu filtracije" (po F.M. Bočeveru).

Plošni sistem bunara zamijenit će se bunarom ekvivalentnog radiusa  $R_o = \frac{O}{2\pi}$  gdje je:

$O$  = perimetar plošnog sistema (obim konture)

$$R_o = \frac{1463 \text{ m}}{2 \cdot 3,14} = 233 \text{ m}$$

Sniženje nivoa podzemne vode ( $S$ ) u bilo kojoj tački filtracionog polja ovakvog bunara u sloju pod pritiskom iznosi:

$$S = \frac{Q_{sum}}{4\pi k \cdot m} \cdot f_p$$

gdje je:

$S$  = sniženje NPV,

$Q_{sum}$  = sumarni kapacitet sistema drenažnih objekata (bunara),

$k \cdot m$  = transmisivnost ( $T$ ),

$f_p$  = bezdimenzionalni koeficijent filtracionih gubitaka (otpora) koji je

$$\text{funkcija parametara } \bar{r} = \frac{r}{R_o} \text{ i } F_o = \frac{a \cdot t}{R_o^2}.$$

Koeficijent filtracionih gubitaka  $f_p$  je specifični parametar plošnog sistema drenažnih objekata i dobiva se iz nomograma, zavisno od parametara  $\bar{r} = \frac{r}{R_o}$  i  $F_o = \frac{a \cdot t}{R_o^2}$

gdje je:

$\bar{r}$  = parametar

$r$  = udaljenost tačke od središta „velikog bunara“ (za tačke unutar konture „velikog bunara“  $r = 0$ )

$R_o$  = ekvivalentni radijus „velikog bunara“

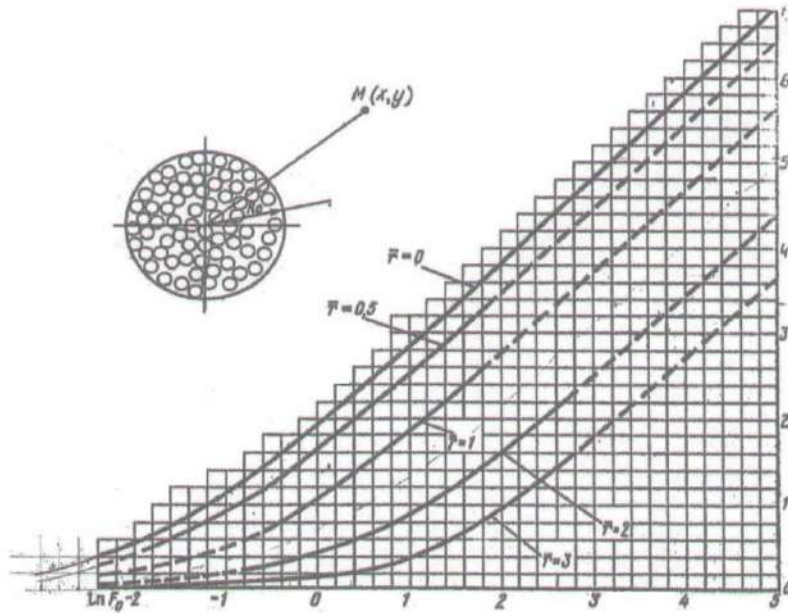
$F_o$  = parametar

$a$  = koeficijent pijezoprovodnosti

$t$  = vrijeme rada sistema

Nomogram za određivanje  $f_p$  je dat na slici 5. (po Bočeveru)





**Nomogram za određivanje koeficijenta filtracionih gubitaka  $f_p(r, F_0)$**   
*Slika broj 5.*

Iz ranijih razmatranja poznate su vrijednosti filtracionih parametara:

$$T = 3,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 33,78 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$a = 4,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 4233,60 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$Q_{\text{sum}} = 3546 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Odredit će se sniženje nivoa unutar konture „velikog bunara“ odnosno za vremena:

$$t_1 = 180 \text{ dana}$$

$$t_2 = 360 \text{ dana}$$

$$t_3 = 550 \text{ dana}$$

Vrijeme se podrazumijeva od početka funkcije kompletnog sistema.

Očitavanje vrijednosti  $f_p$  za različita vremena se vrši iz nomograma a sniženja izračunata po odgovarajućem obrascu su data u tabeli:

*Pregled računskih sniženja*

*Tabela broj 2.*

| Vrijeme dana | F | $F_0$  | $f_p$ (očitanje) | Sniženje S (m) za vrijeme t (dana) | Napomena |
|--------------|---|--------|------------------|------------------------------------|----------|
| $t_1=180$    | 2 | 14,042 | 2,20             | 17,92                              |          |
| $t_2=360$    | 2 | 8,0742 | 2,80             | 22,79                              |          |
| $t_3=550$    | 2 | ,89    | 3,08             | 25,07                              |          |

Iz navedenog proračuna vidi se da će sistem bunara za odvodnjavanje II vodonosnog sloja za 550 dana sniziti nivo za 25,07 m što zadovoljava potrebu rudarskih radova u tom periodu. Ovome treba pridodati da bunari ŠBG-6 i ŠBG-7 nisu uzeti u obzir kod proračuna jer su van konture "velikog bunara", a ne treba zanemariti da su njihovi crpni kapaciteti oko 1000 l/min, odnosno  $Q_{\text{sum.}} = 2880 \text{ m}^3/\text{dan}$ . Pored toga u funkciji će biti i bunar ŠBV-1 koji služi za

vodosnabdijevanje rudnika vodom. Zbog toga se može očekivati da će efekti dreniranja biti i nešto povoljniji.

## 7. ZAKLJUČAK

Sjeverna kosina na površinskom kopu „Šikulje“ je važan strateški objekat koji ima višestruku ulogu kod dalje egzistencije eksploatacije uglja na ovom prostoru. Da bi se obezbijedilo nesmetano napredovanje fronta rudarskih radova potrebno je izvršiti izmještanje i regulaciju korita Šikuljačke rijeke.

Nakon razmatranja svih predloženih tehničkih rješenja, koja su prošla ustaljenu proceduru, prihvaćena je varijanta prevođenja voda Šikuljačke rijeke otvorenim kanalom preko sjeverne završne kosine. Ovo tehničko rješenje je nametnulo izmjenu oblika i djelimično položaja sjeverne kosine na površinskom kopu i ujedno povećala značaj ovog objekta.

Definisanjem geometrijskih parametara površinskog kopa utvrđeno je da se sjeverna završna kosina nalazi u izrazito nepovoljnim geotehničkim uslovima, a da geološki, hidrogeološki i geomehanički faktori stabilnosti kosine moraju biti dodatno obezbijeđeni poduzimanjem adekvatnih mjera stabilizacije. Pored toga specifično je da su i prirodni uslovi djelimično poremećeni prethodnim rudarskim radovima na tom području.

Istražnim radovima je utvrđeno da prostor sjeverne kosine pripada asimetričnoj sinklinali pružanja zapad-istok čija su krila relativno strma. Sam prostor obuhvata dio strmog sjevernog krila, odnosno može se u strukturnom smislu posmatrati kao monoklinala u kojoj su razvijeni ugljeni slojevi sa pratećim naslagama glina i pijeskova različite granulacije koji su zavodnjeni.

Na osnovu provedenih analiza stabilnosti na karakterističnim kritičnim profilima, utvrđeno je potrebno sniženje u I i II vodonosnom sloju prema dubini potencijalne klizne ravni tako da sniženi nivo vode generalno bude na dubini klizne ravni odnosno na apsolutnim kotama 145 m.n.m. u prvom vodonosnom sloju i 115 m.n.m. u drugom vodonosnom sloju:

Analizom stabilnosti je dokazano da dreniranje pijeskova koji se pojavljuju u zoni sjeverne kosine ima presudan značaj za stabilnost završne kosine. Snižanjem nivoa podzemne vode ispod kritične klizne plohe obezbijedio bi se se zahtijevani koeficijent sigurnosti.

Kao hidrotehnički objekti za sniženje nivoa podzemnih voda odabrani su vertikalni bušeni bunari, i to tri bunara za odvodnjavanje I vodonosnog sloja i četiri bunara za odvodnjavanje II vodonosnog sloja. Kod izbora ove metode stabilizacije, odnosno iznalaženja tehničkih rješenja dreniranja kosine vodilo se računa o značajnim ograničenjima zbog naglašene ovisnosti od prostora, uslova i vremena izvođenja objekata.

Adekvatnim proračunom efekata dreniranja prognozirano je da će se uključenjem bunara u rad za 550 dana sniziti nivo za 27,92 m u prvom vodonosnom sloju, a u drugom sniziti nivo za 25,07 m što zadovoljava potrebu rudarskih radova u tom periodu. Period od 550 dana odnosi se za period izrade korita Šikuljačke rijeke kada nivo podzemne vode mora biti ispod kote 190 m.n.m

## LITERATURA:

*I.Jahić, E. Dajdžić, D. Halilagić i dr.*

- *Dopunski rudarski projekat odvodnjavanja i zaštite sjeverne kosine na PK "Šikulje" od podzemnih voda (Tuzla 2012.)*

**M.M. Komatina** (1990)

- Hidrogeološka istraživanja; Primijenjena hidrogeologija

**Fond stručne dokumentacije ZD Rudnici „Kreka“**

- Elaborat detaljnih geoloških, hidrogeoloških i geotehničkih istraživanja područja Prline – Šikulje (1987.),
- Dopunski rudarski projekat – Izrada sjeverne kosine na PK „Šikulje“ sa idejnim rješenjem prevođenja voda Šikuljačke rijeke (1989)
- Dopunski rudarski projekat zaštite PK "Šikulje" od površinskih i oborinskih voda 2006 - 2010 godine (PK "Šikulje" 2006.),
- Elaborat mjera sanacije sistema za odvodnjavanje i zaštite PK "Šikulje" od podzemnih voda ("Kreka" 2007.),
- Tehnički projekat eksploatacije na PK "Šikulje" za drugih pet godina eksploatacije,
- DRP rasterećenja dijela sjeverne završne kosine PK "Šikulje" do kote 210 m.n.v. (2010.),
- Pojednostavljeni rudarski projekat izrade usjeka za uspostavljanje platoa za prevođenje korita potoka Šikuljačka rijeka obodom dijela sjeverne kosine PK "Šikulje" (2011.)
- Pojednostavljeni rudarski projekat rasterećenja sjeverne završne kosine do platoa korita potoka Šikuljačka rijeka na PK "Šikulje" (2012.),

## Mogućnosti istraživanja i korištenja ležišta geotermalne vode u BiH

SLOBODAN KOLBAH  
MLADEN ŠKRLEC  
FRANJO GRIVIĆ

### Sažetak rada:

Istraživanjem i eksploatacijom ležišta ugljikovodika u Hrvatskoj uspješno se bavimo nekoliko desetljeća a od samih početaka uključeni smo u istraživanja i eksploataciju ležišta geotermalne vode u RH. U osamdesetim godinama surađivali smo sa kolegama u BiH na definiranju ovog obnovljivog i ekološki prihvatljivog, ali i sve više s ekonomskog stajališta značajnog energetskeg potencijala.

O prisustvu ležišta geotermalne vode svjedoče brojni prirodni termalni izvori ali i podaci dobiveni istraživanjem ugljikovodika koji upućuju na velike mogućnosti još neotkrivenih ležišta.

Regionalnu geološku građu BiH čine dijelovi Vanjskih, Unutrašnjih Dinarida i Panonski bazen. Tako i mogućnost formiranja ležišta geotermalne vode pratimo od teško utvrdivih - ograničenih prodora geotermalne vode do masivnih i prostranih manje poremećenih slojnih ležišta, koje utvrđujemo i pripremamo za eksploataciju i korištenje na prihvatljivo siguran i isplativ način.

Na prostoru BiH koristi se niz objekata od prirodnih izvora do bušotina ali gotovo svuda nedostaje cjeloviti pristup, a to je osnova razvoja, ekološkog i ekonomičnog korištenja ležišta geotermalne vode.

Primjena domaćih i stranih iskustva bitna su za regionalna ali i detaljna sagledavanja lokalnog karaktera. Ona nam omogućuju privlačenje relativno visokih sredstava za početna ulaganja, izradu potrebne projektne dokumentacije, od prijedloga prostornih planova razvoja i zaštite okoliša, do detaljnih projekata istraživanja i eksploatacije ove vrijedne lokalne energije.

### Abstract:

Exploration and exploitation of hydrocarbon reservoirs in Croatia was successfully used for several decades, and from the beginning, we are involved in the exploration and exploitation of geothermal reservoirs in Croatia. In the Eighties we have cooperated with counterparts in BiH with the definition of being renewable and environmentally friendly, and also increasingly, from an economical point of view, a distinguishing source of energy potential.

The presence of geothermal reservoirs, evident by numerous natural hot springs and research data hydrocarbons, indicate great potential undiscovered deposits.

Regional geological structure consists of pieces of BiH, foreign, Inner Dinarides and Pannonian Basin. Thus, the possibility of the formation of geothermal reservoirs is difficult to keep track of - from the limited penetration of geothermal water to the massive and less spacious disordered layered deposits, which we can determine and prepare for acceptable exploitation in a secure and cost-effective manner.

In the territory of Bosnia and Herzegovina, there is a usage of a range of facilities from natural sources to wells, but almost all lack a holistic approach. That is the basis of the development of the ecological and economic use of geothermal reservoirs.

The applications of national and international experiences are essential for regional and detailed consideration of the local habitat. It allows us to attract relatively high funding for the initial investment, making the necessary project documentation, the proposed spatial development plans, environmental projects, and also detailed exploration and exploitation of this valuable local consumption.

**Ključne riječi:** Bosna i Hercegovina, hidro-geotermalna obnovljiva energija, istraživanje geotermalnih resursa, proizvodnja termalne i električne energije iz geotermalne vode, ekonomika, ekologija,

**Keywords:** Bosnia and Herzegovina, hydro-geothermal renewable energy, exploration of geothermal resources, thermal energy and electric energy production, global economics, ecological,

## 1. Uvod

Korištenje geotermalne energije kod nas je daleko ispod sada poznatih mogućnosti. Zašto je to tako, vrlo je složeno pitanje no osnovni je razlog što se dosad uvijek nudio neki lakše dostupan i jeftiniji energent a problem očuvanja okoliša nije imao veće značenje.

Čini se da je nakon perioda dominacije prirodnog plina otvoren prostor za korištenje geotermalne energije. U tim uvjetima prioritetni objekti su ležišta višeg rizika i tome razmjerna dobit, kakva iskustva imamo u Panonskom prostoru i drugim ograničenim mlađim sedimentnim bazenima.

Drugim riječima, daljnja poskupljenja na tržištu energenata, opravdalo bi viša ulaganja u površinska geološko-geofizička istraživanja i duboko bušenje za utvrđivanje i proizvodnju energetski vrjednijih geotermalnih ležišta.

Bitan, trenutni, element u ekonomskoj dohvatljivosti tih otkrića bilo bi korištenje "lokalne materijalne i intelektualne baštine": još uvijek raspoložemo s dosadašnjim saznanjima istraživanja površinskim geološkim - geofizičkim metodama i dubokih bušotina i znanjima za otkrivanje i korištenje geotermalnih ležišta.

Iskustva istraživanja i proizvodnje u mlađim sedimentnim bazenima i njihovoj podlozi, stečena su u sklopu intenzivnog istraživanja ugljikovodika i drugih sirovina te prikupljanju znanstvenih saznanja.

Za taj materijalni i intelektualni potencijal, treba usporedno voditi pravni i fizički proces, kojim bi informacije bile sačuvane i dostupne te istovremeno otvaranje istražno-korisničkih projekata, od regionalnih do lokanih. Regionalna inicijalna studija dokumentira postojeća saznanja i upućuje na potencijal, dok lokalni projekti vode k njegovom korištenju. Pored korištenja postojećih informacija, ključan dio tog procesa je intelektualne prirode, pa je na tragu njegovog pokretanja i usmjerenja i ova publikacija. Racionalan pristup je korištenje dosadašnjih saznanja i iskustava ili korištenje naše baštine.

S ovim obrazloženjem razumljiviju težinu dobiva izjava autora, da se s istraživanjem i eksploatacijom ležišta ugljikovodika u Hrvatskoj i šire, uspješno bavimo nekoliko desetljeća, a od samih početaka, uključeni smo u istraživanja i eksploataciju ležišta geotermalne vode u Republici Hrvatskoj (brojne starije publikacije iz sedamdesetih te dokumentacija RH i fondova INA-Naftaplina) pa i na međunarodnom planu (Stanković et al, 1887; Kolbah et al, 2008 a & b; Jelić et al, 2009; Kolbah, 2010). Pored ostalog u osamdesetim godinama surađivali smo sa kolegama u BiH (Miošić, 1986) u okviru kontinentalnog projekta na definiranju geotermalnog potencijala Evrope (Hurtig et al, 1993).

U skorije vrijeme i u BiH značajni su radovi na sintezi dosadašnjih spoznaja i novim iskoracima k definiranju njenih prirodni resursa (Jovanović et al, 2012). Takve radove treba pozitivno prihvatiti u smislu otvaranja procesa nadmetanja k izradi sve cjelovitijih i novim rezultatima usmjerenih projekata.

Prema tome ako ne dođe do stabilizacije tržišta, odnosno dugotrajnog pada cijene jednog od najprihvatljivijeg energenta – plina, otvaraju se ozbiljne mogućnosti za korištenje domaćeg energetskog potencijala geotermalne energije. Prema našim iskustvima i dosadašnji rezultati u BiH usporedivi su tek s malim djelom vidljivog vrha ledene sante. Dakle, značajniji dio potencijala ležišta geotermalne vode, ovdje tek treba istražiti i privesti korištenju. Ti prostori raspoložu s obnovljivim i ekološki prihvatljivim, ali i sve više s ekonomski interesantnim energetskim potencijalom.

## 2. Gdje smo – Što je učinjeno i što se može bolje

O prisustvu ležišta geotermalne vode svjedoče brojni prirodni termalni izvori, no za nastavak istraživanja i korištenja geotermalnih resursa treba uključiti i raspoložive informacije fundamentalnih i namjenskih istraživanja drugih prirodnih resursa i mineralnih sirovina. Naša iskustva kreću s istraživanjem i proizvodnjom ugljikovodika i geotermalnih ležišta, pa će u daljnjem izlaganju oni činiti važnu okosnicu.

### 2.1. Prostorni smještaj

Geografski, Bosna & Hercegovina smještena je na jugu Europe u sjeverozapadnom djelu Balkanskog poluotoka, između geografske visine 15° 40' 00" i 19° 40' 00" i geografske dužine 45° 15' 00" i 42° 30' 00".

Prostire se na površini od preko 51 000 km<sup>2</sup>. Reljef je uglavnom gorovit s najvišim vrhovima koji se uzdižu preko 2 000 m, no tu ima i prostora s mnogo slabije izraženim reljefom, s brojnim manje ili više prostranim dolinama. Naseljenost gorskih dijelova je mala, a koncentracija pučanstva je u dolinama i gradovima. Grad Sarajevo ima najbrojniju populaciju a važna veća naselja su Bihać, Banja Luka, Tuzla, Zenica, Mostar i druga.

Klimatološki, najviši dijelovi su prekriveni snijegom veći dio zime, ali u ostalim dijelovima uvjeti su povoljniji s toplim suhim ljetima.

## 2.2. Važnost istraživanja i proizvodnje ugljikovodika za aktiviranje geotermalnih resursa

Kao i u istraživanju geotermalnih ležišta gdje pratimo termalna vrela interes za traženje ležišta nafte i prirodnog plina pobudile su površinske pojave asfalta i bituminoznih stijena u Dinarskom prostoru i Panonskom bazenu. Prve informacije o tome, datiraju s kraju XIX – stog stoljeća. To su, nalaz površinskog izlivanja nafte na prostoru planine Majevice, sjeveroistočno od grada Tuzle.

Krajem tog stoljeća, u okolici Tuzle, kod Rožanja obavljena su prva bušenja (od 100-600 m dubine pojedinog objekta) te se zahvaljujući tome tamo obavljala i prva, ograničena proizvodnja nafte od 1885 do 1898 godine.

Upravo je prostor Tuzle poznat po brojnim termalnim i mineralnim izvorima, pa to smatramo kao još jedan razlog da oba resursa pratimo zajedno.

S formiranjem Prve Jugoslavije (koja je postojala od 1919 do 1944 godine), dodijeljene su 42 dozvole za istraživanje i proizvodnju nafte i plina, na ukupno 65 000 km<sup>2</sup>, od kojih je velik dio zahvatio današnji prostor Bosne i Hercegovine. Ti međunarodni natječaji pobudili su interes Engleskog, Holandskog, Američkog, Francuskog, Talijanskog i Njemačkog kapitala. Već u 20-tim sva istražna – proizvodna prava preuzeo je državni monopol "Monopolska uprava".

Od 1930-1940 država je istraživala na prostoru Majevice u Tuzlanskom tercijarnom bazenu kod: Zavida, Rožanja, Slavinovića, Dolova, Simin Hana, u Prnjavorskom tercijarnom bazenu kod Tešanja, i Sarajevskom bazenu kod: Kaknja i Vareša. Pored pojava plina na bušotinama Slavinovići-1 i Dolovi-1, najvažniji rezultati su dobiveni kod Požarnice na prostoru tuzlanskog bazena, gdje je od 1938-1943 pridobivana nafta (do 800 t nafte godišnje, ukupno oko 1300 t sirove nafte), i to je bila prva ozbiljnija eksploatacija nafte na prostoru Bosne i Hercegovine, odnosno cijele ondašnje Jugoslavije.

Suvremeniji pristup geološko –geofizičkom istraživanju nafte i plina započeo je početkom 1940-tih i nastavlja se do danas.

Geološke aktivnosti uključivale su površinsko kartiranje, regionalno geološko profiliranje do detaljne stratimetrije i geokemijskih opažanja, uzorkovanja i analiziranja i kasnije Landsat i fotogeološke i strukturne analize i geomorfološke studije.

Geofizički radovi uključivali su gravimetriju, magnetometriju, geoelektiku i seizmička snimanja. Ove istraživačke metode su uglavnom bile regionalnog karaktera i rijetko lokalnog.

Njemački izvođač "Jugopetrol A.G." i podizvođač "Seiskos", Hanover (1941-1943) poduzeo je prvo regionalno gravimetrijsko i seizmičko istraživanje.

S intenziviranjem gravimetrijskih mjerenja i sistematičnijim pristupom od 1951 godine do potkraj prošlog stoljeća cijeli prostor je gravimetrijski premjeren, iako gustoća točaka mjerenja znatno varira. Tako je na velikom dijelu zemlje proveden tek regionalni premjer 1 stanica / 10 km<sup>2</sup> dok je na drugim prostorima dostignuta gustoća mjerena od 1 stanica / 1 km<sup>2</sup>.

Magnetometrijska mjerenja započeta su 1955 godine i u početku je mjerena samo vertikalna komponenta zemljinog magnetskog polja, da bi kasnija mjerenja uključila i horizontalnu komponentu. S mjerenjima cjelokupnog zemljinog magnetskog polja započeto je 1963 godine. Tim radovima postignuta je gustoća mjerenja 1 stanica / 10 km<sup>2</sup>, iako na nekim prostorima ona je i 1 stanica / 4 km<sup>2</sup>.

Regionalna geoelektrična mjerenja su počela 1963 godine kod Glamoča (Vanjski Dinaridi) i na sjeveroistoku zemlje kod Tuzle (marginalni Panonski bazen uz Savsku potolinu odnosno dio Ofiolitne zone tzv. Savske Ofiolitne zone) Kako se radilo o vrlo dubokom sondiranju dobiveni su i duboki profili poprijeko cijelog mjenenog prostora.

Seizmičko profiliranje Vanjskih Dinarida počelo je 1953 godine, ali je većina tih radova obavljena početkom 60-tih, kad se ukupna dužina tih mjerenja približila 200 km.

Ograničena seizmička profiliranja obavljena su u 60-tim i 70-tim, te je njihova dužina bila ispod 200 km, u takozvanom „Prelaznom“ prostoru (središnjem djelu Ofiolitne zone) ili između tipičnih prostora unutrašnjih Dinarida koji se postepeno prekrivaju manjim ili većim razvojem Panonskih tercijarnih naslaga (tzv. Savske Ofiolitne zone).

Kod većine tih radova, osim kod Mostara i u Bosanskoj Krajini, profili su bili orijentirani duž struktura.

Seizmička mjerenja u Bosanskoj Posavini ili u dijelovima Panonskog bazena (tzv. Savske Ofiolitne zone) počela su 1955 godine s niskim intenzitetom do početka 60-tih, kad je prvi put snimljeno više od 100 km godišnje. Intenzivniji radovi ponovljeni su u 80-tim, kad je u posljednjim godinama snimljeno do 500 km godišnje.

Ukupno je na ovom relativno ograničenom prostoru snimljeno preko 3 200 km 2D seizmičkih profila. U usporedbi s prostorom Vanjskih Dinarida, većina 2D seizmičkih profila je snimljena u prostorima Panonskih bazena, posebno na prostoru Gradiške i Brčkog odnosno u marginalnim dijelovima Savskog bazena i mnogo manje u Prnjavorskom i Tuzlanskom bazenu.

Do 1982 godine, korišten je eksploziv kao izvor pobuđivanja seizmičkih valova ali je kasnije prevladala tehnika korištenja vibratora. Do 1970 godine, svi seizmički podaci su bilježeni analogno, da bi digitalno bilježenje započelo nakon te godine, kada su i uspostavljeni i prvi domaći centri za elektronsku obradu podataka u poduzeću „INA Naftaplin“ u Zagrebu i drugdje. Kvaliteta seizmičkih podataka se postepeno poboljšavala pogotovo nakon 1983 godine kad su sve više korišteni vibratori usporedno s primjenom novih generacija elektronske obrade podataka. Dio analognih materijala je transkodiran i kasnije zajedno s ostalim digitalnim generacijama pripremljen za korištenje na tzv. radnim stanicama.

Od super-regionalnih-kontinentalnih geofizičkih projekata, za promatrani prostor, interesantan je duboko seizmičko refrakcijsko profiliranje kao ono izvedeno od 1964 do 1971 godine smjerom: Dugi Otok – Virovitica, Palagruža - Slavonski Brod – Valpovo - ... i Cavtat – Kikinda - ... gdje je utvrđena struktura unutar sedimentnog pokrova, konsolidirane kore i dalje ispod Mohorovičeva diskontinuiteta, zemljin plašt i dalje u njenu unutrašnjost.

Nakon drugog svjetskog rata u Panonskim bazenima duboko istražno bušenje počelo je 1955 u Bosanskoj Posavini, u bazenu Brčko s bušotinom Vitanovici-1 (V-1), na kojoj su primijećene pojave plina pri bušenju kroz klastične stijene, tercijarne starosti. U razdoblju od 1955 do 1967 i 1971/72 preko 20 dubokih istražnih bušotina na naftu i plin je izbušeno u spomenutom djelu Panonskih bazena.

One su bile locirane na već spomenutom prostoru bazena Brčko i na lokacijama: Korače, Semberia, Posavina, Odžak, Domaljevac, Miloševac, i Svinjarevci, te u bazenima Gradiške, kod Bosanske Gradiške i u Tuzlanskom bazenu na lokacijama: Kovčica i Tuzla.

Na širem prostoru Dinarida 3 duboke istražne bušotine izbušene su kod: Glamoča, u inverznoj zoni vanjskih Dinarida i kod Kaknja i Vareša u Sarajevskom bazenu.

Najvažniji rezultati ovih dubinskih radova bilo je prikupljanje vrijednih geoloških informacija i utvrđivanje velikog broja indikacija na naftna i plinska ležišta kao nalaz nafte na lokaciji Semberija - 1, naftnih pojava na lokaciji Svinjarevci-1, tragova nafte na lokaciji Vitanovići-2, Posavina-3 i Kakanj-1, pojave nafte i plina na lokaciji Semberia-2 i Kovačica-2 i pojave plina na lokaciji Vitanovići-1, Kovačica-1 i Tuzla-1. To je provedeno sa strane poduzeća "INA Naftaplin", Zagreb do 70-tih kada ono napušta istraživanje nafte i plina u Bosni i Hercegovini ne uspostavivši proizvodnju niti na jednom od tih lokaliteta.

U 1980-tima nastavak istraživanja u Bosni i Hercegovini preuzima "Energoinvest" odnosno njegova rafinerija nafte u Bosanskom Brodu kao voditelj istraživanja s nekoliko izvođačkih poduzeća kao "Geoingenjering", Sarajevo, "Industroprojekt", Zagreb i drugim, dok su geofizički radovi vođeni sa strane "Geco Geophysical Co", London, "Geofizika" Zagreb, "Geozavod", Beograd i drugih.

Kao i prethodni ovo istraživanje bilo je fokusirano na Bosansku Posavinu, odnosno tamošnje dijelove Panonskog bazena.

Nakon prvih pet godina snimljeno je dodatnih 1 000 km 2D seizmičkih profila. Tri duboke istražne bušotine locirane su u bazenu Brčko, kod Bijeljine, Brvnika i Obudovac. Tjekom ovog bušenja, kod Brvnika, utvrđene su značajne pojave nafte. Nažalost snimanje dodatnih 1 500 km 2D

seizmičkih profila, tijekom sljedećih pet godina, nije završilo očekivanim dubokim bušenjem koje bi najvjerojatnije dovelo do otkrića ekonomskog ležišta ugljikovodika.

Isto tako, značajni geološki, geokemijski i geofizički radovi, pred ratnim zbivanjima izvršeni su i na prostoru Dinarida koji isto tako nisu privedeni kraju s očekivanim otkrićima ugljikovodika.

Danas smo svjedoci da je vlada Republike Srpske, „Jadran-Naftagasu“, koji je u vlasništvu ruskih kompanija „Njeftegasinkora“ i „Zarubrežnjefta“, koje su vlasnici i naftnih industrija Srbije i RS-e, dala 2011 godine koncesiju na istraživanje i eksploataciju nafte u tom entitetu. Ovog ljeta (2013) ovaj istraživački ciklus zaokružen je prvom istražnom bušotinom kod Obudovca (gdje je u prethodnoj istraživačkoj kampanji već izgrađena bušotina Obudovac – 1 (Ob-1).

U Federaciji BiH posao istraživanja nafte dodijeljen je svjetski poznatoj kompaniji Shell.

Korištenje pojedinih informacija iz ovih obimnih radova, rezultirao je definiranjem osnovnih elementa poznavanja geotermalnog potencijala u osamdesetim godinama. Tada smo u suradnji sa kolegama u BiH (Miošić, 1986), u okviru kontinentalnog projekta na definiranju geotermalnog potencijala Evrope (Hurtig et al, 1993), uz korištenje ostalih relevantnih informacija, izradili osnovne setove podataka i rezultirajuće karte temperatura na pojedinim dubinama, gustoće pritoka zemljine topline na površinu zemlje, katastar i prikaz termo mineralnih izvora te prikaz prostora pogodnih za korištenje nisko entalpijskih resursa. S današnjim iskustvima i dubljom analizom moguć je kvalitetan korak dalje.

### 2.3. Regionalne geološke spoznaje u svjetlu istraživanja naftnog – geotermalnog potencijala

Na prostoru Dinarida i Panonskog bazena koji se odnosi na Bosnu i Hercegovinu dosadašnja istraživanja naftnog i plinskog–geotermalnog potencijala, daju pozitivne indikacije.

Za geotermalnu sliku posebno su važna geološko-geofizička opažana i mjerenjima utvrđena saznanja o prirodi zemljine kore i njezinom dinamizmu.

Povišeni prtok zemljine topline prvenstveno vezemo uz kontinentalno stanjenje zemljine kore u Panonskim prostorima na manje od 25 km s jedne strane dok je i eventualni suprotni efekt zadebljanja u zoni Vanjskih Dinarida od preko 40 km, upitan zbog njene relativno male širine i velikom aktualnom dinamizmu, zabilježenom i brojnim potresima. Ovi elementi daju nam polaznu osnovu za razumijevanje prirode doticanja zemljine topline na površinu. Dodatne spoznaje slijede iz daljnjeg raščlanjivanja geološke građe i direktnih indikacija potencijala.

U Dinaridima glavni svjedoci ugljikovodičnog potencijala su utvrđene matične - bituminozne stijene i brojne pojave degradiranog materijala-asfalta – odnosno u smislu geotermalnog potencijala koji bi po regionalnim značajkama trebao biti slabiji ili potpuno izostati, susrećemo lokalne prodore zemljine topline k površini.

Panonski bazeni su prostori s dokazanim potencijalom na ugljikovodike, s proizvodnjom u susjednim zemljama, kao što i termalna vrela - izdancima geotermalnih ležišta i indiciraju geotermalni potencijal koji je i potvrđen a mjestimice i korišten zahvaljujući dubokom bušenju.

Gotovo cijeli prostor Bosne i Hercegovine karakteriziran je kontinentalnim razvojem, s značajnom karbonatnom platformom, na jugozapadnom dijelu i njegovog pasivnog ruba prema oceanu Tetisa. Takav razvoj i izvan promatranog prostora, pratimo od južnih Alpa do Helenida. Njegova posljednja konsolidacija desila se u alpskoj orogenezi, da bi u tercijaru sjeveroistočni rub ovih zbivanja bio zahvaćen formiranjem „Panonskih“ bazena. Danas je samo prelazni i vanjski dio Dinarida jasno prisutan na površini.

Poprečno na pružanje Dinarida, od jugozapada prema sjeveroistoku ukupnu građu možemo razdijeliti u nekoliko elemenata.

Rub karbonatne platforme, kažimo – Dalmatinske zone, ruši se u njegovu singenetsku jedinicu Jadranski bazen, oba izvan ili jedva unutar najjužnijeg djela Bosne i Hercegovine. Prema istoku slijedi: glavni dio Vanjskih Dinarida, koje možemo dalje podijeliti u zone: Visokog krša, Inverzije i Predkršku zonu.



Prelazni prostor i Panonski bazeni poklapaju se s zonama: Centralnih – ofiolita i Ofiolita Savsko - Vardarske zone, nakon kojih slijede: zona škriljaca unutrašnjih Dacida i Srpsko – Makedonske zone, koja dijeli Dinaride od Karpatsko – Balkanskih masiva.

Za prioritetni model geotermalnih ležišta osim povoljnog geotermalnog pritoka zemljine topline, pogodne rezervoarske stijene trebaju prema površini imati zamku – ekran izolirajućih stijena, isto kao i kod ugljikovodičnih ležišta. Razbijanjem ili odsustvom pokrova dolazi do „oštećenja“ hidro geotermalnog ležišta i tada na površini eventualno nalazimo termo – mineralni izvor. Takve uvjete često nalazimo s pojavama potencijalno pokrovnih stijena i manjih ili većih bazena, često ispunjenih izolirajućim klasticima. Takvi prostori važan su indikator potencijalnog javljanja geotermalnih ležišta, a prema gornjem slijedu na promatranom prostoru:

Dalmatinske zone izdvajamo prostor:

Trebinje (T) Hercegovina - dinarski prostor

zone Visokog Krša izdvajamo prostor:

Mostar (N) Hercegovina - dinarski prostor

inverznog djela Prd Krške zone izdvajamo prostor:

Drežnica (In) Hercegovina - dinarski prostor

Prd Krške zone izdvajamo prostor:

Drvar – Glamoč (D) Drvar - dinarski prostor

Prve značajnije i registrirane površinske pojave termo mineralnih voda u Bosni i Hercegovini, osim u dolini Neretve kod Počitelja i Čapljine, javljaju se nakon prethodno navedenih zona, na prostoru:

Bosansko dijela Prd krške zone izdvajamo prostore:

Konjic - Neretva blok (Na) Konjic - dinarski prostor

Foča - Drina blok (Tr). Foča - dinarski prostor

Centralne ofiolitske zone izdvajamo prostore:

Zenica (Z) Sarajevo bazen

Ključ – B. Petrovac (K) Ključ - prelazni prostor

Cazin (C) Cazin - prelazni prostor

Ofiolitne Savske zone izdvajamo prostore:

Tuzla (T) Tuzla bazen - dio Panonskog bazena

Prnjavor (P) Prnjavor bazen - dio Panonskog bazena

Kostajnica (K) Kostajnica bazen - dio Panonskog bazena,

Brčko – Županja (Hrv) (B) Brčko u Posavskom dijelu Panonskog bazena i

Gradiška (G) Gradiška u Posavskom dijelu Panonskog bazena

Prijedlog ovakvog načina sistematizacije vezane uz dovoljne prostrane zone s bitnim zajedničkim geološkim značajkama važan je u naftnogeološkim istraživanjima ali i za razumijevanje geotermalnog potencijala.

U uvodu je naznačena važnost razumijevanja osnovnih pretpostavki pritoka topline na površinu zemlje, koja je većim djelom kontrolirana debljinom zemljine kore pa se vraćamo izvorima koji nam o tome govore. To su raspoloživi geofizički podaci dubokih refrakcijskih profila i njihova geološka interpretacija. Pored toga, uključujući informacije dubokih bušotina, stratimetrijskih opažanja i mjerenja upućuju da bi debljina sedimentata Vanjskih Dinarida mogla dosegnuti 17 km dok u prostorima Panonskih bazena može doseći nekoliko km. Pri tome ukupna debljina sedimentnog pokrivača i konsolidirane kore u tom smislu varira od gotovo 45 km u relativno uskoj zoni kod Livna do 25 km kod Bijeljine, što je jedna od glavnih značajki Panonskih prostora. Prema tome, debljine i rasprostranjenje prisutnih starije konsolidiranih stijena nisu u rangu „Pravih“ prostranih „Štitova“, kao na primjer, onaj malo dalje u Ukrajini s ukupnom debljinama kore od preko 50 km velikog prostiranja. Prostor povećanih debljina kore u Dinaridima, pored toga je vrlo dinamičan prostor, o čemu pored ostalog svjedoči koncentracija i magnituda zabilježenih potresa. Znači, da se unatoč zoni znatnog zadebljanja zemljine kore, ne nalazimo na stabilnom – konsolidiranom kratonu, već u vrlo mobilnom prostoru i glavna značajka promatranog prostora je regionalan utjecaj izuzetnog stanjena zemljine kore u Panonskom prostoru.

Interesantne rezervoare geotermalne vode možemo naći u gotovo cijelom litološkom slijedu od permske do terciarne starosti. U Dinaridima rezervoarske stijene su pretežno u karbonatima s pornim prostorom u primarno razlomljenim i kemijski otapanim dijelovima a podređeno one se javljaju i u klasticima. Za razliku od toga, u prostorima lokalnih pokrovnih bazena s pogotovo u značajnijim razvojima Panonskih bazena, važni rezervoari su s primarnim – intergranularnim pornim prostorom, dok ponovo u njihovoj podlozi pa dijelom i unutar neogena, karbonatni rezervoari i općenito rezervoari s sekundarnom poroznošću imaju važnu ulogu, posebno zbog često velike moćnosti i propusnosti.

Isto kao i kod istraživanja naftnih i plinskih ležišta, u neki prostor privući će nas postojanje općih geoloških predispozicija za formiranje takvih ležišta, ali i direktne indikacije. Tako se na cijelom prostoru Bosne i Hercegovine javljaju izdanci naftnih i geotermalnih ležišta. Za ugljikovodike važni su izdanci bituminoznih - potencijalno matičnih stijena te pojava nafte i plina na površini terena i u istražnim bušotinama. U Bosni i Hercegovini ove indikacije, kao i postignuta ograničena proizvodnja, važan su poticaj da se ustraje na otkriću i proizvodnji ugljikovodika ali i geotermalnih resursa. Aktualne aktivnosti koncesionara za ugljikovodike, vrlo skoro će nam to i potvrditi. Odgovarajući rezultati za geotermalne resurse su još izvjesniji a velik pomak mogao bi se ostvariti boljim gospodarenjem i razradom pojedinih važnih već otkrivenih geotermalnih polja u Bosni i Hercegovini.

Pri općem razmatranju korištena je usporedba geotermalnog i ugljikovodičnog potencijala. U slučaju ugljikovodika u Dinaridima svi elementi naftne „Igre“ su prisutni, tu su: zamke, migracijski putovi i pokretanje ugljikovodika iz zrelih matičnih stijena. Ekonomski vrijedna ležišta koja su zahvaljujući tim elementima stvorene i nisu uništena, tek treba utvrditi. U Dinaridima geotermalne pojave su vrlo rijetke, a po svojoj prirodi teško će se istražiti, iako ili baš zato, što se tu može raditi o vrlo koncentriranim dotocima. U Panonskim prostorima, istraživanje je donekle lakše, prije svega što destrukcije nisu tako izražene, a pored brojnih indikacija svi elementi govore o prisustvu dovoljno velikoj atraktivnosti budućih geotermalnih polja, da se krene u traženje i njihovo korištenje.

U kratkom pregledu ponavljamo da se do ovih postavki o potencijalu može doći kroz analizu raspoloživih spoznaja:

Lito - stratigrafsku evoluciju u svjetlu strukturno – tektonskih zbivanja. Od onih najmanjih do globalne dinamike fragmenata zemljine kore.

Ishodišta resursa Toplinskog dotoka ili Zadovoljavajućih matičnih stijena i modeliranja bazenskih uvjeta njihovog sazrijevanja – migracije.

Dinamike stvaranih zamki i migracije te prisustva rezervoara, pokrova i sačuvanja ležišta.

Iako su postojeća saznanja u Bosni i Hercegovini, ozbiljna i svjedoče o utvrđenim količinama toplinske energije preko 150 MWt, uz mogućnost pridobivanje drugih mineralnih sirovina te za potrebe korištenja za balneologiju i rekreaciju odnosno turizma kao pokretača daljnjih djelatnosti. Taj utvrđeni potencijal samo se dijelom koristi a sve zajedno tek je vidljivi vrh ledene sante čiji se preostali najveći dio tek treba otkriti, utvrditi i privesti korištenju. Pored korištenja topline pojedina geotermalna ležišta, već i s današnjim tehnologijama, povoljna su i za proizvodnu električne struje odnosno instaliranje dodatnih MWe električne energije.

### **3. Značajke pristupa – što je postignuto na istraživanju i korištenju toplinske energije**

Pozitivna iskustva na istraživanju i proizvodnji geotermalne energije iz susjednih dijelova sjeverne Hrvatske su sljedeća:

Potaknuto serijom znanstvenih radova, istraživanje geotermalnih potencijala u Republici Hrvatskoj započelo je sedamdesetih godina nakon što je srednjoročnim planom za razvoj energetike tadašnji Naftaplin dobio zadatak da potencijalne geotermalne rezerve istraži i valorizira za korištenje.

Izvršena je geotermička regionalizacija područja Republike na temelju vrijednosti temperaturnih gradijenata mjerenih u bušotinama izrađivanim u cilju istraživanja i proizvodnje nafte i plina.

Na taj način izdvojena su tri karakteristična područja:

- Panonski bazen s gradijentom 40 – 50 °C/km
- Dinaridi s gradijentom 10 – 15 °C/km
- Jadransko podmorje s gradijentom 20 – 25 °C/km

Na temelju toga istražni radovi su koncentrirani na prostoru Panonskog bazena. Zahvaljujući relativno visokom stupnju istraženosti površinskim geološko-geofizičkim radovima i dubokom bušenju Panonskog bazena bilo je moguće ocijeniti perspektivnost pojedinih prostora.

U nastavku istražnih radova pristupilo se i izradi geotermalnih istražnih bušotina u svrhu potpunije valorizacije pojedinih lokaliteta u pogledu korištenja geotermalne energije.

Rezultati su opravdali izvođenje istražnih radova za utvrđivanje geotermalnih resursa.

Geotermalna ležišta u Hrvatskoj mogu se podijeliti u dvije kategorije

S temperaturom vode većom od 100 °C

- za proizvodnju električne energije binarnim procesom i korištenjem topline u kaskadnom korištenju i

S temperaturom vode manjom od 100 °C

-za grijanje prostora i u raznim tehnološkim procesima

Veličina geotermalnog potencijala ovisi o mogućem dotoku, temperaturi i fizikalno kemijskoj kvaliteti geotermalne vode, što uglavnom ovisi o kvaliteti i veličini rezervoarskog prostora i toplinskom dotoku u njega, te režimu korištenja.

Stijene koje se odlikuju velikom šupljikavosti i kod kojih su te šupljine dobro međusobno povezane, te one koje su jako razlomljene i imaju dobru propusnost, velikih su mogućnosti za proizvodnju geotermalne vode.

Najveći geotermalni potencijal imaju razdrobljeni karbonati jer se obično javljaju kao tijela velikih dimenzija, tvoreći ležišta masivnog tipa.

Ležišta takvih rezervoarskih karakteristika i oblika mogu davati i nekoliko tisuća kubnih metara vode na dan.

Manjeg su geotermalnog potencijala ležišta u pješčenjacima. Njihova poroznost ovisi o prirodi stijene i dubini na kojoj se nalaze. Na većoj dubini su kompaktniji, manje porozni i premda temperatura vode u porama može iznositi i preko 100°C njihova izdašnost rijetko prelazi 500 m<sup>3</sup>/dan.

Da bi se geotermalna energija mogla ekonomično proizvoditi moraju postojati povoljni prirodni uvjeti:

Što više temperature na što manjoj dubini, odnosno visoki geotermalni gradijent.

Šupljikava sredina (ležište) što veće propusnosti i debljine.

Fluid koji donosi toplinu iz ležišta na površinu uobičajeno je voda što povoljnije specifične topline i općenito najzastupljenija u pornim prostorima rezervoarskih stijena u dubokim bazenima.

Za prihvatljivu proizvodnju geotermalne energije nužno je da tlakovi u ležištu budu stabilni, odnosno da se ležište nadopunjava prirodnim dotokom ili se to mora vršiti povratom proizvedenih količina vode natrag u ležište. To se postiže da se na površinu pridobiveni geotermalni fluid- geotermalna voda s površine ponovo utiskuje u ležište na dovoljno velikoj udaljenosti da pri prolazu kroz njega, preuzima toplinu i zagrijava na izvornu temperaturu ležišta eventualno ponovo izlazi na površinu u neku od proizvodnih bušotina.

U Republici Hrvatskoj trenutno su  
ODOBRENA EKSPLOATACIJSKA POLJA

|                                 |                            |          |
|---------------------------------|----------------------------|----------|
| 1. GTP ZAGREB                   | U proizvodnji -3 bušotine  | INAd.d.  |
| 2. GTP BIZOVAC                  | U proizvodnji -2 bušotine  | INA.d.d  |
| 3. GTP IVANIĆ                   | Nije privedeno proizvodnji | INA d.d. |
| 4. GTP KUTNJAK-LUNJKOVEC        | Nije privedeno proizvodnji | INA d.d. |
| 5. GTP VELIKA CIGLENA<br>d.o.o. | Nije privedeno proizvodnji | GEOEN    |

## ODOBRENI ISTRAŽNI PROSTORI

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. BOŠNJACI – SJEVER | RURIS d.o.o.          |
| 2. BABINA GREDA      | GEOEN d.o.o.          |
| 3. FERDINANDOVAC-1   | VIS VIRIDIS d.o.o.    |
| 4. LEGRAD-1          | VIS VIRIDIS d.o.o.    |
| 5. MALI BUKOVEC      | VIS VIRIDIS d.o.o.    |
| 6. KOTORIBA          | VIS VIRIDIS d.o.o.    |
| 7. SLATINA           | DRAVACEL d.o.o.       |
| 8. SVETA NEDJELJA    | ZARJA GRUPA d.o.o.    |
| 9. PRELOG            | HOTROCK ENERGY d.o.o. |
| 10. AATG DRAŠKOVEC   | AAT GEOTHERMAE        |

### 3.1.Kako do geotermalne bušotine

Za dobiti informaciju o svojstvima ležišnih stijena u podzemlju koje mogu biti potencijalni geotermalni resursi prvo se vrši analiza i obrada postojećih geološko-geofizičkih podataka, pri čemu je veoma povoljno ako se može raspolagati s informacijama dobivenih prilikom izrade dubokih bušotina izrađenih u cilju istraživanja i privođenja proizvodnji ležišta ugljikovodika i geotermalnih ležišta u neposrednoj blizini ili u korelacionom prostoru. U sjevernoj Hrvatskoj za istraživanje i proizvodnju ugljikovodika u posljednjih pedesetak godina izgrađeno je cca 4000 dubokih bušotina (1/4 za potrebe istraživanja a ostalo za potrebe razrade proizvodnih polja) pored opsežnih geološko geofizičkih radova (geološko kartiranje, geoelektrika geomagnetika, gravimetrija) snimljeno je na tisuće kilometara 2 D seizmičkih profila a najvažniji prostori prekriveni su i 3D seizmičkom mrežom.

Ako podataka za određeno područje nema dovoljno planiraju se i dodatni istražni geološko – geofizički radovi, kako bi se rudarski rizik izrade bušotine smanjio.

U projektu na novoj lokaciji, na temelju prikupljenih i analiziranih podataka procjenjuje se geotermalni potencijala određenog geološkog profila koji namjeravamo probušiti. Procjenjuje se litološki stup, potrebna dubina zalijeganja rezervoara te proizvodne mogućnosti (kapacitet, temperatura, rezerve, karakteristika vode) i PT koji se očekuju prilikom izgradnje kanala bušotine.

Slijedi izrada preliminarne tehno-ekonomske studije koja pokazuje opravdanost korištenja geotermalne energije na konkretnom gospodarskom poduhvatu. Iskazana dugoročna ušteda i sigurnost opskrbe u odnosu na klasične energente je osnova za donošenje odluke da li se ide u skup i relativno dugotrajan rudarski proces.

Na tim principima započelo je istraživanje 2009. godine u Bošnjacima kod Županje kada je vlasnik staklenika za hidroponski uzgoj rajčica veličine 1,25 he zatražio mišljenje u INA-Industrija nafte d.d. o mogućnosti izgradnje geotermalne bušotine koja bi smanjila troškove grijanja staklenika koji se grijao na plin. Nakon analize postojećih podataka odgovoreno im je da su na prostoru općine Bošnjaci potencijalni geotermalni vodonosnici u pješčenjacima znatne debljine i dobrih rezervoarskih svojstava. Bušotina je locirana na temelju korelacije s raspoloživim dubokim istražnim bušotinama, Županja-2 i Županja-3 i ostalim geološko-geofizičkim informacijama, posebno s regionalnim gravimetrijskim mjerenjima. Na temelju zahtjeva Ministarstvo gospodarstva donijelo je Rješenje kojim se odobrava istraživanje.

Na osnovu prognoznog geološkog stupa i profila izrađen je rudarski projekt za istražnu geotermalnu bušotinu po kojem je bušotina izgrađena.

Geotermalno ležište predstavlja litofacies pješčenjaka gornje pontske starosti u vodnom zasićenju na dubini zalijeganja od 782 m do 1035 m.

Izmjereni tlak u ležištu odgovara hidrostatskom tlaku, ( $p=101,6$  bar na  $H_{mj}=1020$  m) dok je vrijednost geotermalnog gradijenta  $6,1$  °C/100 m. ( $T=73,3$  °C na  $H_{mj}=1020$  m).

Voda ima salinitet od cca. 2 g NaCl/l i ne sadrži teške metale.

Dobivena je proizvodnja od 20 l/s ( $1728$  m<sup>3</sup>/dan) s temperaturom vode na ušću od 65 °C.

Zbog veće količine pijeska u proizvodnji ugrađeni su pješčani filtri koji su zaustavili pijesak u proizvodnji, ali je dotok reduciran za polovicu na 10 l/s.

Na temelju interpretacije hidrodinamičkih mjerenja utvrđeno je da se radi o velikom arealnom rasprostiranju ležišta sa podržavanjem tlaka na jednoj granici i ne očekuje se tijekom crpljenja pad ležišnog tlaka.

### 3.2. Ekonomsko-financijska ocjena rentabilnosti rezervi

Ukupne rezerve ležišta prema stupnju istraženosti svrstane su u C<sub>1</sub> kategoriju i iznose 10 l/s prema rješenju Povjerenstva za utvrđivanje rezervi mineralnih sirovina.

Ocjena rentabilnosti izrađena je na bazi ukupno planiranih ulaganja, proizvodnih troškova, obveza na temelju zakonskih propisa i prihoda koji su računati na temelju usporedbe energetske vrijednosti geotermalne vode i plina.

Proračun toplinske snage uzima u obzir proizvodnju vode (prijavljene rezerve 10 l/s) specifičnu toplinu vode kod uvjeta ušća i iskoristivu razliku temperature od 35 °C i iznosi  $P_t=1,441$  MW<sub>t</sub>.

Izračunato je da 1 m<sup>3</sup> vode sadrži količinu topline koja se predaje korisniku uzimajući u račun iskoristivu razliku temperature od 35 °C koja energetski vrijedi kao 3,9 m<sup>3</sup> plina.

Poznajući dnevnu dinamiku potrošnje plina koja ovisi o godišnjem dobu i vremenskim uvjetima izračunali smo količinu i dinamiku godišnje proizvodnje geotermalne vode koja bi energetski odgovarala toj količini plina.

Ekonomsko-financijska ocjena rentabilnosti pridobivanja geotermalne vode razmatrana je u slijedećih dvadeset godina (nije kraj iscrpka) i izrađena je na temelju

GODIŠNJE PROIZVODNJE GEOTERMALNE VODE OD 154 000 m<sup>3</sup>

ŠTO ENERGETSKI ODGOVARA POTROŠNJI PLINA OD 600 000 m<sup>3</sup> PLINA GODIŠNJE

UKUPNA ULAGANJA u kompletan sustav za proizvodnju geotermalne vode iznose 12 000 000 kn,

a sastoje od ulaganja u izradu bušotine, materijal za njezino opremanje te ulaganja u nadzemne objekte, troškove projektiranja i izrade propisane dokumentacije do ishođenja uporabne dozvole.

UKUPNI PRIHODI su računati u iznosu koji bi morali potrošiti za plin za grijanje staklenika u slijedećih dvadeset godina.

$$600\ 000\ \text{m}^3\ \text{plina godišnje} \times 3,5\ \text{kn/m}^3 = 2\ 100\ 000\ \text{kn}$$

$$2\ 100\ 000\ \text{kn} \times 20\ \text{godina} = 42\ 000\ 000\ \text{kn}$$

### UKUPNI IZDACI

Planirano pridobivanje geotermalne vode terete troškovi i obveze koji direktno ili indirektno terete buduće prihode. Struktura izdataka uključuje ulaganja, materijalne troškove proizvodnje, alocirane troškove u iznosu od 5 % i naknade za koncesiju u iznosu 3 % na ukupan prihod.

Struktura izdataka :

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Ulaganja                    | 12 000 000 kn        |
| Materijalni troškovi        | 4 640 000 kn         |
| Alocirani troškovi          | 2 100 000 kn         |
| <u>Naknada za koncesiju</u> | <u>1 260 000 kn</u>  |
| <b>UKUPNO :</b>             | <b>20 000 000 kn</b> |

Troškovi likvidacije bušotine nisu računati jer će se i nakon dvadeset godina proizvodnja geotermalne vode nastaviti što omogućuje karakteristike ležišta i kvaliteta ugrađene opreme.

### EKONOMSKI TIJEK

Prema prikazu strukture prihoda i rashoda napravljen je Ekonomski tijek za promatrani vijek pridobivanja od 20 godina.

Uz takav prikaz izračunatih rashoda i prihoda crpljenjem geotermalne vode s procijenjenom dinamikom godišnjeg pridobivanja i njenim korištenjem za grijanje staklenika kao zamjena za plin ostvaruju se pozitivni ekonomski učinci uz ciljane diskontne stope od 8 %, 9 % i 10 % i u slučaju samofinanciranja, a pogotovo kod financiranja investicije povoljnim kreditom.

Interna stopa rentabilnosti iznosi 20,2 %, a povrat ulaganja očekuje se u dvanaestoj godini.

| Ekonomski tok u kunama           |                                     |                     |                |                      |                  |           |              |                          |               |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|------------------|-----------|--------------|--------------------------|---------------|
| Godina                           | Proizvodnja m <sup>3</sup> godišnje | Ukupni primici (kn) | Izdaci (kn)    |                      |                  |           | Neto primici | Kumulativ neto primitaka |               |
|                                  |                                     |                     | Ulaganja       | Materijalni troškovi | Kamate za kredit | Naknade   |              |                          | Ukupni izdaci |
| 1.                               | 154000                              | 2 100 000           | 12 000 000     | 232 000              |                  | 168 000   | 12 400 000   | -10 300 000              | -10 300 000   |
| 2.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | -8 600 000    |
| 3.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | -6 900 000    |
| 4.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | -5 200 000    |
| 5.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | -3 500 000    |
| 6.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | -1 800 000    |
| 7.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | - 100 000     |
| 8.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 1 600 000     |
| 9.                               | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 3 300 000     |
| 10.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 5 000 000     |
| 11.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 6 700 000     |
| 12.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 8 400 000     |
| 13.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 10 100 000    |
| 14.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 11 800 000    |
| 15.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 13 500 000    |
| 16.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 15 200 000    |
| 17.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 16 900 000    |
| 18.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 18 600 000    |
| 19.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 20 300 000    |
| 20.                              | 154000                              | 2 100 000           |                | 232 000              |                  | 168 000   | 400 000      | 1 700 000                | 22 000 000    |
| <b>Ukupno:</b>                   |                                     | 42 000 000          |                | 4 640 000            |                  | 3 360 000 | 20 000 000   | 22 000 000               | -             |
| Neto sadašnja vrijednost ( 8% )  |                                     |                     | 5 579 739      |                      |                  |           |              |                          |               |
| Neto sadašnja vrijednost ( 9% )  |                                     |                     | 4 509 353      |                      |                  |           |              |                          |               |
| Neto sadašnja vrijednost ( 10% ) |                                     |                     | 3 563 967      |                      |                  |           |              |                          |               |
| <b>IRR</b>                       |                                     |                     | 15,4%          |                      |                  |           |              |                          |               |
| <b>POVRAT ULAGANJA</b>           |                                     |                     | u osmoj godini |                      |                  |           |              |                          |               |

| Ekonomski tok u kunama           |                                     |                     |                |                      |                  |           |               |              |                          |            |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|------------------|-----------|---------------|--------------|--------------------------|------------|
| Godina                           | Proizvodnja m <sup>3</sup> godišnje | Ukupni primici (kn) | Izdaci (kn)    |                      |                  |           |               | Neto primici | Kumulativ neto primitaka |            |
|                                  |                                     |                     | Ulaganja       | Materijalni troškovi | Kamate za kredit | Naknade   | Ukupni izdaci |              |                          |            |
| 1.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 2 000 000      | 232 000              |                  |           | 168 000       | 2 400 000    | - 300 000                | - 300 000  |
| 2.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 833 000        | 232 000              | 400 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 167 000    |
| 3.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 866 000        | 232 000              | 367 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 634 000    |
| 4.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 901 000        | 232 000              | 332 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 1 101 000  |
| 5.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 937 000        | 232 000              | 296 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 1 568 000  |
| 6.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 974 000        | 232 000              | 259 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 2 035 000  |
| 7.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 1 013 000      | 232 000              | 220 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 2 502 000  |
| 8.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 1 054 000      | 232 000              | 179 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 2 969 000  |
| 9.                               | 154 000                             | 2 100 000           | 1 096 000      | 232 000              | 137 000          |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 3 436 000  |
| 10.                              | 154 000                             | 2 100 000           | 1 140 000      | 232 000              | 93 000           |           | 168 000       | 1 633 000    | 467 000                  | 3 903 000  |
| 11.                              | 154 000                             | 2 100 000           | 1 185 000      | 232 000              | 47 000           |           | 168 000       | 1 632 000    | 468 000                  | 4 371 000  |
| 12.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 6 071 000  |
| 13.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 7 771 000  |
| 14.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 9 471 000  |
| 15.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 11 171 000 |
| 16.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 12 871 000 |
| 17.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 14 571 000 |
| 18.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 16 271 000 |
| 19.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 17 971 000 |
| 20.                              | 154 000                             | 2 100 000           |                | 232 000              |                  |           | 168 000       | 400 000      | 1 700 000                | 19 671 000 |
| Ukupno:                          |                                     | 42 000 000          |                | 4 640 000            | 2 330 000        | 3 360 000 | 22 329 000    | 19 671 000   | -                        |            |
| Neto sadašnja vrijednost ( 8% )  |                                     |                     | 7 178 751      |                      |                  |           |               |              |                          |            |
| Neto sadašnja vrijednost ( 9% )  |                                     |                     | 6 424 445      |                      |                  |           |               |              |                          |            |
| Neto sadašnja vrijednost ( 10% ) |                                     |                     | 5 767 726      |                      |                  |           |               |              |                          |            |
| <b>IRR</b>                       |                                     |                     | 155,7%         |                      |                  |           |               |              |                          |            |
| <b>POVRAT ULAGANJA</b>           |                                     |                     | u prvoj godini |                      |                  |           |               |              |                          |            |

Ekonomsko-financijska ocjena rentabilnosti pridobivanja geotermalne energije razmatrana je u slijedećih dvadeset godina (nije kraj proizvodnje) izrađena je na temelju godišnje proizvodnje geotermalne vode od 154 000 m<sup>3</sup>/god što energetski odgovara potrošnji plina od 600 000 m<sup>3</sup>.

I uz visoka ulaganja u izradu bušotine i kompletnog geotermalnog sustava vidimo da eksploatacija geotermalne vode uz predviđenu proizvodnju ostvaruje pozitivne učinke.

Nakon povrata uloženi sredstva geotermalna energija je sigurno najjeftiniji energent koji korisniku osigurava dugogodišnju sigurnu i jeftinu opskrbu energijom.

Potencijalni investitor može očekivati da će odmah nakon pokretanja proizvodnje geotermalne vode imati cca. 20-25 % manje troškove za energiju u odnosu na troškove koje ostvarivao kod grijanja staklenika na plin.

Nakon zatvaranja kredita (vremenski ovisno o uvjetima kreditiranja) može računati sa cca. 50-75 % manjih troškova za energiju u odnosu na troškove koje je imao kod grijanja staklenika na plin.

### 3.3. Razlozi za korištenje geotermalne energije

- Siguran energent budućnosti
- Proizvodnja energije na ekološki čist način
- Smanjenje potrošnje fosilnih goriva
- Uklapanje u Europske Direktive o korištenju obnovljivih izvora energije
- Dugoročno ekonomsko isplativa djelatnost u segmentu poljoprivrede, prerađivačke industrije, turizmu itd. uz zadovoljenje ostalih energetskih potreba domaćinstava i javnih ustanova.

Uvažavanja zakonske regulative je složen ali i savladiv dio istraživanja i razrade geotermalnih objekata.

#### 4. Korištenje multidisciplinarnih metoda i alata – što predlažemo

Na prostoru BiH koristi se niz objekata od prirodnih izvora do bušotina ali gotovo svuda nedostaju cjelovita rješenja, što je osnova uspješnog ekološkog i ekonomičnog korištenja ležišta geotermalne vode. Naš pristup zasniva se na maksimalnim korištenjem dosadašnjih saznanja i okupljanje potrebnog multidisciplinarnog tima stručnjaka s odgovarajućim znanjima i iskustvima na radovima i problematici koja se javlja tijekom projektiranja. Time postizemo ostvarenje postavljenih rezultata uz maksimalno smanjenje geološkog i tehničko – tehnološkog rizika i uspješnog okončanja projekta.

#### 5. Koje rezultate očekujemo

Primjena domaćih i stranih iskustva bitna su za regionalna ali i detaljna sagledavanja mogućeg korištenja geotermalnog potencijala. Ona nam omogućuju privlačenje relativno visokih sredstava za početna ulaganja, izradu potrebne projektne dokumentacije, od prijedloga prostornih planova razvoja i zaštite okoliša, do detaljnih projekata istraživanja i eksploatacije ove vrijedne lokalne energije.

S takvom podrškom u donošenju odluka moguće je premostiti sve prepreke i prednosti korištenja tog potencijala te kvalitetnom pripremom i referencama uvesti nedovoljno korištenu tehnologiju i lokalni resurs na odgovarajući nivo korištenja.

#### 6. Zaključak

Domaći i inozemni rezultati isključuju neizvjesnosti o prisustvu ležišta geotermalne vode, a nezadrživi porast cijena energenata i zaštita okoliša te pozitivna praktična saznanja vode razvoju istraživanja i eksploatacije ležišta geotermalne vode.

Iako ima pozitivnih primjera korištenja, postojeći resursi nisu ni izdaleka razvijeni ni praćeni a na pojedinim objektima korisnička strana također zaostaje. Zato je i ovaj rad mali ali i ne beznačajni korak k cjelovitom pristupu istraživanju, eksploataciji i kvalitetnom korištenju geotermalne vode.

Potporna države i svih nivoa uprave, pri tome je ključna.

Domaći i inozemni rezultati isključuju neizvjesnosti o prisustvu ležišta geotermalne vode, a nezadrživi porast cijena energenata i zaštita okoliša te pozitivna praktična saznanja vode razvoju istraživanja i eksploatacije ležišta geotermalne vode.

Iako ima pozitivnih primjera korištenja, postojeći resursi nisu ni izdaleka razvijeni ni praćeni a na pojedinim objektima korisnička strana također zaostaje. Zato je i ovaj rad mali ali i ne beznačajni korak k cjelovitom pristupu istraživanju, eksploataciji i kvalitetnom korištenju geotermalne vode.

Potporna države i svih nivoa uprave, pri tome je ključna.

#### 7. Popis korištene literature

Miošić N.: *“Geotermalna energije Bosne i Hercegovine”*, Geoinženjering, Institut za hidrogeologiju i hidrotehniku-Ilida, 1986., Sarajevo.

Hurtig i suradnici: *„Geothermal Atlas of Europe“*, Geo Forschungs Zentrum Potsdam, Publication No. 1, Hermann Haach Verlagsgesellschaft mbH, Geographisch-Kartographische Anstalt, 1993., Gotha, Germany.

Boban Jolović, Spasoje Glavaš, Nenad Toholj: *„Geotermalni atlas Republike Srpske“*, Ministarstvo industrije, energetike i rudarstva, 2012., zbornik „Vadkom“, Banjaluka.

Krešimir Jelić, Mroslav Golub, Slobodan Kolbah, Ismet Kulenović, Mladen Škrlec: *„Croatia Geothermal Resources Updates in the Year 2009”*, Proceedings World Geothermal Congress, April 2010., 25-29, Bali, Indonesia.

Slobodan Kolbah Deep Transboundary Water-Bodies: *“Exploration & Management in the Pannonian Basin of the Republic of Croatia”*, UNESCO-IAH-UNEP Conference, December 2010., 6-8, Paris.



Slobodan Kolbah, Mladen Škrlec, Ismet Kulenović, Svjetlana Šćuric, Miroslav Golub: “*Geothermal Water as Energetic and Mineral Source*”, Annual 2008 of The Croatian Academy of Engineering, 139-159, Zagreb.

Slobodan Kolbah, Miroslav Golub, Mladen Škrlec, Ismet Kulenović: “*Oil and Gas Field Producing Aquifers as Renewable Energy Source*”, Ljetna škola naftnog rudarstva, 2008., zbornik u e-verziji, Dubrovnik.

Svetislav Stanković, T. Dukić, R. Cvijetić, Stanislav Milosavljević, Krešimir Jelić, Slobodan Kolbah, A. Nosan, Neven Miošić, Georgi Kotevski, V. Radulović: „*Energetski potencijal značajnih termalnih i trmo-mineralnih voda Jugoslavije*“ zbornik radova 1987., Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mjesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja, , 01-32, Niška banja.

**Autori:**

Slobodan Kolbah, dipl. ing. geol. lež. nafte i plina; mr. reg. geol.  
Trpimirova 27. 10 000 Zagreb, R. Hrvatska;  
Geotermalna Energija d.o.o.  
+ 385 98 289 078  
skolbah@gmail.com

Mladen Škrlec, dipl. ing. naftnog rudarstva  
Luke Ibrišimovića 9. 10 000 Zagreb, R. Hrvatska;  
Geotermalna Energija d.o.o.  
+ 385 98 289 079  
mladen.skrlec@gmail.com

Franjo Grivić, dipl. inž. naftnog rudarstva  
Vajdin Vijenac 18 10 000 Zagreb, R. Hrvatska;  
Geotermalna Energija d.o.o.  
+ 385 95 510 9365  
frgrivic@gmail.com

Хидрогеолошка улога сарматских кречњака подручја Прњавор - Србац  
(Република Српска)

МИЛОЈКО ЛАЗИЋ, ДР, САВЕ КОВАЧЕВИЋА 63 БЕОГРАД, УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ +381 63 257 969

ЖЕЉКО КЉАЛИЋ, ДИПЛ. ИНЖ. ГЕОЛ., ПРОЛЕТЕРСКА 69 НОВА ПАЗОВА  
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ +381 64 242 1203

БРАНИМИР ЛАЗИЋ, МР, САВЕ КОВАЧЕВИЋА 63 БЕОГРАД, ХИДРОГЕОЦЕНТАР Д.О.О.  
БЕОГРАД +381 63 789 2822

САЖЕТАК

У раду ће бити приказани резултати вишегодишњих истраживања сарматских кречњака на просторима општина Прњавор и Србац (Република Српска). Поменути истраживањима доказана је изузетно повољна хидрогеолошка улога сарматских кречњака као хидрогеолошке средине за захватање значајних количина квалитетних подземних вода за решавање најкрупнијег привредног проблема овог краја као што је водоснабдевање становништва и индустрије овог краја. Досадашњим резултатима хидрогеолошких истраживања доказано је да се из ове средине односно из сарматских кречњака на овом подручју могу захватити количине воде од преко 100 л/с изузетно повољног квалитета за водоснабдевање па чак и за флаширање. Поуздано је утврђено да ова средина представља велику перспективност по количинама и квалитету подземних вода којима се могу вршити водоснабдевање градова Прњавора и Српца и локалног становништва ових подручја.

Детаљна хидрогеолошка истраживања сарматских кречњака извршена су на три локалитета од којих два на подручју Прњавора и један на подручју Србца и на сваком од њих је утврђен велики потенцијал количине и квалитета, а што је важно и због услова заштите на истраживаним теренима. Са економског аспекта ради се о веома значајним лежиштима подземних вода са доказаним резервама и квалитетом.

**Кључне речи:** кречњаци, бунар, водоснабдевање

ABSTRACT

The paper presents the results of many years of researching the Sarmatian limestone in the area of the Prnjavor and Srbac municipality (Republic of Srpska). The research has proven extremely favorable hydrogeological role of Sarmatian limestone as aquifer for the abstraction of significant quantities of high-quality groundwater for solving of huge economic problems of the region such as the water supply of population and industry in the area. Previous results of hydrogeological survey proved that the Sarmatian limestone in this area can affect the amount of water of more than 100 l/s, which has extremely favorable quality for water supply and even bottling. It has been determined that this aquifer has great perspective of the quantity and quality of groundwater that can be used as water supply for Prnjavor and Srbac and the local population in these areas.

Detailed hydrogeological survey of Sarmatian limestone were carried out at three sites, two of which in Prnjavor and one in Srbac, in each of them great potential of quantity and quality is determined, which is also important for conditions for protection of the surveyed locations. From an economic point of view this is a very important groundwater reservoir with proven reserves and quality.

**Key words:** limestone, well, water supply

## УВОД

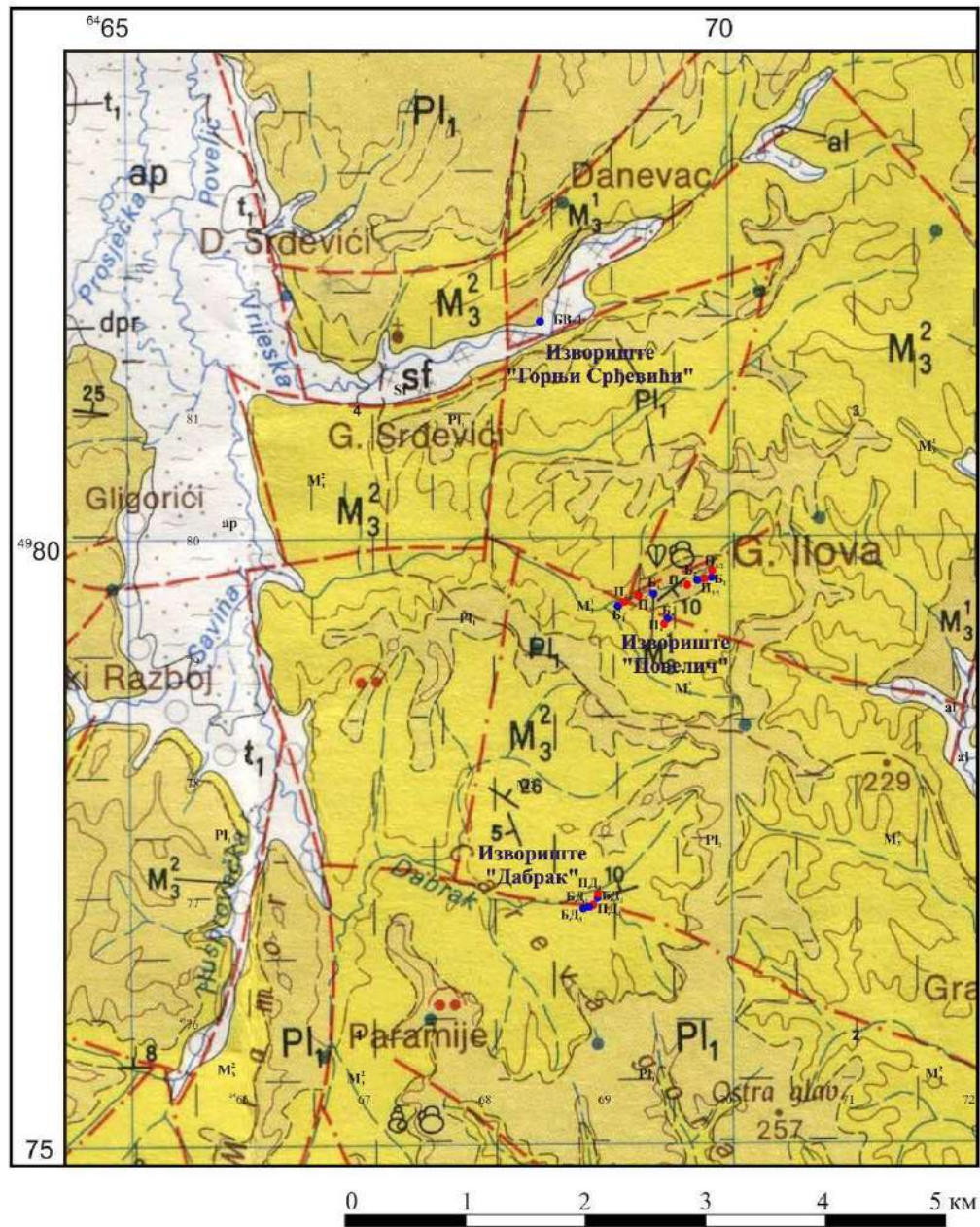
Детаљна хидрогеолошка истраживања неогених кречњака на подручју Приједор - Србац започела су 2000. године, са циљем утврђивања услова и могућности решења проблема водоснабдевања најпре насеља на територији општине Прњавор. Истражни радови су изведени на локалитету Повелич и Дабрак у селу Горња Илова и крунисани су отварањем нових изворишта за водоснабдевање Прњавора и насеља у северном делу ове општине. С обзиром да се сарматски кречњаци простиру и на суседну општину Србац, током 2003. године изведена су истраживања на локалитету Горњи Срђевићи где је, такође, отворено извориште за водоснабдевање насеља у источном и југоисточном делу ове општине. Изведеним радовима на поменути два локалитета доказане су претпоставке о великом хидрогеолошком потенцијалу сарматских кречњака на простору Приједор - Србац, како у погледу количина, тако и квалитета подземних вода из ових стенских маса, што отвара више могућности искоришћавања истих, како за потребе водоснабдевања, тако и у друге сврхе (флаширање, спортско – рекреационе сврхе и др.). У раду ће се приказати резултати до којих се дошло извођењем истраживања у периоду 2000 – 2012. година.

## ГЕОЛОШКА ГРАЂА ИСТРАЖНОГ ТЕРЕНА

Први подаци о геолошким карактеристикама истражног терена датирају из друге половине XIX века које су дали аустријски геолози *E. Moisisovicz*, *E. Tietze* и *A. Bittner* (1880). У њиховом раду приказана је општа геолошка грађа терена листа Дервента, на коме се налази и подручје истраживања које је тема овог рада, и дата је прва прегледна геолошка карта целокупне Босне и Херцеговине. У наредном периоду бројни истраживачи су проучавали неогене наслаге Прњаворског неогеног басена. Истраживања су, нарочито, интензивирани након II светског рата, а најобимније радове у геолошке сврхе, на самом истражном терену, изведени су у периоду од 1964. године па до краја седамдесетих година прошлог века за потребе израде ОГК СФРЈ 1 : 100 000 лист Дервента.

Теренским истраживањима изведеним у два наврата, током октобра и новембра 2000. године констатовано је да, у геолошком смислу, ужа околина локалитета Повелич није довољно истражена, односно утврђено је одступање у геолошкој грађи у односу на ону која је приказана на Основној геолошкој карти СФРЈ 1:100000, лист Дервента. На основној карти, највероватније због размере, дат нејасан приказ на површини откривених сарматских кречњака. Додуше, исти су откривени само у левом боку потока, од врела па низводно у дужини од 500-600 м. Из тих разлога је узето неколико узорака кречњака и извршена палеонтолошка анализа истих, која је потврдила палеонтолошку припадност кречњака сармату, иако је на поменутој карти старост истих назначена као плиоценска. На локалитету Горњи Срђевићи приказ геолошке грађе на поменутој карти, углавном, се поклапа са стварним стањем на терену. Геолошка грађа истражног терена, односно шире околине локалитета Повелич и Горњи Срђевићи, дати су на слици 1. Као што се види са слике, на истражном терену су заступљене литостратиграфске јединице неогене и квартарне старости.

**Сарматске наслаге (M<sub>3</sub><sup>1</sup>)** откривене су, мањим делом, у кориту потока Повелич испод каптираног врела и низводно око 500-600 м. Поред тога, ови седименти се јављају и на десној долинској страни потока Раковац, на локалитету Горњи Срђевићи. Истражним бушењем доказано је да сарматске наслаге имају континуално простирање испод меотских и плиоценских седимената на целом истражном терену (слика 2). Најважнији литолошки чланови су, свакако, кречњаци и пескови, који су најчешће, носиоци значајних количина вода, а осим њих јављају се и лапорци, који најчешће залежу испод кречњачких наслага. Кречњаци, а највероватније и целокупна сарматска серија има субхоризонтални карактер са благим падом према југоистоку од свега 10°.



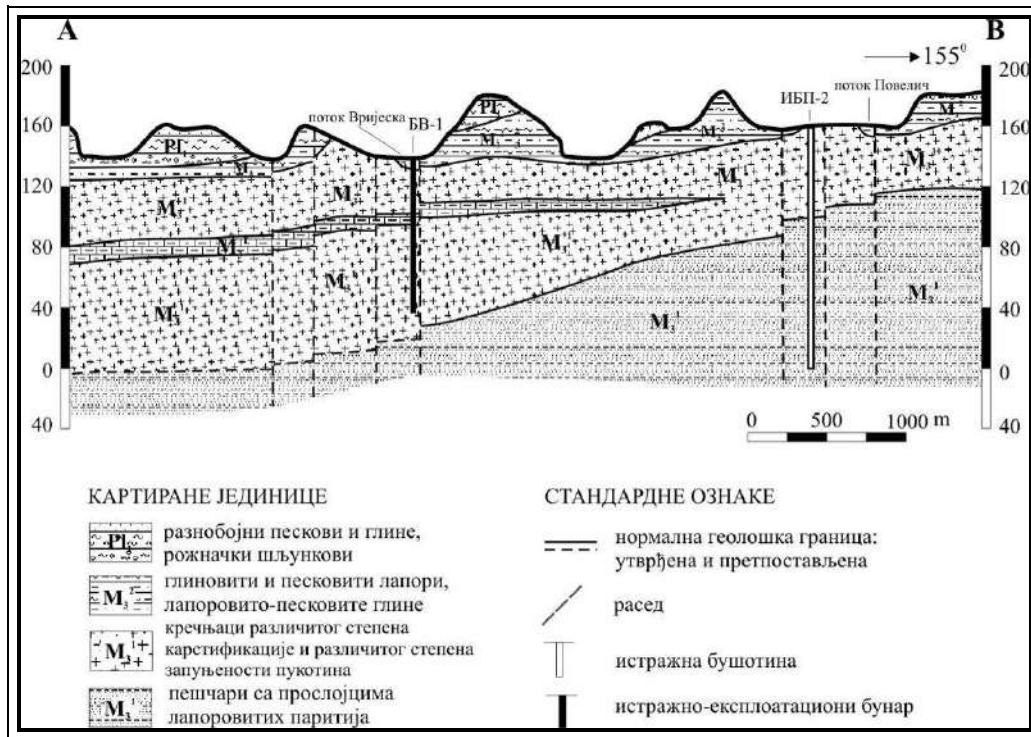
ЛЕГЕНДА:

- al Фација корита: алувијум, аде и рјечне плаже
- ap Фација поводња
- sf Солифлукција
- t<sub>1</sub> Нижа речна тераса

- PI<sub>1</sub> Разнобојни пјескови и глине и рожначки шљункови
- M<sub>3</sub><sup>2</sup> Глиновити и пјесковити лапори, лапоровито-пјесковите глине, трошни гвожђевити пјесчари (меот)
- M<sub>3</sub><sup>1</sup> Лапоровито-пјесковите глине, лапори, оолитични кречњаци, карбонатни пјесчари и конгломерати (сармат)

- Нормална граница: утврђена, покривена
- - - - - Расед без ознаке карактера покривен
- Пиезомертар
- Истражно-експлоатациони бунар

Слика 1. Геолошка карта шире околине локалитета Повелич и Горњи Срђевићи



Слика 2. Шематизовани геолошки профил на птезу Повелич – Горњи Срђевићи

**Меотска ( $M_3$ )** серија седимената изграђује највећи део терена на обе долирске стране потока Повелич и Вријеска (слика 1). Представљена је разноврсним пакетом плочастих лапора, песковитих лапора и песковитих глине и пешчара. Процењује се да је цела серија дебела око 150 м, мада је ерозија учинила да исти могу бити и знатно тањи, нарочито у долинама Повелича и Обалице. Са хидрогеолошког аспекта меотска серија нема већег значаја.

Насlage **доњег плиоцена ( $P_1$ )** имају велико распрострањење на површини, пре свега у северним и централним деловима истражног терена (слика 1). У литолошком смислу влада разноликост. Седименти доњег плиоцена су изграђени од разнобојних (црвенкасти, жути и сиви) ситнозрни пескови, затим шљункови, трошне брече и ретке глине. Слојевитост ових наслага је слабо изражена, а ретки падови имају претежно субхоризонтални положај.

**Квартарни седименти** су долинама потока Вријеска, Раковац и Савине реке (слика 1). Углавном су заступљени седименти флувијалне секвенце, док је падинска секвенца подређена. Флувијална секвенца је представљена фацијом корита и фацијом поводња, док је падинска секвенца заступљена пролувијално - солифлуционом и делувијално - пролувијалном фацијом. Ове насlage немају већег значаја са аспекта који се разматра овим радом.

У **тектонском смислу** може се констатовати да је сарматска серија испресецана значајним раседима, који се сучељавају на локалитетима где су изведена истраживања. На локалитету Повелич главни расед је правца пружања по долини, који је условио и усецање корита потока. Низводно од врела, а пре ушћа потока Царевац у Повелич, сучељавају се раседи правца пружања ЈИ-СЗ из Обалице и расед правца пружања ССИ-ЈЈЗ. Сва три раседа се сучељавају у једној тачки (слика 1), што може да буде веома важно у хидрогеолошком смислу. На локалитету Горњи Срђевићи, два главна раседа имају пружање СИ-ЈЗ који предиспонирају корита потока Раковац и Вријеска. У близини ушћа Раковца у Вријеску, они се сучељавају са раседом правца пружања С-Ј (слика 1). Хидрогеолошка улога раседа је веома значајна, јер исти могу и обично постају главни предиспонирани правци кретања подземних вода.

## ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖНОГ ТЕРЕНА

С обзиром на разноликост присутних стенских маса у погледу литолошког састава, структурног типа порозности и др., на истражном терену је издвојено више типова издани. Седименти меота, који се састоје од глиновитих и песковитих лапора, лапоровито - песковитих глина и пешчара, сврстани су у условно безводне делове терена, где су сврстани и глиновите наслаге доњег плиоцена, солифлукциона фација и делувилално – пролувилални седименти. Песковито – шљунковите наслаге плиоцена, фације корита и фације поводња сврстани су у збијени тип издани.

У оквиру сарматских кречњака формиран је карстни тип издани, који је са хидрогелолшке тачке гледишта најинтересантнији и на који је стављен акценат приликом израде овог рада. Ови седименти имају релативно мало распрострањење на површини терена, али је поменути испитивањима у зони потока Повелич и Вријеска доказано њихово велико распрострањење у профилу, што је приказано на слици 2. Прихрањивање издани врши се на рачун атмосферских талоба на местима где кречњаци излазе на површину. Повољну околност, са гледишта заштите подземних вода карстне издани, представља то што је на местима изласка кречњака на површину терена, веома мала насељеност, већ су то углавном терени под шумом, тако да је веома мали број потенцијалних загађивача у зони прихрањивања издани. Дренање издани врши се преко врела од којих и настају потоци Повелич и Вријеска. Поред тога, на местима где су кречњаци прекривени квартарним наслагама, долази до подземног отицаја вода карстне издани. На крају треба поменути и вештачко дренање преко водозавата који су урађени од 2000. године до данас (три бунара и два пијезометра са самоизливом на локалитету Повелич и један бунар на локалитету Горњи Срђевићи), о чему ће више речи бити у наредним поглављима. Воде карстне издани припадају хидрокарбонатно-калцијумској групи са садржајем хидрокарбоната од око 260 мг/л, односно калцијума од 70 мг/л и укупне минерализације од око 230 мг/л. У водама нису констатовани нитратни, ни нитритни јон, о чему сведочи и утрошак калијум-перманганата, од свега 1.48 мг/л. Такође констатоване су минималне концентрације јона гвожђа од свега 0.3-0.4 мг/л. У погледу физичких особина воде су без боје и мириса, прозрачне са пХ вредношћу 7.2 до 7.45. Детаљнији приказ квалитета вода карстне издани даће се у наредном поглављу. На основу свега изнетог може се констатовати да се карстна издан у оквиру сарматских кречњака одликује изузетно повољним условима за захватање већих количина веома квалитетних подземних вода које би се користиле за водоснабдевање насеља у општинама Прњавор и Србац.

## ПРИКАЗ ИЗВЕДЕНИХ ИСТРАЖНИХ РАДОВА

## Локалитет Повелич

Први истражни радови на локалитету Повелич изведени су половином 2000. године када је извршено детаљно хидрогелолшко картирање терена и узорковање вода за израду хемијских анализа. Захваћена површина детаљним хидрогелолшким картирањем износила је око 5 км<sup>2</sup>. Констатоване су појаве истицања подземних вода као и понори, суве долине и значајна дифузна истицања у корито потока Повелич, низводно од природног врела. Најзначајнија појава на терену је, свакако, каптирано врело, чија издашност у минимуму износи око 15 л/с. Испод врела, до ушћа потока Царевац, цела долина је, практично, натопљена водом и тешко проходна, односно представља једну велику зону истицања подземних вода. Исти случај је и са доњим делом потока Царевац, непосредно пре ушћа. Током теренских радова извршено је узорковање вода на 5 локалности и урађено исто толико скраћених хемијских анализа, на основу којих је да се ради о водама доброг квалитета са минерализацијом од 138.81 мг/л (Царевац) до 254.34 мг/л (поток Повелич). Воде из каптаже Повелич имају минерализацију 233.19 мг/л. По основном хемијском саставу припадају хидрокарбонатно калцијумској групи са садржајем HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> од 261.08 мг/л, односно Ca<sup>2+</sup> од 63.53 мг/л. Што се тиче хидрохемијског режима подземних вода са врела Повелич, урађене су три анализе у различитим периодима истраживања, тј. у септембру,

октобру и новембру 2000. године и констатован веома стабилан режим са нијансама које могу бити резултат мерења приликом одређивања компоненти у лабораторији. Са аспекта заштите подземних вода од загађивања, констатовано је да у том смислу постоје веома повољни услови, с обзиром на ненасељеност терена у сливном подручју врела, пошумљеност и занемарљиву пољопривредну делатност у читавој долини узводно од врела, што је довољна су гаранција за добру заштиту подземних вода.

У циљу утврђивања постојања водоносних средина и раседних структура са значајном циркулацијом подземних вода, током новембра 2000. године изведена су геоелектрична испитивања на локалности Повелич. Примењен је Шлумбергеров симетрични распоред сондирања (А-МН-Б) са 15 електрода са  $AB/2 = 500$  м, чиме је постигнут дубински захват од око 200 м.

Изведеним истраживањима констатоване су 4 литолошке средине и то:

- средина 1 - алувијални нанос представљен шљунковима, песковима и глинама укупне дебљине до 6 м
- средина 2 - кречњаци, пешчари, конгломерати укупне дебљине до 50 м
- средина 3 - лапори, лапорци, глине и пескови дебљине до 100-200 м
- средина 4 - кречњаци и пешчари дубине 175, односно 270 м.

На основу добијених резултата изведене су две истражне бушотине (ИБП-1 и ИБП-2), које су касније проширене и претворене у бунаре (ИЕБ-1 и ИЕБ-2).

Истражна бушотина ИБП-1 лоцирана је на десној долињској страни потока Повелич, на око 350 м од истоименог врела, док је ИБП-2 лоцирана на око 500 м низводно од претходне (слика 1). Крајња дубина бушотина била је 120 м (ИБП-1), односно 160 м (ИБП-2). Бушење обе истражне бушотине извршено је ударно – ротационом методом, а започето је пречником 600 мм у интервалу 0-4 м. Потом је уграђена челична уводна колона пречника 485 мм до дубине од 4 м, ради осигурања уста бушотине и извршена њена цементација. Наставак бушења до крајње дубине изведен је пречником 225 мм. Захваљујући примењеној технологији и перманентном праћењу израде бушотина, затим и каротажним мерењима по завршетку исте, прецизно су дефинисани литолошки профили. Утврђено је да кречњаци различитог степена карстификације залежу од 2 до 42.30 м дубине (ИБП-1), односно од 2 до 60 м (ИБП-2), одакле почињу пешчари са прослојцима лапора и лапоровитих кречњака. Обе бушотине су са самоизливом, 5 л/с на ИБП-1 и 1.5-2.0 л/с на ИБП-2. Током бушења компримованим ваздухом је из кречњачких маса изношена значајна количина воде од око 20-25 л/с на ИБП-1, односно 10-12 л/с на ИБП-2. По престанку бушења, самоизлив се брзо успостављао, тј. за 2-3 минута, што указује на брзу водозамenu и добру карстификацију, односно филтрационе карактеристике кречњака. Такође, вода се брзо избистрила, већ након 5-6 минута по прекиду бушења.

На основу резултата бушења и констатованих хидрогеолошких карактеристика терена извршено је проширење истражних бушотина и израда истражно – експлоатационих бунара ИЕБ-1 и ИЕБ-2. Израда истражно-експлоатационих бунара ИЕБ-1 започета је проширењем истражне бушотине ИБП-1 пречником 400 м у интервалу од 0-42 м, али је, због појављивања честица ситног материјала који је запуњавао бушотину, одлучено да се иста прошири на пречник 450 мм у целокупном интервалу од 4-47 м. Након једнодневнoг испирања и чишћења бушотине од заосталих честица набушеног материјала бушотина је припремљена за уградњу бунарске конструкције. У интервалу од 47-43 м уграђена је пуна ПВЦ пластична цев пречника 315 мм отпорна на притисак од 16 бара у виду таложника. Затим је уграђен први филтерски сегмент у интервалу 43-33 м, укупно 10 м ПВЦ пластичних шлицованих цеви пречника 315 мм отпорности на притисак од 16 бара, обмотаних пластичним ситом пречника отвора 0.7 мм. У интервалу од 33-24 м уграђена је пуна пластична ПВЦ цев истоветних карактеристика као и таложник, а затим други филтерски сегмент у интервалу 24-18 м са карактеристикама као и код првог сегмента. У интервалу од 18 до +0.5 м уграђена је, поново, пуна пластична ПВЦ цев

пречника 315 мм отпорна на притисак од 16 бара. Простор између зида бушотине и бунарске конструкције испуњен је кварцним гранулатом пречника зрна 1.6-3.2 мм у интервалу 47-6 м.

Други истражно-експлоатациони бунар ИЕБ-2 изведен је након проширења истражне бушотине ИБП-1 и уградњом одговарајуће бунарске конструкције. Проширење истражне бушотине изведено је у интервалу 4-65 м пречником 450 мм. Након испирања и чишћења бушотине од заосталих честица набушеног материјала приступило се уградњи одговарајуће бунарске конструкције. У интервалу од 65-60 м уграђен је таложник од пуње пластичне ПВЦ цеви пречника 315 мм отпорне на притисак од 16 бара. У интервалу од 60-30 м уграђена је, перфорирана, односно шлицована ПВЦ пластична цев, као први филтерски сегмент, истоветних карактеристика као и таложник, обмотана пластичним ситом пречника отвора 0.7 мм, а затим пуна пластична ПВЦ цев, као експлоатациона колона, у интервалу 30-24 м. У интервалу 24-18 м уграђен је други филтерски сегмент истоветних карактеристика као и први, затим до +0.5 м пуна пластична ПВЦ цев пречника 315 мм идентичних карактеристика као и претходне. Међупростор између зида бушотине и бунарске конструкције испуњен је кварцним гранулатом пречника зрна 1.6-3.2 мм у интервалу 65- 6 м.

На основу предлога Надзорног органа и усвајања истог од стране представника Општине Прњавор одлучено је да се на постојећој локацији два експлоатациона бунара у Повеличу ураде још три осматрачке бушотине - пијезометра, у циљу утврђивања промене нивоа подземних вода у току експлоатације, као и потенцијалне локације за евентуално проширење изворишта у Повеличу. Први пијезометар (П1) лоциран је узводно од истражно-експлоатационог бунара ИЕБ-1, на удаљености од 80 м, на десној обали потока Повелич (слика 1). Пијезометар П2 је лоциран код базена за купање на удаљености од 45 м од бушотине ИЕБ-1, такође на десној обали потока Повелич, а пијезометар (П3) лоциран је на удаљености од 60 м низводно од истражно-експлоатационог бунара ИЕБ-2 (слика 1). Сва три пијезометра изведена су до дубине од 50 м и њима су, практично, у целисти каптирани сарматски кречњаци. Као што се и очекивало, на сва три осматрачка објекта појавио се самоизлив и то на П<sub>1</sub> око 1 л/с, на П<sub>2</sub> око 5 л/с, а на П<sub>3</sub> око 2.5 л/с. Пречник бушења на П<sub>1</sub> и П<sub>2</sub> износио је 175 мм, док је пијезометар П<sub>3</sub> избушен пречником 500 мм. За потребе извођења теста црпења, сва три објекта опремљена су пластичном конструкцијом пречника 3”.

У циљу разраде сваког од бунара и прелиминарне оцене о њиховим експлоатационим могућностима, у више наврата изведена су појединачна краткотрајна црпења из сваког од њих. У периоду од 13.09.2002.-19.09.2002. године изведен је дуготрајни тест црпења из "групе бунара", односно истовремено црпење из бунара ИЕБ-1 и ИЕБ-2 са три осматрачка објекта (пијезометра П1, П2 и П3), једним повратком нивоа и мерењем протицаја потока Повелич на 3 "Томпсонова" прелива. Тестирање је изведено дубинском пумпом са једним истовременим црпењем из оба бунара и једним повратком нивоа. Анализа комплетног хидрограма црпења извршена је на рачунару, при чему су подаци за хидрогеолошке параметре (пропусност), добијени графоаналитичким поступком, послужили као полазни приликом тарирања мерених и израчунатих вредности. Најпре су срачунати параметри бунара ИЕБ-1 (С, Т, А и Б) посматрајући бунар као појединачан објекат. На бази такве анализе утврђени су следећи параметри: снижење  $C = 5.55$  м; трансмисибилност  $T = 1.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{c}$ ; линеарни губитак  $A = 48 \text{ m}/\text{c}^2$ ; квадратни губитак  $B = 2500 \text{ c}^2/\text{m}^5$ . Истим поступком одређени су истоветни параметри на бунару ИЕБ-2: снижење  $C = 15.27$  м; трансмисибилност  $T = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{c}$ ; линеарни губитак  $A = 85 \text{ m}/\text{c}^2$ ; квадратни губитак  $B = 9000 \text{ c}^2/\text{m}^5$ .

На основу анализе комплетног нивограма црпења, тј. анализом података добијених мерењима промена пијезометарског нивоа на бунарима ИЕБ-1 и ИЕБ-2 у току групног црпења добијени су следећи параметри:

ИЕБ-1: снижење  $C = 10.49$  м; линеарни губитак  $A = 145 \text{ m}/\text{c}^2$ ; квадратни губитак  $B = 2000 \text{ c}^2/\text{m}^5$ ;



ИЕБ-2: снижење  $C = 16.03$  м; линеарни губитак  $A = 300$  м/с<sup>2</sup>; квадратни губитак  $B = 13000$  с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>;  
и параметри водоносне средине: трансмисибилност  $T = 5.1 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с и специфична издашност  $E = 2.00 \times 10^{-3}$

На основу података добијених компјутерском анализом комплетних нивограма црпења извршена је прогноза снижења у бунарима ИЕБ-1 и ИЕБ-2 за период од две године црпења подземне воде у количинама од **16.5 л/с на бунару (ИЕБ-1)** и **22.0 л/с (на бунару ИЕБ-2)**, колико износе њихове оптималне издашности, при чему су добијене депресије у бунару ИЕБ-1, на крају посматраног периода од годину дана око **14.2 м**, односно на бунару ИЕБ-2 од **17.38 м**. Овакав прорачун проистекао је из лимитирајућег фактора дубине постављених филтра у бунарима (18 м).

Након изведеног дуготрајног теста црпења на бунарима ИЕБ-1 и ИЕБ-2 у Повеличу извршено је узорковање вода за израду комплетних хемијских анализа у циљу утврђивања квалитативних карактеристика истих за потребе водоснабдевања и потврђивања истог, или сличног хемијског састава са водама врела Повелич, чиме би се потврдила и претпоставка да воде врела Повелич каптирају исту издан која се каптира бунарима ИЕБ-1 и ИЕБ-2. Комплетне анализе вода из ова два бунара показале су да се по својим физичким и хемијским карактеристикама ове воде веома мало разликују у односу на воде врела Повелич, што је и разумљиво. Воде са бунара ИЕБ-1 и ИЕБ-2 су прозачне (мутноћа НТУ - 1), без боје са рН од 7.6 – 7.8 и укупне минерализације од око 350 мг/л. У хемијском погледу доминирају јони хидрокарбоната (око 230 мг/л) и калцијума (око 60 мг/л), док остале компоненте макро састава немају значајније учешће. У микро-саставу концентрације већине елемената су испод границе детекције, односно вода их не садржи. Нешто више заступљен је стронцијум (0.49, односно 1.26 мг/л). Такође, укупна алфа и бета радиоактивност је далеко испод дозвољених граница у водама за пиће које прописује Правилник о хемијској исправности воде за пиће (службени лист СРЈ бр. 42/98), а концентрације евентуалних загађивача, цијанида, детерџената, уља и масти, фенола и пестицида је испод граница детекције, односно вода их не садржи. По својим укупним карактеристикама вода са бунара ИЕБ-1 и ИЕБ-2 су маломинерализоване хидрокарбонатно-калцијумске воде, балго алкалне, средње тврдоће и по својим физичким, хемијским и радиолошким карактеристикама у свему задовољавају поменути Правилник о хигијенској исправности воде за пиће.

Током 2008 год, у оквиру активности на привођењу крају отварања изворишта „Повелич“, на бази резултата ранијих хидрогеолошких истраживања, приступило се обезбеђењу законских докумената за ову врсту делатности. Најпре је урађен „Пројекат детаљних хидрогеолошких истраживања за потребе изналагања нових количина вода на локалитету Повелич – Република Српска“ и „Предстудија економске оправданости ...“

Крајем маја 2008. године изведена су геофизичка истраживања, односно геоелектрично сондирање на локалитету Повелич и потока Дабрак, на северо-западом делу општине Прњавор, а за које се на основу хидрогеолошког рекогносцирања и прикупљених података на основу претходних истраживања установило да представљају потенцијалне локалитете где би се могле захватити додатне количине квалитетних подземних вода.

Геофизичка испитивања изведена су са укупно 45 сонди у долинама реке Повелич и потока Дабрак. На основу интерпретираних података геоелектричних-геофизичких испитивања, одређене су потенцијалне локације у Повеличу и Дабраку, на којима ће се извести бушење истражних бушотина и бунара до одређених дубина, којима би се потврдили подаци добијени претходним геофизичким испитивањима.

Током летњих и јесењих месеци 2010. год. на изворишту „Повелич“ изведена су три истражно експлоатациона бунара и три пијезометра у њиховој близини. Изведени су бунари

Б1, Б4 и Б5 као и пијезометри П1/2, П4 и П5. Пре израде бунара и пијезометара увек је урађена истражна бушотина, а затим иста проширивана и уграђивана бунарска конструкција од ПВЦ-а пречника 315 мм односно пијезометарске ПВЦ-а пречника 86 мм.

Бунар Б1 избушен је пречником 445 мм, а у њега је уграђена бунарска конструкција од ПВЦ-а пречника 315 мм и постављен кварцни гранулат пречника зрна 4-8 мм. Првих 10 метара од површине терена зацељено је уводном колоном пречника 485 мм која је цементирана. Бунар је дубине 80 м. На растојању 50 м налази се пијезометар дубине 60 м. Бунарска пумпа постављена је на дубину 20 м од површине терена. У бунару су постављени филтери на следећим интервалима 20 – 24 м, 32 – 44 м, 52 – 60 м, 68 – 72 м. Литолошке карактеристике на истраживаном подручју упознате су на основу података бушења истражних и истражно-експлоатационих објеката до дубине од око 80 м. Средина је до пројектоване дубине бунара изграђена од кречњака који су компактни до јаче испуцали и који се у вертикалном профилу смењују са лапоровитим глинама.

Тест црпења изведен је са три снижења, капацитетима пумпе 15,2 л/с, 27,1 л/с и 41,5 л/с. Пре теста црпења вода на бунару Б1 је констатован самоизлив од 15,2 л/с. На основу обрађених података добијене су следеће вредности за бунар Б1  $K_f=2.54 \cdot 10^{-4}$  м/с и  $T=1.03 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>/с.

И бунар Б4 сличних је конструктивних карактеристика као и претходни бунари. Бунар је избушен пречником 445 мм, а у њега је уграђена бунарска конструкција од ПВЦ-а пречника 315 мм и постављен кварцни гранулат пречника зрна 4-8 мм. Првих 10 метара од површине терена зацељено је уводном колоном пречника 485 мм која је цементирана. Дубина бунара је 78 м. Пумпа је приликом тестирања постављена на дубину 24 м. На удаљењу 27 м од бунара налази се пијезометар П4 дубине 60 м. У бунару су постављени филтери на следећим интервалима: 18 - 22 м, 30 - 38 м, 42 - 50 м, 54 - 58 м, 66 - 74 м.

Опит црпења изведен је са три снижења, следећим капацитетима:  $Q_1 = 11$  л/с,  $Q_2 = 15,40$  л/с и  $Q_3 = 20$  л/с у периоду од 11.9. до 14.9.2010. године. Пре почетка теста на бунару је констатован самоизлив у количини 2,8 л/с. У периоду 11.09. – 14.09.2010. године на истраживаном подручју у зони Повелича извршено је опитно црпење на бунару Б4 и осматрања у постојећем осматрачком објекту П4. На основу обрађених података добијене су следеће вредности за бунар Б4  $K_f=4.85 \cdot 10^{-5}$  м/с и  $T=1.79 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с.

Бунар Б5 избушен је пречником 445 мм, а у њега је уграђена бунарска конструкција од ПВЦ-а пречника 315 мм и постављен кварцни гранулат пречника зрна 4-8 мм. Првих 10 метара од површине терена зацељено је уводном колоном пречника 485 мм која је цементирана. Бунар је дубине 79 м. На растојању 20 м налази се пијезометар дубине 60 м. Бунарска пумпа постављена је на дубину 27 м од површине терена. У бунару су постављени филтери на следећим интервалима:

24 – 36 м, 44 – 52 м, 60 – 72 м. Средина је до пројектоване дубине бунара изграђена од кречњака који су компактни до јаче испуцали и који се у вертикалном профилу смењују са лапоровитим глинама

Црпење је вршено капацитетима 14,1 л/с, 25 л/с и 33,8 л/с. На основу обрађених података добијене су следеће вредности за бунар Б4  $K_f=6.72 \cdot 10^{-5}$  м/с и  $T=2.15 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с.

Након завршетка свих истражних бунара Б-1 – Б-5 и пратећих пијезометара, практично је ооконтурено будуће извориште “Повелич” за водоснабдевање Прњавора и месних заједница које гравитирају главном цевоводу од изворишта до града. Организован је групни тест из свих објеката са раније доказаним капацитетима сваког бунара појединачно. Након опсежних припрема приступило се реализацији групног теста црпења. Најпре је извршена краткотрајна провера функционисања сваког бунара појединачно и скупно. Констатовано је

да је бунар Б<sub>3</sub> изван могућности за тест стварним капацитетом из техничких разлога, те се морало одустати од његове употребе. Коришћен је као осматрачки објекат, а у другом снижењу из њега је црпена количина воде (симболично) од свега неколико литара далеко испод његових могућности.

Пре почетка групног теста, ради контроле утицаја ефеката обарања нивоа на површински ток Повелича с једне, и праћење губитака вода које дотичу у зону утацаја бунара и вода које се црпе из бунара с друге стране, постављена су два трапезна прелива чија је основица 0,4м. Преливи су постављени тако да се контролише укупни улаз вода изнад бунара Б<sub>1</sub>, односно укупни излаз воде из зоне изворишта. Прелив „1“ постављен је узводно од бунара Б<sub>1</sub>, а прелив „2“ наспрам бунара Б<sub>3</sub> у кориту Повелича. Преливима су контролисане количине вода које дотичу коритом Повелича у зону изворишта, затим издашност бунара Б<sub>1</sub> и Б<sub>5</sub>. Треба напоменути да је бунар Б<sub>2</sub> усмерен у резервоар за водоснабдевање односно изван изворишта. На профилу на преливу „1“ констатован је дотицај од 14,7 односно 15 л/с. У време теста црпења на доњем, односно преливу „2“ констатован је протицај од 40,4 л/с. Треба напоменути да није било могуће апсолутно контролисати излазни отицај због неуређености корита Повелича.

Пре почетка црпења констатовано је почетно стање на свим објектима (табела 1).

Табела 1. Табеларни приказ почетног стања подземних вода на објектима изворишта „Повелич“

| Редни број | Бунар Б<br>Пијезометар П | НПВ (м) | Издашност л/с<br>самоизливом | Датум и час<br>мерања          |
|------------|--------------------------|---------|------------------------------|--------------------------------|
| 1          | Б <sub>1</sub>           | -       | 10                           | 20.10.2011<br>12 <sup>30</sup> |
|            | П <sub>1/1</sub>         | 0,3     | -                            |                                |
|            | П <sub>1/2</sub>         | 2,1     | -                            |                                |
| 2          | Б <sub>2</sub>           | -       | 2                            | 20.10.2011<br>12 <sup>37</sup> |
|            | П <sub>2</sub>           | -       | 3                            |                                |
| 3          | Б <sub>3</sub>           | -       | 1,5                          | 20.10.2011<br>12 <sup>50</sup> |
|            | П <sub>3</sub>           | -       | 3,0                          |                                |
| 4          | Б <sub>4</sub>           | -       | 2,5                          | 20.10.2011<br>13 <sup>00</sup> |
|            | П <sub>4</sub>           | -       | 1,5                          |                                |
| 5          | Б <sub>5</sub>           | 3,5     | -                            | 20.10.2011<br>13 <sup>15</sup> |
|            | П <sub>5</sub>           | 3,3     | -                            |                                |

Након утврђивања почетних услова регистрована су и стања на бројилима. Бројила су нова и регистрвала су само пробну издашност односно пробне исцрпљене количине. Тест је започео укључењем сваког бунара са наштелованом издашњошћу и то:

Б<sub>1</sub> 28,5 л/с, Б<sub>2</sub> 12,3 л/с, Б<sub>4</sub> 12,8 л/с, Б<sub>5</sub> 10,0 л/с, **укупно 63,6 л/с.**

Након почетка црпења дана 20.10.2011. год. из свих бунара дошло је до прекида снабдевања изворишта струјом и тест је прекинут од 24.10.2011. Тест је прекинут 24 часа од почетка. Након враћања у почетне услове 24.10.2011. започео је изнова групни тест из сва четири исправна бунара. Временски интервали мерења износили су два минута (дајвери) тако да је укупно измерено преко 54 000 података. Након устаљења првог снижења, на бунарима Б<sub>2</sub> и Б<sub>4</sub> повећани су капацитети пумпи на 14,8 л/с Б<sub>2</sub> и на бунару Б<sub>4</sub> 14,3 л/с, тј. до крајних могућности пумпи (слика 3). На осталим бунарима то није било могуће. Укупна издашност изворишта заокружен је на 67,6 л/с (без бунара Б<sub>3</sub>), види табелу 19. друго снижење. укупна издашност изворишта се може сматрати репрезентативним у износу од 67,6 л/с за средњу депресију од 11,65 м. На основу интерпретације података по бунарима и пијезометрима, са обзиром да је тест изведен после вишемесечне суше, може се констатовати да резултати тестирања представљају репрезентативне, тј. сигурне капацитете изворишта. За укупно

снижење за бунар Б<sub>1</sub> од 10,51 м , за бунар Б<sub>2</sub> од 10,74 м, за бунар Б<sub>4</sub> од 12,74 м и за бунар Б<sub>5</sub> од 11,16 м. Бунар Б<sub>2</sub> је раније опремљен, тако да је за тест црпења било неопходно „ручно“ мерење нивоа у бунару док се издашност мерила преко водомера. Међутим, неће се узети у обзир српење из бунара Б<sub>3</sub> (за сада) већ након регенерације истог и адекватним опремањем.

Укупни капацитет изворишта је доказан групним тестом из четири бунара и износи 67,6 л/с за генерално снижење на свим бунарима од 10,6 до 12,7 м. Издашност бунара Б<sub>3</sub> није узимана у обзир.(табела 2)

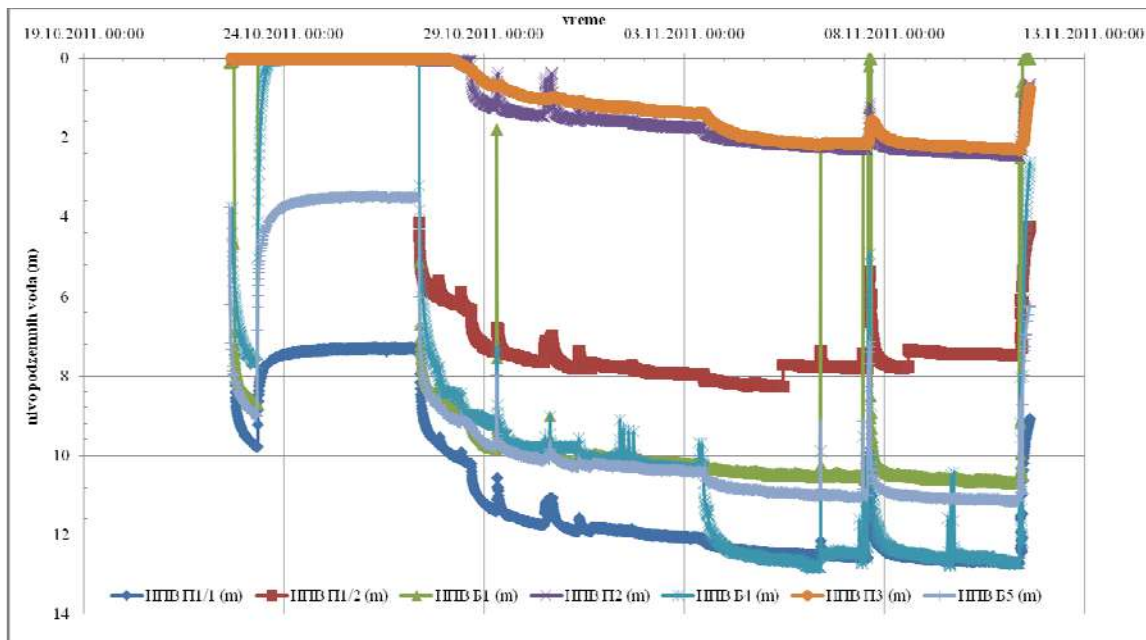
Табела 2. Резултати дуготрајног теста црпења на изворишту „Повелич“

|               | Бунар                  | Б <sub>1</sub> | Б <sub>2</sub> | Б <sub>4</sub> | Б <sub>5</sub> | Укупно |
|---------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| Прво снижење  | Капацитет црпења (л/с) | 28,5           | 12,3           | 12,5           | 10             | 63,3   |
|               | Снижење (м)            | 10,68          | 10,37          | 10,34          | 11,14          | -      |
| Друго снижење | Капацитет црпења (л/с) | 28,5           | 14,8           | 14,3           | 10             | 67,6   |
|               | Снижење (м)            | 10,68          | 10,74          | 12,72          | 11,14          | -      |

Трајање првог снижења 145 сати и 20 минута

Трајање другог снижења 190 сати и 20 минута

**НАПОМЕНА:** код другог снижења бунар Б<sub>3</sub> је укључен са просечно 3 л/с и за снижење за око 18 м, што увећава укупни капацитет групног теста од 70 л/с



Слика 3. Нивограм црпења на бунарима Б<sub>1</sub>, Б<sub>4</sub>, Б<sub>5</sub> и осматрања нивоа на пијезометрима П<sub>1/1</sub>, П<sub>1/2</sub>, П<sub>2</sub> и П<sub>3</sub>

Поред ранијих хидрохемијских истраживања и резултата истих, извршене су јаш два истраживања квалитета вода са изворишта. Прва група анализа „В“ обима, извршена је у време тестова експлоатационих црпења на изворишту и то са свих објеката (бунара),

18.11.2011. и 13.12.2011. године, у време апсолутног хидролошког минимума који је уследио након шестомесечне суше (2011. године). Овакви услови се могу сматрати апсолутно поузданим за све даље активности, јер се ради о вишедеценијском (30 година) минимума. Сви резултати испитивања у квантитативном и квалитативном смислу могу се сматрати репрезентативним за оба изворишта. Други, период узорковања вода, април 2012. године, за физичко-хемијска и бактериолошка испитивања се опет може сматрати репрезентативним јер се са овог аспекта јављају услови, тј. хидролошки максимум, после дуге зиме са доста снега и топлења истог у пролећном периоду. Издан се после дуге суше поново интензивно прихрањује, тако да је у погледу квалитета подземних вода створен веома повољан моменат за испитивање квалитета подземних вода у пролећном периоду или тзв. хидролошком максимуму. Друго узорковање је извршено априла месеца 2012. године и урађене по две репрезентативне анализе „В“ обима за оба изворишта. За извориште „Повелич“ урађене су анализе на бунарима Б-1 и Б-4.

Табела 3. Упоредни приказ резултата комплетних хемијских анализа подземних вода са изворишта „Повелич“

|                                       | mera   | B-1        | B-1        | B-2        | B-4        | B-4        | B-5        | MDK      |
|---------------------------------------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                       |        | 03.11.'11. | 04.04.'12. | 03.11.'11. | 03.11.'11. | 04.04.'12. | 03.11.'11. |          |
| Температура*                          | °C     | 13,8       | 14         | 13,7       | 12,2       | 11,4       | 14,5       | -        |
| Мирис                                 | -      | bez        | bez        | bez        | bez        | bez        | bez        | bez      |
| Мутноћа                               | NTU    | 0,49       | 0,26       | 0,26       | 0,22       | <0,02      | 0,21       | ≤1**     |
| pH                                    | pH     | 7,73       | 7,64       | 7,79       | 7,84       | 7,63       | 7,94       | 6,8-8,5  |
| Утрошак KMnO <sub>4</sub>             | mg/l   | 6,3        | 3,7        | 3,7        | 5          | 3,7        | 5          | ≤8       |
| Остатак испарења на 105 °C            | mg/l   | 104        | 229        | 210        | 223        | 225        | 221        | -        |
| Електрична проводљивост на 20 °C      | mScm-l | 370        | 334        | 375        | 401        | 352        | 355        | ≤1000    |
| Амонијак                              | mg/l   | <0,05      | <0,05      | <0,05      | <0,05      | <0,05      | <0,05      | ≤0,1***  |
| Хлориди                               | mg/l   | 5,3        | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | ≤200     |
| Нитрити                               | mg/l   | 0,01       | <0,01      | 0,01       | 0,01       | 0,01       | <0,01      | ≤0,03    |
| Нитрати                               | mg/l   | <2         | <2         | <2         | <2         | <2         | <2         | ≤50      |
| Гвожђе                                | mg/l   | 0,23       | 0,22       | 0,18       | 0,1        | 0,11       | 0,26       | ≤0,3     |
| Манган                                | mg/l   | 0,03       | 0,03       | 0,03       | 0,03       | 0,02       | 0,03       | ≤0,05    |
| Олово                                 | mg/l   | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | ≤0,01    |
| Сулфати                               | mg/l   | 7,7        | 7,7        | 16,6       | 20,4       | 19,2       | 16,6       | ≤250**** |
| Алуминијум                            | mg/l   | <0,02      | <0,02      | <0,02      | <0,02      | <0,02      | <0,02      | ≤0,2     |
| Бакар                                 | mg/l   | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | ≤2       |
| Цинк                                  | mg/l   | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | ≤3       |
| Укупни хром                           | mg/l   | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | <0,005     | ≤0,05    |
| Никл                                  | mg/l   | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | ≤0,02    |
| Селен                                 | mg/l   | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | <0,01      | ≤0,01    |
| Натријум                              | mg/l   | 5,5        | 5          | 5,7        | 8,2        | 7,8        | 11,4       | ≤150     |
| Калијум                               | mg/l   | 1          | 0,9        | 1,1        | 1          | 0,9        | 1,1        | ≤12      |
| Калцијум                              | mg/l   | 37,5       | 63,6       | 47,3       | 47,3       | 63,6       | 44,1       | ≤200     |
| Мagneзијум                            | mg/l   | <0,1       | 11,6       | 17,4       | 20,3       | 10,6       | 17,4       | ≤50      |
| Арсен                                 | mg/l   | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | ≤0,01    |
| Žива                                  | mg/l   | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | <0,001     | ≤0,001   |
| Алкалитет                             | mg/l   | 200        | 155        | 210        | 215        | 155        | 200        | -        |
| Укупна тврдоћа, као CaCO <sub>3</sub> | mg/l   | 93,2       | 204,3      | 187,2      | 199        | 200,7      | 196,8      | -        |
| Укупна тврдоћа, °dH                   | °dH    | 5,26       | 11,53      | 10,61      | 11,28      | 11,31      | 10,16      |          |
| Хидрокарбонати                        | mg/l   | 116,6      | 274,91     | 237,70     | 245,63     | 239,73     | 254,98     |          |

\* мерено приликом узорковања, \*\* за водоводе до 5000 становника дозволјена је мутноћа до 5 NTU, \*\*\* за водоводе до 5000 ES до 1 mg/l, \*\*\*\* не сме се осетити мирис

### Локалитет Дабрак

Паралелно са хидрогеолошким истраживањима у завршној фази отварања изворишта „Повелич“ вршена су иста и на локалитету „Дабрак“. Пре извођења истражног бушења и израде истражно-експлоатационих бунара и пијезометара изведена су обимна геоелектрична истраживања чији су резултати приказани у поглављу 4.2.10.2.. Иста су поред изворишта „Повелич“ обухватала и „Дабрак“ извођењем геоелектричног сондирања. На самој локацији будућег изворишта „Дабрак“, урађено је 12 сонди (Es-18 до Es-30). Њихови резултати су анализарани и довели су до закључка да се у тој зони могу очекивати веома повољни услови за отварање изворишта. На основу утврђених повољних услова и микролокација за истражна бушења, приступило се лоцирању и извођењу три истражно-експлоатациона бунара и исто толико пијезометара.

Пре израде истражно-експлоатационог бунара БД<sub>1</sub> извена је израда истражне бушотине и уградња пијезометарске конструкције. Бушење је изведено пречником бушења  $\phi 140$  мм. Током марта 2011. године изведен је бунар БД<sub>1</sub>.

Пројектом је најпре предвиђена израда истражне бушотине дубине 120 м. Имајући у виду добијене резултате бушења, истражна бушотина је проширена до 65 м и претворена у бунар дубине 65 м.

Након завршетка истражног бушења извшено је проширење за уградњу уводне колоне а затим и проширење истражне бушотине до дубине од 65м. Након завршетка истражног бушења извшено је проширење на пречник  $\phi 560$  мм за уградњу уводне колоне а затим и проширење истражне бушотине до дубине од 65м пречником бушења  $\phi 445$  мм. Бунарска конструкција БД<sub>1</sub> има следећи састав 0,00-32,00 уводна колона пречника 485 мм, 0,00-32,00 м пуне ПВЦ цеви пречника 315 мм, 32,00-62,00 м филтерски део-ПВЦ шлицовани филтери пречника 315 мм, отвор слота 2 мм, 62,00-65,00 м таложник, пуна ПВЦ цев пречника 315 мм. Након уградње бунарске конструкције извшена је уградња филтерског кварцног гранулата 4-8 мм у интервал од 20,0 до 65,0 м, а од 20,0 м дубине до врха глинене тампон.

Након завршеног испирања и разраде бунара приступило се тестирању истог. Том приликом је у бунар спуштена пумпа капацитета 15 л/с а усис пумпе је спуштан на 31 м. Бунар је тестиран са циљем одређивања параметара водоносне средине и оптималног капацитета. Пре почетка тестирања констатован је самоизлив 1,8 л/с на коти 100.01 м. Тест је изведен са три снижења капацитетима 3,6 л/с, 8,2 л/с и 10,2 л/с, са праћењем пијезометра ПД<sub>1</sub>. На основу резултата тестирања одређени су следећи параметри:  $q = 0,38$  л/с/м',  $T=1,29 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с,  $A=2100$  с/м<sup>2</sup>,  $B=75000$  с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>.

У току тестирања бунара извшено је узорковање подземне воде (19.07.2011.) те је извшена компетна физичко-хемијска и микробиолошка анализа воде у „В“ обиму Према резултатима ове физичко-хемијске анализе вода **задовољава** услове за пиће према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће (Сл. гласник РС бр. 40/03). Микробиолошке анализе воде утврђено је да узорак не задовољава услове за пиће.

Пре извођења пијезометра ПД<sub>2</sub> и бунара БД<sub>2</sub> изведена је истражна бушотина дубине 120 м са пречником бушења  $\phi 240/140$  мм. У истражну бушотину је уграђена пијезометарска ПВЦ конструкција пречника 3“ следећих карактеристика: 0,00-6,00 м уводна челична колона пречника 219 мм, 0,00-30,00 м пуна ПВЦ цев пречника 3”, 30,00-60,00 м филтерска конструкција ПВЦ пречника 3”, 60,00-65,00 м таложник, пуна ПВЦ цев пречника 3”. Након уграђене пијезометарске конструкције извшена је уградња гранулата од 6,00-120,00 м а затим глиненог тампона од 0,0 до 6,0 м.

Током марта и априла 2011. године изведен је истражно-експлоатациони бунар БД<sub>2</sub> са припадајућим пијезометром ПД<sub>2</sub> на локалитету „Дабрак“. Пројектом је предвиђена израда истражне бушотине дубине 120 м а након што је она изведена а имајући у виду добијене резултате бушења, истражна бушотина је опремљена конструкцијом и претворена у бунар дубине 55 м. Након завршетка истражног бушења извршено је проширење за уградњу уводне колоне ф 560 мм. Затим је у међу простор између зидова бушотине и бунарске конструкције уграђен глинене тампон у интервал од 0,00 до 20,00 м. Проширење истражне бушотине до дубине од 55 м извршена је пречником бушења ф 445 мм.

На основу ових података бунарска конструкција БД<sub>2</sub> је: 0,0-32,0 м уводна колона ф485 мм, 0,0-35,0 м пуне ПВЦ цеви ф 315 мм, 35,0-52,0 м филтерски део-ПВЦ шлицовани филтери ф315 мм, отвор слота 2 мм, 52,0-55,0 м таложник, пуна ПВЦ цев ф315 мм. Након завршене уградње бунарске конструкције извршена је уградња филтерског кварцног гранулата 4-8 мм у интервал од 20,0 до 55,0 м.

Након завршеног испирања и разраде бунара приступило се тестирању истог. Том приликом је у бунар спуштена пумпа капацитета 5 л/с, а усис пумпе је спуштан на 31 м. Имајући у виду количину воде којом је црпљен бунар, тестирање и црпљење је обављено једним капацитетом у трајању од 120 часова. Пре почетка тестирања констатован је самоизлив од 0,7 л/с. У току тестирања праћен је ниво на пијезометру ПД<sub>2</sub>, али није дошло до утицаја приликом црпљења на ниво у пијезометру, што је резултат каптирања слојева бунаром са једне и повлатних шљункова чији је водонсоних слој доминирао у пијезометру. На основу резултата тестирања одређен је коефицијент нивопроводности који износи  $T=3,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Пре израде истражно-експлоатационог бунара БД<sub>3</sub> изведена је израда истражне бушотине и уградња пијезометарске конструкције ПД<sub>3</sub>. Бушење је изведено пречником ф 140 мм, и уграђено је 30 м пластичне пијезометарске конструкције ф3''. У пијезометар је уграђен следећи распоред филтера и пуне цеви: 0,0-6,0 м уводна челична колона ф219 мм, 0,0-20,0 м пуна ПВЦ цев ф3'', 20,0-30,0 м филтерска конструкција ПВЦ ф3'', 30,0-32,0 м таложник, пуна ПВЦ цев ф3''. Након уграђене пијезометарске конструкције извешна је уградња гранулата од 6,00-32,00 м а затим глиненог тампона од 0,00 до 6,00 м.

Током априла и маја 2011. године изведен је истражно-експлоатациони бунар БД<sub>3</sub> на локалитету „Дабрак“. Након завршетка истражног бушења извршено је проширење за уградњу уводне колоне а затим и проширење истражне бушотине до дубине од 34м. Након завршетка истражног бушења, извршено је проширење на пречник ф 560 мм за уградњу уводне колоне а затим и проширење истражне бушотине до дубине од 34м пречником бушења ф 445 мм. На основу ових података бунарска конструкција БД<sub>3</sub> је: 0,0-18,0 м уводна колона ф485 мм, 0,0-22,0 м пуне ПВЦ цеви ф 315 мм, 22,0-30,0 м филтерски део-ПВЦ шлицовани филтери ф315 мм, отвор слота 2 мм, 30,0-34,0 м таложник, пуна ПВЦ цев ф315 мм. Након завршене уградње бунарске конструкције извршена је уградња филтерског кварцног гранулата 4-8 мм у интервал од 10,00 до 34,00 м. Затим је у међупростор између зидова бушотине и бунарске конструкције, уграђен глинене тампон у интервал од 0,00 до 10,00 м.

Након завршеног испирања и разраде бунара, приступило се тестирању истог. Том приликом је у бунар спуштена пумпа капацитета 15 л/с а усис пумпе је спуштан на 31 м. Бунар је тестиран са циљем одређивања параметара водоносне средине и оптималног капацитета. На основу резултата тестирања одређени су следећи параметри:  $q = 0,67 \text{ л/с/м}^2$ ,  $T=4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Према резултатима физичко-хемијске анализе вода **задовољава** услове за пиће, док према резултатима микробиолошке анализе воде, узорак **не задовољава** услове за пиће.

На изворишту „Дабрак“ извршен је дуготрајни тест црпења на групи од три бунара БД<sub>1</sub>, БД<sub>2</sub> и БД<sub>3</sub> уз праћење на два пијезометра. У свим објектима су уграђени аутоматски мерачи нивоа подземних вода (Diver) са временским интервалом мерења стања нивоа од 2 минута. Тест црпења је изведен у периоду од 03.12.2011. до 13.12.2011. године након вишемесечне суше.

Пре почетка црпења констатовано је почетно стање на свим објектима (табела 4).

Табела 4. Табеларни приказ почетног стања на бунрима на изворишту „Дабрак“ пре почетка црпења

| Редни број | бунар           | Висина самоизлива (м) | Издашност (самоизлив) | Датум мерења |
|------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| 1.         | БД <sub>1</sub> | +0,70                 | 1,5                   | 03.12.2011.  |
| 2.         | БД <sub>2</sub> | +0,75                 | 1,0                   | 03.12.2011.  |
| 3.         | БД <sub>3</sub> | +0,67                 | 0,5                   | 03.12.2011.  |

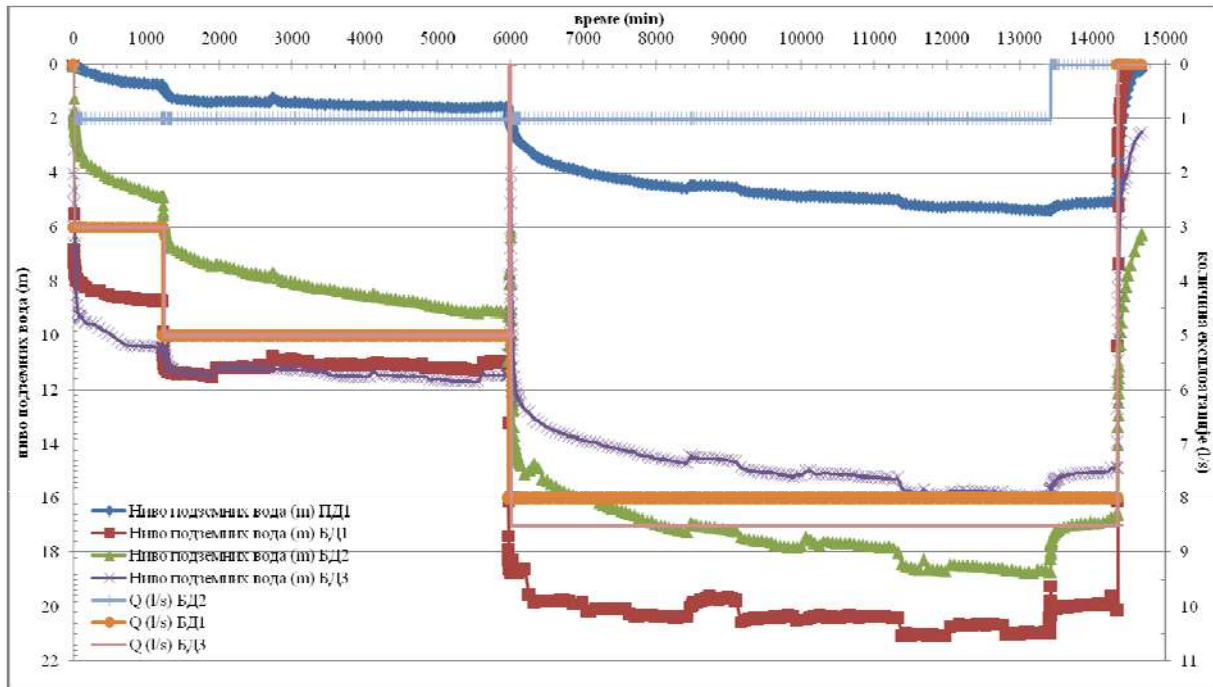
Опит црпења је вршен истовремено из три бунара БД<sub>1</sub>, БД<sub>2</sub> и БД<sub>3</sub> са задатим капацитетима пумпи за прво снижење, а затим за друго и треће (табела 5). Тест дуготрајног црпења започето је 03.12.2011. године у 12:08 часова, и трајао је укупно 14674 минута (до 13.12.2011. године).

Табела 5. Табеларни приказ издашности бунара на изворишту „Дабрак“ за време теста црпења

| Редни број    | бунар           | Q <sub>1</sub> (l/s) | Q <sub>2</sub> (l/s) | Q <sub>3</sub> (l/s) |
|---------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1.            | БД <sub>1</sub> | 3,0                  | 5,0                  | 8,0                  |
| 2.            | БД <sub>2</sub> | 2,0                  | 2,0                  | 2,0                  |
| 3.            | БД <sub>3</sub> | 3,0                  | 5,0                  | 8,5                  |
| <b>укупно</b> |                 | <b>8,0</b>           | <b>12,0</b>          | <b>18,5</b>          |

Након завршетка теста црпења регистровано је крајње стање, односно, могућности изворишта „Дабрак“ у оваквом стању истражености, са напоменом да ово нису крајње могућности овог локалитета и да тек треба истраживати и ширити извориште, за шта постоје веома перспективне могућности. По престанку црпења 13.12.2011. године регистровани су капацитети и снижења по бунарима како је приказано у табели 6 и на слици 4.





Слика 4. Нивограм и хидрограм црпења на бунарима БД<sub>1</sub>, БД<sub>2</sub> и БД<sub>3</sub> и пијезометру ПД<sub>1</sub> на изворишту „Дабрак“

Из свега напред приказаног може се закључити да је укупна издашност изворишта „Дабрак“ 18,5 л/с, за обарање нивоа од 16,0 м. Треба напоменути да се ради о истражним објектима у две хидрогеолошке средине и практично само једној „тачци“ на терену, тако да су потенцијали овог локалитета знатно већи.

Табела б. Табеларни приказ резултата теста експлоатационог црпења на изворишту „Дабрак“ (треће снижење)

| Редни број | Бунар           | Почетни услови | Издашност (л/с) | Динамички ниво (м) | Снижење (м) |
|------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------------|
| 1.         | БД <sub>1</sub> | самоизлив      | 8,0             | самоизлив          | 20,5        |
| 2.         | БД <sub>2</sub> | самоизлив      | 2,0             | самоизлив          | 18,4        |
| 3.         | БД <sub>3</sub> | самоизлив      | 8,5             | самоизлив          | 16,0        |
| 4.         | ПД <sub>1</sub> | самоизлив      |                 | самоизлив          | 5,7         |
|            |                 | <b>укупно</b>  | <b>18,5</b>     | <b>просечно</b>    | <b>18,5</b> |

За извориште „Дабрак“ урађена су три циклуса анализа „В“ обима. У периоду јул 2011. године су урађене прве три анализе за све објекте. Други циклус децембра 2011. године такође на сва три бунара, док је трећи циклус априла 2012. године урађен на само два бунара као репрезентативни за цело извориште (бунари БД<sub>1</sub> и БД<sub>2</sub>). Укупно је урађено 8 анализа. (табела 7)

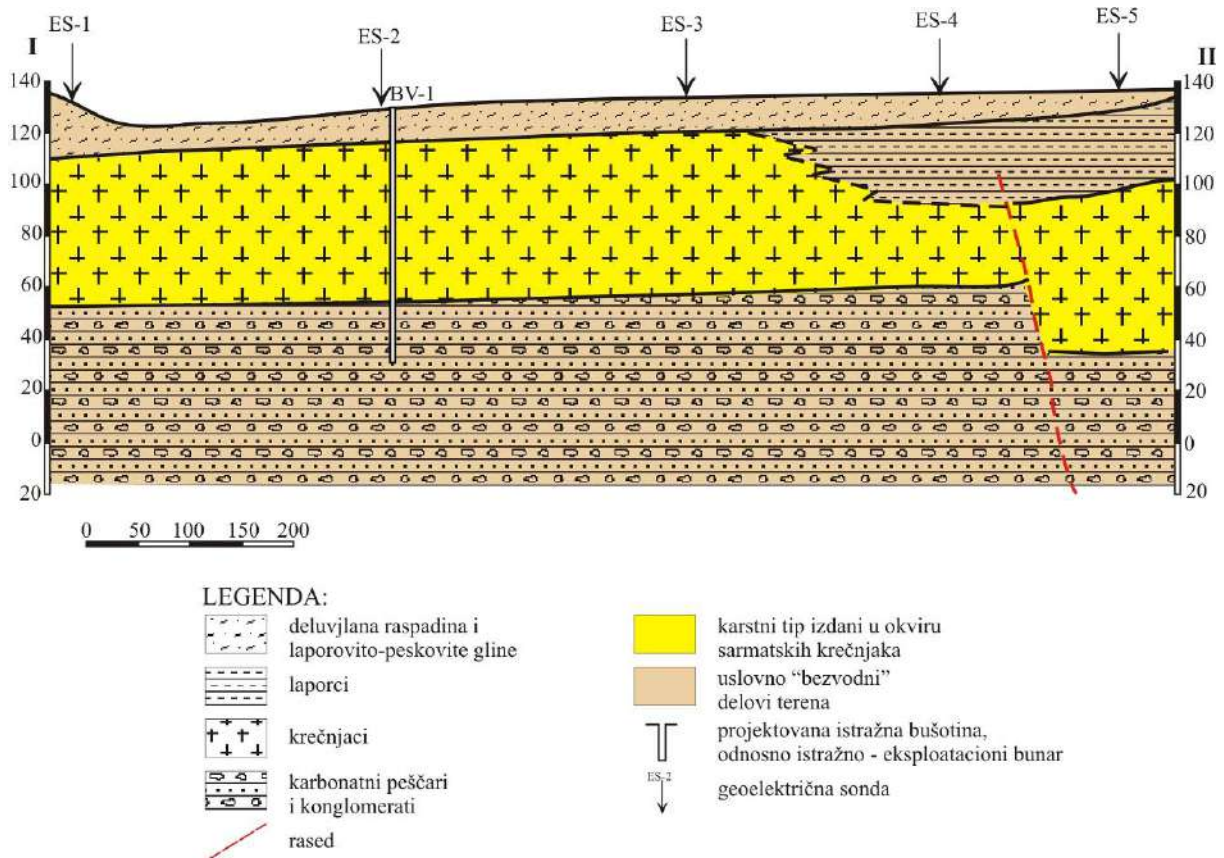
Табела 7. Упоредни приказ резултата комплетних хемијских анализа подземних вода са изворишта „Дабрак“

|                                       | mera   | BD-1        | BD-1        | BD-1        | BD-2        | BD-2        | BD-2        | BD-3        | BD-3        | MDK      |
|---------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|                                       |        | 19.07.2011. | 13.12.2011. | 04.04.2012. | 19.07.2011. | 13.12.2011. | 04.04.2012. | 19.07.2011. | 13.12.2011. |          |
| Температура*                          | 0C     | 12          | 12,3        | 12,2        | 11,5        | 11,1        | 11,8        | 10,6        | 11,9        | -        |
| Мирис                                 | -      | bez         | bez         | bez         | bez         | bez         | bez         | bez         | bez         | bez      |
| Мутноћа                               | NTU    | 0,3         | 0,34        | <0,02       | <0,1        | 0,55        | <0,02       | 2,2         | 0,11        | ≤1**     |
| pH                                    | pH     | 7,7         | 7,76        | 7,71        | 7,7         | 7,82        | 7,7         | 7,6         | 7,69        | 6,8-8,5  |
| Утросак K.MnO <sub>4</sub>            | mg/l   | 3,8         | 3,8         | <2          | 3,8         | 3,8         | <2          | 2,5         | 3,8         | ≤8       |
| Остатак испарења на 105 C             | mg/l   | 232         | 198         | 224         | 212         | 216         | 219         | 207         | 197         | -        |
| Електрична проводљивост на 20 C       | mScm-1 | 386         | 394         | 362         | 402         | 354         | 357         | 354         | 396         | ≤1000    |
| Амонијак                              | mg/l   | <0,05       | <0,05       | <0,05       | <0,05       | <0,05       | <0,05       | <0,05       | <0,05       | ≤0,1***  |
| Хлориди                               | mg/l   | <5          | <5          | <5          | <5          | <5          | <5          | <5          | <5          | ≤200     |
| Нитрити                               | mg/l   | <0,001      | <0,01       | <0,01       | <0,001      | <0,01       | <0,01       | <0,001      | 0,01        | ≤0,03    |
| Нитрати                               | mg/l   | <0,1        | <2          | <2          | <0,1        | <2          | <2          | <0,1        | <2          | ≤50      |
| Гвозђе                                | mg/l   | 0,1         | 0,17        | 0,16        | 0,07        | 0,44        | 0,14        | 0,15        | 0,18        | ≤0,3     |
| Манган                                | mg/l   | 0,03        | 0,03        | 0,03        | 0,02        | 0,14        | 0,03        | 0,04        | 0,03        | ≤0,05    |
| Олово                                 | mg/l   | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | ≤0,01    |
| Сулфати                               | mg/l   | 24,3        | 12,8        | 7,7         | 15,3        | 11,5        | 7,7         | 16,6        | 9           | ≤250**** |
| Алуминијум                            | mg/l   | <0,02       | <0,02       | <0,02       | <0,02       | <0,02       | <0,02       | <0,02       | <0,02       | ≤0,2     |
| Бакар                                 | mg/l   | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | ≤2       |
| Цинк                                  | mg/l   | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | ≤3       |
| Ортофосфати                           | mg/l   | 0,019       | 0,06        | 0,03        | 0,024       | 0,066       | 0,04        | 0,014       | 0,07        | ≤0,15    |
| Никл                                  | mg/l   | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | ≤0,02    |
| Селен                                 | mg/l   | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | <0,01       | ≤0,01    |
| Натријум                              | mg/l   | 8,8         | 7,1         | 6,5         | 22,8        | 3,7         | 12,3        | 4,3         | 14,3        | ≤150     |
| Калијум                               | mg/l   | 1,6         | 1,2         | 1,3         | 1,8         | 0,6         | 1,3         | 0,7         | 1,6         | ≤12      |
| Калцијум                              | mg/l   | 60,4        | 55,5        | 60,4        | 58,7        | 58,7        | 53,8        | 65,2        | 50,6        | ≤200     |
| Магнезијум                            | mg/l   | 13,5        | 9,7         | 12,6        | 10,6        | 11,6        | 15,5        | 5,8         | 12,6        | ≤50      |
| Арсен                                 | mg/l   | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | ≤0,01    |
| Жива                                  | mg/l   | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | <0,001      | ≤0,001   |
| Алкалитет                             | mg/l   | 210         | 210         | 150         | 220         | 200         | 145         | 190         | 210         | -        |
| Укупна тврдоћа, као CaCO <sub>3</sub> | mg/l   | 203,9       | 176,5       | 200         | 188,6       | 192,2       | 195,4       | 184,7       | 175,5       | -        |
| Укупна тврдоћа, °dH                   | °dH    | 11,54       | 9,99        | 11,31       | 10,64       | 10,86       | 11,06       | 10,41       | 9,94        | -        |
| Хидрокарбонати                        | mg/l   | 242,60      | 218,81      | 267,20      | 200,71      | 255,82      | 252,77      | 224,30      | 213,12      | -        |

\* мерено приликом узorkовања, \*\* за водоводе до 5000 становника дозволјена је мутноћа до 5 NTU, \*\*\* за водоводе до 5000 ES до 1 mg/l, \*\*\*\* не сме се осетити мирис

### Локалитет Горњи Срђевићи

Крајем септембра 2003. године започета су истраживања у селу Горњи Срђевићи са циљем утврђивања услова и могућности за решење проблема водоснабдевања насеља у источном и југоситочном делу општине Србц на бази захватања подземних вода из сарматских кречњака. Резултати добијени на локалитету Повелич, у суседној општини Прњавор, дали су веома добру полазну основу за истраживања у Горњим Срђевићима. Као први корак изведена су геофизичка испитивања, односно геоелектрично сондирање у долини потока Вријеска у Горњим Срђевићима (слика 1). Примењен је Шлумбергеров симетрични распоред сондирања (А-МН-Б) са 5 електрода са АБ/2 = 250 м, чиме је постигнут дубински захват од око 100-150 м. Интерпретацијом добијених резултата утврђено је да кречњаци залежу од 5-10 м па до око 100 м дубине. Повлату овим слојевима чине углавном песковите - лапоровите глине, односно делувијална распадина, док је подина изграђена од лапоровитих кречњака, пешчара и лапораца(Слика 5).



Слика 5. Прогнозни хидрогеолошки профил I–II на локацији поток Вријеска

На основу добијених резултата, крајем маја 2004. године избушена је истражна бушотина дубине 102 м, која је лоцирана на десној долинској страни потока Вријеска, на око 300 м низводно од ушћа Раковца у Вријеску (слика 1). Бушење је изведено комбинованом (ударно-ротационом) методом. До дубине од 18 м бушено је пречником  $\phi$  200м и уграђена је уводна колона пречника  $\phi$  193 мм, а затим је до краја бушено пречником  $\phi$  168 мм. Приликом бушења вршена су осматрања и праћења свих појава које су битне за каснију израду истражно – експлоатационог бунара, што је знатно било олакшано због примењене методе бушења. Пре свега, праћена је количина и врста изношеног материјала, напредак бушења и пропадање прибора, као и зоне највећег прилива воде. На основу поменутих праћења, на крају бушења састављен је следећи литолошки профил, при чему је констатовано да се кречњаци различитог степена карстификације, са прослојцима laporovitih кречњака, појављују од 10 м дубине и залежу целим профилном до крајње дубине бушења (102 м). Током бушења су регистроване зоне са највећим приливом воде и оне се поклапају са зонама највеће карстификованости сарматских кречњака, а то су: од 18-27 м, 29-35 м, 42-48 м, 54 – 60 м и од 68-74 м дубине. По завршетку истражне бушотине констатовано је да постоји самоизлив, који је у том тренутку износио око 0.2 – 0.3 л/с.

С обзиром на позитивне резултате добијене израдом истражне бушотине, извршено је њено проширење и уградња бунарске конструкције. Од површине терена до 10 м дубине, бушотина је проширена пречником  $\phi$  500 мм и уграђена је челична уводна колона пречника  $\phi$  406 мм. Од 10-84 м бушотина је проширена најпре на  $\phi$  254 мм, а затим проширивачем на  $\phi$  400 мм. Након завршетка проширења бушотине извршена је уградња ПВЦ бунарске конструкције пречника  $\phi$  225/215 мм, са водопријемним делом у интервалима од 30-50 м, односно 56-74 м дубине. Након завршетка радова на изради бунара БВ-1 изведен је опит црпења са два снижења при чему је за

22,5 л/с остварено снижење од 9,88 м. На основу резултата тестирања одређене су филтрационе карактеристике водоносне средине:

- коефицијент водопродности -  $T = 1.87 \times 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$
- коефицијент филтрације -  $K = 4.93 \times 10^{-4} \text{ м/с}$

На крају теста црпења извршено је узорковање и израда комплетне хемијске анализе воде са бунара БВ-1. Оптимални капацитет овог бунара износи 18 л/с.

Констатовано је да је вода са овог локалитета веома сличног састава као воде са локалитета Повелич. Воде са бунара БВ-1 су прозрачне, без боје, са рН вредношћу од 8.09, температуре 14.3 °С и сувим остатком (на 105 °С) од 225 мг/л. У хемијском погледу доминирају јони хидрокарбоната (256 мг/л) и калцијума (63.6 мг/л), док остале компоненте макро састава немају значајније учешће. У микро-саставу концентрације већине елемената су испод границе детекције, односно вода их не садржи. Подаци о квалитативним карактеристикама вода на оба локалитета јасно указују да су у питању подземне воде исте издани.

На локалиту Вријеска је у току 2012. године израђен још један бунар БВ-2, сличних конструкционих карактеристика као и бунар БВ-1. Бунару БВ-2 је након тестирања одређен оптимални капацитет од 10 л/с, што уз капацитет бунара БВ-1, значи да капацитет изворишта Вријеска износи 28 л/с.

#### ЗАКЉУЧАК

Истраживањима подземних вода карстне издани у оквиру сарматских кречњака у зони Прњавор -Србац, потврђене су претпоставке о великом потенцијалу ове издани у погледу водоснабдевања становништва у општинама Прњавор и Србац. Изведена истраживања крунисана су отварањем изворишта на локалитетима Повелич, Дабрак и Горњи Срђевић, чиме се, практично, решава проблем водоснабдевања становништва на овом подручју. Тестовима црпења на овим локацијама доказане су количине од 67,6 л/с за извориште Повелич, 18,5 л/с за извориште Дабрак и 28 л/с за извориште Горњи Срђевић. Укупна количина која се тренутном, са оптималним капацитетима бунара, може црпети са ових изворишта износи 114 л/с. Потребно је истаћи да овим нису исцрпљене све могућности ове издани, нарочито перспективна за проширење су изворишта Дабрак и Горњи Срђевић. Испитивања квалитативног састава показала су да је могућност искоришћења подземних вода карстне издани много веће, ка чему треба да буду усмерена даља истраживања. Ту се пре свега мисли на могућност флаширања као природних слабоминералних вода, за шта је потребно извести наменска истраживања у периоду од најмање једне хидролошке године, при чему ће се пратити квантитавни и квалитативни режим подземних вода на изграђеним водозахватним објектима.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Lazić M., Nikolić J., 2000: Projekat hidrogeloških istraživanja terena u selu Gornja Ilova (lokalitet Povelich) za potrebe otvaranja izvorišta za vodosnabdevanje naselja u SO Prnjavor – Republika Srpska, Fond RGF, Beograd
- Lazić M., 2001: Izveštaj o rezultatima izrade istražnih bušotina IBP-1 i IBP-2 na lokalitetu Povelich-Gornja Ilova, Opština Prnjavor u Republici Srpskoj, Fond RGF, Beograd
- Sofilj J., 1984: OGK 1 : 100 000 list Derventa, SGZ, Beograd
- Sofilj J., 1984: Tumač OGK 1 : 100 000 list Derventa, SGZ, Beograd

## Istraživanje i sanacija klizišta u osulinskom materijalu na lokaciji „Kalovljakova luka“

KENAN MANDŽIĆ<sup>1</sup> ENVER MANDŽIĆ<sup>2</sup> ADNAN IBRAHIMOVIĆ<sup>3</sup> ERNA MANDŽIĆ<sup>4</sup>  
ISMIHANA SARAC<sup>5</sup>

### Rezime

Osulinski materijali, prema uslovima nastanka i mehanizmu kretanja kod zasijecanja prilikom izgradnje putnih komunikacija, predstavljaju jedne od nasloženijih prirodnih sredina za izgradnju geotehničkih objekata. Provođenje detaljnih inženjerskogeoloških i geomehničkih istraživanja je od ključnog značaja za razumjevanje procesa pomijeranja u osulinskom materijalu i efikasne sanacije i zaštite geotehničkih objekata. U radu su prikazana detalja inženjerskogeološka i geomehnička istraživanja velikog klizišta u osulinskom materijalu na lokaciji „Kalovljakova luka“, koje ugrožava odvijanje saobraćaja na regionalnom putu R-473 Ostrožac-Fojnica. Na osnovu provedenih istraživanja i analize dobivenih rezultata, utvrđeni su uzroci i mehanizam klizanja u osulinskom materijalu, na osnovu čega su predložene mjere sanacije.

Ključne riječi: klizište, osulina, geomehnička istraživanja, inženjerskogeološka istraživanja

## Research and remediation of landslide in debris materials on location "Kalovljakova luka"

### Summary

Debris materials, by the terms of origin and mechanism of the movement, during the slope cutting for road constructions, represent one of the most complex natural environments for the construction of geotechnical structures. Conducting detailed engineering and geomechanical research is crucial for understanding the process of movement in the debris material and efficient remediation and protection of geotechnical structures. This paper presents the details of engineering and geomechanical investigations of a large landslide in debris material at the location "Kalovljakova luka" that threatens the flow of traffic on the regional road R-473 Ostrožac-Fojnica. On the basis of the research and analysis of the results, the causes and mechanism of slip in debris material are identified, based on which the remediation measures were proposed.

Key words: landslide, debris, geomechanical studies, geological engineering studies

<sup>1</sup>Kenan MANDŽIĆ, dr sc. docent, kmandzic@hotmail.com, RGGF Univerzitetska 2, 75000 Tuzla,

<sup>2</sup>Enver MANDŽIĆ, Akademik, ANU BiH

<sup>3</sup>Adnan IBRAHIMOVIĆ, dr sc. docent, RGGF Tuzla

<sup>4</sup>Erna MANDŽIĆ, mr sc.dipl.inž.

<sup>5</sup> Ismihana SARAC, apsolvant RGGF Tuzla

## UVOD

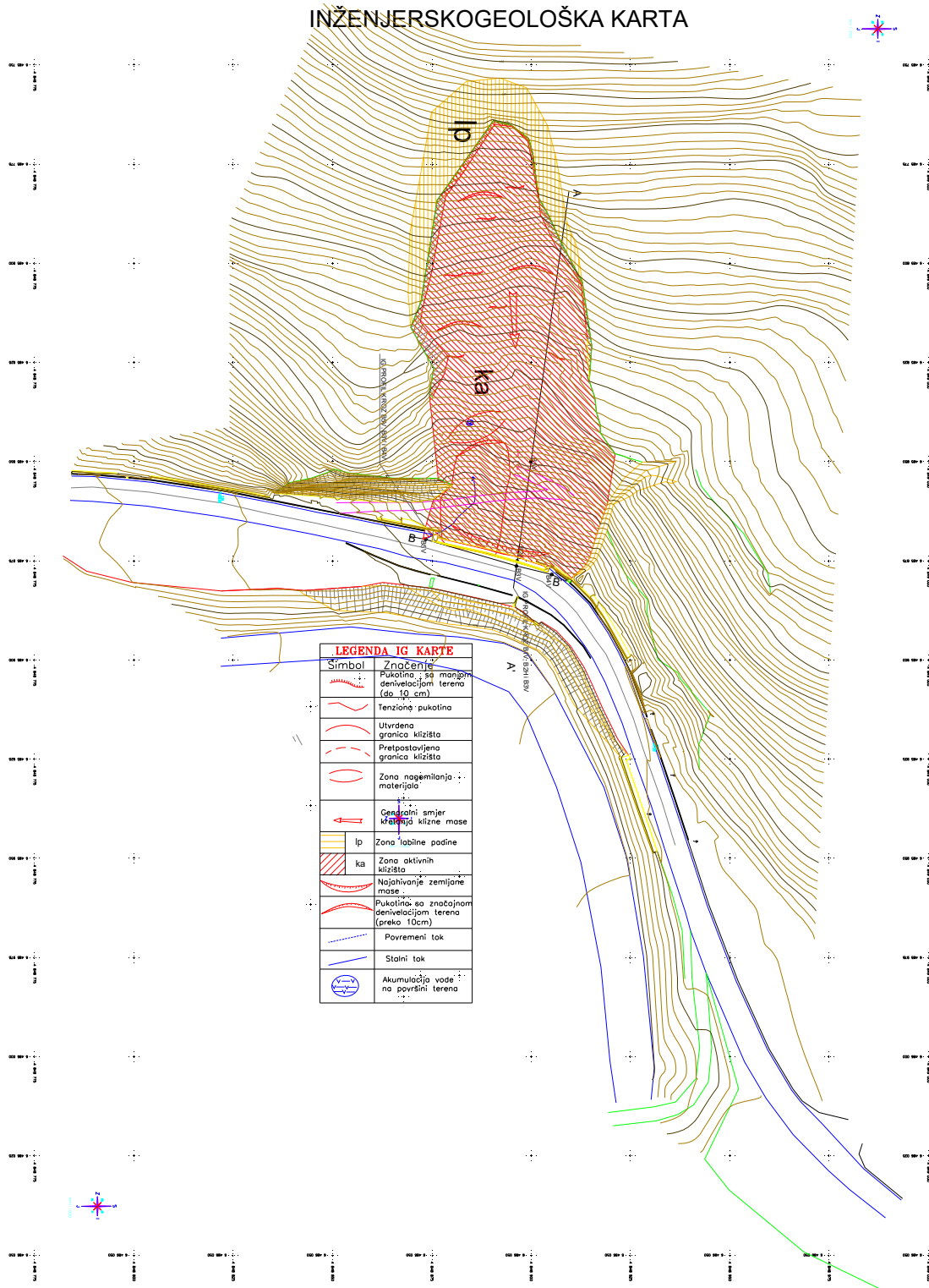
Osulinski materijali predstavljaju jedne od najsloženijih prirodnih sredina za izgradnju geotehničkih objekata. Zasijecanje kosina kod izgradnje puteva može da dovede do kompleksnih pojava klizanja u osulinskim materijalu, a sam mehanizam kretanja može biti izuzetno složen. Problem stabilnosti kosine u osulinskom materijalu škrljaca pojavio se pri zasijecanju padine za izgradnju regionalnog puta R-437, gdje je došlo do pokretanja velike količine osulinskog materijala, koja je ugrozila odvijanje saobraćaja na pomenutoj lokaciji. Investitor je u cilju zaštite puta, u više navrata sanirao kosinu, postavljajući prvo armirano-betonski zid a potom potpurnu konstrukciju od betonskih gabiona. Na osnovu više obilazaka terena, u dužem vremenskom periodu, utvrđeno je da se u osulinskom materijalu javlja periodično pokretanje koje, sve značajnije utiče na odvijanje saobraćaja na regionalnom putu i dovodi do oštećenja gabionske konstrukcije. U cilju sagledavanja postojećeg stanja, analize mehanizma kretanja i utvrđivanja optimalnog rješenja zaštite puta, izvršena su inženjerskogeološka i geomehnička istraživanja područja zahvaćenog pokretanjem materijala. Istraživanja su podrazumijevala inženjersko-geološko kartiranje terena, izvođenje geomehaničkih bušotina, kao i definisanje parametara potrebnih za geotehničke proračune.

## INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Nestabilnost terena vezana na istraživanoj lokaciji vezana je za pojavu klizišta iznad regionalnog puta R-437, koje ugrožava bezbjedno odvijanje saobraćaja. Dužina klizišta iznosila je 94 metra, sa jasno definisanom denivelacijom terena, u prosjeku 2,5m, u čeonom dijelu, čime je omogućen jasan uvid u materijal koji gradi padinu i u materijal supstrata.



Slika 1. Panoramska slika klizišta sa jasno vidljivim potpornim konstrukcijama (AB zid i gabioni)



Slika 2. Inženjerskogeološka karta klizišta „Kalovljakova luka“ (razmjera prilagođena formatu printanja).

Materijal koji gradi padinu u čeonom dijelu predstavljen je škriljcima sa jasno definisanim ravnima škriljavosti kao i većeg broja setova diskontinuiteta različitog genetskog porijekla. Ovakav sistem diskontinuiteta i veći stepen alteracija u pukotinama izdijelili su stijensku masu na pojedine blokove omeđene diskontinuitetima. Ovi procesi doveli su do ispadanja blokova čvršćeg škriljca i omogućili su širenje zone klizanja u hipsometrijski više kote, odnosno doveli do regresivnog napredovanja klizišta.



Slika 3. Čeoni dio klizišta sa jasno izraženim blokovima stijenskog materijala

U središnjem i nožičnom dijelu prisutan je veći stepen raspadanja materijala pri čemu se javila pojava „plivanja“ čvrstih blokova u raspadnutom materijalu, u površinskom dijelu. U gornjem dijelu klizišta javljaju se lučne pukotine sa različitim stepenom denivelacije terena, što je ukazivalo na konstantnu promjenu geometrije padine. U središnjem dijelu klizišta prisutno je nakupljanje materijala, sa visokim novoom podzemni voda (do površine terena), što je otežalo kretanje po ovom dijelu klizišta zbog propadanja u raskvašeni materijal. Ovakvo stanje na terenu ograničilo je izradu pristupnog puta a samim tim i izradu bušotina u gornjem dijelu klizišta. Ispupčeni središnji dio osulinske mase ukazao je na promjenu nagiba padine i to sa blažeg nagiba od središta prema čelu klizišta ( $18^\circ$ ), na strmiji nagib od središta prema nožici klizišta ( $38^\circ$ ). Zbog ovakve geometrije padine dolazilo je do konstantnog prihranjivanja materijalom donjeg dijela klizišta i „preplivavanja“ osulinskog materijala preko postojeće potporne konstrukcije.





Slika 4. Pogled niz klizište

Ispod zone nagomilanja materijala koja se javlja u središnjem dijelu klizišta, pojavilo se lokalno klizanje sa plitkom kliznom ravni tj. formirano je klizište u klizištu, koje je vezano za tečenje materijala. U toku izrade pristupnog puta za bušenje istražne bušotine, ispod zone nagomilanja masa pojavio se izvor, čija izdašnost nije smanjena i nakon višednevnog izvođenja istražnih radova. Ovim je dokazana pretpostavka o velikim količinama vode u osulinskom materijalu, koja je dovela do pojave tečenja površinskog dijela osulinskog materijala.

U nožičnom dijelu klizišta postavljeni su gabionski zidovi (betonski sa ispunom od škriljca) čija je uloga bila da zaštite trup puta od procesa na padini, a predstavljaju već treću sanacionu mjeru provedenu u cilju zaustavljanja klizišta u osulinskom materijalu. Ranije je na ovoj dionici postavljen armirano-betonski zid koji se prevrnuo a nakon toga i zid od gabiona preko kojeg je „preplivao“ osulinski materijal. U lijevom nožičnom dijelu klizišta došlo je do stabilizacije terena usljed dreniranja vode u postojeću kaptazu što direktno ukazuje na uticaj podzemne vode na stabilnost osulinskog materijala.

Analizom postojećih inženjerskogeoloških uslova u terenu moglo se zaključiti da je riječ o aktivnom kretanju u osulinskom materijalu, koje se odvija regresivno uz padinu. Na osnovu karakteristika površine kretanja mase, karakterističnih pojava i procesa nakon zasijecanja u kliznu masu za pristupni put za izradu bušotine, sa inženjerskogeološkog aspekta, moglo se zaključiti da je glavni uzrok nestabilnosti pojava raskvašenih zona u osulinskom materijalu i dostizanje graničnog ugla nagiba kosine osulinskog materijala obzirom na stabilnost. Zbog težnje osulinskog materijala da formira prirodni ugao nagiba padine, u uslovima visokog nivoa podzemne vode, kao i njegovog površinskog raspadanja, javljaju se konstantna pomijeranja materijala iz hipsometrijski višeg u niži dio. Za dokazivanje ovih tvrdnji izvedena su geomehnička istraživanja terena zahvaćenog klizanjem.

## GEOMEHNIČKA ISTRAŽIVANJA

Da bi se utvrdio sastav terena, dubina supstrata, kao i dubina klizne ravni, izvršeno je bušenje geomehničkih bušotina (subhorizontalnih i vertikalnih) sa kontinuiranim jezgrovanjem. U toku bušenja, na svakoj od bušotina, izvedena je standardna dinamička penetraciona proba na špic (SPT) na svakih 1,5m. U toku bušenja praćena je i pojava podzemne vode a statički nivo je zabilježen nakon 24 sata, kako bi se mogao analizirati uticaj nivoa podzemnih voda na stabilnost osulinskog materijala. Svako jezgro je detaljno kartirano čime je utvrđen sastav osulinskog materijala koji gradi kosinu, odnosno utvrđeno je da se radi o osulinskom materijalu koga čini raspadnuti škriljac, koji leži na supstratu izgrađenom od svježeg škriljca. Kontaktna ploha između osulinskog materijala i supstrata je planarna i pod nagibom od  $28^\circ$  do  $30^\circ$ , dok klizno tijelo ima ujednačenu širinu do polovine dužine.

Analizom jezgra bušotina utvrđeno je da postoji jasna granica između osulinskog materijala i škriljca kao supstrata i da zona kontakta nije zavodnjena. Zavodnjenost materijala je razdvojena na pripovršinsku zonu osulinskog materijala (do dubine 2m) i zavodnjenost vezana za nivo podzemne vode mjerene na bušotinama.



Slika 5. Bušenje geomehničke bušotine u nožičnom dijelu klizišta

Nakon provedenog kartiranja, na osnovu stanja nabušenog materijala izvršen je odabir 12 reprezentativnih uzoraka za analizu stabilnosti kosina. Uzorci su uzeti iz zone zavodnjenog materijala, kontaktne zone osulinskog materijala i supstrata i zone postavljanja potpornog zida, odnosno iz intervala bušenja bitnih za rješavanje problema klizišta.

Na izabranim uzorcima izvršena su istraživanja fizičko-mehaničkih karakteristika materijala potrebnih za geotehničke proračune. Izvršeno je određivanje prirodne vlažnosti materijala, zapreminske težine, kohezije, ugla trenja i čvrstoće na pritisak, prema standardnim procedurama. Na osnovu analize dobivenih rezultata laboratorijskih ispitivanja, na uzetim uzorcima materijala, zaključeno da na otporne parametre, kako osulinskog materijala, tako i supstrata najveći uticaj ima promjena valžnosti. Ugao unutrašnjeg trenja osulinskog materijala varira u rasponu od  $\varphi = 15^\circ$  do  $32^\circ$ , dok je vrijednost kohezije od  $c = 12$  do  $42 \text{ kN/m}^2$  u zavisnosti od vlažnosti i sadržaja glinovite komponente.

Na osnovu inženjerskogeološkog kartiranja terena i provedenih geomehaničkih istraživanja može se zaključiti da najveći problem u ovom klizištu predstavlja zona sekundarnog tečenja materijala (do dubine 2m). Ovo tečenje materijala javlja se kao posljedica prihranjivanja osulinskog materijala vodom zbog kiše ili topljenja snijega, što mijenja svojstva materijala i on poprima karakteristike tzv. „blatnog toka“. U takvom stanju, osulinski materijal prelazi preko gabionskog zida i ugrožava saobraćaj na regionalnom putu. Obzirom da je trup ceste također izrađen u osulinskom materijalu, što je pokazalo i bušenje geomehaničkih bušotina, pokretanje osuline za cijelu debljinu dovelo bi do istiskivanja ceste prema rijeci, koja se nalazi hipsometrijski niže. Na trupu ceste nisu utvrđene deformacije koje bi ukazale na nestabilnost čime je potvrđena teorija o površinskom klizanju materijala. Analiza profila bušotina i uzetih uzoraka pokazala su postojenje vrlo niskog nivoa podzemnih voda iznad supstrata, kao i pojava raskvašenih zona iznad registrovanog nivoa podzemnih voda, što potkrepljuje činjenicu o površinskom klizanju.

### PRIJEDLOG SANACIJE

Na osnovu provedenih inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja predložene su mjere sanacije klizišta. Obzirom da je voda glavni uzrok kretanja osulinskog materijala predložena je izrada drenaža po cijeloj dužini osuline, minimalne dubine 3 m, kako bi se prikupila voda koja u vrijeme kiša i topljenja snijega dospjeva u osulinsku masu. Promjena geometrije padine smanjenjem nagiba osulinskog materijala na nagib ispod 30°, onemogućila bi pojavu nagomilanja masa u središnjem dijelu klizišta i stvaranja strme kosine prema potpornom zidu.

Sadnja bagrema bi poboljšala površinsku stabilizaciju osuline, što je bitan preduslov za površinsko pokretanje materijala. Kao zaštita trupa puta predviđena je izrada potpornog zida, temeljnog u supstratu u zoni postojećeg zida. Gradnju zida je potrebno raditi u kampadama, a iza zida je obavezna izrada drenaže u koju će se uvesti drenaža iz osulinskog materijala. Prikupljena voda se kroz otvore na zidu i bočne drenažne kanale provodi u rijeku ispod ceste. Predložene mjere sanacije osigurale bi dugotrajnu stabilnost osulinskog materijala i time obezbijedilo nesmetano odvijanje saobraćaja na regionalnom putu R-437.

### ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja može se zaključiti da je klizište formirano u osulinskom materijalu koga gradi raspadnuti škriljac, a kontaktna ploha raspadnutog škriljca i supstrata je ravna i pod nagibom od 28° do 30°. U središnjem dijelu klizišta javlja se nagomilanje masa što je posljedica dobre konsolidacije osuline u donjem dijelu prema cesti, koja ima nagib od 38°. Sam način kretanja vezan je za pojave najahivanja klizne mase kao i sukcesivnog otkidanja pojedinih „blokova“ unutar kliznog tijela. Pojave vode i zavodnjenost materijala može se podijeliti na pripovršinsku zonu osulinskog materijala koji je zasićen vodom do dubine 2,0m i zavodnjenost vezanu za podzemne vode mjerene u bušotinama. Na osnovu rezultata geomehaničkih istraživanja može se zaključiti da značajan uticaj na smanjenje otpornih parametara osulinskog materijala ima sadržaj vlage. Rezultati provedenih istraživanja, promjene na terenu u višegodišnjoj aktivnosti klizišta i pokušaja njegove sanacije dali su definitivni odgovor na uzroke i sam mehanizam kretanja osulinskog materijala. Utvrđeno je da klizište nije globalno aktivno, odnosno osulinska masa ne klizi po kontaktu osulina-supstrat, nego se u osulinskom materijalu javljaju površinska kretanja materijala do dubine 2-3m. Ta aktivnost vezana je za sezonske promjene i materijal osuline se aktivira kada dostigne visok nivo zavodnjenosti, što smanjuje njegova otporna svojstva (dugotrajne ili obilne kiše, topljenje snijega). U zoni od središnjeg dijela prema nožici dolazi do aktiviranja osulinskog materijala usljed velikog nagiba kosine koja je formirana u tom dijelu. Predložene mjere sanacije sa izgradnjom potpornog zida (u kampadama) sa filterskim slojem, izrada

drenažnih kanala, sadnja vegetacije kao i ublažavanje kosine, predstavljaju potrebne i dovoljne sanacione mjere za trajnu stabilizaciju klizišta koje ugrožava regionalni put.

LITERATURA:

1. Mandžić E., Mandžić K., Mandžić E., (2012), Elaborat „Inženjersko-geološka i geomehanička istraživanja klizišta „Kalovljakova luka“ na regionalnom putu R-437 Ostrožac-Fojnica, Tuzla-Mostar
2. Ibrahimović A., Mandžić K., (2013) „Sanacija klizišta“, Mikroštampa, Tuzla
3. J.A.R. Ortiago, A.S.F.J. Sayao, (2004), „Handbook of slope stabilisation“, Springer, Germany
4. Mandžić E., (1999), MEHANIKA STIJENA, autorizovana predavanja- RGGF, Tuzla
5. Mandžić E., (1999), MEHANIKA TLA, RGGF, Tuzla
6. B.B. Standardi,
7. Eurokod 7

## Veze geomehantičkih parametara peridotita-serpentinita

ENVER MANDŽIĆ<sup>1</sup> KENAN MANDŽIĆ<sup>2</sup> ELVIR BABAJIĆ<sup>3</sup> ADNAN IBRAHIMOVIĆ<sup>4</sup>  
ERNA MANDŽIĆ<sup>5</sup>

### Rezime

U nastanku peridotitiski masivi imaju lertzolistski sastav sa rjeđom pojavom harzburgitskog tipa. Transformacija peridotita uglavnom se manifestuje kroz proces serpentinizacije. U radu su prikazana istraživanja različitih geomehantičkih parametara na uzorcima peridotita- serepentina i ustanovljavanje veza pojedinih geomehantičkih parametara. Istraživanja su provedena na uzorcima svježeg i slabo serpentinisanog lertzolita. Uzorci za istraživanja izabrani su makroskopski i ispitani mikroskopski. Ispitane su kocke 7x7x7 cm. Utvrđeno je da na geomehantičke parametre najviše utiče proces serpentinizacije, mineraloško – petrološki sastava i sklop stijene. Određena je zapreminska težina, čvrstoća na pritisak i zatezanje, modul elastičnosti, Poissonov koeficijent, brzina longitudinalnih i transverzalnih talasa. Svježi i slabo serpentinisani lertzolit bio je predmet detaljnijeg izučavanja u ovom radu. Ispitivanja su pokazala da se mogu uspostaviti korelacione veze nekih geomehantičkih parametara (čvrstoća na pritisak i zatezanje, čvrstoća na pritisak i brzina longitudinalnih i transverzalnih talasa na pr.) dok za druge parametre rasipanje rezultata istraživanja zahtijeva detaljnija i sveobuhvatnija istraživanja zbog složenosti strukture i mineraloško – petrološkog sastava stijenskog materijala.

Ključne riječi: geomehantičke karakteristike, peridotiti, serpentiniti

## Relations between geomechanical parameters of peridotite-serpentinite

### Summary

In the emerging faze, peridotite rock massif have lertzolite composition with rare occurrence of harzburgite type. Transformation of peridotite is mostly manifested through the process of serpentinization. This paper presents the research of various geomechanical parameters on samples peridotite-serpentinite and establishing the correlation between certain geomechanical parameters. Investigations were carried out on samples of fresh and slightly serpentinised lherzolites. Samples for the study were selected and examined macroscopically and microscopically. The cubes 7x7x7 cm were tested. It was found that the geomechanical parameters most affect the process of serpentinization, mineralogical - petrologic composition and structure of rocks. The volume weight, compressive strength and tensile, elastic modulus, Poisson's ratio, the speed of longitudinal and transverse waves were determined. Fresh and poorly serpentinised lherzolite was the subject of detailed study in this paper. Tests have shown that a correlation of some geotechnical parameters (compressive and tensile, compressive strength and velocity of longitudinal and transverse waves, for example.) can be establish, while the other parameters scattering research results requires detailed and comprehensive research due to the complexity of the structure and mineralogical - petrological composition of rock material.

Key words: geomechanical characteristics, peridotite, serpentinite

<sup>1</sup>Enver Mandžić, Akademik, ANU BiH

<sup>2</sup>Kenan MANDŽIĆ, dr sc. docent, RGGF Tuzla

<sup>3</sup>Elvir BABAJIĆ, dr sc. docent, RGGF Tuzla

<sup>4</sup>Adnan IBRAHIMOVIĆ, dr sc. docent, RGGF Tuzla

<sup>5</sup>Erna MANDŽIĆ, mr sc. dipl.inž.

## 1. Uvod

Istraživanje geomehaničkih parametara peridotita - serpentinita vezana su za iznalaženje mogućnosti šire primjene ovog stijenskog materijala kao agregata. Ispitivanja su provedena na uzorcima uzetim iz područja Petrovog sela, tj. serpentinski masiva Ozrena. Makroskopski su birani uzorci iz područja otvorenih kosina površinskog kopa. Eksploatacijom rudnih tijela hrizotil – azbesta otvoreni su i dijelovi masiva koji su zadržali najveći dio provobitnog sastava peridotita. Uzorci iz tog dijela masiva, uzeti u blokovima, sječeni su na probna tijela dimenzija 7x7x7cm i 7x7x15 cm. Uzorci 7x7x15 cm označeni su kao uzorci „blizanci“ koji su presječeni na kocke 7x7x7cm radi moguće uporedbe parametara čvrstoće na pritisak i zatezanje. Na uzorcima (probnim tijelima) izvedena su ispitivanja zapreminske težine, čvrstoće na pritisak i zatezanje, provođenje longitudinalnih i transverzalnih talasa, a računski je određena vrijednost dinamičkog modula elastičnosti i Poissonovog broja. Statička ispitivanja deformacionih svojstava stijenskog materijala provedena su na relativno malom broju uzoraka da bi se mogla vršiti neka značajnija uporedba podataka. Od nekih uzoraka izrađeni su i preparati za mikroskopska ispitivanja mineraloško-petrografskog sastava a svi uzorci su pažljivo pregledani prije izvedenih ispitivanja sa aspekta utvrđivanja strukturno-teksturnih karakteristika.

U radu je pažnja posvećena mogućoj vezi pojedinih geomehaničkih parametara jer su ispitivanja pokazala da je peridotit-serpentinit složena stijena sa aspekta veličine geomehaničkih parametara koji su bitni za utvrđivanje mogućnosti primjene kao agregata za različite namjene.

## 2. Hemijski sastav peridotita – serpentinita

U hemijskom sastavu peridotita lersolitskog tipa, najveći je sadržaj SiO<sub>2</sub> (41%) i MgO (42%), a zatim FeO (5%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4%), CaO (3%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%), ostalo 4%. Sadržaja pojedinih komponenti iznesen je orijentaciono. U procesu serpentinizacije, iz provobitne magmatske stijene biva odnesen MgO, SiO<sub>2</sub> i CaO i zamijenjen vodom. To se odražava na smanjenje zapremionske i specifične težine stijenske mase.

## 3. Mineraloško-petrografski sastav peridotita-serpentinita

Svi ispitani uzorci pripadaju grupi ultrabazičnih stijena. Lersoliti i harrsburgiti predstavljaju najčešće varijetete stijene peridotitskog tipa. Boja im je tamno zelena. U mineralnom sastavu prevladava olivin, rombični i monoklinični pirokseni (enstatit i dipsid), a kao drugostepeni javljaju se magnetit, piktotit, hromit i serpentin. Olivin ima karakter bitnog minerala u osnovnoj masi zastupljen i do 90 %. Zbog ispucalosti kristala olivina dolazi do promjena koje utiču na sve bitne geomehaničke karakteristike peridotita-serpentinita, kao stijenskog materijala. Veličina zrna olivina kreće se od 0,02 do 1,5 mm, najčešće 0,3 do 0,5 mm.

Rombični pirokseni su najčešće predstavljeni enstatitom, sa zrnima od 0,1 do 5 mm, najčešće 1 mm.

Monoklinični pirokseni (diopsid, klinoenstatit) promjenljivo su zastupljeni. Učešće monokliničnih piroksena određuje stijenu lersolitskog ili harrsburgitskog tipa. Kristali su nepravilnih formi, veličine od 0,2 do 5 mm, najčešće 1 do 2 mm.

Serpentinski minerali predstavljeni su hrizotilom vlaknastog tipa i antigoritom u obliku liski različito orijentisanih.

Zbog transformacije olivina u serpentin duž prslina stijena ima mrežastu mikrostrukturu.

## 4. Karakteristike sklopa peridotita-serpentinita

Kao bitni elementi sklopa ili građe stijene uzimaju se struktura, tekstura, pukotine i prisline, čime se određuje genitet i tropija stijene.

Svježi i slabo serpentinisani lersolit ima hipidiomorfnu zrnastu i mrežastu-rešetkastu strukturu. Tekstura je masivna i sitnoprožiličasta. Pukotine i prsline nisu zastupljene jer su uzorci kompaktni i jedrog izgleda.

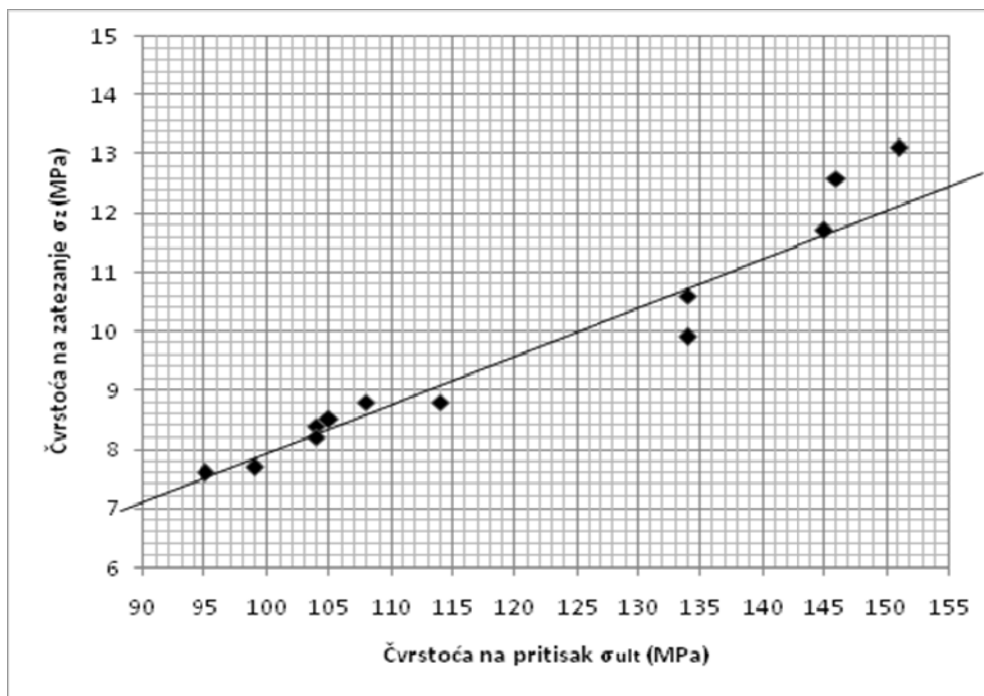
## 5. Geomehaničke karakteristike ispitanih uzoraka peridotita-serpentina

## Metodologija ispitivanja

Ispitivanja fizičko – mehaničkih (geomehaničkih) karakteristika stijenskog materijala izvedena je na standardnim probnim tijelima oblika kocke dimenzija 7x7x7 cm. Sva ispitivanja su provedena po standardima koji opisuju pojedine vrste ispitivanja (zapreminska težina, čvrstoća na pritisak i zatezanje, i dr.). Korištena je standardna procedura kako bi se eliminisali mogući drugi uticajni faktori, kao što je na primjer uticaj brzine nanošenja opterećenaja na uzorak kod ispitivanja čvrstoće na pritisak i zatezanje.

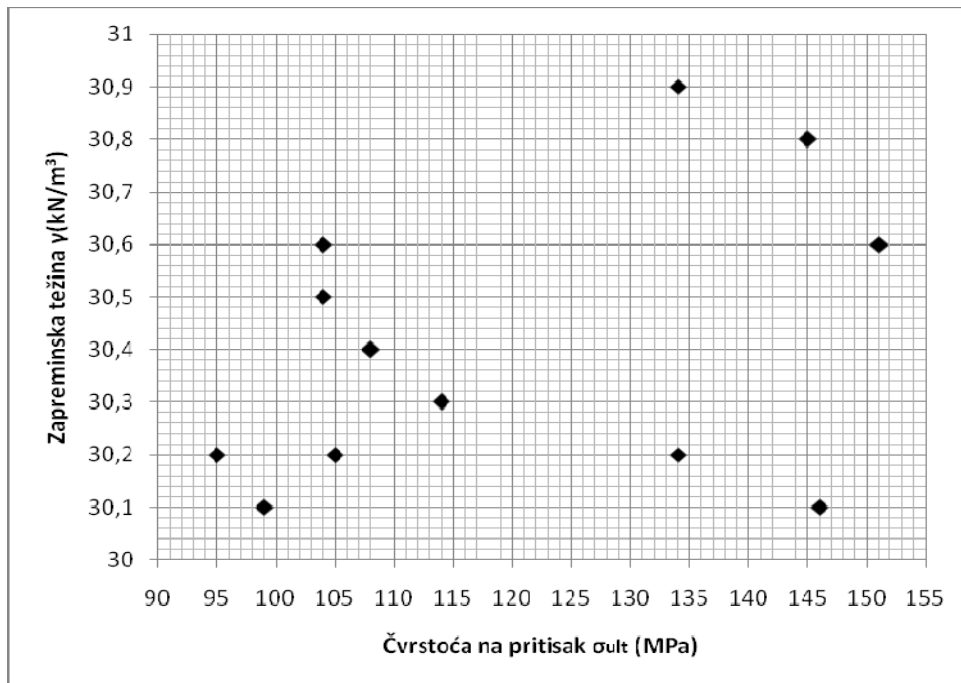
## Veze geomehaničkih parametara peridotita-serpentinita

Veze geomehaničkih parametara peridotita-serpentinita utvrđene su korelacijom dva parametra, za dobivene vrijednosti ispitivanih uzoraka, što je prikazano slikama. Korelacije je pokazana u odnosu na čvrstoću stijene na pritisak, kao bitnog parametra koji određuje mogućnost praktične primjene tog stijenskog materijala ili se koristi za različite proračune (temeljenje mostova, izrada tunela različite namjene, formiranje kosina zasjeka na cestama ili pruži i dr.).



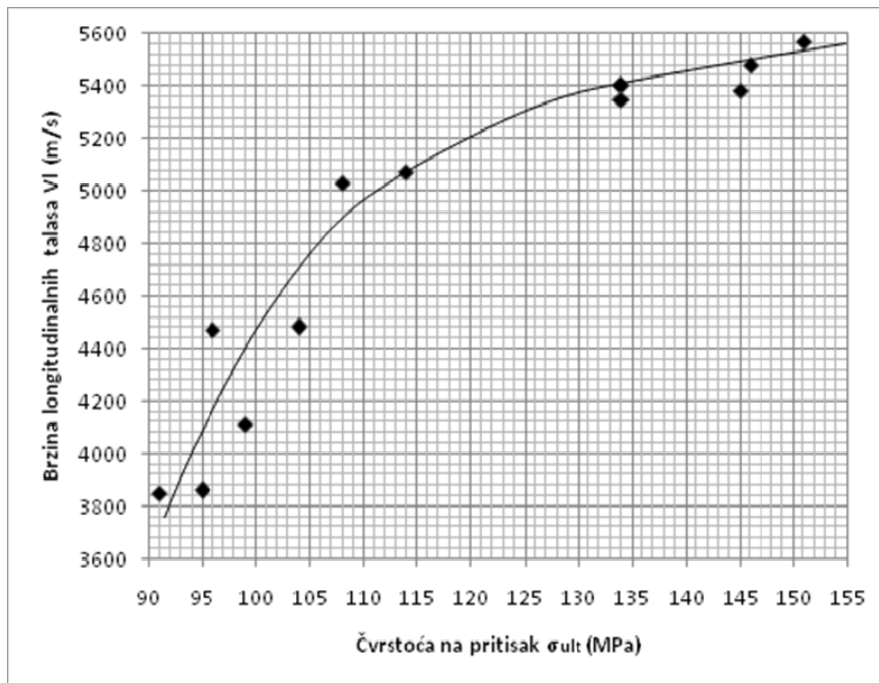
Slika 1. Korelacija čvrstoće na pritisak i zatezanje peridotita-serpentinita

Dijagram na slici 1 prikazuje dobru korelaciju čvrstoće na pritisak i zatezanje. Ustanovljeno je da je čvrstoće na pritisak 12 puta veće od čvrstoće na zatezanje za ispitane uzorke peridotita-serpentinita. Na dijagramu se izdvajaju dvije grupe podataka. Jedna grupa je od čvrstoće na pritisak od 95MPa do 114MPa. Druga grupa podataka je od čvrstoće 135Mpa do 152Mpa. Razdvajanje u grupe objašnjavamo vjerovatnom razlikom u strukturno-teksturnoj i mineraloško-petrološkoj građi uzoraka, što se makroskopski nije moglo utvrditi i zahtijeva detaljnije mikroskopsko ispitivanje.



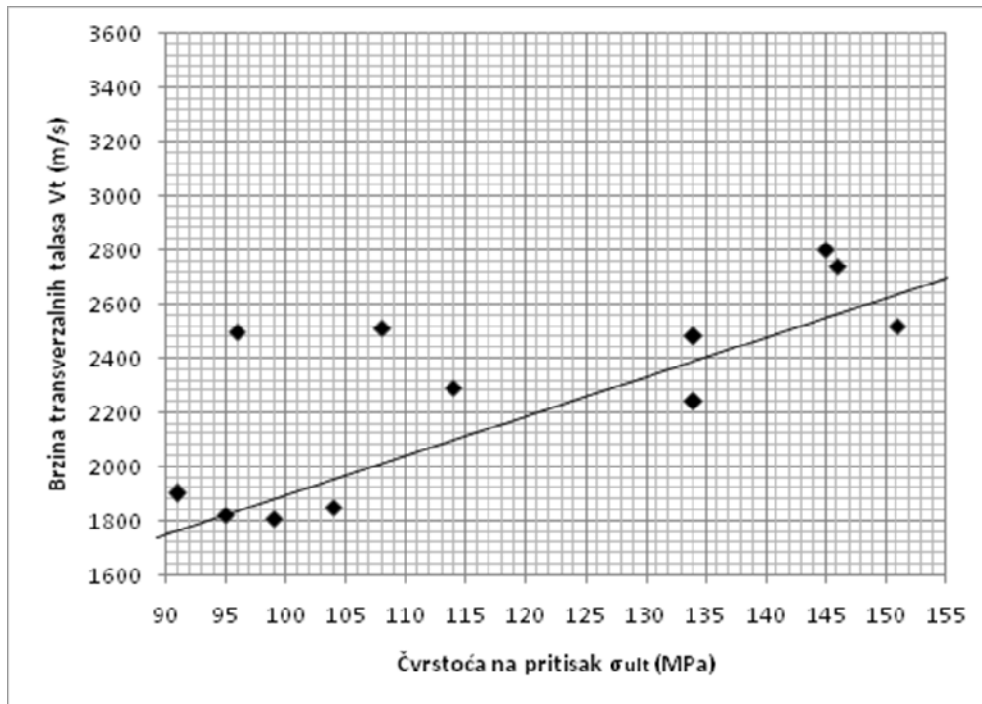
Slika 2. Korelaciona veza čvrstoće na pritisak i zapremnske težine peridotita-serpentinita

Slika 2 pokazuje rasipanje rezultata bez korelacione veze za pokazana dva parametra. Generalno, i ovde postoje dvije grupe podataka koje ukazuju na vjerovatnu razliku u mineraloško-petrografskom sastavu. Što je stijenja svježija zapremnska težina je veća, a veća je i čvrstoća na pritisak. Rasipanje rezultata može biti uzrokovano i nesavršenstvom mjerenja dimenzina uzorka koji je ispitan, što izravno utiče na veličinu zapremnske težine.



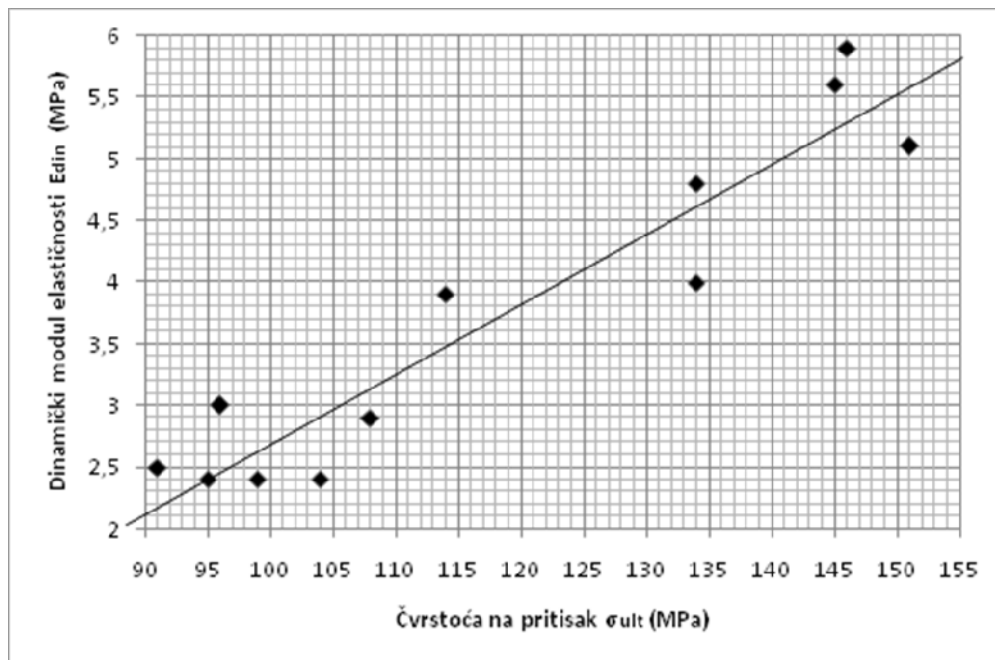
Slika 3. Korelacija čvrstoće na pritisak i brzine longitudinalnih talasa za peridotit-serpentin





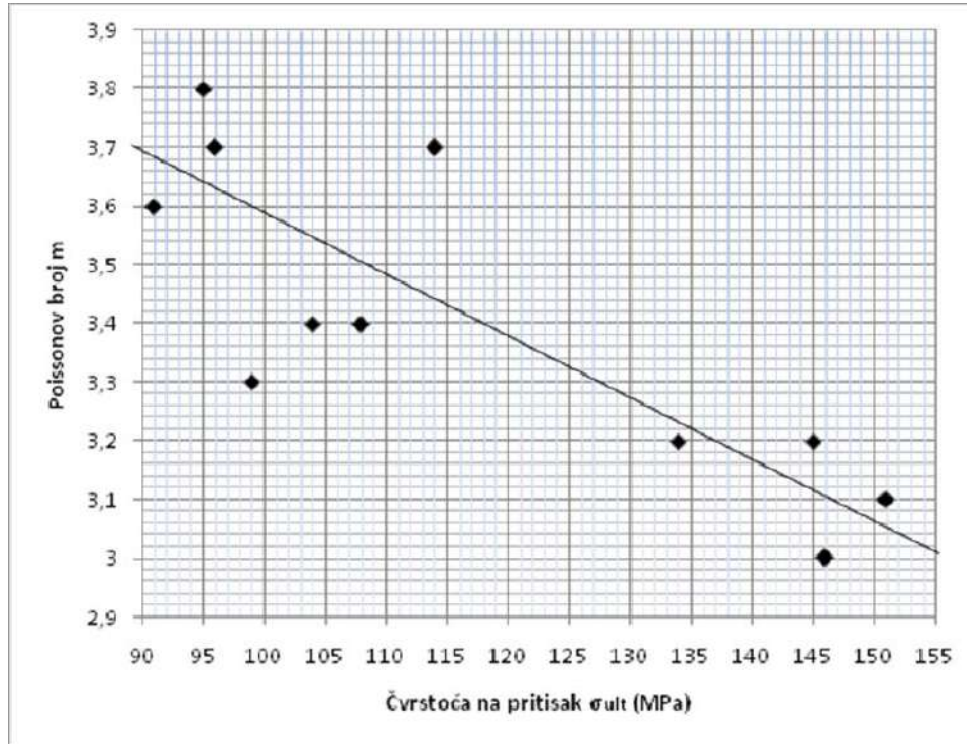
Slika 4. Korelacija čvrstoće na pritisak i brzine transverzalnih talasa za peridotit-serpentin

Dijagrami na slici 3. i 4. pokazuju da je korelaciona veza čvrstoće na pritisak i brzine longitudinalnih talasa nelinearna i da uzorci sa većom čvrstoćom imaju veću brzinu provođenja longitudinalnih talasa. Za transverzalne talase važe isti uslovi odnosa prema čvrstoći stijenskog materijala, s tim da je rasipanje rezultata takvo da bi se mogla ustanoviti linearna veza ali sa relativno niskim koeficijentom korelacije, pa zbog toga u ovom radu to nismo ni pokazali.



Slika 5. Korelacija dinamičkog modula elastičnosti i čvrstoće na pritisak

Dinamički modul elastičnosti je računaska veličina i zavisi od zapremineke težine i brzine longitudinalnih i transverzalnih talasa. Rasipanje rezultata ne daje mogućnost ustanovljavanja čvrste korelativne veze ali generalno posmatrano postoji logična opšta zakonitost da se sa povećanjem čvrstoće povećava i dinamički modul elastičnosti.



Slika 6. Korelacija Poissonovog broja i čvrstoće na pritisak

Poissonov broj je pokazatelj elastičnih karakteristika ispitivanog materijala. I pored većeg rasipanja dobivenih rezultata može se tvrditi da stijena peridotit-serpentinit sa većom čvrstoćom ima manji Poissonov broj tj. pokazuje veća elastična svojstva u procesu eventualnog istraživanja deformabilnosti tog materijala. U ovom, kao i u drugim prethodnim slučajevima, dominantnu ulogu na rasipanje rezultata utiču strukturno-teksturna svojstva i mineraloško-petrografska građa stijenskog materijala.

## 6. Zaključak

Lerzolit i harcburgit predstavljaju najsvježije stijene periodotita koji je bio predmet ispitivanja. Boja stijene je tamno zelena. U mineralnom sastavu prevlađuju olivin, rombični i monoklinični piroksen (enstatit i dipsid) a drugostepeni javljaju se magnetit, pikotit, hromit i serpentin. Mikro struktura je hipidiomorfno zarnasta i mrežasta. Tekstura je masivna i sitnožiličasta. Uzorci su makroskopski kompaktni, jedrog izgleda, bez vidljivih pukotina. Zapreminska težina je od  $\gamma = 30,1$  do  $30,9$  ( $\text{kN/m}^3$ ), čvrstoća na pritisak od  $\sigma_{ult} = 95$  do  $151$  MPa, čvrstoća na zatezanje od  $\sigma_t = 7,4$  do  $13,1$  MPa, brzina longitudinalnih talasa od  $V_l = 3800$  do  $5500$  m/s, brzina transverzalnih talasa od  $V_t = 1800$  do  $2800$  m/s, Poissonov broj od  $m = 3,1$  do  $4,1$ , dinamički modul elastičnosti od  $E_{din} = 2,1$  do  $5,9 \times 10^5$  (MPa). Korelaciona veza čvrstoće na pritisak i zatezanje je linerana, a veza brzine longitudinalnih talasa i čvrstoće na pritisak je nelinearana. Veliko rasipanje rezultata kod ostalih veza geomehaničkih parametara vjerovatno je vezano za nesavršenstvo mjerenja ili uticaj strukturno – teksturne i mineraloško – petrološke građe stijenskog materijala, što pokazuje potrebu vrlo detaljnog istraživanja u koliko se žele utvrditi vrlo detaljne geomehaničke karakteristike pojedinih vrsta peridotita-serpentinita.

7. Literatura

1. Mandžić, E., 1978. Generalization of factor effecting the uniaxial strength of rock materijal, Proceeding the IVth Int. Congress on Rock Mechanics, 2 : 397-400, 1979, Montre, Swiss
2. Mandžić, E., 1980. Effecting factors on mechanical characteristics of asbestos rocks in Bosansko Petrovo selo deposite in Yugoslavia, Proceeding IV Int. Conf. On Asbestos, Torino, Italy, may 26-30, 1980: pp 101-113
3. Mandžić, E., 1985. O uticaju serpofita na čvrstoću serpentina, Saopštenja sa 6. Jugoslovenskog simpozija o mehanici stijena i podzemnih radova, Jugoslovensko društvo za mehaniku sitijena i podzemne radove, Titovo Velenje, 20-23 maj, 1985, referat I-10: 56-60
4. Mandžić, E., 1986. Preliminarna laboratorijska ispitivanja peridotita – serpentina na pregradnom mjestu buduće brane na rijeci Krivaji, Saopštenja XIII kongresa Jugoslovenskog društva za visoke brane, Mostar, 20-25. septembar, 1986, tema 1, Problemi vezani za temelje brana, referat 10: 1-15 (separat).
5. Mandžić, E., i saradnici, 1998. Ispitivanje čvrstoće peridotita – serpentina sa područja tunela za dovod vode iz rijeke Krivaje u Tuzlu, ne publikovano
6. Ibrahimović, A., Mandžić, E., 2005., Razvoj i principi teorije sloma stijene, Zbornik radova Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta u Tuzli, XXVIII: 81-88
7. Mandžić, E., Mandžić, K., Mandžić, E., 2005. Ispitivanje čvrstoće peridotita – serpentina sa lokaliteta sa Ozrena u cilju utvrđivanja mogućnosti primjene agregata za objekte niskogradnje, ne publikovano,

## Neka svojstva *benkovačkog prirodnog kamena* važna pri određivanju mogućnosti upotrebe

ANA MARIČIĆ, IVAN TOMAŠIĆ

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb  
[ana.maricic@rgn.hr](mailto:ana.maricic@rgn.hr); [ivan.tomasic@rgn.hr](mailto:ivan.tomasic@rgn.hr)

Ključne riječi: *benkovački prirodni kamen, svojstva kamena, upijanje vode*  
Key words: *benkovac platy stone, stone properties, water absorption*

### Sažetak

Mineraloško-petrografska i fizičko-mehanička svojstva bitna su pri određivanju mogućnosti primjene prirodnog kamena u graditeljstvu. Kamen nakon ugradnje može biti izložen različitim čimbenicima koji utječu na njegovu postojanost i otpornost. Cilj rada je prikazati kvantitativne rezultate ispitivanja nekih svojstava bitnih pri određivanju mogućnosti upotrebe. Na prikupljenim uzorcima u prvom redu je određen mineraloško-petrografski sastav i strukturno-teksturne značajke. Zatim su uzorci podvrgnuti određivanju upijanja vode pri atmosferskom tlaku i kapilarnom upijanju vode.

### ABSTRACT

For better assessment of stone utilization in civil engineering and durability it is important to define all its mineralogical, petrographical, physical and mechanical properties. The aim of this paper is to present the results of stone properties important for usage in building. Mineralogical and petrographical properties especially texture of *benkovac platy stone* were determined. Also afterwards samples were submitted to water absorption and capillary water absorption.

### UVOD

*Benkovački prirodni kamen* se eksploatira na dvadesetak eksploatacijskih polja u uskom pojasu dugačkom oko 15-ak km sjeveroistočno od grada Benkovca (Hrvatska) u obliku tankih ploča. Zbog svojih svojstava, strukturno-teksturnih i dekorativnih značajki, tradicionalno se upotrebljava u lokalnom graditeljstvu i predstavlja „brend“ u kamenoklesarskoj industriji. Uz minimalnu obradu koristi se za popločavanje javnih površina, oblaganje vanjskih i unutarnjih, horizontalnih i vertikalnih površina, te pokrivanje krovova, zidanje i oblaganje zidova i ograda.

Naslage u kojima se eksploatira *benkovački kamen* pripadaju mlađem eocenu (E<sub>3</sub>). Mrinjek et al. (2005) su na temelju detaljne litostratigrafske analize i teksturnih karakteristika, odredili okoliš taloženja i taložni model *benkovačkog prirodnog kamena*. Odredili su da se kamen taložio u prijelaznoj obalnoj zoni s povremenim donosima materijala tijekom oluja.

Prve rezultate ispitivanja mineraloško-petrografskih svojstava, te gustoće, prostorne mase, poroznosti i upijanja vode te utjecaj navedenih svojstava na postojanost *benkovačkog prirodnog kamena* su u svom radu iznijeli Maričić & Tomašić (2013). *Benkovački kamen* pokazuje znatnu anizotropiju u unutrašnjoj građi i oslabljena mjesta na kojima uslijed ciklusa postojanosti na djelovanje soli, leda ili toplinskih promjena može doći do povećanja pornog prostora ili proširenja postojećih odnosno stvaranja novih pukotina i do oštećenja kamena.

Navedena anizotropija se očituje u vrlo jasnoj slojevitosti i laminaciji duž koje je moguće prirodno odvajanje pojedinih debljih ili tanjih slojeva (ploča). Zbog toga *benkovački prirodni kamen* zahtjeva specifičnu orijentaciju u kamenim konstrukcijama. Davey et al (1979) te Tomašić & Fistrić (1998) pišu o važnosti uzimanja u obzir elemenata nehomogenosti u obliku slojevitosti kada se kamen ugrađuje u konstrukciji. Kamene elementi

izražene prirodne slojevitosti mogu biti u konstrukciji orijentirani na tri različita načina: (a) slojne plohe su horizontalno položene; (b) slojne plohe su vertikalne s vidljivom slojnom plohom; (c) slojne plohe su vertikalne ili pod kutom, a vidljiva je površina okomita na slojevitost, tzv. rubno uslojeni kamen.

Autori Tomašić et al. (2013) u svom se radu bave procjenom cjelovitosti i iskoristivosti *benkovačkog pločastog kamena*. Autori navode važnost ocjene strukturno-teksturnih značajki za izračunavanje koeficijenta cjelovitosti. Osim toga autori navode kako se, nakon eksploatacije, može povećati iskoristivost stijenske mase polijevanjem kamenih elemenata vodom jer se može olakšati klanje kamena duž “zatvorenih” slojnica.

### **Pregled dosadašnjih istraživanja svojstava prirodnog kamena**

Važnost mineraloško-petrografskih istraživanja ističu Leighton & Pendexter (1962). Navode četiri komponente koje bitno utječu na strukturna svojstva vapnenca: zrno, vapnenački mulj (mikrit), cement i pore. Autori su također ukazali na ovisnost značajki pornog prostora o međuovisnosti pakiranja, sortiranja i vrsti međusobnih kontakata kristalnih i zrnskih sastojaka sedimentnih stijena.

Tišljar (2001) ističe važnost određivanja značajki stilolitskih šavova (debljine, kontinuiteta, visine amplitude i gustoće pojavljivanja). Stiloliti (diskontinuiteti) koji su vrlo česti u brojnim litotipovima karbonatnog kamena, predstavljaju više ili manje izražene barijere u pravcu okomitom na njih, ali su isto tako dobri kanali za cirkulaciju fluida paralelno s njima, ovisno o utjecaju tektonike te o ispunjenosti glinom ili bitumenom.

Utjecaj strukturno teksturnih značajki i dijagenetskih procesa na poroznost prirodnog karbonatnog kamena istraživali su Tomašić & Ženko (1993). Upijanje vode i otvorena poroznost određivani su u uvjetima atmosferskog tlaka i dodatno pod podtlakom. Autori su utvrdili da se poroznost mijenja ovisno o strukturi kamena pojedinih varijeteta, te da se povećanjem tlaka može povećati količina upijene vode, a time i otvorena poroznost.

Tomašić (2006) piše o važnosti utvrđivanja i poznavanja različitih oblika (tipova) nehomogenosti (anizotropije) svojstava prirodnog kamena. Autor navodi da nehomogenost može nastati u kamenu nakon ugradnje kao rezultat brojnih čimbenika koji izmjenjuju strukturno-teksturna svojstva prirodnog kamena te utječu na njegovu postojanost.

Autori Tomašić et al. (2011) su ispitivali kapilarno upijanje dva vapnenca iz Hrvatske Kirmenjak avorio i Veselje unito. U radu prikazuju rezultate određivanja kapilarnog upijanja izražene u gramima po metru kvadratnom ( $\text{g/m}^2$ ) ne samo u odnosu na kvadratni korijen vremena izražen u  $s^{0.5}$  već i u odnosu na vrijeme u minutama. Izražavanje vremena u minutama se pokazalo kao bolji i lakši način za interpretaciju dobivenih rezultata kapilarnog upijanja.

Sidraba et al. (2004) su ispitivali kapilarno upijanje i sušenje u ovisnosti o orijentaciji slojevitosti rimskog travertina upotrebljavanog u spomenicima Latvije. Travertin je vrlo porozan što utječe na upijanje vode, sušenje i postojanost. Koeficijent kapilarnog upijanja vode je oko dva puta viši u smjeru paralelno sa slojevitošću od smjera okomito na slojevitost. Autori su dokazali da pravilna orijentacija slojevitosti kod ugradnje blokova travertina u spomenike može znatno pridonijeti otpornosti i postojanosti kamena na trošenje u tijeku djelovanja vanjskih čimbenika.

## Metode

Terenski rad je omogućio prikupljanje potrebnih uzoraka kamena za daljnja ispitivanja. Mineraloško-petrografske analize su izrađene u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine RGNF-a. Dok se određivanje fizičkih svojstava odradilo u Cestograđevnom laboratoriju Instituta IGH d.d.

Pri određivanju mineraloško-petrografskih značajki korišten je petrografski mikroskop Leitz Laborlux 11 Pol. Tanke pločice uzoraka dobivene piljenjem kamena nalijepljene su na objektno stakalce. Nakon brušenja i obrade pločica stavlja se pokrovno stakalce. Kao vezivo korišten je kanadski balzam, a poliranjem korundovim prahom dosegnuta je standardna debljina izbruska od 0,03 mm. Mikroskopski izbrusci su prije pokrivanja pokrovnim stakalcem obojani u crveno radi lakšeg razlikovanja karbonatnih minerala.

Fizička svojstva i postojanost su se odredila prema hrvatskim i europskim normama. S obzirom da se *benkovački kamen* eksploatira u obliku tankih ploča debljine nekoliko centimetara piljenje uzorka odgovarajućih dimenzija je otežano. Shodno tome uzorci za ispitivanje fizičkih svojstava su manjih dimenzija od propisanih u normama. U normama su točno definirani oblik, dimenzije i minimalni broj uzoraka potrebnih za ispitivanje (tablica 1). Svojstva upijanja vode pri atmosferskom tlaku i kapilarnog upijanja vode se odredilo prema hrvatskim i europskim normama na uzorcima oblika kocke dimenzije jedne stranice 4 cm.

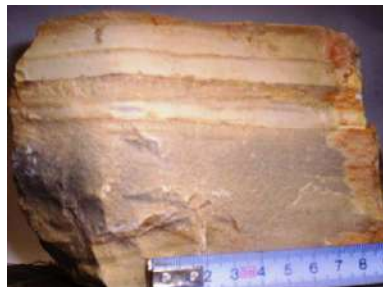
Tablica 1. Popis normi za određivanje svojstava *benkovačkog prirodnog kamena*.

| Fizičko-mehanička svojstva uzoraka   | Hrvatska i europska norma | Min. broj uzoraka (norma) | Oblik uzoraka (norma) | Dimenzije uzoraka (norma) (cm) | Dimenzije uzoraka (nove) (cm) | Opaska                           |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Upijanje vode pri atmosferskom tlaku | HRN EN 13755              | 6                         | kocka                 | 5 x 5 x 5                      | 4 x 4 x 4                     | postepeno potapanje uzoraka      |
| Upijanje vode kapilarnošću           | HRN EN 1925               | 6                         | kocka                 | 5 x 5 x 5                      | 4 x 4 x 4                     | anizotropija kapilarnog upijanja |

## Rezultati analize mineraloško-petrografskih značajki

### Makroskopski opis uzoraka

Glavna strukturno-teksturna vizualna značajka ležišta *benkovačkog kamena* je izmjena jasno izraženih slojeva debljina od 2 do maksimalno 45 cm. Otvorene slojne plohe su oštre do grubo hrapave. Na pločama se vidljivo izmjenjuju svijetle mikritne i tamne zrske lamine (sl. 1).

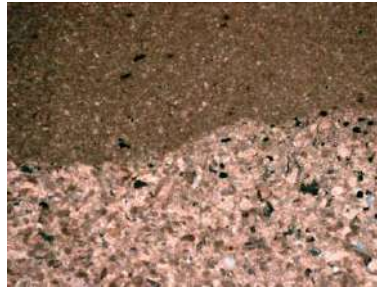


Sl.1. Uzorak *benkovačkog kamena* na kojem je vidljiva izmjena svijetlih i tamnijih lamina.

Debljine lamina su različite. Debljina mikritnih lamina u pravilu iznosi od 2 do 6 cm dok debljina zrnskih lamina iznosi od 1 do 4 cm. Lamine su različite građe. U zrnskim laminama se uočava zrska potpora, dok se u mikritnim laminama uočava muljevita potpora s rijetkim alokemima. Boja uzoraka je blijedo žućkasta do svjetlo siva.

#### Mikroskopski opis uzoraka

U mikroskopskim preparatima uzoraka utvrđena je izmjena dva različita litotipa. Makroskopski svjetlije lamine određene su kao mikritni litotip dok su makroskopski tamniji lamine određene kao zrski litotip (sl. 2). Dva litotipa se razlikuju prema boji i veličini mineralnih sastojaka, ali pokazuju razlike i u strukturno-teksturnim karakteristikama. Mikritni litotip je taložen na zrnskom litotipu, a granica između dva litotipa je oštra i neravna (sl. 2).



Sl.2. Mikrofotografija kontakta mikritnog (gore) i zrnskog (dole) litotipa (5x povećanje).

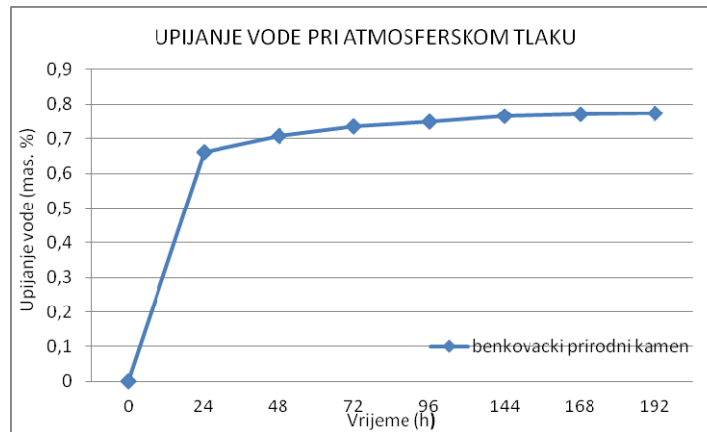
U mikritnom litotipu mikrit je dominantan ili prevladava muljevita potpora između rijetkih alokema. Dimenzije čestica mikrita iznosi do 0,005 mm. Karbonatne čestice pokazuju normalnu gradaciju prema granici sa zrnskim litotipom. Sporadično se u mikritnom litotipu neposredno uz granicu sa zrnskim litotipom uočavaju stiloliti.

U zrnskom litotipu kristali kalcita su alotriomorfni do hipidiomorfni, veličine do 0,02 mm. Uočena je normalna gradacija detritusa prema vrhu kroz smanjenje veličine čestica. Uočavaju se pravilni romboedarski kristali sekundarnog dolomita. Osim tragova dolomitizacije u zrnskom litotipu zapažaju se i tragovi dedolomitizacije u obliku pravilnih kristala kalcita oblika romboedra.

### **Rezultati ispitivanja upijanja vode i kapilarnog upijanja vode**

#### Upijanje vode pri atmosferskom tlaku

Određivalo se upijanje vode pri atmosferskom tlaku kroz 9 dana na šest uzoraka. Svaka 24 sata je mjereno povećanje mase uzoraka. Uzorci su nakon 9 dana bili u potpunosti zasićeni vodom. Na sl. 3 je prikazan grafikon upijanja vode u masenim %. Na apscisi grafikona prikazano je vrijeme izraženo u satima potrebno da se uzorci potpuno zasite vodom. Na ordinati su prikazane vrijednosti upijanje vode izražene u mas.%. Kroz 9 dana uzorci su količinski upili 0,782 mas. % odnosno 1,33 g vode. Svi uzorci su količinski najviše vode upili u prva 24 h (sl. 3), s time da su u prva 24 h zasićeni s 85 mas.% od ukupno upijene vode. Masa nakon 24 sata gotovo stagnira i mikropore se polako pune do 9-og dana kada su uzorci u potpunosti zasićeni s vodom.



Sl.3. Grafički prikaz upijanja vode (u mas.%) pri atmosferskom tlaku.

### Kapilarno upijanje vode

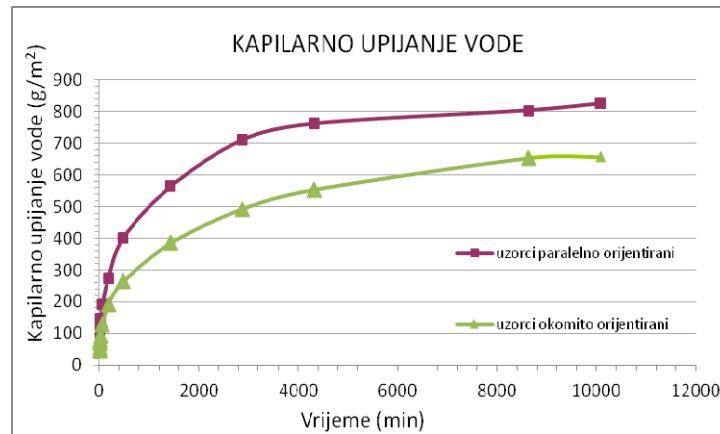
Nakon upijanja vode pri atmosferskom tlaku na uzorcima se određivalo kapilarno upijanje vode kroz 7 dana. Na slici 4 su prikazani uzorci za vrijeme ispitivanja kapilarnog upijanja vode. Jedna osnovica uzoraka je stalno potopljena u vodi do dubine od  $(3\pm 1)$  mm. Nakon određenih vremenskih intervala kapilarnog upijanja vode mjereno je povećanje mase uzoraka. S obzirom na izraženu laminaciju uzoraka ispitivanje kapilarnog upijanja vode je obavljeno na različito orijentiranim uzorcima. Laminacija u uzorcima je bila orijentirana paralelno i okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode.

Vrijednosti kapilarnog upijanja vode su prikazane grafički (sl. 5). Na apscisi grafikona je prikazano vrijeme potrebno za upijanje vode izraženo u minutama (Tomašić et al., 2011). Na ordinati grafikona je prikazana količina kapilarno upijene vode u  $\text{g/m}^2$ . Uzorci pokazuju znatne razlike u vrijednostima kapilarno upijene vode s obzirom na orijentaciju laminacije. Uzorci u kojima je laminacija orijentirana paralelno sa smjerom kapilarnog izdizanja vode u porama su ukupno upili  $825 \text{ g/m}^2$  vode (1,34 g). Tako orijentirani uzorci su u prvih 48 h upili oko 86 % od ukupne kapilarno upijene vode. Uzorci kojima su ravnine laminacije bile orijentirane okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode su ukupno upili  $657 \text{ g/m}^2$  (1,07 g) s time da su u prvih 48 h upili oko 75 % od ukupne kapilarno upijene vode.



Sl.4. Određivanje kapilarnog upijanja vode.



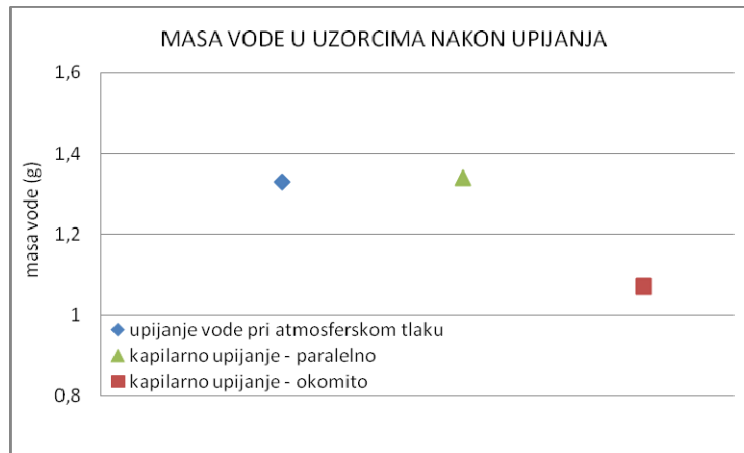


Sl.5. Grafički prikaz kapilarnog upijanja vode.

### Diskusija i zaključak

Dva litotipa označena u ovom radu kao zrnski i mikritni, razlikuju se prema boji, veličini mineralnih sastojaka i prema strukturno-teksturnim karakteristikama. U uzorcima kamena uočene su pukotine i stiloliti zbog kojih može doći do povećanog upijanja vode. Također i na samoj granici između dva litotipa može doći do povećanog upijanja vode. U zrnskom litotipu, za razliku od mikritnog, uočeni su tragovi dolomitizacije, ali i pravilni kristali kalcita oblika romboedra koji ukazuju na proces dedolomitizacije. Treba naglasiti da procesom dolomitizacije dolazi do stvaranja pornog prostora, a procesom dedolomitizacije dolazi do smanjenja pornog prostora. Porni prostor, a pogotovo otvorena poroznost utječe na druga svojstva kao na sposobnost upijanja vode i na postojanost kamena (Tomašić & Ženko, 1993). Što uzorak ima manju otvorenu poroznost odnosno imati će manje upijanje vode te će mu biti veća postojanost odnosno otpornost na djelovanje kristalizacije soli, smrzavanje i toplinske promjene.

Uzorci kod ispitivanja upijanja vode pri atmosferskom tlaku se u potpunosti uranjaju u vodu dok pri ispitivanju kapilarnog upijanja samo je donja osnovica uzoraka u vodi. Bez obzira dali su uzorci samo djelomično ili u potpunosti uronjeni što je veće upijanje vode klasičnim postupkom veće je i kapilarno upijanje vode. Konačna količina kapilarno upijene vode u  $\text{g/m}^2$  proporcionalna je količini upijene vode klasičnim postupkom u mas. % (Tomašić et al. 2009). Slično se dogodilo i s *benkovačkim prirodnim kamenom* (sl. 6). Uzorci, u kojima je laminacija bila paralelno orijentirana sa smjerom kapilarnog izdizanja vode, u konačnici su upili istu količinu vode u gramima kao i uzorci nakon upijanja vode pri atmosferskom tlaku (1,34 g odnosno 1,33 g). Uzorci u kojima je laminacija bila orijentirana okomito na smjer kapilarnog izdizanja vode upili su u konačnici 1,07 g, što je oko 0,26 g manje vode pri toj orijentaciji laminacije. Ako se gleda upijena količina vode u gramima uočava se da ne postoje velike razlike u vrijednostima upijanja vode pri atmosferskom tlaku i kapilarnom upijanju vode kada je laminacija orijentirana paralelno sa smjerom kapilarnog izdizanja vode.



Sl.6. Masa vode u uzorcima nakon upijanja vode i kapilarnog upijanja.

Kod *benkovačkog kamena* utvrđeno je relativno nisko upijanje vode. Bez obzira na navedeno prilikom ugradnje u konstrukciju posebnu pozornost treba posvetiti orijentaciji kamenih elemenata koji pokazuju slojevitost odnosno laminaciju. S obzirom da se *benkovački pločasti kamen* upotrebljava za oblaganje vanjskih horizontalnih i vertikalnih površina laminaciju bi trebalo orijentirati na takav način da voda koja dospije u kamen brzo iz njega može izaći.

Prije ugradnje u konstrukciju određuje se postojanost i trajnost prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Za što bolju ocjenu postojanosti i upotrebljivosti kamena u pojedinim konstrukcijama bitno je, prije upotrebe, točno utvrditi svojstva kamena. Poznavanjem svojstava i postojanosti olakšava se pravilan izbor kamenih elemenata za ugradnju te se produljuje postojanost i trajnost pravilno ugrađenih kamenih elemenata u konstrukciji.

Također pri određivanju mogućnosti upotrebe osim svojstava upijanja vode trebalo bi odrediti i vrijeme i obim isušivanja. Navedeno je posebno važno prilikom smrzavanja kamena zasićenog vodom i štetnim solima zbog djelovanja kristalizacijskih tlakova. Što se voda duže zadrži u uzorku to je veća vjerojatnost za propadanje kamena.

## Literatura

Davey, A., Heath, B., Hodges, D., Milne, R. & Palmer, M. (1979) The Care and Conservation of Georgian Houses (A Maintenance Manual). Masonry wall constructions. 61-68, London-Edinburgh.

Leighton, M.V. & Pendexter, C. (1962): Carbonate rock types. In: Ham W.E. (ed) Classification of Carbonate Rock. Am Assoc Petrol Geologists 1: 33-61.

Maričić, A. & Tomašić, I. (2013): Properties and durability of *benkovac platy stone*. Book of extended abstracts EMABM 2013. Hjorth Jakobsen U., Rasmussen A., Hamann Sey M. (ur.). - Helsingor, Danska: Danish Technological Institute, 87-90.

Mrinjek, E., Pencinger, V., Sremac, J. & Lukšić, B. (2005): The Benkovac stone Member of the Promina Formation: A late Eocene Succession of Storm-Dominated Shelf Deposits. Geologia Croatica, 58/2, 163-184.

Sidraba, I., Normandin, K.C., Cultrone, G., & Scheffler, M.J. (2004): Climatological and regional weathering of Roman travertine. Proceedings of the International Conference Lux Lapis (Light and Stone) 2002 Architectural and sculptural stone in cultural landscape, 211-228. Charles University in Prague, The Karolinum Press, Prague.

Tišljar, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 375 p.

Tomašić, I. (2006): Homogeneity and inhomogeneity impact on ageing and properties of natural stone. Proceedings of the fifteenth international symposium – Mine Planning and Equipment Selection. I, 741-747, Torino.

Tomašić, I. & Ženko, T. (1993): Utjecaj strukturno teksturnih značajki i dijagenetskih procesa na poroznost arhitektonskog kamena. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 165-172.

Tomašić, I. & Fistrić, M. (1998): Utjecaj teksturnih značajki na ugradnju kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 61-66.

Tomašić, I., Lukić, D., Peček, N. & Kršinić, A. (2009): Važnost ispitivanja kapilarne vodoupojnosti prirodnog kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 3-4, 17-27.

Tomašić, I., Lukić, D., Peček, N. & Kršinić, A. (2011): Dynamics of capillary water absorption in natural stone. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 70, 673-680.

Tomašić, I., Pedić, T. & Maričić, A. (2013): Procjena cjelovitosti i iskoristivosti *benkovačkog pločastog kamena*. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 33-45.

Упутство за израду Основне инжењерскогеолошке карте  
Републике Српске 1: 100.000

ДРАГАН МИТРОВИЋ, ДИПЛ.ИНЖ.ГЕОЛ.<sup>36</sup>  
ПРОФ. ДР. ЉУБОМИР РОКИЋ, ДИПЛ.ИНЖ.ГЕОЛ.<sup>37</sup>  
КОВИЉКА ЛЕКА, ДИПЛ.ИНЖ.ГЕОЛ.<sup>1</sup>  
ЦВЈЕТКО САНДИЋ, ДИПЛ.ИНЖ.ГЕОЛ.<sup>1</sup>

## АБСТРАКТ

У овом раду дат је скраћени приказ Упутства којим се прописује начин израде Основне инжењерскогеолошке карте Републике Српске 1:100.000, затим, захтјеви у погледу методологије истраживања, обим и врста података које треба прикупити и начин приказивања резултата истраживања.

Упутство је прилагођено савременим трендовима у свијету и омогућава израду дигитализоване инжењерскогеолошке карте и обраду података у геолошком информационом систему, односно у складу је са препорукама Интернационалне асоцијације за инжењерску геологију и животну средину и међународним стандардима и упутствима за израду инжењерскогеолошке карте.

Намјена Упутства односи се првенствено за израду Основне инжењерскогеолошке карте али се оно може користити и за израду инжењерскогеолошких карата ситне, средње и крупне размјере. За сваку врсту инжењерскогеолошке карте зависно од размјере, утврђени су захтјеви у погледу садржаја потребних инжењерскогеолошких својстава код описа појединих издвојених литолошких типова и комплекса.

Овим упутством су дефинисани сви радови који су потребни за израду Основне инжењерскогеолошке карте, утврђена методологија истраживања, усвојени принципи инжењерскогеолошке класификације стијена, затим начин приказивања литолошких типова и литолошких комплекса на карти. Након свих ових активности одређен је садржај и опрема инжењерскогеолошке карте као и начин прихватања, штампања и архивирања.

За издвајање стијена и стијенског комплекса, код израде ОИГК-100, примјењена је инжењерскогеолошка класификација стијена према UNESCO-вом упутству, предложеном од стране Интернационалне асоцијације за инжењерску геологију и животну средину. Основа за издвајање стијена по овом упутству базира се на литогенетским критеријумима, према којима се све стијене и тла, разврставају на таксонометријске јединице, а то су: инжењерскогеолошки тип (ЕТ), литолошки тип (LT), литолошки комплекс (LC) и литолошка свита (LS).

У Упутству је табеларно представљен начин приказивања литолошких типова и литолошких комплекса на карти. Утврђено је приказивање литолошких типова магматских, метаморфних и седиментних стијена, метаморфне промјене у магматским

---

<sup>36</sup> Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске, 75 400 Зворник, Вука Караџића 148 б,  
тел: +387 56 210 413, e-mail: geozavodrs@teol.net

<sup>37</sup> Завод за геотехнику и фундамирање, Грађевински факултет, 71 000 Сарајево

стијенама, литолошки типови пирокластита, главни типови кречњака, изучавање и приказивање квартарног покривача. Такође је приказано изучавање структурно-тектонских односа, структурних и геоморфолошких елемената, хидролошких и хидрогеолошких појава и објеката, егзодинамичке и техногене појаве, мелиорациони и санациони објекти, категоризација терена према степену скаршћености и степену стабилности.

Као финална верзија предвиђено је штампање листова Основне инжењерскогеолошке карте 1:100.000 са његовим називима, годином израде, именима извођача и аутора листа, легендом издвојених инжењерскогеолошких јединица разврстаних према литолошким типовима и комплексима, легендом стандардних ознака, хронолошким приказом инжењерскогеолошких јединица, инжењерскогеолошког профила и скицом положаја обрађиваног листа према шеми везивања листова по Гриничкој подјели.

Један лист Основне инжењерскогеолошке карте у размјери 1:100.000, поред Основне карте, садржи и допунске карте 1:100.000, тумач ОИГК-100, документациони материјал и банку инжењерскогеолошких података.

**Кључне ријечи:** Упутство, основна инжењерскогеолошка карта, инжењерскогеолошка истраживања, литолошки тип, литолошки комплекс, тумач

## ABSTRACT

This paper describes the Manual which prescribes the manner of making the basic engineering - geological map of the Republic of Srpska in the scale 1:100.000. It also provides the requirements in terms of research methods, scope and a type of collected data and a presentation of the research results.

The manual is adapted to the modern trends in the world and allows the creation of digitized engineering - geological maps and geological data processing in an information system. All of that is in accordance with the recommendations of the International Association of Engineering Geology and Environment and international standards and guidelines for the preparation of engineering - geological maps.

The purpose of the manual is making the basic engineering - geological map, but it can be used for the preparation of geological maps of a small, a medium and a large scale. For each type of engineering - geological maps depending on the scale, the requirements regarding the needed engineering-geological content for the description of separated lithological types and complexes are determined.

This manual defined all the works required for making the basic engineering geological map, established research methodologies for the development of the basic engineering - geological map, adopted the principles of engineering - geological classification of rocks and a way of displaying lithological types and lithological complexes on the map. After all these activities, the content and equipment engineering - geological maps and the manner of acceptance, printing and filing of a basic engineering - geological map of the Republic of Srpska are determined.

For the extraction of rocks and rock complexes in making the BEGM-100, engineering - geological classification of rocks under guidance of UNESCO was applied, proposed by the International Association of Engineering Geology and the Environment. The basis for the separation of the rocks in this instruction is based on the lithogenetic criteria: engineering - geological type (ET), lithological type (LT), flysch (LC) and lithological suite (LS).

The manual was presented in a tabular way, displaying lithological types and lithological complexes on the map. It shows the lithological types of igneous, metamorphic and sedimentary rocks, metamorphic changes in igneous rocks, lithological types pyroclastics, the main types of limestone, the study and the display of the Quaternary cover. There are also structural - tectonic relations, structural and morphological elements, hydrological and hydrogeological phenomena and facilities, exogenic and technogenic effects, the reclamation and repairing of buildings, the terrain classification according to the degree of karstification and the degree of stability.

The final version will contain the sheets of the basic engineering - geological map in the scale 1:100.000 with its name, the year of production, the list of authors, the legend of outsourced engineering – geological units classified according to the lithological types and complexes, the legend of standard tags, the chronological display of engineering units, engineering – geological cross – sections and the outline of the position of the sheet leaf to the scheme tying sheets per Greenwich division.

One sheet of the Basic engineering - geological map in the scale 1:100.000, besides basic maps, contains additional maps in the scale 1:100.000, the interpreter BEGM-100, documentation materials and engineering - geological database.

**Key words:** Manual, basic engineering - geological map, engineering – geological researches, lithological type, lithological complex, guidebook

## 1. УВОД

Основна инжењерскогеолошка карта Републике Српске 1:100.000 је врста геолошке карте која садржи генералну презентацију свих оних елемената геолошке средине, њене територије, значајних код просторног планирања, пројектовања, грађења и експлоатације објеката у грађевинарству, рударству, водопривреди, шумарству, заштити животне средине и другим сродним дисциплинама. Она садржи сљедећа својства:

- Карактеристике стијена и тла: укључујући њихову подјелу, стратиграфско и структурно разврставање према старости, генези, литолошким и тектонским карактеристикама, физичком стању и механичким својствима,
- Хидрогеолошке услове - подјела стијена и тла према хидрогеолошким функцијама; са подацима о зонама водозасићеног тла; дубини до нивоа подземних вода, рангом колебања нивоа и правци кретања подземних вода; изворе, ријеке, језера, границе повремених интервала плављења, pH вриједност, хемијски састав подземних вода, корозивност.
- Геоморфолошке услове - генетске типове рељефа и значајне елементе природног амбијента (пејзажа); геоморфолошке облике према времену настанка, грађи, правцу пружања, облику и висини.
- Геодинамичке феномене - егзодинамичке процесе и појаве - ерозија, денудација, карстна подручја, гравитациони покрети на падинама (клизишта, одрони, пузишта, тецишта); ендодинамичке процесе и појаве - сеизмичке феномене, активне расједе, зоне актуелних тектонских покрета (неотектонска активност).

Основна инжењерскогеолошка карта (у даљем тексту ОИГК-100) се састоји од основне карте, олеате стабилности терена, карактеристичних инжењерскогеолошких профила, легенде са геохронолошким приказом инжењерскогеолошких јединица,

документационе карте за све изворне податке који су коришћени код израде синтезног приказа резултата истраживања, текстуалног приказа у виду тумача инжењерскогеолошке карте (у даљем тексту: тумача) са табеларним и графичким прилозима резултата теренских и лабораторијских истраживања и испитивања.

Израда Основне инжењерскогеолошке карте изводи се сукцесивно по листовима Гриничке подјеле и то, у почетној фази, у теренима који имају приоритетни значај за развој привреде и рјешавање важних проблема код просторног планирања, у грађевинарству, водопривреди, индустрији, рударству, туризму, заштити животне средине и др.

Финална форма карте ради се у дигитализованом облику. Сви прикупљени подаци и резултати изведених истраживања уносе се у инжењерскогеолошки катастар и инжењерскогеолошку базу података која се формира упоредо са израдом ОИГК-100. У инжењерскогеолошку базу података уносе се полуквалитативни и квантитативни показатељи, у виду текстуалног, нумеричког и графичког начина приказивања.

ОИГК-100 је важан и неизоставан дио Геолошког информационог система Републике Српске. Израђује се у складу са савременим софтверским програмима и алатима Географског Информационог Система (у даљем тексту: ГИС), који омогућују формирање Банке инжењерскогеолошких података (у даљем тексту: БИП) Републике Српске. Основа информационог система код израде карата и њихових олеата („layer“-а) је формирање базе података и њихова визуелизација, као и могућност њиховог каснијег примјењивања кроз анализе, симулације и друге доступне инжењерскогеолошке начине обраде и евалуације података. Техника и структура израде БИП у ГИС пружа флексибилност и могућност за проширење садржаја не само новим класама, линијама и атрибутима, него и за будуће технолошко еволуирање ГИС-а и нових компјутерских технологија.

ОИГК-100, тумач и пратећа документација представљају подлогу која се може користити за:

- 1) Студијске анализе код тумачења регионалних законитости формирања инжењерскогеолошких услова терена; заступљености различитих видова стијенских маса, закономјерности формирања и заступљености геодинамичких процеса и појава у појединим литофацијалним срединама са прогнозом њиховог даљег развоја,
- 2) Израду програма и пројеката за различите нивое и намјене инжењерскогеолошких истраживања (основних и детаљних),
- 3) Израду намјенских геолошких подлога за просторне планове Републике Српске, регије, подручја посебних намјена и посебно угрожена подручја.
- 4) Израду геолошких подлога за студијске анализе, планирање и генерално пројектовање при лоцирању и размјештању насеља и објеката капиталног значаја у грађевинарству, те трасирању линијских објеката, (прије свега путних саобраћајница, водовода, цјевовода, гасовода и др), затим у рударству, водопривреди, пољопривреди, енергетици и оцјени степена угрожености геолошке средине као дијела животне средине.

## 2. ИЗРАДА ОСНОВНЕ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРТЕ

Израда ОИГК-100 врши се за сваки лист, а њеној коначној изради претходе сљедећи радови:

- 1) Припремни радове обухватају израду Пројектног задатка и Пројекта истраживања ОИГК-100 са разрадом истраживања по фазама - ревизија пројекта истраживања, израда основних олеата који се односе на топографију и геологију терена у размјери 1:100.000, дигитализација и референцирање постојећих растерских топографских подлога 1:100.000 за потребе израде основне карте и олеата ОИГК (изохипсе са еквидистанцом 100 m, ријеке, путеви, насеља, коте терена), дигитализација и референцирање растерских геолошких подлога: издвојених геолошких (литостратиграфских) јединица, геолошких граница, елемената тектонике са постојећих листова основне геолошке карте и конверзија ових елемената према инжењерскогеолошкој класификацији која је прописана овим Упутством, анализа авионских и сателитских снимака терена, претходно прикупљање и анализа података ранијих истраживања из постојеће документације и категоризација терена према степену претходне истражености, као и прелиминарно инжењерскогеолошко рекогносцирање терена и категоризација терена према степену сложености инжењерскогеолошких услова;
- 2) Главни радови се састоје из наставка прикупљања и обраде података из постојеће документације и израде документационе карте, фотогеолошке анализе терена, инжењерскогеолошко рекогносцирање терена, инжењерскогеолошко картирање терена, инжењерскогеолошка реамбулација терена, инжењерскогеолошка осматрања (мониторинг) терена, теренски истражни радови (истражно бушење, истражни раскопи и јаме, пенетрациони опити тла, геофизичка испитивања и др.); израде оелата које се односе на инжењерскогеолошку класификацију (литогенетска класификација, дефинисање литолошких типова и комплекса); израде допунских олеата; израде релационе базе података; лабораторијских радова (геомеханичке, геотехничке, петролошке, седиментолошке, хемијске анализе стијена и подземне воде) и кабинетских радова гдје спада обрада података и израда периодичних и годишњих извјештаја, фазних пројеката, израда финалне инжењерскогеолошке карте, ауторског оригинала и тумача.;
- 3) Завршни радови израде ОИГК-100 су ревизија, припрема за штампу карте и тумача и штампање карте и тумача.

Основна инжењерскогеолошка карта ради се на основу претходно израђеног Пројекта истраживања, а садржај пројекта је прописан Правилником о садржини програма, пројеката геолошких истраживања и извјештаја о резултатима спроведених истраживања (Службени гласник РС, бр.112/12). Пројекат истраживања ради се у складу са захтјевима из Пројектног задатка и према подацима о претходном познавању терена, а по потреби и подацима прикупљеним инжењерскогеолошким рекогносцирањем терена, гдје се Пројектом предвиђају цјелокупна истраживања за израду Основне инжењерскогеолошке карте, на једном листу 1 : 100.000, са разрадом динамике истраживања по фазама.

За сваку наредну фазу истраживања ради се фазни пројекат кроз посебни Анекс. Анекси пројекта који се раде за сваку фазу истраживања (за једногодишњи период) садрже сљедећа поглавља: увод, кратак преглед ранијих истраживања, кратак приказ резултата претходне фазе истраживања, инжењерскогеолошка проблематика која се рјешава у предметној фази истраживања, концепција и методологија предметне фазе истраживања, динамика истраживања, предмјер радова и предрачун трошкова. Уз



Анекс се прилаже прегледна карта досадашњих истраживања на предметном листу и пројектована истраживања дате фазе, у размјери 1 : 200.000.

При пројектовању истраживања за израду ОИГК-100 врши се категоризација терена за потребе нормирања инжењерскогеолошких истраживања и инжењерскогеолошког картирања терена и теренских истражних радова.

На степен тежине инжењерскогеолошког истраживања терена за потребе израде ОИГК-100 утичу: степен инжењерскогеолошке истражености терена, степен сложености инжењерскогеолошких услова, морфолошки услови, степен покривености и проходности терена.

Истражно бушење се предвиђа углавном у теренима изграђеним од квартарних и неогених седимената, а рјеђе у теренима са дебелом кором површинског распадања у седиментним, магматским и метаморфним стијенама.

Остали теренски истражни радови: истражне јаме, опити пенетрације, геофизичка испитивања и др, као и лабораторијска геомеханичка испитивања планирају се и пројектују тако да се обезбиједи минимум потребних података за сваку издвојену инжењерскогеолошку јединицу, а врста и број ових истражних радова одређује се у току израде фазних пројеката за сваку наредну годину истраживања.

Динамика реализације истраживања ОИГК-100 предвиђена је пројектом истраживања, како по врстама, тако и по обиму, за цијели лист и све фазе истраживања. У почетној фази истраживања су припремни радови и израда прелиминарне инжењерскогеолошке карте у размјери 1 : 100.000. У сљедећој фази истраживања изводи се инжењерскогеолошко картирање једног дијела листа, на секцијама размјере 1:25.000. У свим наредним фазама истраживања, наставља се са инжењерскогеолошким картирањем и врши прикупљање постојећих података на сљедећим дијеловима листа размјере 1 : 100.000. Предвиђају се и пројектују и остали истражни радови и то на дијелу листа на коме је извршено инжењерскогеолошко картирање у претходној фази. На овај начин, постиже се рационалније планирање даљих истражних радова пошто се они базирају на претходном познавању инжењерскогеолошких услова на предметном дијелу листа и рјешавању уочених проблема.

Израда финалне ОИГК-100 са тумачем и потребном документацијом предвиђа се пројектом, а њена реализација се врши тек након завршетка свих потребних и пројектованих истраживања, без обзира на динамику утврђену пројектом.

Пројекат израде ОИГК-100 прије своје реализације подлијеже ревизији и обавља се у складу са Законом о геолошким истраживањима.

### **3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА ЗА ИЗРАДУ ОСНОВНЕ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРТЕ**

Обим и врсте истраживања за потребе израде Основне инжењерскогеолошке карте утврђени су критеријумима датим у овом упутству, а условљени су специфичном проблематиком на конкретном терену.

Извођење инжењерскогеолошких истраживања изводи се сукцесивно по фазама. После сваке фазе истраживања која је везана за једногодишњи период, ради се коначни извјештај који садржи синтезно обрађене податке истраживања у току предметне фазе и кратак приказ постигнутих резултата истраживања. Коначни извјештај за предметну фазу истраживања састоји се од текстуалног дијела и графичких прилога.

- 1) Текстуални дио коначног (годишњег) извјештаја садржи: увод, преглед изведених истражних радова, резултате изведених истраживања и закључак са приједлогом даљих истраживања.
- 2) Графички дио коначног извјештаја садржи прегледну инжењерскогеолошку карту истраживаног дијела листа 1 : 100.000 и прегледну карту изведених истражних радова у размјери 1:200.000.

**Прикупљање и анализа података** из постојеће документације изводи се како у припремној, тако и у главној фази истраживања.

**Инжењерскогеолошка обрада авионских снимака** - фото инжењерскогеолошка обрада (уколико се располаже са сателитским и авиоснимцима) врши се у припремној и главној фази истраживања, а материјали даљинске детекције користе се за рад на терену, као извори геолошких, геоморфолошких и инжењерскогеолошких информација и као средство за повезивање и допуњавање теренских и других података.

**Инжењерскогеолошко рекогносцирање терена** се изводи у I фази истраживања прије извођења инжењерскогеолошког картирања, а по потреби и прије фазе израде Пројекта. Инжењерскогеолошко рекогносцирање врши се у циљу добијања прелиминарних података о инжењерскогеолошким условима терена, на бази којих се врши даље планирање инжењерскогеолошког картирања у погледу приоритета и потребног обима њиховог извођења.

**Инжењерскогеолошка реамбулација терена** врши се прије, у току и након завршених главних теренских радова и то, у циљу допуне новим подацима раније истраживаног терена у инжењерскогеолошки интересантним дијеловима терена, нарочито са аспекта стабилности.

Подаци инжењерскогеолошког рекогносцирања и реамбулације терена уносе се у теренски дневник и наносе на топографску основу, односно претходно урађену верзију инжењерскогеолошке карте, размјере 1:25.000.

**Инжењерскогеолошко картирање терена** представља основну врсту истражног процеса на изради Основне инжењерскогеолошке карте и претходи осталим теренским и лабораторијским истражним радовима. Основна метода инжењерскогеолошког картирања своди се на праћење изданака стијена и појава на терену, са циљем прикупљања података о инжењерскогеолошким одликама стијенских маса и терена. Код картирања се примјењује метода попречних профила, метода праћења граница и детаљног картирања ради утврђивања јасних граница између појединих литолошких класа и комплекса, састава, структурно - текстурних својстава, степена дијагенезе, повезаности, степена промјенљивости литолошког састава, карактера и степена површинске распаднутости и издијелености стијенских маса и свих других података који битно утичу на формирање инжењерскогеолошких услова терена.

У току инжењерскогеолошког картирања прикупљају се и обрађују сљедећи подаци о:

- морфологији терена, геоморфолошким облицима и појавама; хидролошким и хидрографским карактеристикама, као и сви остали подаци неопходни за сагледавање узрока формирања одређених инжењерскогеолошких услова и карактеристика терена;
- хидрогеолошким својствима терена, битним са инжењерскогеолошког аспекта уз анализу утицаја хидрогеолошких појава на измјенљивост стијенских маса, стабилност и уопште деформабилност стијенских маса и терена;
- кварталним наслагама, њиховом територијалном распрострањењу и издвајањем на радним теренским картама према генетском поријеклу, материјалном саставу и дебљини; од

значаја је утврђивање дебљине и врсте коре распадања преко матичног субстрата уз исцртавање локалних инжењерскогеолошких профила;

- савременим егзодинамичким и инжењерскогеолошким процесима и појавама којима се посвећује посебна пажња код инжењерскогеолошког картирања, уз обавезно утврђивање њиховог просторног обухвата, процјене и анализе стања тренутне активности, степена угрожености животног простора, динамике њиховог даљег развоја, успјешности примјене евентуалних санационих мјера и др;
- свим видовима техногене (антропогене) активности који угрожавају животну средину, реактивирање условно стабилних и потенцијално нестабилних падина, терена угрожених грађевинском и рударском активношћу, слабо носивог тла и др;
- појавама и лежиштима минералних сировина и геолошких грађевинских материјала, а уједно се региструју и све појаве и облици у терену који су настали експлоатацијом тих ресурса (површински копови, одлагалишта, јаловишта, дубоки земљани ископи и сл.);

Успостављање осматрачке мреже за праћење динамике развоја процеса нестабилности терена врши се изузетно, након завршетка инжењерскогеолошког рекогносцирања и у току инжењерскогеолошког картирања терена. Осматрачка мрежа се успоставља на изузетно критичним мјестима гдје процеси нестабилности (најчешће клизишта) директно угрожавају живот људи и материјална добра.

### 3.1. Теренски истражни радови и лабораторијска испитивања

Осим инжењерскогеолошког картирања, остали теренски радови као што су истражно бушење, истражни ископи (јаме, раскопи), опити пенетрације тла и геофизичка испитивања се изводе према потреби у циљу рјешавања одређене проблематике утврђене у току инжењерскогеолошког картирања, а која није ријешена у току претходних истраживања.

- 1) Истражно бушење пројектује се и изводи у слабо истраженим и слабо откривеним теренима, у којима се инжењерскогеолошким картирањем не могу прикупити довољно поуздани подаци о грађи терена по дубини и ради узимања узорака стијена за лабораторијска геомеханичка испитивања. Истражно бушење се изводи у невезаним и слабо везаним литолошким типовима и комплексима, а најчешће у регистрованим клизиштима и кварталним покривачима.
- 2) Истражно копање у виду раскопа, јама или засјека, изводи се у теренима са кварталним покривачима релативно мале дебљине. Резултати ископа приказују се у виду профила и развијених блок профила у размјери 1 : 50 или 1 : 100.
- 3) Пенетрациони опити тла се изводе у оним теренима гдје не постоје подаци истражног бушења и физичко - механичких својстава тла, а у циљу добијања података на којима се може извршити корелација са осталим сигурнијим подацима у профилу терена. Овим испитивањем се добијају подаци о збијености невезаних и степену чврстоће везаних стијена, а резултети се уносе у посебан записник и добијене вриједности наносе се на стуб профила бушотина.
- 4) Геофизичка испитивања примјењују се на теренима покривеним кварталним покривачем и дебелом кором површинског распадања. Примјењују се углавном рефракционо - сеизмичке и геоелектричне методе у циљу добијања података о грађи, саставу, дебљини, измјенама, анизотропији и структурним својствима појединих инжењерскогеолошких јединица. Рефракционо - сеизмички профили су обично

дужине до 100 m, а од геоелектричних метода примјењује се геоелектрично картирање и сондирање.

- 5) Геодетска мјерења врше се код осматрања и праћења развоја егзогенних геолошких процеса и појава и за утврђивање кота и координата изведених истражних радова.
- 6) Лабораторијска геомеханичка испитивања обављају се упоредо са извођењем теренских радова, сукцесивним достављањем узорака са терена. Од лабораторијских испитивања врши се: одређивање гранулометријског састава са прорачуном коефицијента филтрације, специфичне и запреминске тежине, природне влажности, границе пластичности и течења, индекса пластичности и конзистенције и отпорности на смицање. Испитивања се врше према важећим стандардима, а добијени резултати се приказују табеларно и прилажу у стандардним формуларима. Узорци за лабораторијска испитивања узимају се из истражних бушотина, изведених ископа и откривених профила у терену. Број узетих узорака из сваке инжењерскогеолошке јединице је неограничен али је условљен степеном претходне истражености предметне локације и инжењерскогеолошком сложености геолошке грађе.
- 7) Петролошка, седиментолошка и палеонтолошка испитивања врше се само у изузетним случајевима, уколико то није ријешено у фази израде Основне геолошке карте.
- 8) Испитивање хемијског састава подземних вода врши се у току израде Основне хидрогеолошке карте, а изузетно и у оквиру израде Основне инжењерскогеолошке карте када се одређује агресивност на бетон и природне грађевинске материјале или испитују корозивна својства тла. Подаци испитивања приказују се табеларно и у виду дескриптивне интерпретације резултата.

Технички услови извођења истражних радова прописују се Пројектом истраживања.

Кабинетски радови подразумевају: обраду података истраживања, који се врше континуирано у току трајања Пројекта; израду коначних извјештаја (техничко - оперативног карактера) након завршетка сваке фазе истраживања; израду Извјештаја, односно финалних оригиналних инжењерскогеолошких карата 1 : 25.000, и финалне ОИГК-100, са тумачем и документационим дијелом Извјештаја. Коначни извјештаји, поред текстуалног дијела, илустрованог табелама и дијаграмима садрже и прегледну карту изведених истражних радова и резултата истраживања у датој фази, на прегледном дијелу листа, у размјери 1 : 100.000.

#### 4. ПРИНЦИПИ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ СТИЈЕНА

Код израде ОИГК-100, за издвајање стијена и стијенских комплекса примјењена је инжењерскогеолошка класификација стијена према UNESCO-вом упутству, предложеном од стране Интернационалне асоцијације за инжењерску геологију и животну средину. Основа за издвајање стијена по овом упутству базира се на литогенетским критеријумима, према којима се све стијене и тла, разврставају на сљедеће таксонометријске јединице: инжењерскогеолошки тип (ЕТ), литолошки тип (LT), литолошки комплекс (LC) и литолошка свита (LS) – Табела 1.

Табела 1. Основна подјела стијена у инжењерскогеолошком смислу према IAEG

| Инжењерско-геолошки тип |   | Литолошки тип |   | Литолошки комплекс |   | Литолошка свита |
|-------------------------|---|---------------|---|--------------------|---|-----------------|
| ЕТ. 1                   |   |               |   |                    |   |                 |
| ЕТ. 2                   | ↔ | LT. 1         |   |                    |   |                 |
| ЕТ. 3                   |   |               |   | LC. 1              |   |                 |
| ЕТ. 4                   |   |               | ↔ |                    |   |                 |
| ЕТ. 5                   | ↔ | LT. 2         |   |                    |   |                 |
| ЕТ. 6                   |   |               |   |                    |   | LS.             |
| ЕТ. 7                   | ↔ | LT. 3         |   |                    | ↔ |                 |
| ЕТ. 8                   |   |               |   |                    |   |                 |
| ЕТ. 9                   |   |               | ↔ | LC. 2              |   |                 |
| ЕТ. 10                  | ↔ | LT. 4         |   |                    |   |                 |
| ЕТ. 11                  |   |               |   |                    |   |                 |

**Инжењерскогеолошки тип (ЕТ)** представља најнижи степен физичког хомогенитета и он треба да обједињава литолошки карактер и физичко стање. Ове јединице могу бити дефинисане преко индивидуалних детерминанти физичких и механичких својстава.

**Литолошки тип (LT)** је хомоген у погледу састава, текстуре и структуре, али није униформан у погледу физичког стања. Литолошки тип (LT) је основна јединица из које су изведене све друге јединице. У суштини, то је јасно детерминисан тип стијене, напр. гранит или пјешчар, одређене структуре, текстуре, минералогског састава и сл, али не увијек са униформним физичким стањем. Степен распаднутости, испуцалости, физичко - механичка својства и опште стање у грађи терена, могу се у њима мијењати, али сва та својства не искључују ове стијене изван захтијеваних критеријума за литолошки тип. Сваки од различитих стања испуцалости или распаднутости може бити издвојен као могући тип стијене са различитим инжењерскогеолошким својствима што представља основу за препознавање инжењерскогеолошког типа (ЕТ). То практично значи, да унутар једног литолошког типа може постојати неколико инжењерскогеолошких типова, од којих сваки има сопствена инжењерскогеолошка својства и специфичности. Инжењерскогеолошки тип према томе има највиши степен хомогенитета у односу на било коју картирану јединицу и он треба да буде униформан у погледу литолошког карактера и физичког стања. Овај принцип треба да буде у основи за издвајање картираних јединица код израде основне инжењерскогеолошке карте. Исти принцип може се примијенити и код израде инжењерскогеолошких карата средње и ситне размјере када се укључују различите комбинације литолошких типова у виду литолошких комплекса (LC) и литолошких свита - формација (LS), сведених на униформност континуитета геолошких, палеогеографских и геотектонских услова.

**Литолошки комплекс (LC)** обједињава низ генетски сродних литолошких типова насталих под специфичним палеогеографским и геотектонским условима. Унутар литолошког комплекса просторно уређење литолошких типова је униформно и посебно за тај комплекс и он се може јединствено рашчлањавати у друге литолошке карактере или физичка стања. Због тога је унутар појединих комплекса могуће дефинисати само податке о појединим литолошким типовима садржаним у комплексу и указати на њихово опште физичко стање и техничка својства.

**Литолошка свита (LS)** или формација подразумеијева више литолошких комплекса насталих при релативно једноставним палеогеографским и тектонским условима. Постоје главне заједничке карактеристике свите преко којих је литолошки могуће јасно дефинисати интегритет једне свите, по чему се она може разликовати од других свита. Код литолошких свита могу се дати само уопштена инжењерскогеолошка својства.

#### 4.1. Основни назив стијене

Класификација литолошких типова састоји се у одређивању основног назива стијене. Она обједињава све генетске групе стијена: магматске (интрузивне, ефузивне), метаморфне (регионалне, контактне, динамометаморфне и хидротермалне) и седиментне стијене (неконсолидоване и консолидоване, кластичне, хемијске - карбонатне, сулфатне, силицијске и биогене). Значајан критеријум за подјелу ових стијена је крупноћа зрна, квантитативно класирана на: грубозрна, крупнозрна, средњезрна, ситнозрна и врло ситнозрна. Класификација садржи такође и друге атрибуте тј. основни тип структуре стијена и њихов основни минералоски састав. Унифицирана класификација основних литолошких типова чврстих стијена, дата је у Табели 2 и 3.

Табела 2. Инжењерскогеолошка класификација магматских и метаморфних стијена

| Метаморфне стијене                                      |              | Магматске стијене                                   |              |   |                 | Генетске групе    |           |
|---|--------------|---|--------------|---|-----------------|-------------------|-----------|
| Шкриљаве  |              | М а с и в н е                                       |              |   |                 | Најчешћа текстура |           |
| Кварц, фелдспат, лискуни, игличасти тамни минерали      |              | Свијетло обојени минерали кварц, фелдспат и лискуни |              | Тамно обојени минерали фелдспати, пироксени |                 | Састав            |           |
| -гнајс (орто и пара) смењивање љуспастих и др. минерала | Мермери      | Киселе  | Неутралне    | Базичне                                     | Алтрабазичне    | Врло крупнозрне   | зрна (мм) |
| -мигматити  | Гранулит     | Пегматити   |              |   | пироксенит      |                   | 60        |
| -шкриљци  | кварцити     | Гранит  | Диорит       | Габро                                       | перидотит дунит | Крупнозрне        | 2         |
| -филити,  | хорнфелси    |   |              |   |                 |                   |           |
| -аргилошисти  | амфиболити   | Микро гранит  | Микро диорит | Долерит                                     | харцбургит      | Средњезрне        | 0,06      |
| -милонити   |              |   |              |   |                 |                   |           |
| -филонити   |              |   |              |   |                 |                   |           |
| -скарнови   | серпентинити | Риолит  | Андезит      | Базалт                                      | лерцолит        | Финозрне          | 0,002     |
| -корнит   |              |   |              |   |                 |                   |           |
|   |              | Обсидијан и тахилит<br>Вулканско стакло             |              |   |                 | Врло финозрне     |           |

Табела 3. Инжењерскогеолошка класификација седиментних стијена

| ГЕНЕТСКЕ ГРУПЕ            |                  | ДЕТРИТИЧНИ СЕДИМЕНТИ                         |  |                                    | ПИРОКЛАСТИТИ |  | Хемијско-органигене |
|---------------------------|------------------|--|--|------------------------------------|--------------|--|---------------------|
| <b>J.</b> Обичнаструктура |                  | <b>С Л О Ј Е В И Т О С Т</b>                 |  |                                    |              |  |                     |
| Састав                    |                  | Зрна стијена: кварц, фелдспат минерали глина |  | Најмање 50% су карбонатног састава |              | најмање 50% зрна од финозр. маг. стијена   |                     |
| 60                        | Врло крупно зрне | Зрна су од фрагм.стијена                     |  | Карбонатни шљунак                  | Калцирудит   | <b>Заобљена зрна:</b><br>агломерати<br>Угlastа зрна:<br>вулканске брече<br>лапили, туф |                     |
|                           |                  | Блокови и крупне валунице                    | Заобљена зрна  |                                    |              |  |                     |
| 2                         | Крупно зрне      |  | Шљунак   | Конгломерати                       | Угlastа зрна | Брече  |                     |
|                           |                  |  |  |                                    |              |  |                     |
| 0,06                      | Средње зрне      | Зрна углавном од фраг. минер.                |  | Карбонатни пијесак                 |              | Туф  |                     |
|                           |                  | Пијесак                                      | Пјешчар: зрна од фрагмената минерала<br>Кварцни пјешчар: 95% је кварц, међупростор празан или са цементом Аркозе: 75% је кварц, >од 25% је фелдспат, а међупростор је празан или цементован Грауваке: 75% је кварц, 15% фини детрити и фрагменти фелдспата |                                    |              |  |                     |
| III                       | Финозрне         | Алевролити, 50% финих честица                |  | Карб. N. а                         | Калцисилтит  | Финозрни туф   |                     |
|                           | Врло финозрне    | Глинац, 50% финих честица                    |  | Карбона. брашно                    | Калцилутит   | О. Врло финозр. туф  |                     |
|                           | Аморфно стакло   |  |  |                                    |              | Р.   |                     |

Табела 4. Класификација незезаног и полузезаног тла

| Главна подјела основних група тла                               | % финих зрна < 0,075 мм   | Групе тла             | Симболи групе | Симболи подгрупе | Назив тла  |   |
|---|---|-----------------------|---------------|------------------|--|---|
| КРУПНОЗРНА ТЛА<br>(садрже више од 50% зрна већих од 0,075 mm)   | Q. ШЉУНАК<br>K<br>(садржи више од 50% зрна већих од 2,0 mm)     | шљунак                | G             | R. GW            | -шљунак добро гранулисан   |   |
|   |   |                       |               | GU               | -шљунак, униформан   |   |
|   |   |                       |               | GP               | -шљунак, слабо гранулисан  |   |
|   | 5 - 35  | шљунак<br>прашинаст   | GM            | GM <sub>s</sub>  | -шљунак, прашинасто-пјесковит  |   |
|   |   |                       |               | GM <sub>c</sub>  | -шљунак, прашинасто-глиновит   |   |
|   |   | шљунак-глиновит       | GC            | GCL              | -шљунак, са глиненом испуном ниске(L) или високе пластичности(H)     |   |
|   |   |                       |               | GCH              |  |   |
|   | ПИЈЕСАК,<br>(садржи више од 50% зрна ситнијих од 2,0 mm)        | 0 - 5                 | Пијесак       | S                | SW   | -пијесак, добро сортиран  |
|   |   |                       |               |                  | SU   | -пијесак, униформан   |
|   |   |                       |               |                  | SP   | -пијесак, слабо сортиран  |
| 5 - 35  |   | Пијесак,<br>прашинаст | SF            | SF               | -пијесак, прашинаст,   |   |
|   |   |                       |               | SF <sub>c</sub>  | -пијесак, прашинасто-глиновит  |   |
|   |   | Пијесак,<br>глиновит  | SC            | SCL              | -пијесак, са глиновитом испуном, ниске(L) или високе пластичности(H) |   |
|   |   |                       | SCH           |                  |  |   |
| СИТНОЗРНА ТЛА<br>(садрже више од 50% зрна ситнијих од 0,075 mm) | ПРАШИНА И ГЛИНА   | 65 - 100              | Муљ           | O                | OL   | -муљ, ниске(L) и високе (H) пластичности, (праш. глиновито тло органског поријекла) |
|   |   |                       |               | муљев. тло       | OH   |   |
|   |   |                       | Прашина       | M                | ML   | -прашине, ниске (L) и високе (H) пластичности                                       |
|   |   |                       |               |                  | MH   | анорганског поријекла   |
|   |   |                       | Глина         | C                | CL   | -глине, ниске (L) и високе (H) пластичности   |
|   |   |                       |               |                  | CH   | анорганског поријекла   |
| Тресет  | Преовлађују састојци биљака који могу бити фиброзни или аморфни |                       | Pt            |                  |  |   |

Уколико се у току истраживања констатују дробине, тада се њихова класификација врши према критеријуму за шљункове с тим што се за дробине ставља ознака D (дебрис)

## 4.2. Опис својстава стијена

У фази инжењерскогеолошког картирања основни задатак је одређивање назива основне стијене и припадност одређеној категорији тла, пошто та информација пружа битне податке о минералолошком саставу и крупноћи зрна. Опис својстава стијена садржи сажет опис састава и инжењерскогеолошких својстава, као помоћни начин за одређивање основног назива за сваки литолошки хомогени тип стијене (LT, ET). Овдје се подразумева утврђивање слиједећих карактеристика, као што су: дескриптивне карактеристике (описне), физичка својства (боја, текстура, крупноћа зрна), физичко стање (испуцалост, релативна густина - запреминска тежина, конзистенција, степен распаднутости), механичка својства (чврстоћа, деформабилност), водопропусност и постојаност.

Дескриптивне карактеристике се детаљније обрађују у Тумачу, односе се на опис литогенетских својстава: главне таксонометријске јединице (ET, LT, LC, LS), основне картиране јединице и њихове литогенетске карактеристике, ознака (број) картиране јединице, симбол на карти (шрафура, боја итд.), дебљина картиране јединице, старост, стратиграфски симбол и генетска група.

## 4.3. Карактеристике стијена и тла

Карактеристике својстава стијена и тла одређују се за све категорије чврстих и меких стијена, крупнозрна невезана, шљунковита и пјесковита, као и ситнозрна невезана тла. Постоје три врсте карактеристика својстава стијена и тла:

- 1) **Класификационе карактеристике** служе за систематски опис и груписање стијена у различите класе као и за међусобну компарацију различитих типова стијена. Оне се уопштено процјењују код картирања и у прелиминарном стадијуму теренских истраживања, једноставним, а јефтиним методама.
- 2) **Индиректне карактеристике** подразумевају она физичка својства која се не користе код директних инжењерских класификација. Оне су појединачно корелативне са чврстоћом, деформабилношћу, или својствима пермеабилности и омогућавају утврђивање показатеља својстава за индиректно утврђивање физичког стања стијена и њиховог инжењерског понашања.
- 3) **Директне карактеристике** подразумевају процјену главних физичких својстава стијена (чврстоћа, деформабилност, пермеабилност) и служе директно за инжењерске прорачуне.

## 4.4. Инжењерскогеолошке карактеристике стијена и тла

Инжењерскогеолошке карактеристике стијена и тла одређују се на основу:

- класификационих карактеристика за главне литолошке (LT) и инжењерскогеолошке типове (ET),
- полуквантитативних и квантитативних вриједности индиректних и директних карактеристика

стијена, за стијене главних литолошких (LT) или инжењерскогеолошких типова (ET), и

- карактеристика стијенских маса и структура индивидуалних комплекса, за литолошке комплексе



(LC) "ин ситу".

**Квантитативни параметри** стијена укључују физичке карактеристике (запреминска тежина, порозност, степен засићења, пластичност), својства чврстоће (на притисак-монооксијална и триоксијална, чврстоћа на смицање), деформабилна својства (модули еластичности и деформација, Поасонов коефицијент), водопропусност и постојаност стијена. Код одређивања појединих квантитативних параметара укључују се и теренска испитивања за детерминацију показатеља физичко - механичких својстава појединачних хомогених типова стијена и тла. Овдје на примјер спадају: опити крилном сондом, пенетрациони опити, пресиометријска испитивања, као и различита испитивања "ин ситу" за одређивање водопропусности.

**Квантитативне карактеристике** стијена и тла могу се табеларно приказати на тзв. проширеној легенди која се углавном ради за пратеће карте (олеате) инжењерскогеолошких услова. На таквим картама све основне компоненте геолошке средине су приказане суперпозиционо. Осим подземних вода, рељефа и процеса, посебна пажња се поклања графичком приказивању (исцртавању) репрезентативних и општих карактеристика просторног размјештаја својстава и физичког стања издвојених јединица стијена (ET, LT, LC или LS-зависно од размјере карте). То је начин, да се чак без проширене легенде и посебних објашњења других картираних феномена највише простора посвети стијенама и тлу.

**Полуквантитативни параметри** служе за класификацију и процјену водећих феномена (појава) у класама које су лимитиране квантитативним вриједностима. Користе се када је потребно успоставити информације о својствима стијена на подесан начин, која иначе нити су могућа, потребна, нити прикладна да се изразе егзактним нумеричким вриједностима. Ове информације, мада не сасвим тачне и поуздане за почетна размишљања имају много већу вриједност од квалитативног описа појаве, феномена.

**Полуквантитативне карактеристике стијена** приказују се на картама помоћу граница које оконтурјују хомогена тијела или поља, за напр. дефинисани степен пластичности, конзистенције или релативне густине или такве карактеристике, као што су степен испуцалости или стање распаднутости. Квантитативна процјена може такође бити приказана или изражена линијама једнаке вриједности (изолинијама), преко картираних површина, иако је свака картирана јединица већ издијељена изолинијама у оквиру сажете полуквантитативне класификације. Оба типа карата су наравно примјери аналитичких карата.

Полуквантитативне и квантитативне вриједности појединих литолошких и инжењерскогеолошких типова приказују се преко директних и индиректних карактеристика стијена.

#### **4.5. Класификација карактеристика за потпуни опис хомогених врста стијена и типова тла**

Најважније класификационе карактеристике за опис стијена и тла ( Табела бр. 5 ) су укључене у систем композитног описа имена литолошких типова, а то су минералоски састав, текстура (крупноћа зрна), боја, стање распаднутости, степен испуцалости, релативна густина (запреминска тежина), конзистенција, чврстоћа, деформабилност, водопропусност и постојаност.

Табела 5. Одабране класификационе карактеристике за опис стијена и тла

| Карактеристике хомогених типова стијена (ЕТ, ЛТ) |                          | Чврсте и меке стијене |    |     | Невезана тла |    |     | Везана тла |    |     |
|--|--------------------------|-----------------------|----|-----|--------------|----|-----|------------|----|-----|
| Класификационе карактеристике                    | Назив карактеристика     | I                     | II | III | I            | II | III | I          | II | III |
|  | Минерални састав         | (К)                   | К  | С   | (К)          | К  | С   | (К)        | К  | С   |
|  | Текстура (крупноћа зрна) | С                     | С  | С   | С            | С  | С   | С          | С  | С   |
|  | Боја                     | К                     | К  | К   | К            | К  | К   | К          | К  | К   |
|  | Стање распаднутости      | К                     | С  | С   | -            | К  | С   | -          | К  | С   |
|  | Степен испуцалости       | К(С)                  | С  | С   | -            | -  | -   | -          | -  | -   |
|  | Релативна густина        | -                     | -  | -   | С            | С  | С   | -          | -  | -   |
|  | Конзистенција            | -                     | -  | -   | -            | -  | -   | С          | С  | С   |
|  | Чврстоћа                 | С                     | С  | С   | -            | -  | -   | -          | -  | -   |
|  | Деформабилност           | С                     | С  | С   | -            | -  | -   | С          | С  | С   |
|  | Водопропусност           | К                     | С  | С   | С            | С  | С   | К          | С  | С   |
| Постојаност                                      | -                        | -                     | -  | -   | -            | -  | -   | -          | -  |     |

Напомена:

1. Карте у табели подијелене су према размјери на: I- ситне, II- средње и III- крупне размјере.
2. Карактеристике стијена су означене са: S-полуквантитативни подаци; K-квалитативни подаци
3. Подаци у загради нису потребни за ту размјеру.

### Текстура

За класификацију текстурних елемената, најважнија је текстура (крупноћа зрна). Да би се ово коректно урадило, потребно је да се из постојећих класификација за различите групе стијена истакне један изразито реалан технички критеријум крупноће зрна који се може прихватити и адаптирати за све врсте стијена и тла.

Пошто крупноћа зрна неповољно делује на физичка својстава стијена то она мора бити садржана у самом називу стијена. За израду инжењерскогеолошких карата користе се слједеће класе крупноће зрна према табели 6:

Табела 6. Класе крупноће зрна

| Класа | Граничне вриједности (mm) | Назив            |
|-------|---------------------------|------------------|
| 1.    | > 60                      | врло крупна зрна |
| 2.    | 60 - 2,0                  | крупна зрна      |
| 3.    | 2,0 - 0,06                | средња зрна      |
| 4.    | 0,06 - 0.002              | ситна зрна       |
| 5.    | < 0.002                   | врло ситна зрна  |

Релативна крупноћа зрна може бити униформна, неуниформна, порфиритска итд.

Облик зрна се даје у општој форми описно за облик фрагмената и честица, чиме ће се индицирати степен заобљености ивица и њихова површинска текстура. Подјела је слједећа (табела 7):

Табела 7. Облик зрна

|            |                            |                     |
|------------|----------------------------|---------------------|
| <b>(а)</b> | <b>Заобљеност зрна</b>     | угласта             |
|            |                            | полуугласта         |
|            |                            | полузаобљена        |
|            |                            | заобљена            |
| <b>(б)</b> | <b>Облик зрна</b>          | једнодимензионална  |
|            |                            | пљосната            |
|            |                            | издужена            |
|            |                            | пљосната и издужена |
|            |                            | неправилног облика  |
| <b>(в)</b> | <b>Површинска текстура</b> | храпава (неравна)   |
|            |                            | глатка              |

Текстура за поједине генетске категорије стијена приказује се и стандардним петролошким ознакама на профилима изведених истражних радова и то:

- за седиментне стијене слојевитост може бити листаста, плочаста, танкослојевита, средњеслојевита, дебелослојевита, банковита и масивна,
- за магматске стијене лучење је плочасто, паралелопипедно, стубасто, кугласто и неправилно,
- за метаморфне стијене шкриљавост може бити листаста, шкриљава и масивна.

### **Боја стијена или тла**

Боја стијена или тла се одређује према терминима за утврђивање освијетљености, нијанси и боји. Према освијетљености боја је свијетла и тамна. Нијанса је љубичаста, црвенкаста, жућкаста, браонкаста, зеленкаста, плавкаста и сивкаста, а боја је љубичаста, црвена, жута, браон, зелена, плава, бијела, сива и црна (напр. тамно црвенкасто жута, тамно браон итд).

### **Степен распаднутости**

За израду инжењерскогеолошке карте користи се сљедећа класификација према категорији степена (стању) распаднутости стијена подијелена у 5 класа гдје је степен распаднутости изражен у процентима (табела бр. 8):

Табела 8. Категорија степена распаднутости стијена

| <b>Класа</b> | <b>Степен распаднутости (%)</b> | <b>Назив</b>        |
|--------------|---------------------------------|---------------------|
| 1            | 0 - 25                          | слабо распаднуто    |
| 2            | 25 - 50                         | умјерено распаднуто |
| 3            | 50 - 75                         | јако распаднуто     |
| 4            | 75 - 100                        | потпуно распаднуто  |
| 5            | 100                             | резидуално тло      |

### Степен испуцалости

Степен испуцалости за полуквантитативну класификацију дисконтинуитета чврстих и меканих стијена, је врло значајан фактор. Подјела на класе (Табела бр. 9) заснована је на статистичкој репрезентативној процјени величине блокова стијенске масе одређених на основу најмањих растојања пукотина.

Табела 9. Класификација растојања дисконтинуитета

| Класа | Растојање између пукотина (cm) | Назив                 | Степен испуцалости стијена |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1     | > 200                          | врло велико растојање | врло слабо испуцала        |
| 2     | 200 - 60                       | велико растојање      | слабо испуцала             |
| 3     | 60 - 20                        | средње растојање      | средње испуцала            |
| 4     | 20 - 6                         | мало растојање        | јако испуцала              |
| 5     | < 6                            | врло мало растојање   | врло јако испуцала         |

### Релативна збијеност невезаног тла

Релативна збијеност је дефинисана изразом:  $I_d = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}}$ , гдје су

$e_{\max}$ -коэффициенти порозности врло растреситог тла (лабораторијски опит),

$e_{\min}$ -коэффициенти порозности збијеног тла (лабораторијски опит) и

$e_n$ - коэффициент порозности на терену.

Одређивање релативне збијености пијескова и шљункова изражене у процентима подијељена је у 5 класа са називима како је приказано у табели бр. 10:

Табела 10. Релативна збијеност пијескова и шљункова

| Класа | Релативна збијеност (%) | Назив               |
|-------|-------------------------|---------------------|
| 1     | < 20                    | врло растресито     |
| 2     | 20 - 33                 | растресито          |
| 3     | 33 - 66                 | умјерено растресито |
| 4     | 66 - 90                 | збијено             |
| 5     | 90 - 100                | врло збијено        |

### Класификација везаног тла

На бази теренског теста, процјена конзистенције заснована је на једноставном мануелном опиту који може бити прихватљив за картирање, а може се користити и као апроксимативан индикатор чврстоће везаног тла.

Класификација везаног тла одређује се на терену у 5 класа према табели 11:

Табела 11. Класификација везаног тла

| Назив                 | Теренске индикације  | Апроксимативна чврстоћа на притисак (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--|--|
| Врло мека             | Ослобађа се вода између прстију када се стисне узорак у шаџи | < 20   |
| Мека                  | Лако се гнијечи под прстима                                  | 20 - 40  |
| Тврда                 | Може се гнијечити под прстима јаким притиском                | 40 - 75  |
| Крута                 | Не може се гнијечити   | 75 - 160   |
| Врло крута или чврста | Ломљив или врло жилав  | >150   |

Индекс конзистенције (I<sub>c</sub>) може бити одређен преко нумеричких вриједности природне влажности (ω), границе течења (ω<sub>L</sub>) и индекса пластичности (I<sub>p</sub>) а формула је  $I_c = \frac{\omega_L - \omega_p}{I_p}$ . Уколико се у току испитивања примјењује стандардни пенетрациони опит, тада се збијеност и конзистенција за пјесковите и глиновите материјале, одређују на основи броја удараца (N) прибора (према Terzaghi-у и Peck-у), са сљедећом подјелом (Табела бр. 12):

Табела 12. Одређивање збијености и конзистенције на основи резултата СПТ

| Пјесак  |              | Глина   |               |
|---------|--------------|---------|---------------|
| N       | Збијеност    | N       | Конзистенција |
| 4       | врло слабо   | 2       | врло мекана   |
| 4 - 10  | слабо        | 2 - 4   | мекана        |
| 10 - 30 | нормално     | 4 - 8   | нормална      |
| 30 - 50 | збијено      | 8 - 15  | крута         |
| 50      | врло збијено | 15 - 30 | врло крута    |
|         |              | 30      | тврда         |

### **Чврстоћа на притисак чврстих и меканих стијена**

Поуздан индикатор чврстоће стијена је добро изражен преко монооксијалне чврстоће у сувом стању са бочним ширењем. Тај индикатор користи се као основа за полуквантитативну класификацију стијена према чврстоћи.

Стијене са чврстоћом мањом од 1,5 МПа су као по правилу чврста тла и зато их треба посебно тестирати. Меке стијене имају чврстоћу < 50 МПа, а чврсте > 50 МПа.

Класификација стијена према чврстоћи на притисак чврстих и меканих стијена подијељена је у 5 класа како сљеди у табели 13:

Табела 13 - Класификација стијена према чврстоћи на притисак

| Класа | Чврстоћа (МПа)       | Назив            |
|-------|----------------------|------------------|
| 1     | 1,5* - 15            | Слаба            |
| 2     | 15 - 50 <sup>+</sup> | Умјерено чврста  |
| 3     | 50 - 120             | Чврста           |
| 4     | 120 - 230            | Врло чврста      |
| 5     | > 230                | Екстремно чврста |

\* стијене са чврстоћом мањом од 1,5 МПа су као по правилу чврста тла и зато их треба посебно тестирати.  
 + меке стијене имају чврстоћу < 50 МПа, а чврсте > 50 МПа.

### Деформабилност стијена

Деформабилност стијена приказује се на следећи начин:

- 1) Стијена је крта када се на дијаграму напон - деформација показује да се тачка лома приближава граници лома; резерве пластичности су врло мале;
- 2) Стијена је дуктилна (еластична) када је тачка лома удаљена од границе лома, резерва пластичности је велика;
- 3) Стијена показује понашање пластичног течења када долази до лаганог пластичног пузања - течења.
- 4) Деформабилност чврстих и меканих стијена може се разликовати на основу стандардних статичких модула деформација који се одређују лабораторијским испитивањима који су подијелени у пет класа (Табела бр. 14):

Табела 14 - Деформабилност чврстих и меканих стијена преко модула деформација (D)

| Класа | Модул деформација (МПа x 10 <sup>3</sup> ) | Назив                      |
|-------|--|----------------------------|
| 1     | < 5  | Врло висока деформабилност |
| 2     | 5 - 15                                     | Висока деформабилност      |
| 3     | 15 - 35                                    | Умјерена деформабилност    |
| 4     | 35 - 60                                    | Ниска деформабилност       |
| 5     | > 60                                       | Врло ниска деформабилност  |

- 5) Код описа издвојених картираних јединица дају се следеће категорије: крте, врло слабо деформабилне, дуктилне (еластичне), умјерено деформабилне, пластично пузање, врло јако деформабилне.
- 6) Деформабилност тла је изражена као полуквантитативан модул компресије такође у 5 класа, а према табели бр. 15:

Табела 15. Деформабилност тла изражена преко модула компресије

| Класа | Величина компресије (компресибилност) (МПа) | Назив                      |
|-------|---|----------------------------|
| 1     | < 5   | Врло велика деформабилност |
| 2     | 5 - 15                                      | Велика деформабилност      |
| 3     | 15 - 25                                     | Умјерена деформабилност    |
| 4     | 25 - 50                                     | Мала деформабилност        |
| 5     | 50  | Врло мала деформабилност   |

**Степен водопрпусности**

Степен водопрпусности (пермеабилности) стијена и тла даје се према вриједностима коефицијента филтрације  $K_f$ , односно водопрпусности мјерене на узорцима или квантитативном процјеном релативног физичког стања стијена "ин ситу" (порозност, микроиспуцалост, степен распаднутости). У хомогеним типовима тла, испитивање водопрпусности на узорцима, може бити у доброј сагласности са стањем у стијенском масиву, пошто тло није тако поремећено као стијенски масив и што су узети узорци довољно репрезентативни.

Полуквантитативна класификација за описно коришћење или приближно одређивање водопрпусности стијена и тла, подијељена у 6 класа приказана је у табели бр. 16.

Табела 16. Класе водопрпусности

| Класа | Водопрпусност; коефицијент филтрације (m/s) | Назив                     |
|-------|---|---------------------------|
| 1     | $< 10^{-2}$                                 | Врло висока водопрпусност |
| 2     | $10^{-2} - 10^{-4}$                         | Висока водопрпусност      |
| 3     | $10^{-4} - 10^{-5}$                         | Умјерена водопрпусност    |
| 4     | $10^{-5} - 10^{-7}$                         | Слаба водопрпусност       |
| 5     | $10^{-7} - 10^{-9*}$                        | Врло слаба водопрпусност  |
| 6     | $> 10^{-9*}$                                | Практично водонепропусно  |

Вриједности водопрпусности стијенских маса, одређене узлазним или силазним фронталним тестирањем и испитивањем помоћу пакера су најпоузданије у односу на оне које се добијају испитивањем директно на узорцима стијена.

**4.6. Квантитативна класификација стијена и тла**

Преглед одабраних индиректних и директних карактеристика најчешће коришћених за квантитативну процјену својстава стијена дат је у Табели 17. Ове карактеристике се приказују у полуквантитативном или нумеричком (квантитативном) облику у дијелу проширене легенде карте.

Својства су процијењена или на основу статистичких прорачуна извршених за довољан број хомогених типова стијена и тла.

Чврсте и мекане стијене, невезано пјесковито - шљунковита и везана тла класификовани су посебно.

Класификационе карактеристике за стијене дате су у Табели бр. 5.

Табела 17. Одабране индиректне и директне карактеристике стијена и тла

| Карактеристике хомогених типова стијена (ЕТ,LT) |                          | Чврсте и мекане стијене |     |     | Невезана тла |     |     | Везана тла |    |     |
|---|--------------------------|-------------------------|-----|-----|--------------|-----|-----|------------|----|-----|
| Назив карактеристика                            |                          | I                       | II  | III | I            | II  | III | I          | II | III |
| а) Индиректне карактеристике                    | Крупноћа зрна (фракција) | -                       | -   | -   | -            | (N) | N   | (N)        | N  | N   |
|   | Специфична тежина        | (N)                     | (N) | N   | -            | (N) | N   | -          | N  | N   |
|   | Запреминска тежина       | (SN)                    | N   | N   | (SN)         | N   | N   | (S<br>N)   | N  | N   |
|   | Порозност                | (SN)                    | N   | N   | (SN)         | N   | N   | SN         | N  | N   |
|   | Природна садржина воде   | -                       | (N) | N   | -            | -   | -   | -          | N  | N   |
|   | Степен водозасићења      | -                       | -   | -   | S            | N   | N   | -          | N  | N   |
|   | Граница пластичности     | -                       | -   | -   | -            | -   | -   | (N)        | N  | N   |
|   | Граница течења           | -                       | -   | -   | -            | -   | -   | (N)        | N  | N   |
|   | Индекс пластичности      | -                       | -   | -   | -            | -   | -   | SN         | N  | N   |
|   | Индекс конзистенције     | -                       | -   | -   | -            | -   | -   | S          | N  | N   |
|   | Брзина еластичних таласа | S <sub>2</sub> N        | N   | N   | -            | -   | -   | -          | -  | -   |
| б) Директне карактеристике                      | Чврстоћа на притисак     | N                       | N   | N   | -            | -   | -   | -          | N  | N   |
|   | Чврстоћа на затезање     | -                       | (N) | N   | -            | -   | -   | -          | -  | -   |
|   | Угао унутрашњег трења    | -                       | -   | (N) | -            | (N) | N   | -          | N  | N   |
|   | Кохезија                 | -                       | -   | (N) | -            | -   | -   | -          | N  | N   |
|   | Модул деформација        | N                       | N   | N   | -            | -   | -   | -          | -  | -   |
|   | Дин.модул еластичности   | N                       | N   | N-  | -            | -   | -   | -          | -  | -   |
|   | Поасонов коефицијент     | -                       | (N) | N   | -            | -   | -   | -          | -  | -   |
|   | Коефицијент водопропус.  | -                       | (N) | N   | -            | N   | N   | -          | N  | N   |

Напомена: Карте у табели подијелене су према размјери на: I- карте ситне, II- средње и III - крупне размере, 2. Карактеристике стијена се одређују преко: S-полуквантитативних података и N- нумеричких (квантитативних) података, 3. Подаци у загради нису обавезни за ту размјеру карте

Нумеричке вриједности директних карактеристика односе се на својства чврстоће, деформабилности и водопропусности стијена. Ове вриједности се могу користити за неке конкретне инжењерске прорачуне. Њихове полуквантитативне класе служе као класификациони параметри за прелиминарне намјене и циљеве и за груписање и компарацију различитих типова стијена, углавном код картирања.

Индиректне карактеристике нису директно значајне за инжењерске прорачуне (уз изузетак запреминске тежине), али су значајне за детаљније дефинисање физичких својстава, физичког стања и понашања стијена. Неке од ових карактеристика су потпуно корелативне са директним карактеристикама: чврстоћом, деформабилношћу и порозношћу стијена и обично се користе као "индекс" карактеристике за брзо одређивање типова стијена. Индиректне карактеристике дају се у сажетом тексту у виду табела, графикона, дијаграма. Од индиректних карактеристика поред наведених у табели број 17, одређују се: запреминска тежина, порозност, степен засићености и индекс пластичности.

#### 4.7. Квантитативне карактеристике стијенских масива и масива тла

Издвајање литолошких комплекса врши се према генетској припадности, структурно - текстурним својствима и најзаступљенијим литолошким типовима који битно одређују инжењерскогеолошка својства комплекса у цјелини. Уколико је у литолошком комплексу заступљено више литолошких типова тада се у ознаци комплекса издвајају највише три најзаступљенија литолошка типа. Остали литолошки чланови приказују се детаљније у тумачу ОИГК-100.



Квантитативне карактеристике појединих литолошких комплекса у цјелини или литолошких типова у природним условима, су много значајније, него карактеристике својстава стијена одређене на узетим узорцима. Упркос томе, методе за истраживање и класификовање стијенских масива су много мање разрађене и развијене него оне за стијене и тло, а често се те методе теже изводе под одређеним условима и врло су скупе.

## **5. НАЧИН ПРИКАЗИВАЊА ЛИТОЛОШКИХ ТИПОВА И ЛИТОЛОШКИХ КОМПЛЕКСА НА ОИГК-100**

### **5.1. Изучавање и приказивање литолошких типова магматских стијена**

Литолошки типови **магматских стијена** издвајају се на ОИГК-100 према генетској припадности, минералолошком саставу, физичким својствима, физичком стању, механичким својствима, водопрпусности и постојаности, а приказују се словним симболима и графичким ознакама са ознаком боје.

За магматске стијене које карактерише присуство неког одређеног минерала, симбол се означава комбиновањем општег симбола за фамилију стијена и симбола за минерал који се ставља иза њега.

На обојеним картама ознаке за литолошке типове пирокластита се исцртавају у боји која одговара њиховој старости. Петрографски карактер пирокластита се означава додавањем симбола за фамилију стијена иза симбола за пирокластит. На ОИГК-100 пирокластити се приказују словним симболима и графичким ознакама.

Метаморфне промјене у магматским стијенама и стијенама које се налазе у контакту са њима означавају се на ОИГК-100 шрафуром црвене боје исцртаном преко основне картиране јединице.

Литолошки типови магматских стијена приказују се грчким словним симболима и бојом, а на инжењерскогеолошким профилима одговарајућом шрафуром. Уколико се картирањем утврде зоне повећане испуцалости, унутар истог литолошког члана тада се поред словне ознаке за врсту литолошког типа, посебно издваја инжењерскогеолошки тип означавањем у индексу категорије испуцалости. На исти начин се за исти литолошки тип, издваја инжењерскогеолошки тип према степену распаднутости. Уколико стијене нису захваћене овим процесима тада се литолошки тип приказује само бојом и словном ознаком, што уједно значи да је стијена монолитна, свјежа и компактна.

Уколико су магматске стијене толико измијењене да у саставу преовлађују секундарни минерали, на ОИГК-100 и профилима ова се подручја шрафирају у црвеној боји мрежасто распоређеним линијама под правим углом, дебљине 0,5 mm, на међусобном растојању 3,5 mm.

### **5.2. Изучавање и приказивање литолошких типова и комплекса седиментних стијена**

Литолошких типови и комплекси седиментних стијена подијељени су у више литолошких група са различитим бојама на карти и профилима.

Поједини литолошки типови седиментних стијена на ОИГК-100, стубовима и профилима приказују се великим словним симболима и бојом за одговарајућу литолошку групу.

Уколико су на Основној геолошкој карти 1:100.000, посебно издвојени главни типови кречњака тада се за њихово приказивање користе ознаке за типове кречњака.

Код литолошких комплекса, када се поједини литолошки типови јављају у виду алтернирајућих секвенци, означавају се према редослиједу заступљености у одређеном литолошком комплексу. Литолошки комплекси се издвајају и приказују тако, што ће основне особине издвојеног литолошког комплекса задржати стијенска маса која битно утиче и одређује инжењерскогеолошка својства комплекса у квалитативном и квантитативном смислу. Тако ће, најзаступљенији литолошки тип у комплексу, на карти бити приказан словним симболом односно бојом припадајућег литолошког типа док ће сљедећи литолошки типови бити приказани само словним симболом, највише до три члана, док се остали литолошки чланови детаљније обрађују у текстуалном дијелу Тумача.

У оквиру литолошког комплекса дијабаз - рожне формације, уколико је то могуће, (због размјере карте) посебно се издвајају инжењерскогеолошки значајнији литолошки типови или дијелови комплекса карактеристични за поједине терене.

### 5.3. Изучавање и приказивање квартарног покривача

За изучавање и приказивање квартарног покривача при изради ОИГК-100 разврставање квартарних наслага врши се према генетском поријеклу, материјалном саставу и евентуално дебљини.

Према *генетском поријеклу* на ОИГК-100, у легенди и профилима, ознаке квартарних фазија, означавају се симболима и бојом. Боје за означавање појединих парагенетских низова, на обојеним ОИГК-100 имају свјетлији тон од боје којом се означава старост седиментних стијена. Генетске категорије квартарних покривача приказују се на ОИГК-100 малим словима и одговарајућом бојом. Комбинације појединих генетских низова приказују се као комплекси (напр. делувилално - пролувилални нанос (d - pr) или пролувилално - алувилални нанос (pr - al).

*Материјални састав* појединих генетских низова ставља се последице назива одређене генетске групе као десни индекс уз симбол одређеног генетског типа. У току теренских радова, или картирања, врши се идентификацију тла до нивоа основних група тла према табели 4. Дефинитивна припадност одређеној подгрупи тла утврђује се након завршених лабораторијских опита у складу са USC класификацијом тла. Код израде завршне верзије инжењерскогеолошке карте, разврставање издвојених литолошких чланова унутар појединих генетских типова квартарних фазија, уколико нису вршена лабораторијска испитивања, треба да се изврши до нивоа подгрупа тла, приказано у Табели 4. На ОИГК-100 елувилалне и делувилалне насlage издвајају се као посебни литолошки комплекси и типови, уколико су дебљине веће од 2,0 m и континуираног распрострањења преко 0,10 km<sup>2</sup>. Уколико је дебљина ових покривача мања од 2,0 m, а има континуирано распрострањење у терену и посебан инжењерскогеолошки значај, у погледу услова стабилности, еродибилности, или услова изградње, онда се испод површинског покривача, означеног одговарајућом бојом, приказује и основна стијена у подлози, вертикалном шрафуром у боји предвиђеној за ту основну стијену. Инжењерскогеолошка јединица се означава симболима тако што се ознака основне стијене у подлози приказује у имениоцу, а ознака квартарног покривача у бројиоцу, додатком ознаке за материјални састав у десном индексу (напр. dl<sub>pg</sub>/GL- ако је глинац прекривен делувилалним пјесковитим глинама).

На ОИГК-100 се приказују подаци о грађи терена по *дубини* уколико за то постоје поуздани подаци из претходних истраживања или подаци добијени у току

израде ОИГК-100. Уколико за поједине генетске типове квартарних фазија постоје подаци о дебљини тада се у оквиру издвојене јединице поред словне ознаке за генезу уносе и подаци о дебљини у загради.

#### 5.4. Изучавање и приказивање литолошких типова метаморфних стијена

Изучавање и приказивање литолошких типова метаморфних стијена подијељено је у више основних група са различитим бојама на карти и профилима.

Аутометаморфне стијене приказују се у маслинасто зеленој боји. Контактна метаморфне стијене су свијетло маслинасто зелене боје. Шкриљаве стијене – ниског степена кристалинитета приказују се на карти и профилима свијетлозеленом бојом. Шкриљаве стијене-високог степена кристалинитета су зелене са ознаком боје. Масивне карбонатне стијене су тамнозелене, а масивне силикатно-карбонатне стијене су тамнољубичасте боје.

Називи појединих литолошких типова шкриљаца дају се на основи процентуалне заступљености појединих минерала, додавањем ознаке за два најзаступљенија минерала са десне стране уз ознаку за шкриљац (нпр. Sqm - кварц мусковитски шкриљац). Ознаке минерала које се стављају уз ознаку за врсту стијене су сљедеће: албит-ab, амфибол-am, анортит-an, аугит-au, биотит-b, дијалаг-dl, доломит-do, епидот-ep, хлорит-co, кварц-q, калцит-ca, микроклин-mi, мусковит-m, оливин-ol, пироксен-ru, плагиоклас-p, серицит-se и серпентин-s.

Границе између појединих литолошких типова и комплекса на ОИГК-100 приказују се према стандардима за израду Основне геолошке карте.

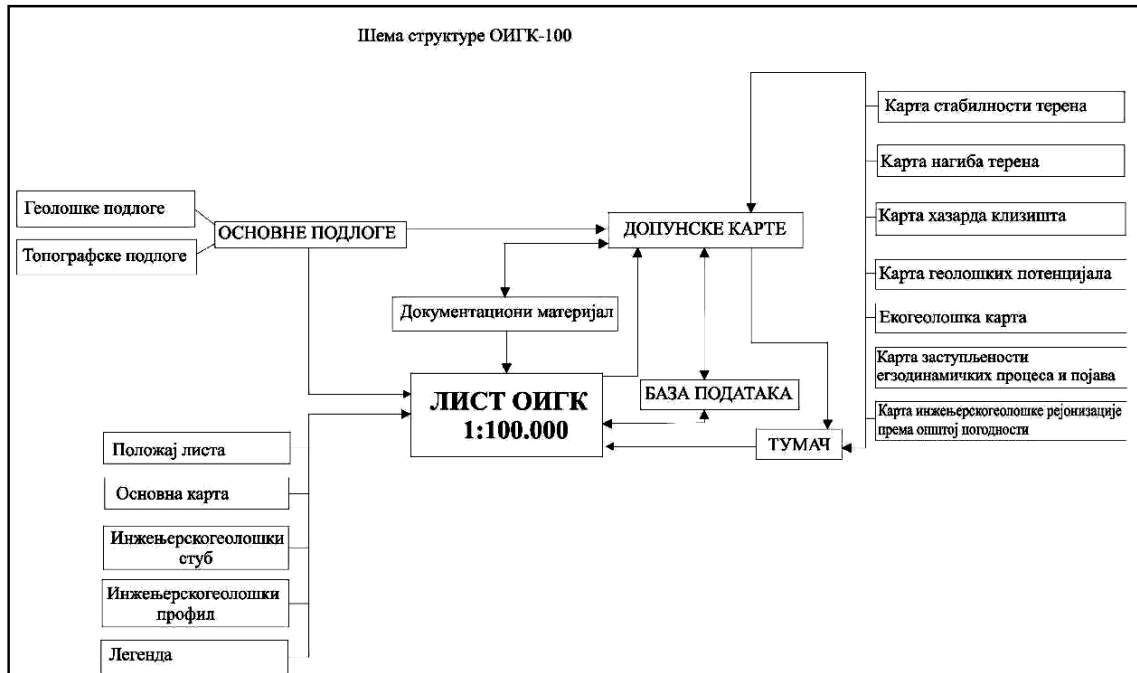
У Упутству су такође обрађена изучавања и приказивања на карти: структурно-тектонски односи, структурни и геоморфолошки елементи, хидролошке појаве, хидрогеолошке појаве и објекти, егзодинамичке и техногене појаве, мелиорациони и санациони објекти, антропоморфолошке појаве и објекти, техногени процеси и појаве, потенцијалност литолошких типова и комплекса за коришћење геолошког грађевинског материјала, инжењерскогеолошка рејонизација терена, категоризација терена према степену скаршћености и степену стабилности.

## 6. САДРЖАЈ И ОПРЕМА ОСНОВНЕ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРТЕ

Један лист ОИГК-100 (слика 1) састоји се од:

- 1) **Основне карте** у размјери 1 : 100.000, која садржи све елементе који дефинишу основне инжењерскогеолошке одлике терена, са легендом, инжењерскогеолошким профилима и геохронолошким приказом (стубом) инжењерскогеолошких јединица.
- 2) **Допунске карте** у размјери 1 : 100.000, различитих садржаја и намјена,
- 3) **Тумача ОИГК-100**, односно текстуалног приказа инжењерскогеолошких карактеристика и услова терена, са потребним графичким и табеларним прилозима
- 4) **Документационог материјала**, са приказом пројектованих и изведених истраживања за потребе израде ОИГК-100 и синтезним приказом резултата тих истраживања.

5) Банке инжењерскогеолошких података (дио инжењерскогеолошког информационог система у дигиталном облику).

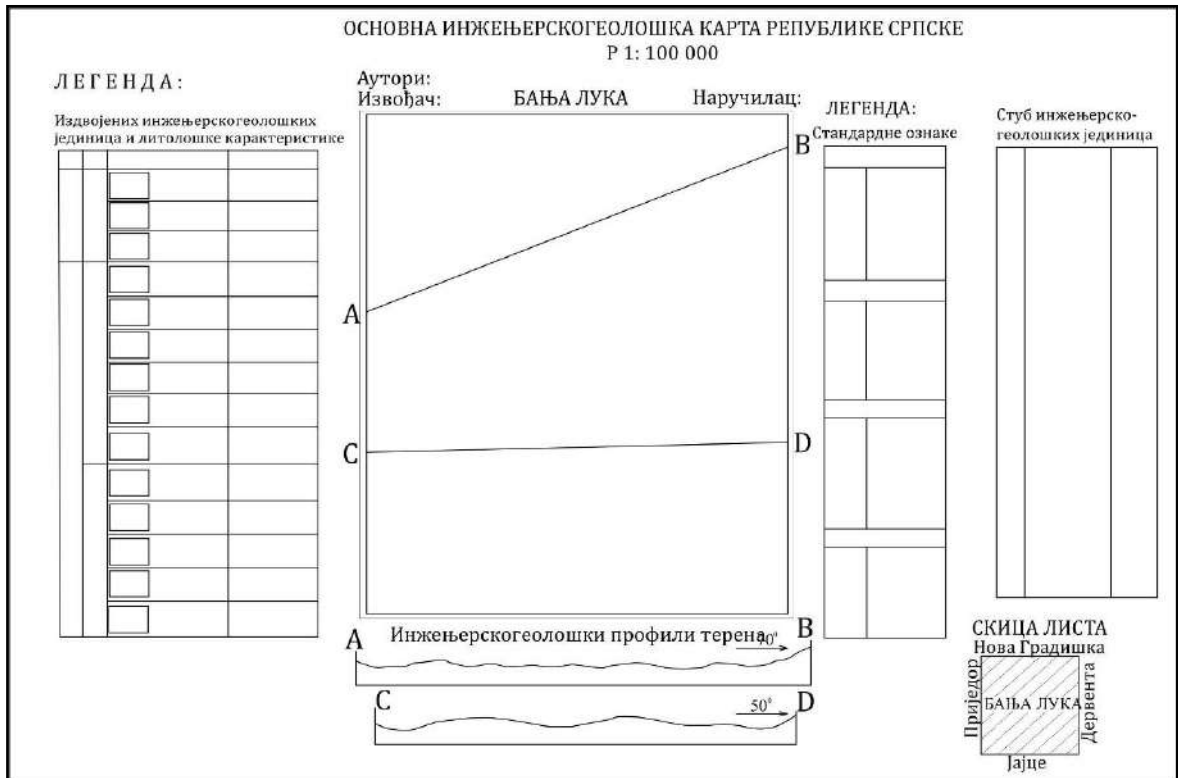


Слика 1. Шема структуре ОИГК-100

**Основна карта** ради се у финалном облику, у размјери 1:100.000 и оригиналним манускриптним картама у размјери 1:25.000, а садрже слиједеће податке, означене одговарајућим ознакама и симболима:

- литолошке типове и комплексе издвојене и приказане према усвојеној инжењерскогеолошкој класификацији стијена,
- податке о структурним и тектонским одликама стијенских маса и терена,
- податке о геоморфолошким облицима и појавама и рејонизацији према генетски различитим облицима рељефа,
- податке о хидрогеолошким својствима терена,
- податке о заступљености, распрострањености и активности савремених егзодинамичких процеса и појава,
- податке о техногеној активности и степену угрожености животне средине,
- податке о појавама и лежиштима геолошких грађевинских материјала и минералних сировина,
- основне податке о сеизмичким и сеизмогеолошким карактеристикама терена, и
- основне податке са основне геолошке и основне хидрогеолошке карте који утичу на формирање и даљи развој инжењерскогеолошких услова терена.

Графички дио ОИГК-100, састоји се од једног листа размјере 1 : 100.000, са распоредом приказаним у слици 2.



Слика 2. Шема листа ОИГК-100

**Допунске карте** односно допунске олеате („layer“) су саставни дијелови ОИГК-100 и задржавају се у дигиталној графичкој форми.

**Тумач ОИГК-100** представља текстуални приказ инжењерскогеолошких својстава терена за одређени лист 1 : 100.000. Текст тумача садржи прегледне карте, дијаграме и табеле у којима се анализирају и синтетно приказују подаци о физичко - механичким и инжењерскогеолошким својствима стијенских маса и терена. Поред тога текстуални дио се илуструје локалним карактеристичним профилима терена, инжењерскогеолошким стубовима, фотографијама и скицама.

Као прилози у тумачу раде се слједеће прегледне карте: прегледна карта географског положаја листа, прегледна геолошка карта са легендом, прегледна тектонска карта, прегледна хидрогеолошка карта, прегледна карта заступљености егзодинамичких појава и процеса, прегледна карта стабилности терена, прегледна карта угрожености животне средине (екогеолошка карта), прегледна карта геолошких потенцијала - геолошких грађевинских материјала и минералних сировина.

**Документациони материјал** ОИГК-100 представљају документи и подаци пројектованих и изведених истраживања у изворном облику, који су били потребни за израду ОИГК-100, а то су слиједећи материјали:

- 1) пројекат за израду ОИГК-100;
- 2) анекси пројекта (фазни, годишњи програми);
- 3) коначни (годишњи) извјештаји;
- 4) теренски дневници у току израде карте (у изворном облику);
- 5) резултати теренских и лабораторијских истраживања и испитивања, систематизовани по фазама и врстама истраживања са прегледном картом изведених истражних радова чије су локације назначене на оригиналима ОИГК-100 размјере 1 : 25.000 и карти 1 : 100.000, нумерисање докумената који се односе на поједина истраживања, врши се обиљежавањем предметне фазе истраживања и године у којој су радови изведени (нпр. документација истражног бушења, II фаза, 2008/09), остали истражни радови, опити пенетрације, истражне јаме и др. обиљежавају се на исти начин;
- 6) катастар егзодинамичких процесних појава, односно базу података, при чему свака од појава мора имати регистарски број и ознаку на карти 1 : 25.000 и на листу ОИГК-100;
- 7) регистар постојећих активних, напуштених и потенцијалних локација природних грађевинских материјала и сировина врши се на исти начин као и код егзодинамичких процеса, при чему свака од појава мора имати регистарски број и ознаку на карти 1 : 25.000 и на листу ОИГК-100 размјере 1 : 100.000;
- 8) документациона карта размјере 1 : 25.000 и 1 : 100.000 на којој су нанијете локације свих раније изведених истражних радова који су коришћени при изради ОИГК-100 и свих новоизведених истражних радова, прописно означени у складу са успостављеним регистром документационог материјала, односно базом података.

**Банка инжењерскогеолошких података (БИП)** - основа за БИП чини формирање базе података и конверзија расположивих подлога у дигиталној форми (графички и алфанумерички). Пројектовање БИП заснива се на традиционалном моделу „објекти и везе”. Сви подаци основне карте и допунских карата садржани су у заједничкој бази података.

Приликом формирања базе података, пројектује се “информациони систем” или прихвата модел базе већ израђених карата. У бази се складиште и организују сви релевантни подаци који се сортирају по одређеним критеријумима. Овакав систем обезбеђује везу карте са базом података. Примјена овог концепта оријентисана је по слојевима где сваки слој садржи одговарајућу графичку подлогу повезану са базом података.

БИП се израђује на бази Relational Database Management Systems (RDBMS) а која се најчешће израђује у Microsoft Access, Oracle или Microsoft SQL сервери. ОИГК-100 садржи:

- 1) Рељеф терена (изохипсе, коте и географски назив)
- 2) Насељена мјеста (градови, села)
- 3) Комуникације (путеви, пруге, аеродроми)
- 4) Хидрологија (дренажна мрежа, бране, језера - акумулације, сливно подручје, канали)
- 5) Геоморфологија (површински и подземни геоморфолошки облици)
- 6) Инжењерска геологија (инжењерскогеолошка класификација, структурно-тектонски елементи, стратиграфска припадност)
- 7) Хидрогеологија (хидрогеолошке појаве и изворишта, пишчевине, копани бунари)
- 8) Техногени утицаји (рударски радови, грађевински радови, одлагалишта, депоније)
- 9) Егзодинамички процеси (клизишта, одрони, спирање и линијска ерозија, абразиони процеси)

- 10) Лежишта геолошких грађевинских материјала (камен, шљунак, пијесак, глина, цементни лапорац, позајмиште дробинског материјала)
- 11) Сеизмичке и сеизмолошке карактеристике терена (сеизмотектонска рејонизација, основни степен сеизмичности).

## 6. ПРИХВАТАЊЕ, ШТАМПАЊЕ И АРХИВИРАЊЕ ОИГК-100

Након завршетка израде листа основне карте ОИГК-100, допунских карата и Тумача, цио материјал се у штампаној радној верзији и у дигиталној форми предаје наручиоцу посла. Материјал се даље прослеђује Комисији за ревизију ОИГК-100 коју чине еминентни стручњаци у области инжењерске геологије, у складу са Законом о геолошким истраживањима Републике Српске.

Штампа се само основни лист карте у размјери 1:100.000 и Тумач. Све остале компоненте листа ОИГК-100 чувају се у дигиталној форми и штампају према потреби са одабраним садржајима, о чему одлуку доноси ресорно Министарство.

Координација израде, финансирање, штампање, администација (организација коришћења) ОИГК-100 је у надлежности ресорног Министарства.

Непосредну израду свих листова ОИГК-100, врши Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске.

Након завршетка израде, ревизије и штампе сваког листа ОИГК-100, комплетна документација се архивира и чува у Републичком заводу за геолошка истраживања Републике Српске.

Начин коришћења и доступност публикованог листа основне карте и тумача и осталих, непубликованих сегмената ОИГК-100 (допунске карте) уређује се посебним прописом надлежног Министарства (Правилник о успостављању геолошког информационог система Републике Српске).

## 7. ЗАКЉУЧАК

Основна инжењерскогеолошка истраживања на простору Републике Српске су готово потпуно занемарена у посљедњих двадесет година, а потреба за проучавањем инжењерскогеолошких својстава стијенских маса и тла, те процеса који на њих утичу од непроцењиве су важности како при просторном планирању и пројектовању у бројним струкама, тако и при рјешавању практичних проблема у рударству, грађевинарству, хидро и електро-енергетској индустрији, водопривреди, итд.

Израдом Упутства за израду Основне инжењерскогеолошке карте Републике Српске 1:100.000, односно његовим усвајањем у складу са Законом о геолошким истраживањима, стиче се један од битних предуслова за њену реализацији.

Упутство, чија је скарећена верзија презенована у овом раду, је прилагођено савременим трендовима у свијету и омогућава израду дигитализоване инжењерскогеолошке карте и обраду података у геолошком информационом систему, односно у складу је са препорукама Интернационалне асоцијације за инжењерску геологију и животну средину и међународним стандардима и упутствима за израду инжењерскогеолошке карте.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Савезни завод за стандардизацију: “Геолошке ознаке и симболи“, Југословенски стандард, ЈУС Б.А4.070.2001.
2. UNESCO/ IAEG - 1976: “Engineering geological maps” - A guide to their preparation, The Unesco press, Paris, 1976.
3. UNESCO/IAEG - 1979: “Classification of the rock and soil for engineering geological mapping”, part 1: Rock and soil materials, Report of the Commission of Engineering Geological Mapping of the International Association of Engineering geology, Krefeld, 1979.
4. Савезни геолошки завод: “Упутство за израду Основне инжењерскогеолошке карте СФРЈ, 1 : 100.000”, Београд, 1984.
5. Савезни геолошки завод: “Упутство за израду Основне инжењерскогеолошке карте СФРЈ, 1 : 100.000”, Београд 1988.
6. Савезни геолошки завод: “Преглед боја, растера и ознака за Основну инжењерскогеолошку карту Југославије, 1 : 100.000”, Београд, 1989.
7. Савезно министарство за привреду: “Нацрт правилника за израду основне инжењерскогеолошке карте СР Југославије 1 : 100.000”, Београд, 1998.



Inženjerskogeološke i geomehaničke karakteristike terena  
i uslovi izgradnje vjetroparka 36 MW na lokaciji Jelovača – Tomislavgrad

Engineering geological and geomechanical properties of the terrain  
and conditions for building 36 MW wind farm at the location  
JELOVAC - Tomislavgrad

*Dr. sci. Miralem Mulać, dipl.inž.geologije*  
Novo Naselje 53 , Tuzla  
Zavod za urbanizam Tuzla  
061 737 334

*Dr.sci. Amra Hamzabegović, dipl.inž.geologije*  
Gandijeva 11, Sarajevo  
Zemaljski muzej BiH, Sarajevo  
061 106 415

*Dr. sci. Milan Stević, dipl.inž. rudarstva*  
Mehmedalije Maka Dizdara, Stupine B-1, Tuzla  
Earth Tuzla  
061 280 099

**ABSTRACT**

**Keywords:** wind farm, air conditioning, electric power, wind power and geomechanical laboratory tests.

Due to the increasing demand for electric energy and in accordance with global technologies, the construction of wind farms is being used more frequently. This way, the decrease of harmful emissions in nature is achieved and therefore the protection of the environment.

It was decided that a wind park Jelovača on the site Tomislavgrad should be built, which has a very favorable climate patterns caused by the influence of the Mediterranean, continental and mountain climate. Tomislavgrad - a city located in the southern part of Bosnia, is a geographical link between Bosnia, Herzegovina and Dalmatia. Additionally, Tomislavgrad is a very windy area with continental northern and maritime climate.

This project provides the production of 36 MW and predicts two phases: Phase I and 12 MW and Phase II which provides up to 24 MW.

For the needs of building a wind farm Jelovača, the following tests were performed: field work, engineering-geological record on the field with the development of IG maps, geomechanical laboratory tests, measurement of a load allowed and deflection and overall assessment of stability and suitability of the location.

**Conclusion**

Based on the results of the engineering-geological and geomechanical tests it can be concluded that the entire area of the wind farm represents a stable terrain constructed from layered Cretaceous limestone which is very suitable for the planned construction of 18 wind turbine project.

## 1.0. Uvod

U današnjem modernom svijetu energija iz obnovljivih izvora zauzima posebno mjesto, jer donosi obećanje o ostvarivosti ciljeva razvoja.

Vjetropark Jelovača – Tomislavgrad 36 MW, namjenjena je za proizvodnju električne energije iz obnovljivog izvora energije – vjetra, odnosno prostor na kojem se putem vjetrenjača, snaga vjetra i njegova kinetička energija uz pomoć odgovarajućih turbina pretvara u električnu energiju.

Izgradnja navedenog vjetroparka od 36 MW, obuhvata izgradnju ukupno 18 proizvodnih jedinica – vjetroatregata, nazivne jedinične snage od 2,0 MW, s pristupnim putevima, manipulativnim platoima za montažu vjetroatregata i podzemnom internom srednjonaponskom 20 kV i DTK mrežom do trafostanice TS 20/110 kV s priključkom na dalekovod Tomislavgrad – TS Rama, koja je takođe sastavni dio ovog vjetroparka. Investitor namjerava provesti realizaciju vjetroparka u dvije faze. U I fazi izgradnje predviđeno je da se izvede: glavni pristupni put od mjesta priključka na postojeći lokalni put kod trafostanice TS 20/110 kV, do svih vjetroatregata u dužini od cca 12.300 m, i svi manipulativni platoi za montažu vjetroatregata, vjetroatregati V1, V2, V3, V4, V5 i V6, servisnu zgradu za smještaj priručnog alata i rezervnih dijelova, srednjonaponski 20 kV i DTK kabeli uz rub pristupnog puta od trafostanice TS 20/110 kV do vjetroatregata koji će se izvoditi u prvoj fazi trafostanice TS 20/110 kV. U II fazi realizacije vjetroparka izvest će se vjetroatregati V7, V8, V9, V19, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17 i V18, srednjenaponski 20 kV i DTK kabeli uz rub pristupnog puta od vjetroatregata V4 do vjetroatregata predviđenih da se izvedu u drugoj fazi.

Geoprojekt d.o.o. iz Tuzle je uradio geotehnički elaborat o inženjersko-geološkim i geomehaničkim ispitivanjima terena koja su poslužila kao podloga za izradu detaljnije projektne dokumentacije i izgradnju vjetroparka Jelovača u Tomislavgradu.

Za potrebe izrade projektne dokumentacije, kao i za utvrđenje uslova temeljenja svih vjetroatregata kao i navedene prateće infrastrukture zahtjevano je prethodno provođenje detaljnih inženjersko-geoloških i geomehaničkih istraživanja koja su se ogledala u inženjersko-geološkom kartiranju terena kompletnog područja vjetroparka, kao i bušenje geomehaničkih bušotina mašinskom garniturom na mjestu temeljenja i postavljanja svih predviđenih vjetroatregata, kao i drugih pratećih geomehaničkih istraživanja, analiza i proračuna.

Na osnovu provedenih inženjersko-geoloških i geomehaničkih istraživanja urađena je inženjersko-geološka karta kompletnog područja koje obuhvata navedeni vjetropark pristupni put, servisni put, platoi za postavljanje vjetroatregata, lokacija za izgradnju servisnog objekta i lokacija za izgradnju trafostanice), te su definisane sredine temeljenja vjetroatregata i uslovi izgradnje i uređenja prostora u kompleksu vjetroparka.

## 2.0. Terenski rad

Terenski rad obuhvatio je izradu 18 istražno-geomehaničkih bušotina mašinskom garniturom prosječne dubine od 8,0 do 11,0 m od nivoa radnog platoa, a takođe je izvršeno i detaljno inženjersko-geološko kartiranje terena kompletnog kompleksa vjetroparaka ( sl. 2. ) kao i izrada inženjersko-geoloških karata pojedinačnih lokacija ( sl. 11. ), a sve u cilju definisanje egzaktnih uslova temeljnja vjetroatregata i partećih objekata.

### 2.1. Inženjersko geološka istraživanja

Vjetropark Jelovača –Tomislavgrad lociran je na planinskom predjelu Jelovače i Ošljara na istoku od Eminova Sela do granice sa Općinom Livno na sjeverozapadu i zapadu. Vjetroatregati se postavljaju na visini od 1.436 m.n.v. do 1.520 m.n.v.



**Slika 1.** Pogled na planinski predio Jelovače ( Tomislavgrad )  
na kojoj je planirana izgradnja vjetroparka od 36 MW

Inženjersko-geološka građa terena planiranog vjetroparka, odnosno planinski predjeli Ošljara i Jelovače je veoma jednostavna. Taj dio terena odlikuje se uniformnom litološkom građom sačinjenom od krečnjačkih tvorevina sa izraženim procesom karstifikacije. Zemljani i vegetativni pokrivač je veoma oskudan.

Detaljnim inženjersko-geološkim kartiranjem izdvojene su 4 inženjersko-geološke jedinice od kojih dvije pripadaju geološkom substratu ( u legendi IG-karte označene I i II ) i dvije jedinice koje pripadaju skupini pokrivača: potočni nanos (pn ) i eluvijum ( e ).

Na samom početku glavnog pristupnog puta, odnosno na terenu gdje se glavni pristupni put spaja sa lokalnom mrežom puteva u Eminovom polju, koji je zaravnjeni dio, kao geološki substrat izdvajaju se miocenske tvorevine (laporac, pješčar i konglomerat) i dio potočnog nanosa povremenog vodotoka. Navedene geološko-inženjerske jedinice zahvataju mali dio, odnosno početni dio glavnog pristupnog puta, koji je dužine oko 70 m u ravničarskom dijelu terena, tako da navedene inženjersko-geološke jedinice nemaju nekog značajnijeg uticaja.

Veći dio terena, kompleksa vjetropark, izgrađen je od dvije inženjersko-geološke jedinice:

- ❖ substrata-krečnjaka ( inženjersko-geološki simbol - I ), koji predstavlja osnovnu stijenu-podlogu i
- ❖ pokrivača-eluvijuma (e).

#### *Krečnjaci ( I )*

Geološki substrat - krečnjaci, predstavljaju osnovnu podlogu na terenu predviđenom za izgradnju vjetroparka Jelovača-Tomislavgrad. U stratigrafskom smislu predstavljaju gornjokredne krečnjake (turon-senonske naslage  $K^{2,3}_2$ ). U gornjim horizontima, gdje su ovi kredni krečnjaci izloženi uticajima atmosferilija, dosta su ispucali, te u zonama veće ispucalosti oko zidova pukotina poprimaju žuto-smeđu boju. Svežije partije, u donjim slojevima ovih krednih krečnjaka imaju sivo-bijelu boju. Tekstura krečnjaka je slojevita do bankovita. Slojevi su debljine 20–40 cm, orijentisani su prema istoku sa nagibom 30-38°. U pojedinim, manjim ograničenim i plitkim zonama pojavljuju se varijeteti krečnjaka - kalkarenit koji je žuto-smeđe boje. Kako su kredni krečnjaci podložni procesu karstifikacije, kroz bližu geološku prošlost formirani su različiti kraški erozioni oblici, te na širokim uzvišenjima-planinskim platoima došlo je do formiranja vrtača (sl. 4.) različitih oblika i dubina i kraških prodolina nastalih spajanjem više vrtača. Navedeni kraški oblici nalaze se uglavnom na širokim uzvišenjima – planinskim platoima, odnosno u zoni postavljanja vjetroagregata. Kod ovih krečnjaka jako je izražena ispucalost tako da su u gornjim horizontima zdrobljeni i izdjeljeni u blokove raznih dimenzija.





**Slika 3.** Sivo bijeli slojeviti krečnjaci sa prslinama i pukotinama koje su upravne i paralelene na slojevitost



**Slika 4.** Vrtače različitih veličina i oblika u zoni izgradnje vjetroagregata

Sa geološkog aspekta kompletno područje predstavlja izdanačku zonu krečnjaka, koji je samo u pojedinim dijelovima prekriven tankim eluvijalnim pokrivačem.. Na više izdanaka primjećeno je da se unutar slojevitosti krečnjaka izdvajaju pukotine paralelno slojevima, tako da se u pojedinim zonama u fazi raspadanja krečnjaka izdvajaju pločasti blokovi (sl. 3). U hidrogeološkom pogledu ove stijene predstavljaju hidrogeološke kolektore koji omogućavaju brzo infiltriranje atmosferskih padavina u podzemlje. Geotehnički, ovakvi krečnjaci generalno grade stabilne terene, predstavljajući dobru podlogu za gradnju svih vrsta građevina. Ispod tankog pokrivača nalazi se ispucali dio krečnjaka sa dobrim geotehničkim karakteristikama. Prilikom kartiranja jezgra bušotina nisu registrovane kaverne i veće otvorene pukotine što je povoljna činjenica sa aspekta temeljenja vjetroagregata. Prema GN-200 krečnjaci su svrstani u VI kategoriju, dok svježiji i manje ispucali su svrstani u VII kategoriju.

*Pokrivači*

Na krečnjacima koji zauzimaju veliku površinu, nije se formirao deblji glinoviti pokrivač zbog njihovih dobrih fizičko-mehaničkih karakteristika. Tanji pokrivač koji se nalazi na njima, u genetskom smislu svrstava se u eluvijalni ( e ) tip pokrivača.

Zbog intenzivnog procesa karstifikacije na istraživanom prostoru i zastupljenosti vrtača i kraških prodolina formirani su posebni glinovito – kameniti pokrivači sa tanjim humusnim slojem (sl. 5 ). Debljina pokrivača je različita i kreće se od 0,1- 0,3 m pa do maksimalne debljine koja je registrovana u vrtačama i drugim mikro reljefnim oblicima do 2,2 m.



**Slika 5.** Glinovito - kameniti pokrivač u zoni vrtače, koji nisu povoljni za temeljenje vjetroagregata

Pri velikim padavinama pojedine vrtače se ispunjavaju vodom, te se na predmetnom lokalitetu stvaraju manje akumulacije vode. Takvo zadržavanje akumulirane vode nam ukazuje da u tim vrtačama preovladava sloj glinovite frakcije. Na inženjersko-geološkoj karti izdvojene su zone sa nešto debljim eluvijalnim pokrivačem (do 2,20 m), dok na ostalom području nalazi se tanji pokrivač (10-30 cm) koji nije kontinuirano raspoređen zbog haotično raspoređenog velikog broja krečnjačkih stijena. Tanji eluvijalni pokrivač raspoređen je na većoj površini terena te je i vegetacija oskudna. Vegetacija na ovim krečnjacima nalazi se u različitim stadijumima razvoja, tako da se na usitnjenom kamenitom podlozi, koja je nastala u procesu erozije i uticaja klimatskih faktora, u prvoj fazi formiraju lišajevi, zatim mahovina ( sl.6 ), nakon čijeg truljenja se formira nešto deblji humusni proslojak. Pri daljoj evoluciji doći će do razvoja trave koja će uticati na povećanje debljine humusnog sloja (sl. 7.). U pojedinim vrtačama gdje je deblji glinovito-kameniti pokrivač i zastupljeno duže zadržavanje vode i vlage nakon padavina formirano je nisko grmlje i slabo razvijeno drveće ( rijetka pojava ).



**Slika 6.** Lišajevi i slabo razvijeni travnati pokrivač preko tankog dijela pokrivača



**Slika 7.** Razvijena travnata vegetacija u zoni nešto debljeg eluvijalnog pokrivača

U dijelovima padina sa debljim pokrivačem (eluvijalni pokrivač) definisana je tipična zonarna građa navedenog pokrivača i to:

- zona u gornjem horizontu gdje se pojavljuju tamno-smeđe do crne gline pomiješane sa humusom,
- zona sa usitnjenim krečnjakom čiji je međuprstor ispunjen tamno-smeđim glinama,
- zona krupnijih krečnjačkih blokova sa malo crvenice, koje ispunjavaju pukotine i
- zona ispucalih krečnjaka bez glinovite ispune.

Ispod pokrivača nalaze se svježe partije krečnjaka koje su izvan erozionog uticaja, ali imaju svoju stratigrafsku izdjeljenost u slojeve i banke kao i pukotine i prsline tektonskog porijekla. *Bez obzira na zadovoljavajuće geotektonske karakteristike eluvijuma, pri temeljenju vjetroagregata treba izbjegavati navedeni pokrivač.*

## 2.2. Geomehanička ispitivanja

Geomehanička ispitivanja obuhvatila su proračune dozvoljene nosivosti i slijeganja potemeljnog sloja, a na osnovu laboratorijskih definisanih geomehaničkih parametara uzetih uzoraka stijena iz jezgra bušotina, te je na kraju definisana geotehnička pogodnosti planiranih mikrolokacija svih objekata koji čine kompleks ovog vjetroparka.

Proračun za temeljenje stope obnavljen u bijelo-sivim krečnjacima, gdje je dimenzije temeljne stope  $18,0 \times 18,0$  i  $d_c = 3,20$  m od dubine ukopavanja, a debljina temeljenje stope iznosi 2,50 m uz navedene parametre iznosi:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_m' &= 0,869/1,5 = 0,579 \rightarrow \varphi_m' = 30^\circ \\ c_m' &= 20,1/2,5 = 8,04 \text{ N/cm}^2 = 80,40 \text{ kN/m}^2 \\ N_c &= 30,14 & N_y &= 18,08 \\ q_a &= 74510,0 \text{ kN/m}^2 = 7,451 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Temeljenje vjetroagregata uspješno se može obaviti na temeljnim stopama  $18,0 \times 18,0$  m debljine 2,50 m.

Slijeganje za temeljne stope može se izračunati na osnovu izraza:

$$w = 1,25 \cdot P_l \cdot B/E_o \text{ [m (1-}\mu^2) \cdot \alpha_\gamma]$$

Za tvrde krečnjake sivo – bijele boje usvojeni su podaci:

$P_l$  – opterećenje na temeljnoj površini

$$Pl = P - \gamma \cdot d = 7451,0 \text{ kN/m}^2 - 3,20 \cdot 27,10 \text{ kN/m}^2 = 7364,28 \text{ kN/m}^2$$

B – širina temelja

m – koeficijent (0,10)

$\alpha$  – za stope (0,88)

$\mu$  – za krečnjake (0,40)

$E_o$  – modul deformacije (500.000 kN/m<sup>2</sup>)

Slijeganje za temeljne stope vjetroagregata iznosi:

$$w = \frac{1,25 \cdot 7364,28 \cdot 18,0}{500.000} \cdot 0,10 \cdot (1 - 0,40^2) \cdot 0,88$$

$$w = 0,0018 \text{ m} = 1,8 \text{ cm} < w_d = 5 \text{ cm}$$

### 3.0 Inženjersko-geološki uslovi temeljenja vjetroagregata

Platoi se itvode na lokaciji planiranih vjetroagregata. U vjetroparku Jelovača planira se 18 lokacija vjetroagregata:

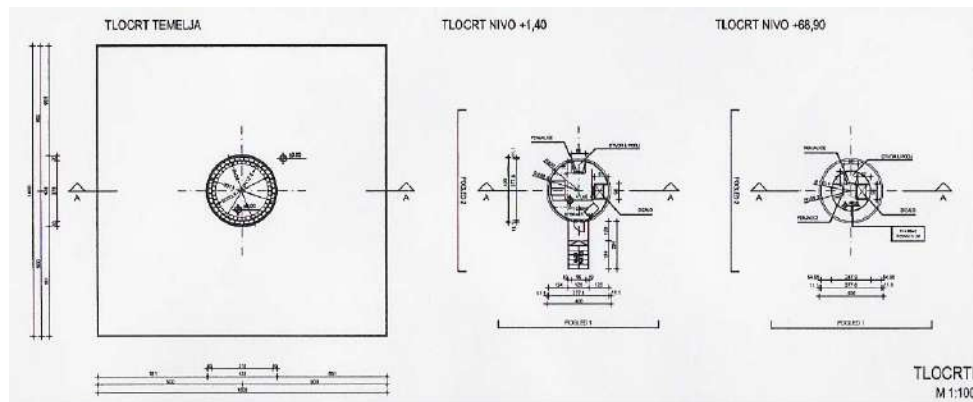
- ❖ u I. fazi V1, V2, V3, V4, V5 i V6,
- ❖ u II. Fazi V7, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17 i V18.

Planira se postavljanje vjetroagregata nazivne jedinične snage od 2,0 MW slijedećih tehničkih karakteristika:

|            |                         |                    |
|------------|-------------------------|--------------------|
| Stup:      | Visina (do gondole):    | 78 m               |
|            | Promjer pri tlu:        | 3,78 m             |
|            | Promjer na vrhu stupa:  | 2,48 m             |
|            | Masa:                   | 165 t              |
| Rotor:     | Broj lopatica:          | 3                  |
|            | Promjer:                | 97 m               |
|            | Opseg broja okretaja:   | 9 – 19 o/min       |
|            | Masa:                   | 42 t               |
|            | Maksimalni udar vjetra: | 52,5 m/s           |
| Gondola:   | Dimenzije (a x b x h):  | 14,7 x 3,5 x 4,3 m |
|            | Težina:                 | 70 t               |
| Generator: | Napon:                  | 600 V              |
|            | Nazivna snaga           | 2700 kW            |



Temelji vjetroagregata na tlocrtu (sl. 8. ) su kvadratnog oblika dimenzija 18,0 x 18,0 m, a debljina temelja je 2,50 m. Periferna stopa temelja, koja se nalazi izvan gabarita kružne baze stupa je promjera 4,38 m i ukopana je na dubini cca 80 cm. Kružna baza temelja ukupne visine je 80 cm uzdignuta je za 10 cm od nivoa okolnog terena. Ukupna bruto površina vjetroagregata pri dnu stuba iznosi 11,2 m<sup>2</sup>.



Slika 8. Tlocrt temelja vjetroagregata

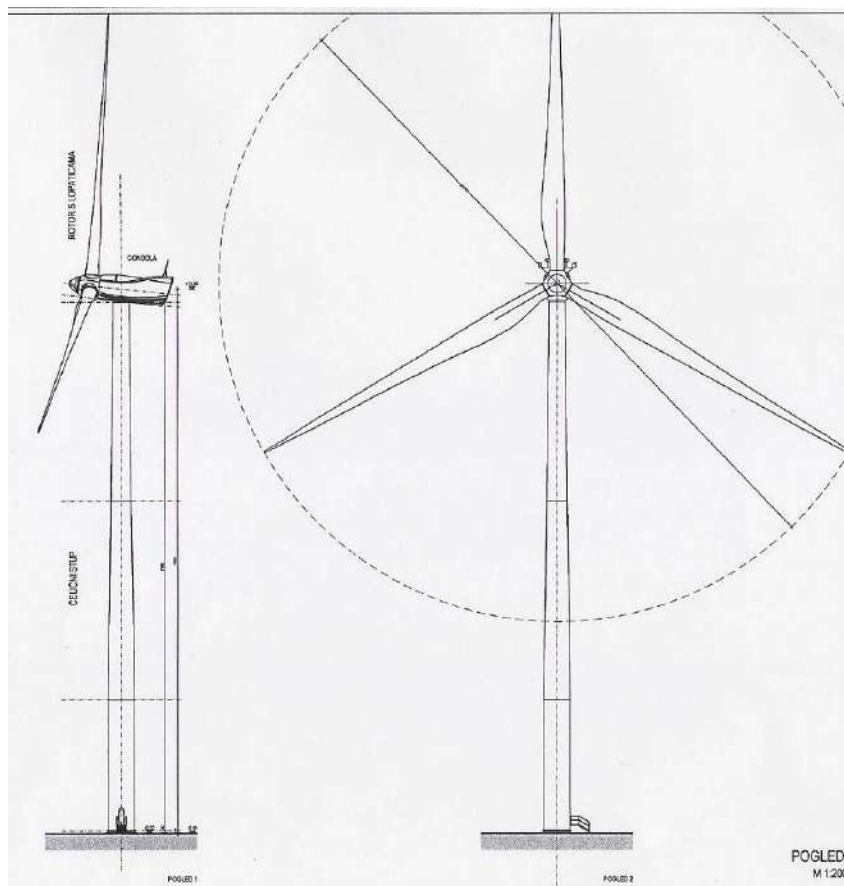
Maksimalna visina stupa vjetroagregata je 78,0 metara, promjer lopatica generatora (sl. 9.) je 97,0 metara, a maksimalnavisina od tla do vrha lopatice rotora na stupu 126,50 metara. Promjer stupa vjetroagregata pri tlu je 3,78 metara, a pri vrhu 2,48 metara (sl. 10.) Ukupna težina kompletnog vjetragregata je 277 tona.

Tipski plato vjetroagregata dimenzioniran je u skladu s tehnološkim potrebama montaže vjetrogeneratora, dostavljenim od strane proizvođača opreme, koji uključuje sljedeće radove:

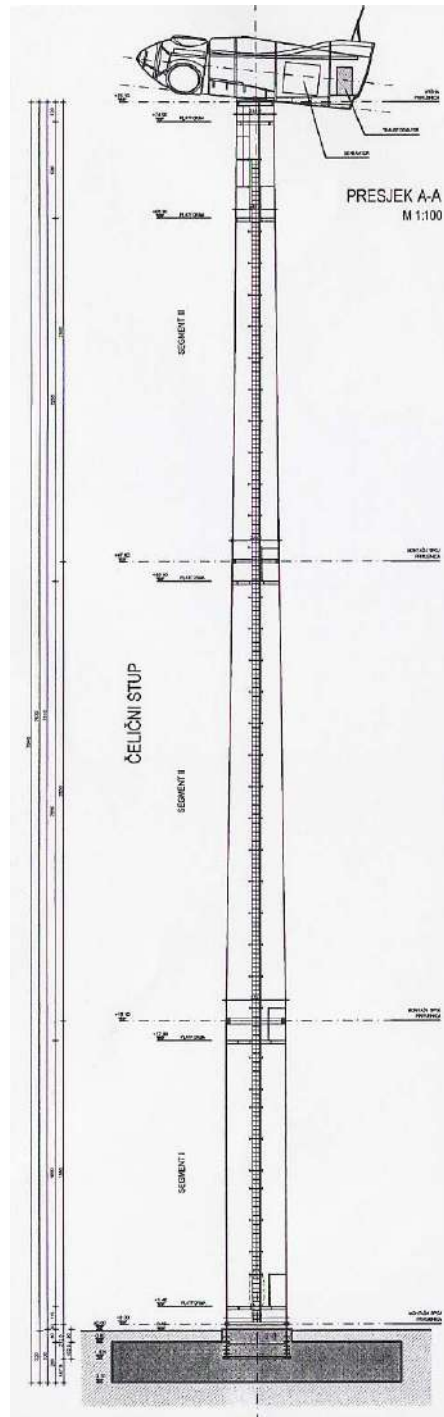
- izvedba temelja stupa vjetroagregata,
- doprema i skladištenje dijelova vjetroagregata (elementi stupa, elise, glavčina, gondola),
- smještaj strojeva (dizalica glavna i pomoćna) tokom montaže,
- prostor za montažu rotora (elisa na glavčinu), prije podizanja i montaže na stup,
- manipulativni prostor tokom radova montaže.

Plato koji je smješten uz neposredni stup vjetroagregata izvodi se u prosjeku dimenzija 40 x 40 m. Oblik mu je pravokutni sa krovastim nagibom u odnosu na uzdužnu os platoa i poprečnim nagibom 1,0%. Pokos nasipa izvodi se nagiba 1 : 1,5, a pokos usjeka 2 : 1 ili 3 : 1 u zavisnosti od geotehničkih karakteristika tla na kojem je predviđene izgradnja platoa.

Na platou se izvodi tucanički zastor sa uslovima nosivosti u skladu s korištenim građevinskim mašinama.



Slika 9. Lopatice vjetroagregata

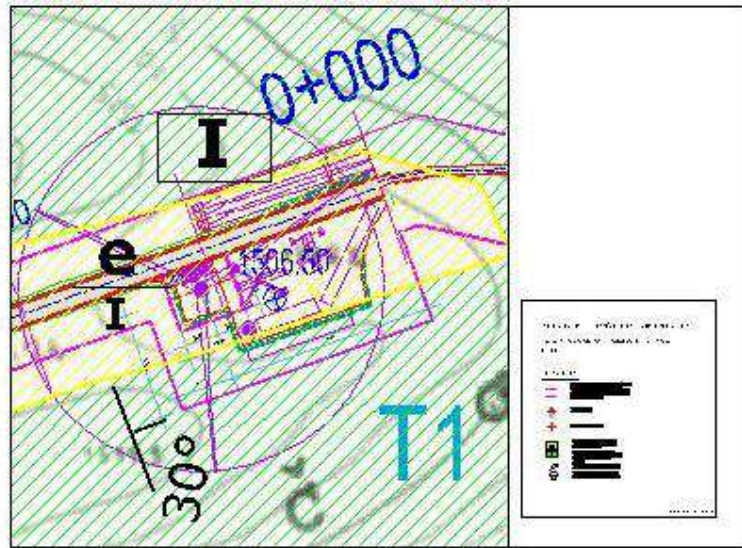


Slika 10. Presjek stuba vjetroagregata

Na osnovu dobijenih rezultata izvedenog mašinskog bušenja, rezultata laboratorijskih analiza kao i utvrđenog inženjerskogeološkog sastava i svojstava terena, definisani su konkretni inženjersko-geološki i geomehanički uslovi temeljenja svakog pojedinačnog vjetroagregata i pratećih sadržaja, vodeći računa pri tome da temelji vjetroagregata trebaju biti "oslonjeni" na svježije krečnjačke mase ( dio krečnjačke mase bez kaverni, zjapećih pukotina kao i izvan glinovitog

pokrivača - eluvijuma ). Svaka mikrolokacija vjetroagregata imala je svoje morfološke i geološke specifičnosti.

Lokacija platoa za *vjetroagregat V1* nalazi se na obodu jedne pliče i izdužene vrtače, u kojoj se nalazi humusni sloj i tamno-smeđa do crvenkasta glina moćnosti do 1,0 m. Ispod glinovitog sloja do dubine 2,20 m, istražnim bušenjem je ustanovljena je zona zdrobljenih krečnjaka sa sa glinovitim proslojcima. Na dubini većoj od 2,20 m nalaze se svježiji bankovit krečnjaci orijentisani u pravcu istoka pod uglom od 30°. U svježem dijelu krečnjaka uspješno se može obaviti temeljenje vjetroagregata.



Slika 11. Primjer inženjersko - geološke karte za lokalitet vjetroagregata V1

Lokacija vjetroagregata *V2* nalazi se na vršnoj zoni lokalne krečnjačke grede sa pružanjem istok – zapad gdje je zastupljen tanji eluvijalni pokrivač ( 20 cm ). Geomehničkim bušenjem (sl. 12.) ustanovljeno je da se na predviđenoj dubini temeljenja vjetroagregata nalaze svježije tvorevine uslojenog krečnjaka sa manjim tektonskim prslinama i pukotinama koje neće uticati na pogoršanje njegovih dobrih geotehničkih karakteristika.



Slika 12. Jezgro geomehničke bušotine izvedene za vjetroagregat V2

### *Vjetroagregat V3, V4, V5 i V6*

Lokacija vjetroagregata *V3* i *V4* nalazi se na markantnim uzvišenjima na kojima nema eluvijalnog pokrivača, a geomehaničkim bušenjem utvrđeno je da se na predviđenoj dubini temeljenja vjetroagregata nalaze svježe tvorevine uslojenog krečnjaka sa dobrim geotehničkim karakteristikama bez prisustva kaverni i zjapećih pukotina. Na lokaciji predviđenoj za izgradnju vjetroagregata *V5* na formiranom zasjekom registrovana je zona trošnih žuto-smeđih *kalkarenita* lošijih geotehničkih karakteristika koji imaju ograničeno rasprostranjene (moćnosti do 1,3m). Geomehničkim bušenjem utvrđeno je da se u zoni temeljenja pojavljuju slojeviti sivobijeli krečnjaci manjeg stepena ispucalosti, dok je vjetroagregat *V6* lociran u zoni formirane izdužene vrtače gdje je zastuplje humus i glinoviti pokrivač debljine oko 1,2m. Geomehničkim bušenjem je utvrđeno da se na predviđenoj dubini temeljenja vjetroagregata *V6* nalaze slojeviti krečnjaci bez kaverni

### *Vjetroagregati V7, V8 i V9*

Navedeni vjetroagregati locirani su na južnoj strani od istaknute krečnjačke grede koja ima generalni pravac pružanja istok – zapad (blizu granice sa općinom Livno). Na sve tri lokacije dio platoa i prilaznog puta (vidjeti IG kartu) zahvata dio plićih vrtača gdje je zastupljen humusni sloj sa glinom moćnosti koja se kreće od 0,8 do 1,2m. Prilikom izgradnje platoa i prilaznog puta na tim dijelovima treba ukloniti humusni i glinoviti sloj. Geomehničkim bušenjem na predviđenoj dubini temeljenja vjetroagregata *V7*, *V8* i *V9* konstatovani su slojeviti krečnjaci dobrih geotehničkih karakteristika.



**Slika 13** . Pogled na servisni put i lokaciju izgradnje platoa i vjetroagregata *V7*

### *Vjetroagregati V10, V11 i V12*

Ove tri lokacije nalaze se u vršnoj zoni istaknute krečnjačke grede koja se takođe graniči sa teritorijom općine Livno. Plato i lokacije navedenih vjetroagregata nalaze se u zoni gdje je zastupljen tanji eluvijalni pokrivač. Geomehničkim bušenjem u predviđenoj zoni temeljenja vjetroagregata *V10*, *V11* i *V12* utvrđeno je da su zastupljeniji slojeviti krečnjaci dobrih geotehničkih karakteristika, bez prisustva kaverni. Pristupni servisni putni krakovi u pojedinim dijelovima prelaze preko vrtača gdje je zastuplje humus i glinoviti sloj maksimalne debljine od 1,0m. Prilikom izgradnje puteva u registrovanim dijelovima izvršiti uklanjanje humusa i gline, te onda izvršiti nasipanje krečnjačke drobine za formiranje trupa puta.



**Slika 14 .** Lokacija platoa i vjetroagregata V10

*Vjetroagregati V13, V15 i V17*

Lokacije izgradnje vjetroagregata V13, V15 i V17 nalaze se na južnoj polovini prstenaste forme projektovanog vjetroparka, a odlikuju se sa sličnim morfološkim i geološkim karakteristikama, odnosno lokacije se nalaze na markantnim uzvišenjima, gdje je eluvijalni pokrivač veoma tanak ( 10-30cm ). Ispod tanjeg pokrivača zastupljeni su tvrdi slojeviti krečnjaci čija je generalna orijentacija u pravcu istoka pod uglom od 33 -36°. Takođe geomehaničkim bušenjem je utvrđeno da se na predviđenoj dubini temeljenja vjetroagregata nalaze svježije partije krečnjaka bez registrovanih kaverni i većih zjapećih pukotina.

*Vjetroagregati V14, V16 i V18*

Navedeni vjetroagregati locirani su u užim iplićim vrtačama gdje je zastupljen humus i glina moćnosti do 1,0. Prilikom izgradnje i uređenja platoa treba predhodno ukloniti humus i glinu, te onda izvršiti nasipanje krečnjačke drobine do projektovane kote platoa. Geomehničkim bušenjem je utvrđeno da se u zoni temeljenja ovih vjetroagregata nalaze svježije partije slojevitih krečnjaka bez registrovanih kaverni.



**Slika 15 .** Lokacija izgradnje V15 nalazi se na samom vrhu u blizini releja

### 3.1. Inženjersko-geološki uslovi izgradnje pristupnog puta i servisnog puta

Glavni pristupni put prema vjetroparku počinje od lokaliteta Zlaća, 1,5 km sjeveroistočno udaljenom od Eminova Sela odnosno cca 3,5 km sjeverno od Tomislavgrada. Koridor navedene pozicije kreće se u smjeru sjeverozapada, gdje se preko veće krivine vraća u smjeru jugoistoka, odakle se dalje proteže 5,5 km prema zapadu. Pristupni put izvodi se u širini 6,5 m, a prosječna širina zone koja zahvata trasa pristupnog puta iznosi 20,0 m. Projektom su predviđena i četiri okretišta na pristupnom putu. Navedeni put se većim dijelom u padinskim dijelovima formira manjim zasjecanjem terena sa gornje strane i nasipanjem iskopanog materijala sa donje strane puta.



**Slika 16.** Primjer “prelaska“ pristupnog puta preko veće vrtače sa debljim pokrivačem ( pripremni radovi )

Na dijelovima puta koji prelaze preko vrtača ili svojim dijelom zahvataju vrtaču, trup puta se formira od moćnog nasipa od krečnjačke drobine ( sl.16. ). U zonama vrtača, prije formiranja trupa puta potrebno je ukloniti humusni sloj i tanji glinoviti pokrivač do pojave podzone koja je formirana od krečnjačke drobine i sitnih krečnjačkih blokova. Zasjecanje padine u zonama slojevitih krečnjaka je različita. Na dijelovima terena sa tanjim pokrivačem ( do 30 cm) kosina se može formirati gotovo vertikalno dok u dijelovima gdje se nalaze deblji eluvijalni pokrivač, treba formirati kosinu nagiba 2 : 1, kako bi se izbjeglo spiranje glinovite frakcije na pristupni put.



**Slika 17.** Pogled na dio kružnog servisnog puta u zoni izgradnje vjetroagregata

### 3.2. Inženjersko-geološki uslovi izgradnje trafo stanice

Plato za postavljanje trafostanice TS 20/110 kV nalazi se na zapadnoj strani od postojećih trasa dalekovoda, odnosno u dijelu zoni stacionaže pristupnog puta 0+350m. Predviđena površina platoa na kojoj će biti postavljena trafostanice je 100 x 80 m ( sl.18. ). Objekat navedene trafostanice bit će kontejnerskog tipa dimenzija 2,44 x 6,05 m i 3,20 m visine.

U geološkom pogledu lokacija se nalazi u podnožju duge i široke padine jugoistočne ekspozicije, gdje se nalazi nešto deblja zona pokrivača. Pokrivač je izgrađen od tamno smeđih do crvenkastih glina sa humusom i većim sadržajem sitnijih krečnjačkih blokova. Moćnost pokrivača na ovoj lokaciji kreće se oko 1,3m, dok se ispod nalazi ispucali slojeviti krečnjaci. Ovaj dio terena je stabilan i pogodan za formiranje platoa predviđenih dimenzija, uz dodatno povoljnu činjenicu da je predviđeno da objekat trafostanice bude kontejnerskog tipa ( lagani i montažni objekat ), tako da nema posebnih geološko-geomehaničkih uslova za njegovo postavljanje.



Slika 18. Lokaciju izgradnje većeg platoa na kojem se postavlja trafostanica

### 4.0. Uređenje okoliša

Vjetropark Jelovača – Tomislavgrad nalazi se u širem području „krša“ koji je nastao djelovanjem površinskih i podzemnih voda u karbonatnim stijenama. Takva lokacija predstavlja reljefnu specifičnost koja svojom geološkom građom i hidrogeološkim karakteristikama čini poseban uticaj na površinsku morfologiju, tlo i vegetaciju. Tereni „krša“ karakteristični su po ispucalosti, pri čemu nastaju specifični površinski reljefni oblici kao što su vrtače, jame, ponori, uvale i polja, a u podzemlju kaverne i spilje. Tipično obilježje „krša“ je krečnjak u velikim masivima sa veoma neobičnim slikovitim oblicima ili erozijom usitnjeni blokovi koji dominiraju na takvim površinama, a ponekad je izmješšan sa glinom. Vegetacija je prilagođena takvim okolnostima te varira od oskudnih travnjaka do mnjih izolovanih šumaraka.

Nakon završene izgradnje vjetroparka, sva tehnologija za izgradnju ( kranovi, građevinske mašine, pomoćni objekti i dr.) uklanjaju se, a teren se uređuje tako da se što bolje uklopi u postojećem okruženju, s planiranjem zemljanog i kamenog tla materijalom iz iskopa sličnih karakteristika, uz uslov slijedećih mjera:

- Prilikom izvođenja radova na iskopu, humusni dio tla treba odložiti odvojeno, te ga na završetku radova koristiti za sanaciju odnosno uređenje područja gradnje u svrhu vraćanja u prvobitno stanje. Nakon završenog izvođenja temelja stupova vjetroagregata, isti se zatrpavaju u ravnini postojećeg okolnog terena, dok se sama finalna površina novonastalog platoa oko vjetroagregata prekriva sa prethodno odloženim ( u fazi skidanja humusa odvojenim i deponiranim materijalom bolje kvalitete na dotičnoj lokaciji), humusnim slojem tla i sa kamenim materijalom s prethodno skinutog površinskog sloja, u svrhu vraćanja u prvobitno stanje devastirane površine.
- Pri izvođenju radova uklanjanje vegetacije ograničiti samo na područje zahvata.



## 5.0. Zaključak

Za potrebe izrade Idejnog projekta za Vjetropark Jelovača na dijelovima kč. 365/1, 389, 399, 407 i 706 Eminovo Selo –Tomislavgrad, čiji je investitor *F.L. WIND doo. Tomislavgrad* izvršeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje terena i geomehaničko bušenje u cilju definisanja inženjersko-geoloških odnosa na terenu.

Vjetropark Jelovača - Tomislavgrad nalazi se sjeverno od Duvanjskog polja na planinskom platou Jelovača, na nadmorskoj visini većoj od 1450 m.n.m. sa dominantnim vrhovima Jelovača (1541 m), Granica (1520 m), Crnovrh (1504 m) i V. Ošljak (1525 m). Lokacija vjetroparka ( 18 vjetroatregata ) se nalazi u području „krša“ gdje je reljef predstavljen u tri oblika. Jedan od oblika je krečnjak u velikim masivima, sa neobičnim i atraktivno slikovitim oblicima. Drugi oblik u području „krša“ pored velikih kamenih masiva predstavljen je sa površinama usitnjenog kamena, do čijeg sitnjenja je došlo usljed djelovanja erozije, a koji može da dominira na većim površinama. Takođe na ovom području nalazi se i blokovi i dorbina krečnjaka pomiješana sa humusom i glinom. Takav reljef ima svoje specifičnosti koji po svojim geološkim i hidrogeološkim karakteristikama čini poseban uticaj na površinsku morfologiju, tlo i vegetaciju. Vegetacija na ovakvim terenima je veoma oskudna od pojave manjih travnatih površina pa do pojave nižeg i slabo razvijenog drveća.

Na lokacijama izgradnje vjetroatregata urađeno je 18 istražnih bušotina minimalne dubine 8,50 m pa do 11,0 m, a takođe izvršeno je detaljno inženjersko-geološko istraživanje kompletnog kompleksa vjetroparka. Proračuna dozvoljene nosivosti, slijeganja i opća ocjena stabilnosti i podobnosti izabrane lokacije urađena su na osnovu detaljnih geomehaničkih laboratorijskih ispitivanja. Sa svake bušotine uzeta su najmanje 2 uzorka za laboratorijska ispitivanja te određena zapreminska težina materijala, čvrstoća na pritisak i zatezanje, te parametri otpornosti na smicanje  $c$  i  $\phi$ . Vjetroatregati se postavljaju na nadmorskoj visini 1436 m.n.v. do 1520 m.n.v.

Izrada pristupnog i servisnog puta radila bi se u dvije faze i to:

- u toku izgradnje vjetroelektrane, koja služi za dopremu građevinskog materijala i strojeva i
- u završnoj fazi u toku održavanja postrojenja.

Pri trasiranju puta vodilo bi se računa o izbjegavanju većih zasjeka, usjeka i nasipanja terena. U ovoj fazi izrade puta neophodno je postići modul stišljivosti  $M_n = 40$  MPa, a u završnoj fazi izrade puta 80 MPa. Da se ne bi narušio postojeći okoliš pri izradi puta potrebno je izvršiti njegovo uređenje, što zahtijeva: zatrpavanje, nasipanje i obnavljanje raskopanih površina.

Izgradnja trafostanice planirana je na ograđenom platou u podnožju padine, dimenzija 100,0 x 80,0 m. Prije izgradnje trafostanice potrebno je pripremiti teren, tako što će se skinuti humus, provjeriti nosivost terena izradom SPP opita, te uraditi nasipanje terena kvalitetnim materijalom. Na tako pripremljenom platou trafostanica bi se postavila u kontejnerskom objektu ( montažni i lagani objekat ).

Na osnovu prezentiranih rezultata inženjersko-geoloških i geomehaničkih istraživanja može se zaključiti da kompletno područje Jelovača – Tomislav grad 36 MW predstavlja pogodnu sredinu za izgradnju 18 vjetroatregata sa neophodnim pratećim objektima infrastrukture. Kompletno područje predstavlja stabilan teren koji je izgrađen od slojevitih krečnjaka sa tanjim eluvijalnim pokrivačem. Temeljenje svih 18 vjetroatregata izvodit će se u zoni svježih krečnjaka, što je dokazano u toku mašinskog bušenja, jer nisu registrovane značajnije raslabljene zone krečnjaka, veće zjapeće pukotine i kaverne, te nisu predlagane dodatne sanacione mjere podtemelnog sloja.

Na kraju treba istaći značaj provođenja odgovarajućih inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja za potrebe definisanja uslova i načina temeljenja različitih objekata i na terenima koji u geološkom smislu imaju jednostavnu i jednoličnu litološku građu ( krečnjaci ), jer na geotehnička svojstva osnovne stijene u pojedinim zonama značajan uticaj imaju strukturno-tektonske karakteristike osnovne stijene, stepen ispucalosti i raspadnutosti, debljina inženjerskogeološkog pokrivača, stepen razvoja erozionih procesa i pojava, stepen karstifikacije, klima i dr. uticajni faktori.

## Literatura

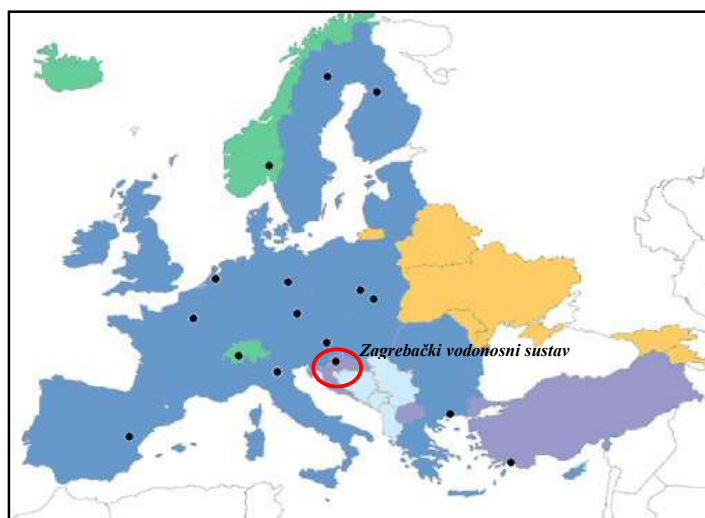
1. TRIVIUM: VJETROPARK JELOVAČA- Tomislavgrad. Idejni projekat, avgust 2012 I i II faza Eminovo selo.
2. APZ-INŽINJERING I F. L. WIND Zagreb: Konstrukcije temelja i stupa vjetroagregata, avgust 2012, Idejni projekat.
3. Papeš, J. (1967): Osnovna geološka karta, list Livno 1 : 100 000. Institut za geološka istraživanja Sarajevo.
4. Papeš, J. (1967): Tumač za list Livno, K33- II. Institut za geološka istraživanja Sarajevo.

## Projekt GENESIS: podzemna voda i zavisni ekosustavi

ZORAN NAKIĆ<sup>1</sup>, MARTA MILEUSNIĆ<sup>1</sup>, KRISTIJAN POSAVEC<sup>1</sup>, STANKO RUŽIČIĆ<sup>1</sup>,  
JELENA PARLOV<sup>1</sup>, ZORAN KOVAČ<sup>1</sup>, GORAN DURN<sup>1</sup>, ANDREA BAČANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Projekt **GENESIS** (*“Groundwater and Dependent Ecosystems: **NEw Scientific and Technical BasIS** for Assessing Climate Change and Land-use Impacts on Groundwater Systems”*) jedan je od vodećih europskih projekata vezanih uz tematiku i problematiku podzemnih voda. Odobrila ga je Europska komisija u sklopu sedmog okvirnog programa (*Seventh Framework Programme – FP7*). Projekt je započeo 1. travnja 2009. godine i traje 5 godina. U projektu sudjeluje 25 institucija iz 17 europskih država, a hrvatski partner na projektu je Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Hrvatski tim čine znanstvenici sa *Zavoda za geologiju i geološko inženjerstvo* te *Zavoda za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine*. S obzirom da je projekt multidisciplinarnan, na njemu sudjeluju znanstvenici i stručnjaci iz raznih područja hidrogeologije, hidrologije, pedologije, agronomije, biogeokemije, ekologije, mikrobiologije, ekonomije, sociologije i zakonodavstva. Bazira se na istraživanjima 16 europskih vodonosnika, među kojima je i zagrebački (Slika 1).



Slika 1. Pilot područja projekta GENESIS

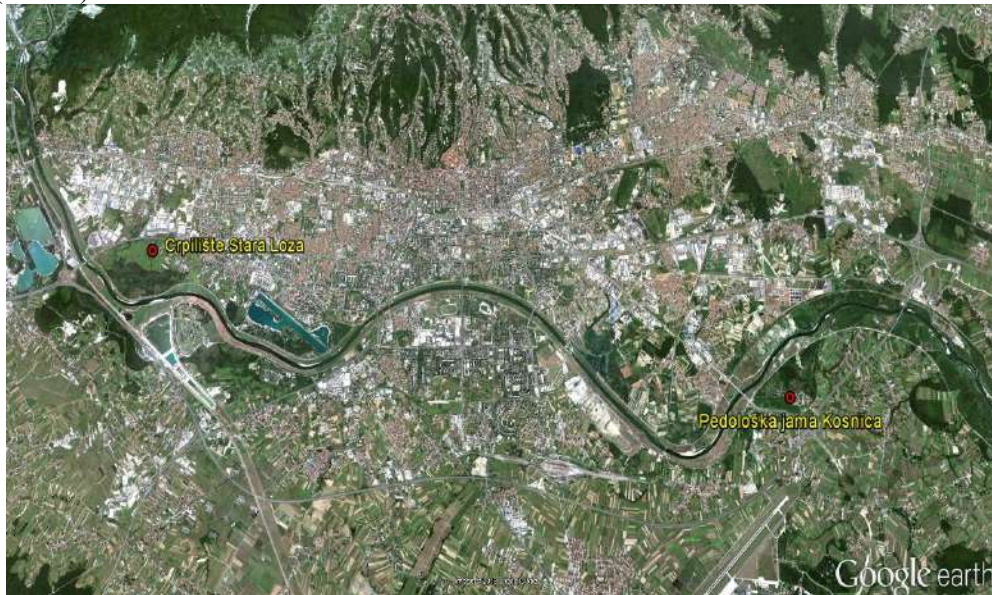
U sklopu projekta preispituju se dosadašnje, ali i definiraju nove znanstvene spoznaje o podzemnim vodama i o njima ovisnim ekosustavima. Svrha je objedinjavanje tih znanja u nove metode, koncepte i alate s ciljem: revizije Direktive o podzemnim vodama (2006/118/EC) i boljeg upravljanja zalihama podzemnih voda uz održivi razvoj različitih upotreba zemljišta.

Rad na projektu podijeljen je u sedam radnih paketa:

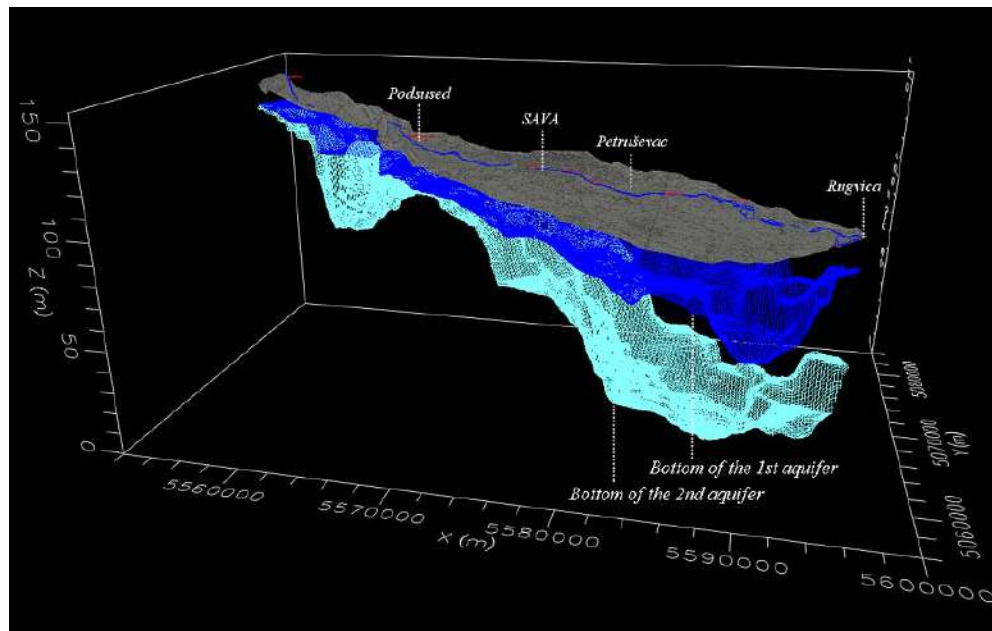
1. Utjecaji i opasnosti za podzemnu vodu i ekosustave iz dosadašnjih onečišćenja i upotrebe zemljišta;
2. Istraživanje karakteristika toka podzemne vode;
3. Istraživanje unosa onečišćivala iz različitih izvora (upotreba zemljišta) i njihovo izluživanje u podzemnu vodu;
4. Istraživanje ekosustava vezanih uz podzemnu vodu;
5. Razvoj matematičkih modela;
6. Planiranje upravljanja podzemnim vodama u skladu s europskim direktivama; i
7. Integracija, izobrazba, revizija direktive i širenje informacija.

Republika Hrvatska hidrogeološki je podijeljena na dva glavna područja. U sjeverozapadnom području vodonosnike uglavnom čine aluvijalne šljunkovito-pjeskovite naslage, dok su u južnom to većinom raspucane i okršene karbonatne stijene. Zagrebački aluvijalni vodonosnik odabran je, jer između ostalog, spada u strateške zalihe podzemnih voda Republike Hrvatske. Na području

zagrebačkoga vodonosnoga sustava nalazi se 7 aktivnih crpilišta te jedan kaptažni sustav koji čine glavni izvor pitke vode te temelj vodoopskrbe grada Zagreba i okolnih područja. Značajan rast broja stanovnika, te razvoj industrije i poljoprivrede u zadnjih nekoliko desetljeća, uvjetovao je sve veći antropogeni utjecaj na podzemne vode. Taj utjecaj se očituje u sve većem broju potencijalnih onečišćivala te padu razina, koji predstavljaju konstantu prijetnju kvaliteti i količini podzemnih voda. Na području zagrebačkog vodonosnika provedena su istraživanja saturirane zone na području crpilišta Stara Loza i nesaturirane zone na području budućeg crpilišta Kosnica (Slika 2). Istraživanja su pomogla kod definiranja i boljeg razumijevanja parametara toka i transporta kroz nesaturiranu i saturiranu zonu, a s ciljem razvoja detaljnijeg i preciznijeg konceptualnog modela zaštite podzemnih voda (Slika 3).



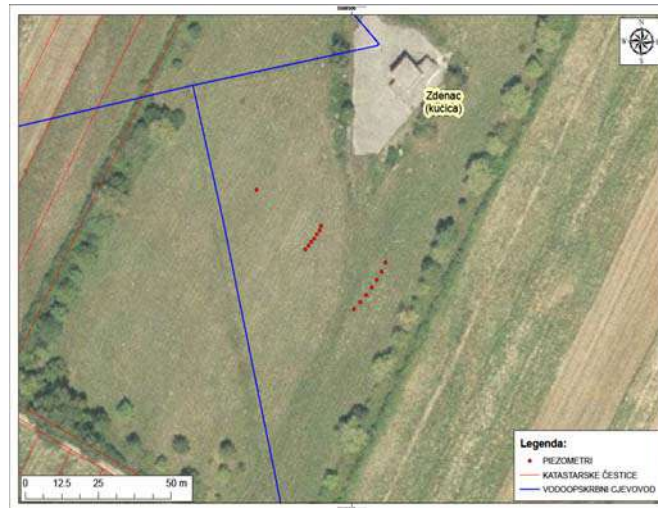
Slika 2. Lokacije istraživanja zagrebačkoga vodonosnika



Slika 3. 3D model zagrebačkoga vodonosnika

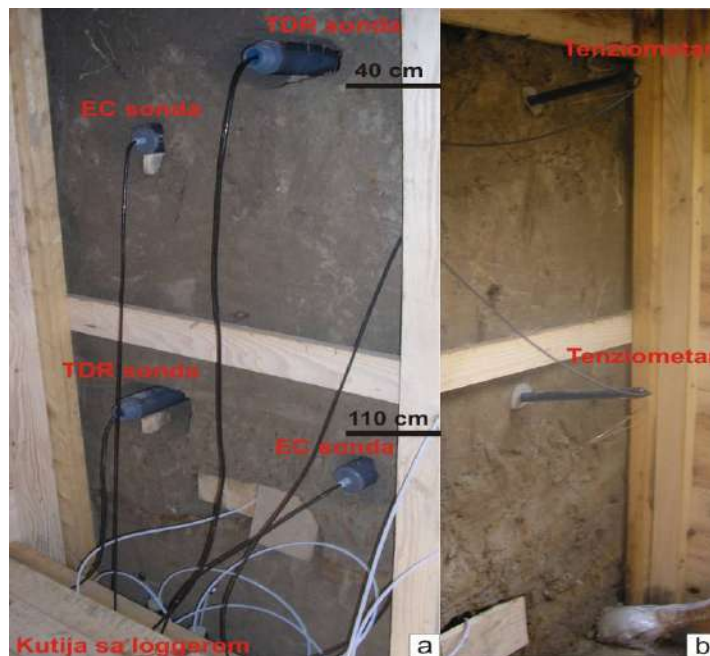
Na crpilištu Stara loza izbušeno je 15 piezometara (Slika 4) te provedeno trasiranje pomoću uranina s ciljem određivanja parametra disperzivnosti pomoću analitičkih modela. Uzimanje uzoraka

provedeno je na 14 piezometara u razdoblju od 40 dana. Nakon toga su provedena geofizička istraživanja s ciljem definiranja prostorne raspodjele sitno i krupnozrnastih naslaga, ali i u svrhu izrade numeričkog modela koji je također poslužio za identifikaciju parametra disperzivnosti. Dobiveni rezultati predstavljaju veliki znanstveni i gospodarski doprinos radnom paketu 2.



Slika 4. Lokacije 15 bušotina na crpilištu Stara Loza

Na Kosnici su provedena detaljna sedimentološka, mineraloška, geokemijska i pedološka istraživanja jednog vertikalnog profila nesaturirane zone. Za potrebe istraživanja iskopana je pedološka jama. U jami su instalirane sonde za mjerenje sadržaja vlage u tlu i električne vodljivosti, tenziometri, te lizimetri (Slika 5). Osim terenskih, provedena su i laboratorijska istraživanja. Na poremećenim uzorcima određeni su pH, električna vodljivost, sadržaj karbonata, sadržaj Fe-Mn oksihidroksida, sadržaj organske tvari, granulometrijski sastav, kapacitet ionske zamjene, mineralni sastav te ukupni udio elemenata u tragovima. Na neporemećenim uzorcima određen je ukupni volumen pora, retencijski kapacitet za vodu i zrak, volumna i stvarna gustoća te hidraulička vodljivost u permeamtru. Najveći znanstveni i gospodarski doprinos provedenih istraživanja spada u radni paket 3.



Slika 5. Pedološka jama na Kosnici (a – TDR i EC sonde; b – tenziometri)

Rezultati istraživanja sa zagrebačkog, ali i sa svih europskih vodonosnika i novo stečena znanja podloga su za izradu smjernica i konačnu reviziju Direktive.

Projekt je u završnoj fazi, a rezultati, nove znanstvene i tehničke osnove za procjenu klimatskih promjena i utjecaja korištenja zemljišta na sustave podzemnih voda, između ostalog, prezentirani su i pomoću šest kratkih, tematskih informativnih letaka, namijenjenih donositeljima odluka na različitim razinama (Slika 6).



Slika 6. Radna verzija letka

Posebno izdvojene teme, prikazane na lecima, odnose se na: o podzemnoj vodi zavisne ekosustave (promjene kvantitete i kvalitete vode u vodonosniku), upravljanje podzemnom vodom i njeno vrednovanje, onečišćenje podzemne vode, zaštitu i održivo korištenje podzemne vode, utjecaj globalnih klimatskih promjena i korištenja zemljišta na podzemne vode, te na korištenje trasera (prirodnih i antropogenih) u istraživanju podzemnih voda.

Svi rezultati upućuju na to da prije svega, moramo promijeniti način razmišljanja o podzemnim vodama kao izvoru neograničeno dostupnih količina pitke vode. U široj javnosti je često zastupljeno potpuno krivo shvaćanje da su podzemne vode dobro zaštićene od utjecaja čovjeka, jer su posljedice onečišćenja skrivene od pogleda. Činjenica jest upravo suprotna; podzemne vode su izrazito podložne negativnim utjecajima ljudskih djelatnosti, tehničke mogućnosti sanacije su ograničene, složene i skupe, a njihov ishod je u pravilu neizvjestan.

## Geološke i hidrogeološke karakteristike slivnog područja gornjeg toka rijeke Bosne

Mevlida OPERTA<sup>1</sup>, Suada PAMUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dr. sc. Mevlida Operta, docent  
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
opertamevlida@yahoo.com  
<sup>2</sup>Suada Pamuk, dipl. inž. geol.  
Energoinženjering, Sarajevo

### Abstrakt

Dolina Bosne najnaseljenija je oblast u Bosni i Hercegovini koja spaja Panonsku niziju sa centralnom Bosnom, dok je dolinom Neretve vezana sa Jadranskim morem. Ova najveća rijeka u Bosni i Hercegovini izvire ispod Igman planine, u blizini Ilidže na lokalitetu Vrelo Bosne. Protiče centralnim dijelom Bosne i nakon 270 km toka, kod Bosanskog Šamca ulijeva u Savu.

U izvorišnom dijelu rijeke Bosne nalazi se velika Sarajevsko-Zenička kotlina dinarskog pravca pružanja. Morfološki se sastoji od niza proširenja koja predstavljaju manja ili veća polja. U gornjem toku rijeka Bosna protiče kroz Sarajevsko, Visočko, Kakanjsko i Zeničko polje. U oblasti srednjeg toka probija se kroz klisure usječene u čvrste stijene, Vranduk-Nemila i Maglaj-Doboj, a u donjem toku od Doboja do ušća, protiče nestabilnim koritom kroz aluvijalnu ravnicu gdje pravi više rukavaca, ada i okuka.

U okviru sagledavanja šireg prostora sliva rijeke Bosne, teren je proučavan dugi niz godina, a proučavan je i sa aspekta hidroenergetskog korištenja. U hidrografskom pogledu područje sliva se karakteriše dvojakom hidrografskom mrežom, odnosno površinskom i kraškom podzemnom hidrografijom. Od morfoloških oblika na tretiranom području mogu se izdvojiti planinski vijenci s jedne strane, te kotline, riječne doline i klisure sa druge strane. Područje sliva rijeke Bosne, morfološki je raznoliko, što je u vezi sa geološkom građom terena.

U radu se analiziraju geološke karakteristike, tektonska građa i hidrogeološke odlike slivnog područja gornjeg toka rijeke Bosne.

Ključne riječi: Bosna, gornji tok, geološke karakteristike, tektonska građa, hidrogeološke odlike

### Geological and hydrogeological characteristics of the Bosnia River basin's upper reaches

The Bosnia River valley is the most populated area in Bosnia and Herzegovina which connects Panonia depression with the central Bosnia, and by the Neretva River valley it is linked with the Adriatic sea. This river, which is the biggest one in Bosnia and Herzegovina, originates beneath the Igman Mountain, near Ilidža on the locality of Vrelo Bosne. It flows through the central part of the country and after 270 km of the course, near Bosanski Šamac, it empties into the Sava River.

In the source part of the Bosnia River there is the huge Sarajevo-Zenica valley with Dinaric stretching direction. Morphological, it consists of a number of smaller or larger fields,

so that in its upper reaches, the Bosnia River runs through the Sarajevo, Visoko, Kakanj and Zenica fields.

In the middle reaches, the river breaks through the gorges cut into the firm rocks, Vranduk-Nemila and Maglaj-Doboj, while in the lower reaches, from Doboj to the mouth, it flows by the unstable riverbed through the alluvial plain where it makes number of branches, islands and curves.

In the scope of perceiving the wider area of the Bosnia River basin, the terrain has been studied for many years, also from the aspect of hydroenergetic usage. In the hydrographic sense, the basin's area is characterized with two-fold hydrographic net, that is with surface and karst underground hydrography. Concerning morphological forms in the treated area, there are mountain chains on one side, and ravines, river valleys and gorges on the other side. The Bosnia River basin is morphologically heterogenous, which is in connection with the geological structure of the terrain.

This paper gives the analysis on geological characteristics, tectonic structure and hydrogeological characteristics of the Bosnia River basin in it's upper reaches.

Key words: Bosnia, upper reaches, geological characteristics, tectonic structure, hydrogeological characteristics

## Uvod

Sliv rijeke Bosne do sada je proučavan i sa aspekta hidroenergetskog korištenja. U okviru osnovnog hidroenergetskog rješenja sliva rijeke Bosne, tretirano je i pregradno mjesto HE Vranduk (stari pregradni profil). Nalazi se nizvodno od mjesta Vranduk.

Područje sliva rijeke Bosne, morfološki raznoliko, i u uskoj vezi sa geološkom građom terena. Od morfoloških oblika na tretiranom području mogu se izdvojiti nekoliko osnovnih morfoloških jedinica i to: planinski vijenci s jedne strane, te kotline, riječne doline i klisure sa druge strane.

Po svojim topografskim karakteristikama sliv rijeke Bosne može se podijeliti u tri dijela: visokoplaninski, središnji i nizijski dio. Visokoplaninski dio zahvata izvorišnu oblast rijeke Bosne. Tu su Romanija, Jahorina, Treskavica, Bjelašnica, Vranica i dr. koje okružuju Sarajevsko-Zeničku kotlinu. Središnji dio sliva zahvata najveće prostranstvo i karakteriše se nižim planinama. To je oblast gdje se kao najizraženija morfološka crta reljefa javljaju fluvijalni a mjestimično i abrazijski oblici, poput riječne i abrazijske terase. Pomenuti oblici su mjestimično izmjenjeni a najbolje su se sačuvali u stijenama otpornim prema eroziji. Nizijski dio zahvata manje prostranstvo u krajnje sjevernom dijelu sliva rijeke Bosne.

U izvorišnom dijelu rijeke Bosne smještena je velika Sarajevsko-Zenička kotlina dinarskog pružanja. Kotlina se sastoji od niza proširenja koja predstavljaju manja ili veća polja kao: Sarajevsko, Visočko, Kakanjsko i Zeničko.

U oblasti gornjeg toka rijeke Bosne, nalazi se još i Fojničko polje kao posebna morfološka jedinica van Sarajevsko-Zeničke kotline. Jugoistočni dio Sarajevskog polja izdjeljen je dolinama rijeka: Miljacka, Lukavica, Kasindolskog potoka i Željeznice a nešto sjevernije: Stavnja, Misoča i Gaonica. U oblasti srednjeg toka Bosne je lijeva pritoka Lašva koja gradi proširenje tzv. Dolinu Lašve. Pravac pružanja ove doline je SZ-JI. U sklopu doline su ravnice kao naprimjer Travnička, Vitez, Tarabovo polje i dr.



U hidrografskom pogledu područje sliva se odlikuje dvojakom hidrografskom mrežom i to: površinskom i kraškom podzemnom hidrografijom. U Sjevernom i sjeveroistočnom dijelu slivnog područja je površinska hidrografska mreža dok u južnom i jugoistočnom dijelu, pored površinske ispoljena je i tipična kraška hidrografija.

Predmet istraživanja ovog rada je gornji tok rijeke Bosne, s ciljem odredbe geomorfoloških, geoloških, tektonskih i hidrogeoloških karakteristika tog područja. Prilikom izrade rada, korištena je sva tehnička i stručna dokumentacija kao i odgovarajuće topografske podloge. Pored kabinetskih poslova prikupljanja i obrade literature, te izrade grafičkih priloga, realizovano je geološko kartiranje u sklopu terenskog rada.

U radu se daje pregled izvršenih istraživanja. Tokom istraživanja korištena je postojeća dokumentacija listovi OGK Sarajevo, Zenica, Vareš, Bugojno i Prozor i HG karta Jugoslavije, te prateći tumači za ove listove i literaturni podaci. Korištene su metode analize i sinteze, kartografska metoda, te metoda terenskog istraživanja, statistička i komparativna metoda.

### **Geološke karakteristike terena**

Geološka građa terena u sklopu razmatranog sliva rijeke Bosne je kompleksna. U geološkom pogledu teren izgrađuju sedimentne, metamorfne i eruptivne stijene. Zastupljene su paleozojske, mezozojske i mlađe tercijarne tvorevine.

#### *Paleozojske tvorevine*

Prepaleozojske i starije paleozojske stijene u slivu rijeke Bosne nalaze se u dvije geološke izdvojene oblasti i to:

- oblast srednjobosanskih škriljavih planina
- oblast jugoistočne Bosne

#### Oblast srednjobosanskih škriljavih planina

Visoke planine na području između Kreševa – G. Vakufa-Jajca i Travnika pripadaju pomenutoj oblasti. Središnji dio ove oblasti (Busovača-Visoko- pl. Vranica) izgrađeni su od kristalastih škriljaca visokog kristaliniteta, a koje po F. Katzeru pripadaju prepaleozoiku i starijem paleozoiku. U njihov sastav ulaze slijedeći litološki članovi: gnajsevi, mikašisti, otrelitski škriljci, filiti i porfiroidi.

Ove stijene u tektonskom pogledu čine centralni dio (jezgra) prostranog paleozojskog antiklinorijuma, gdje se na njih nadovezuju mlađe paleozojske stijene, karbonske i permske starosti.

#### Oblast Jugoistočne Bosne

Stijene starije a vjerovatno i prepaleozojske starosti otkrivene su na području jugoistočne Bosne kod Igrišta i Grabovice. U tom prostoru ove stijene samo neznatno svojim dijelom pripadaju slivu Bosne a najvećim dijelom slivu rijeke Prače.

#### Mlađi paleozoik

Na području razmatranog sliva, mlađe paleozojske stijene se takođe javljaju u naprijed opisanim oblastima gdje okružuju starije stijene čineći sa njima jedinstvenu cjelinu.

#### Oblast srednjobosanskih škriljavih planina

U ovoj oblasti mlađe paleozojske stijene su veoma rasprostranjene. Prostiru se od Jajca na SZ do Ivan planine na JI. Od litoloških članova u njihov sastav ulaze filiti, pješčari, krečnjaci, konglomerati, breče i kvarcporfiri. Po F. Katzeru ove stijene pripadaju karbonu i permu.

#### Oblast Jugoistočne Bosne

Mlađe paleozojske tvorevine ove oblasti pripadaju pješčari sa umecima filitičnih škriljaca na području Jahorine, Igrišta, te između izvorišta Repošnice i Grabovice (lijeva pritoka Prače), i između Pala i Prače.

#### *Mezozojske tvorevine*

Mezozojske naslage zauzimaju veliko prostranstvo. Zahvataju južni i jugoistočni dio sliva rijeke Bosne koji u vidu širokog pojasa obuhvata Sarajevsko polje gdje ulazi u geološku građu terena okolnih planina: Ormana, Igmana, Jahorine, Romanije i Zvijezde. U pomenutom području mezozojske naslage u okviru trijasa su kompletno razvijene. To su donji, srednji i gornji trijas.

#### Donji trijas

Zastupljen je verfenskim naslagama (škriljci, pješčari, kvarcni pješčari, i laporoviti krečnjaci). Ovi sedimenti obično grade područja ranije pomenutih planina oko Sarajevskog polja i kao vodonepropusne stijene uslovljavaju izbijanje mnogobrojnih vrela i izvora.

#### Srednji trijas

Srednji trijas je predstavljen pretežno krečnjacima i dolomitima od kojih su izgrađeni vrhovi planina kao Igman, Trebević, Ozren, Romanija, Zvijezda i dr. Na osnovu paleontoloških podataka u krečnjacima srednjeg trijasa su izdvojeni:

- anizijski kat sa crvenkastim krečnjacima (Han Bulog, Palež i dr)
- ladinski kat sa krečnjacima, mjestimično sa interkalacijama rožnaca i jaspisa, te pojave melafira i tufova (Romanija)

#### Gornji trijas

U okviru razmatranog sliva, gornji trijas grade takođe krečnjaci u kojima su zastupljena sva tri kata: karnički, norički i retski. Ovi krečnjaci su konstatovani kod Draguljca na Trebeviću, istočno od Vareša, kod Čevljanovića i na drugim mjestima na malim prostranstvima.

#### Jura

Jurski sedimenti u tretiranom sliva zauzimaju veliko prostranstvo. Stratigrafsko raščlanjenje jurskih sedimenata na pojedine odjeljke nije do sada izvršeno u ovom dijelu područja. Unutar jurske formacije uglavnom su izdvojeni slijedeći litološki članovi:

- laporci, pješčari, škriljci tzv. lijaski fliš. Ova serija gradi jednu prostranu zonu koja počinje od sela Nahorevo, sjeverno od Sarajeva te u vidu jednog luka ide preko Čevljanovića, Vareša i prelazi rijeku Bosnu kod Vranduka i dalje ka SZ gdje prelazi u susjedni sliv.
- Grupi silicijskih stijena spadaju tufozni pješčari i pješčarsko-rožnjačke stijene koje se javljaju naizmjenično raspoređene u jednom moćnom kompleksu sedimenata koji je praćen ofiolitskim eruptivima (serpentinitima, peridotitima, dijabazima i dr).

Rasprostranjenje ove serije u slivu Bosne je veoma veliko. Zahvata centralni tok Bosne šireći se od istoka ka zapadu. Zona ovih jurskih sedimenata zahvata široki pojas zapadnih granica sliva Bosne. Južna granica ide od Vranduka preko Vareša, Olova i Knežine. Istočna granica je veoma krivudava i razbija se u više pojava.

U okviru sedimenata gornje jure na razmatranom području izdvajaju se dvije facije i to kao gornja jura–titon Vlašića i titon–valendijske naslage sjeverno od Zenice.

Gornja jura  $J_3^3$  na području Vlašića predstavljene su dolomitičnim krečnjacima i dolomitima titona sa školjkama, puževima, koralima u jednoj tipično zoogeno sprudnoj faciji. Leže transgresivno preko dolomita trijasa.

Titon – valendijske naslage (J,K) na području Zenice zapremaju široku zonu počevši od Babišnice, Bijelih voda, Sabovića na sjeveroistoku od Zenice, preko Vepra, Gladovića, Lisca, Tidovca, Šarampova, Javorja na zapad, do iznad Gluhe Bukovice. U pojasu titon–valendijskih naslaga Zenice, izdvojene su dvije serije, koje su obje flišolike: donja nemilska serija i gornja vrandučka serija.

Donja nemilska serija ( $^1J,K$ ) pruža se od Sagovića, na istoku, preko Nemile i Plandišta u jednoj uskoj zoni ka sjeverozapadu. Serija je predstavljena bankovitim silifikovanim glincima, rožnacima, pjeskovitim kalkarenitima.

Gornja, vrandučka serija ( $^2J,K$ ) je konkordantna sa donjom. Predstavljena je pjeskovitim krečnjacima, laporovitim krečnjacima (kalkarenitima, brečastim krečnjacima) sa rijetkim uklopcima rožnaca, koji se javljaju, kao umeci u bankovitim glincima sivozelenkaste boje, sa rijetkim proslojcima pješčara, još rjeđe sitnozrnog konglomerata sa ugljenisanim biljnim ostacima. U ovoj seriji smješteni su projektovani objekti.

#### Kreda

Kredne tvorevine u razmatranom slivu rijeke Bosne imaju relativno malo rasprostranjenje. Međutim, izvjesni sedimenti su uzeti kao jurski a vjerovatno pripadaju kredi. Kredne naslage se javljaju u dva prostorno izdvojena područja: sjeverno, počevši od Gluhe Bukovice, Mehurića, Vrselja Zenice na jugoistok i južno koje je razvijeno u više izolovanih pojava oko Travnika, Bile, Viteza i Kaonika kod Busovače.

Kredne naslage su predstavljene tvorevinama i gornje krede. Donjekredne naslage su dijelom predstavljene berijaskim tvorevinama koje su opisane u prethodnom poglavlju kada je bilo riječi o jurskim – titonskim naslagama. Ovi slojevi su shvaćeni kao prelazni između jure i krede, odnosno pripadaju valendijskom katu.

Od krednih sedimenata zastupljena su tri stratigrafska člana i to: krečnjaci donje krede, pješčarsko - laporovita facija gornje krede i rudistni krečnjaci gornje krede.

U okviru razmatranog sliva donja kreda alb-cenoman ( $K_{1,2}$ ) je predstavljena bankovitim krečnjacima na području Mudrika oko Kalaja.

#### Gornja kreda - turon ( $K_2^2$ )

Turonske naslage su razvijene u dvije facije: klastičnoj i krečnjačkoj.

Klastična facija turona predstavljena je pješčarima i laporcima, koji su tankoslojeni – fliš turona. Sa sjeverne strane prati mlađu gornju kredu od Rakovice na SZ do iznad Klopče JI od Zenice.

Krečnjačka facija turona dijelom predstavljena crvenkastim masivnim krečnjačkim brečama na Vlašiću kod Šišave, prati sa južne strane po pružanju prema JZ mlađe gornjekredne naslage.

#### Gornja kreda – senon ( $K_2^3$ )

Senonske flišne naslage zauzimaju najveće prostranstvo od krednih tvorevina. Javljaju se u sjevernoj i južnoj zoni prostiranja krednih naslaga. U senonu su lokalno litološki izdvojene

dvije različite facije: grublja klastična ( $^1K_2^3$ ), predstavljena sivozelenkastim pjeskovitim laporcima, grubim pješčarima, krečnjačkim brečama i detritičnim krečnjacima. Javlja se u nižim dijelovima, na jugoistoku.

Senon u južnoj zoni je utvrđen na više izdvojenih mjesta, kao što su pojave kod Kaonika, Bile i Travnika. Senon oko Kaonika predstavljen je detritičnim laporovitim krečnjacima i laporcima.

Na području Bile se javlja manja zona senona koja leži preko trijaskih dolomita.

Senon je utvrđen i na Kotolu, Bukovici kod Travnika sa laporcima i laporovitim krečnjacima u kojima se javljaju fragmenti rudista.

### *Tercijar*

Tercijarne naslage u okviru proučavanog sliva su veoma rasprostranjene a predstavljene su sedimentima oligo-miocena i miocena.

Sedimenti oligomiocena su veoma rasprostranjeni i javljaju se u izolovanim basenima. Osnovna karakteristika ovih basena je da pored faunističkih imaju i zajedničke litofacijalne odlike.

U njima su razvijeni svi ili pak samo pojedini članovi iz ove serije sedimenata, a to su: konglomerati, pješčari, gline, škriljave i pjeskovite gline, pločasti, ponekad glinoviti ili oolitni krečnjaci, pješčari, laporci, pjeskoviti lapori, laporoviti pješčari. Ovdje se ističe Sarajevsko-zenički basen. U okviru ovog basena izdvajaju se tri posebne litostratigrafske (kartirane) jedinice:

- $^3Ol,M$  - šarena serija (crvena serija Breze i Kaknja, odnosno podinska ugljena zona Zenice i Bile)
- $^2Ol,M$  – sedrasti krečnjaci
- $^1Ol,M$  – bazalna zona

#### Bazalna zona ( $^1Ol,M$ )

Najstariji sedimenti iz slatkovodne serije utvrđeni su duž sjeveroistočnog oboda basena počev od Gračanice kod Zenice, na istoku, pa sve do sela Suhi do, na zapadu. Bazalni sedimenti su utvrđeni i na jugozapadnom rubu basena, zapadno od rijeke Bile.

Predstavljeni su najvećim dijelom glinovitim, pjeskovitim i laporovitim sedimentima. Na nekim mjestima pronađeni su slojevi i zone konglomerata u kojima se kao uklopici nalaze karakteristične rožnačke valutice crne boje. Za bazalnu zonu vezan je i ugljeni sloj tzv koščanski ugljeni sloj koji je dobio ime po mjestu Koščani kod Breze. Ovaj sloj konstatovan je kod sela Suhi Do, Mehurića i Gučje gore.

#### Sedrasti krečnjaci $^2Ol,M$

Ova litostratigrafska jedinica predstavljena je u cjelini slojevima, katkad i masivnim šupljikavim krečnjacima. Sedrasti krečnjaci su najbolje otkriveni u krajnjem sjeverozapadnom dijelu basena u okolini sela Bandol, Gučja gora, Maline, Pode, Brajkovići.

#### Šarena serija $^3Ol,M$

Preko sedrastih krečnjaka leži karakteristična „šarena“ serija koja obuhvata slojeve koji leže iznad markantnih sedrastih krečnjaka u podini, a ispod ugljene zone ili ispod III podinskog ugljenog sloja.

Na sekcijama Brajkovići i Zenica, šarena serija je razvijena u vidu kontinuiranog pojasa. Litološki je predstavljena najvećim dijelom laporovito-glinovito-pjeskovitim sedimentima sa slojevima onečišćenog uglja, ugljevitog škriljca i konglomerata.

Gline koje izgrađuju 70% ove zone obično su onečišćene raznim primjesama, pa su pjeskovite, ugljevite ili obiluju raznobojnim konkrecijama.

Pješčari su pretežno vezani glinenim cementom, a lapori su obično pjeskoviti. U ovoj zoni su i slojevi konglomerata kod Miškovića, Jasika i Konjevića potoka.

#### Miocen

Miocen je predstavljen marinskim sedimentima koji pokazuju velike facijalne razlike. U okviru ovog sliva miocen je podjeljen na stariji i mlađi miocenski polifacijalni kompleks.

Stariji miocenski polifacijalni kompleks je podjeljen na slijedeće litostratigrafske jedinice:

- glavna ugljena zona ( $M_{1,2}$ ) čine slojevi glinovitih lapora, pješčara, glina i glavni, I, II i III podinski ugljeni sloj
- Povlatna krečnjačka zona ( $^1M_2$ ) čine slojeviti krečnjaci sa povlatnim ugljenim slojem
- Prelazna zona ( $^2M_2$ ) čine tankoslojeviti laporci i pješčari sa rijetkim slojevima konglomerata
- Lašvanska serija ( $M_{2,3}$ ) čine alternirajuća serija konglomerata, laporaca i krečnjaka

Mlađi miocenski polifacijalni kompleks ( $M_3$ ) čine dvije litostratigrafske jedinice. To su

- Koševska serija ( $^1M_3$ ) i
- Orlački konglomerati ( $^2M_3$ )

#### Koševska serija ( $^1M_3$ )

Ova serija leži ispod lašvanskih konglomerata u podini i konglomerata na brdu Orlac. Izgrađena je od slojeva slabovezanih stijena, trošnih, glinovitih ili vapnovitih pješčara, pjeskovitih lapora i glina, trošnih šupljikavih krečnjaka i slabo cementovanih krečnjačkih konglomerata. Unutar ove serije utvrđen je jedan ugljeni sloj (Kajmakovića i Bukve)

#### Orlački konglomerati ( $^2M_3$ )

Basenske sedimente u cjelini završavaju karakteristični bankoviti sitnozrni konglomerati koji su od erozije sačuvani samo u orlačkoj sinklinali; Konglomerati se karakterišu bogatstvom karbonatnog cementa i većom sitnozrnošću u odnosu na konglomerate iz nižih dijelova serije.

Gornjem miocenu pripadaju i krečnjački konglomerati oko Travnika. Na putu prema Turbetu ovi konglomerati leže transgresivno preko permotrijaskih, mjestimično preko gornjajurskih sedimenata.

Gornjem miocenu pripadaju i laporoviti krečnjaci područja Mudrike, sjeverno od Vlašića.

#### Kvartar

Kvartarne naslage su predstavljene tvorevinama starijeg i mlađeg kvartara.

Tvorevine starijeg kvartara predstavljene su fluvijoglacijalnim sedimentima koje su razvijene u vidu ostataka glacijacije a rjeđe u vidu rječnih terasa. Ove naslage čine grubi glinoviti šljunkovi sa valuticama škriljaca, rožnaca, gabrova, krečnjaka i pješčara.

Mlađe kvartarne naslage su predstavljene riječnim terasama: višim i nižim, nanosom i mlađim naslagama bigra duž sadašnjih vodotoka. Tipični riječni nanos zastupljeni u donjem toku rijeke Bosne.

Aluvijalni sedimenti ( al ) predstavljaju riječni nanos izgrađen od šljunka i pijeska gdje čine faciju korita rijeke Bosne neposredno uz njene obale. U hidrogeološkom pogledu imaju funkciju intergranularne poroznosti. Procjenjuje se da maksimalna debljina ovih tvorevina iznosi 3 m a na pojedinim dijelovima korita rijeke Bosne, ovi sedimenti i izostaju ili su svedeni na minimum, te se u koritu uočavaju stijene supstrata tj. vrandučke serije.

Pored aluvijalne tvorevine, kao savremeni fluvijalni sedimenti izdvajaju se proluvijalne tvorevine ( pr ) na ušćima većine bočnih potoka u rijeku Bosnu. Sastav ovih tvorevina

uglavnom odražava sastav matičnih stijena vrandučke serije i predstavlja zaglinjenu drobinu različitog granulometrijskog sastava. Debljina ovih sedimenata je različita i može da iznosi preko 3 m.

Deluvijalni sedimenti (dl) uglavnom su predstavljeni nakupinama u nižim dijelovima doline i pri dnu padina. U sastavu ovih sedimenata učestvuju produkti površinskog raspadanja matičnih stijena vrandučkog polufacijalnog kompleksa. Deluvijalni sedimenti su pretežno male debljine i kreću se od 0,2-3 m što treba istražnim radovima ustanoviti. Odlikuju se promjenjivom vodopropusnošću i preovlađujuće intergranularnom poroznošću.

Siparski nanos (s) leže najčešće u podnožju strmih odsjeka otkrivenih matičnih stijena različitog granulometrijskog sastava. Procjenjena debljina je preko 3 m.

U kvartarne tvorevine ovdje se mogu izdvojiti i vještačke tvorevine dobivene i odložene pri iskopima tunelskih objekata. Svi istražni radovi će se izvoditi u flišolikoj vrandučkoj seriji i kvartarnim sedimentima. To su stijene intergranularnog tipa poroznosti.

### **Tektonika terena**

Tektonske karakteristike terena u razmatranom slivu rijeke Bosne su kao i geološke odlike veoma složene. Na osnovu geotektonske karte K. Petkovića (1960.), područje lista Sarajevo (izvorište rijeke Bosne) pripada zoni „paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka“. Ovdje je izdvojeno više strukturno-facijalnih jedinica od kojih se ističu:

- *strukturno-facijalna jedinica bosanske škriljave planine*
- *strukturno-facijalna jedinica Bjelašnica–Visočica*
- *strukturno-facijalna jedinica Ledići–Ozren*
- *strukturno-facijalna jedinica Crepoljsko-Trebević-Treskavica*
- *paleozoik Prače*

Strukturno-facijalne jedinice *bosanske škriljave planine* zahvata područje od Bradine preko Pazarića do Hadžića i Blažuja. Ova jedinica obuhvata metamorfne stijene paleozojske starosti, preko kojih tektonski leže dolomiti i dolomitski krečnjaci. Paleozojski kompleks se završava transgresivnim permskim klastitima. Tu su izdvojene dvije jedinice: Bradina-Tarčin i tektonska jedinica Hadžići.

#### *Strukturno-facijalna jedinica Bjelašnica–Visočica*

Ova jedinica obuhvata Bjelašnicu, Igman, i prostor Ljubine. Ističe se razvojem debelog kompleksa krečnjaka i dolomita srednjeg i donjeg trijasa i jursko-krednih klastita. Prema facijalnom razvoju, kao i prema strukturnim elementima, ona je izdijeljena u pet tektonskih jedinica (Bjelašnica-Preslica, Bjelašnica, Igman, Hojta, Ljubina)

#### *Strukturno-facijalna jedinica Ledići–Ozren*

Ova jedinica ima malo rasprostranjenje i predstavljena je klastitima donjeg trijasa, srednjetrijskim dolomitima i vulkanogeno-sedimentnim tvorevinama, a najmlađa tvorevina izgrađena od jursko-krednih klastita. Ovdje je izdvojena tektonska jedinica Ledići koja u strukturnom pogledu je prevrnuti bora koja je djelimično navučena na Bjelašnicu i Igman, a kasnije razlomljena krupačkim rasjedom, rasjedom Presjenica-Babin Do. Sa istočne strane preko sinklinalne forme ove jedinice navučeni su donji i srednjetrijski sedimenti Trebevića.

*Strukturno-facijalna jedinica Crepoljsko-Trebević-Treskavica*

Ova jedinica se nalazi u istočnom i jugoistočnim dijelovima ovog lista. U njen sastav ulaze kvarc-liskunoviti pješčari donjeg trijasa, masivni krečnjaci i vulkanogeno-sedimentne tvorevine srednjeg trijasa. Struktura ove jedinice je veoma složena a osnovnom strukturom, najvjerovatnije prevrnutе antiklinale, izrasjedana nizom kraljušti. Jugozapadno od Trebevića struktura tone pod depresiju sarajevsko- zeničkog terciarnog basena. Od Sarajeva prema Crepoljskom, erozijom je otkriveno jezgro inversne antiklinale. Na čitavom ovom dijelu terena tvorevine ove tektonske jedinice leže preko klastičnih sedimenata jure i krede, a negdje i preko trijaskih tvorevina.

Tektonski stil ove jedinice ukazuje na jasno izraženu kliznu-gravitacionu tektoniku. Krečnjaci su se ponašali kao krute mase, zbog čega je dolazilo do pucanja i navlačenja masa kao ploča jednih preko drugih i po nekoliko puta.

*Paleozoik Prače*

Ova jedinica je otkrivena na krajnjem jugoistočnom dijelu lista, a izgrađena je od devonskih krečnjaka i dolomita i klastita karbona preko kojih su vjerovatno dekolmanski kretani sedimenti tektonske jedinice Trebevića.

*Strukturno- facijalna jedinica Sarajevsko- Zeničkog basena.*

Ovaj basen zahvata centralne i sjeverozapadne dijelove lista, između centralno-bosanskog paleozoika, Bjelašnice, Igmana, Trebevića i Ljubine. Leži diskordantno preko svih članova ranije pomenutih jedinica. U sastav ove jedinice, koja predstavlja monoklinalu, ulaze sedimenti oligomiocena i miocena.

U okviru lista OGK Zenica i Vareš koji obuhvata sliv rijeke Bosne u tektonskom pogledu izdvaja se centralna ofiolitska zona i zona paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka.

U okviru geotektonskog raščlanjivanja Dinarida (Hrvatović 1999.), ovu zonu izdvaja kao ofioliti sa okolnim sedimentima (Ofiolitska zona)

*Centralna ofiolitska zona* zauzima krajni sjeveroistočni dio sliva i neznatni dio područja na istok i zapad oko Nemile. Centralna ofiolitska zona – područja Nemile, predstavljena vulkanogeno-sedimentnom formacijom srednjeg trijasa, predstavlja navlaku, čije čelo leži na liniji Segovići–Nemila, Orahovica, kao dio regionalne navlake označene pod nazivom vareško-nemilska navlaka. Centralna ofiolitska zona je navučena na titon-valendiske naslage u ovom slučaju označene kao Vrandučko- Mehurički pojas kraljušti i poleglih izoklinih bora.

*Zona paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka.*

Ova zona je podjeljena u tri strukturno-facijalne jedinice i to:

- naborna struktura područja Nemila-Travnik
- područje divergentnog ubiranja i
- tektonska depresija

U okviru naborne strukture područja Nemila–Travnik nalazi se jedinica Vrandučko–mehuričkog pojasa kraljušti i poleglih izoklinih bora. Ova jedinica obuhvata područje sjeveroistočno od Vlašića, odnosno od sarajevsko-zeničke depresije. Ovo je tipičan naborni pojas, gdje se jursko-kredne flišne naslage, pretežno laporovito-pješčarske naslage snažno potisnute ka jugozapadu, često stisnute, sitno iskraljuštene i nabrane u desetometarskoj rijetko stometarskoj razmjeri. Ponekad usljed snažnog potiska bore su i prebačene (sa tjemenom nabora sada zagnjurenim ka sjeveroistoku).

U ovoj strukturi se nalaze projektovani i objekti za HE Vranduk.

Kao tektonskih depresija izdvajaju se Sarajevsko-zenička i depresija Bugojna, koje su nastale radijalnom tektonikom. Plikativne strukture u njima posebno na području zeničke depresije su se prilagodile, stisnute između nabornih struktura područja Nemila-Travnik i područja diferenciranog ubiranja.

Zona paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka u geotektonskom raščlanjenju Dinarida (Hrvatović, 1999.) je izdvojena kao klastični i karbonatni sedimenti pasivnog kontinentalnog ruba. U sklopu naslaga pasivnog kontinentalnog oboda spadaju mezozojske (jursko-kredne i gornjekredne) klastično-karbonatne tvorevine. Jursko-kredne-glinovito-pjeskovite naslage, Olujić (1978.) označava kao vrandučka subgrupa. Predstavljena je pjeskovito-glinovito-laporovitim sedimentima. Subgrupa Vranduk je podjeljena na četiri formacije a nazivi su im dati prema preovlađujućim litološkim članovima: laporoviti mikriti, laporoviti mikriti, areniti i laporci, areniti, laporci, laporoviti mikriti i areniti.

Brana i prateći objekti se nalaze u zoni tektonskog kontakta dvije velike geotektonske jedinice: 1. Ofiolitna zona Dinarida i 2. Bosanskog fliša.

Vrandučko – mehurički pojas kraljušti i poleglih izoklinih nabora, kome pripada i ovaj teren, je tipičan naborni pojas, gdje su jursko-kredne flišne naslage snažno potisnute ka jugozapadu, često stisnute i nabrane u izokline bore reda veličine najčešće deset do stometarskih veličina (vidi geološku kartu).

### **Hidrogeološke karakteristike područja istraživanja**

Istraživano područje se odlikuje heterogenim litološko-petrografskim karakteristikama. Različit petrografski sastav uslovljava i različite hidrogeološke karakteristike.

U hidrogeološkom pogledu u okviru razmatranog sliva zastupljene su stijenske mase sa različitom, često i kompleksnom hidrogeološkom funkcijom i to: vodonepropusne, slabovodopropusne i dobro vodopropusne.

#### *Vodonepropusne stijene – hidrogeološki izolatori*

U ovu grupu stijena spadaju: gnajsevi, mikašisti, različiti škriljci, filiti, argilošisti (starijeg i mlađeg paleozoika), škriljci, laporci, (verfena), lapori i škriljave gline (gornjekredni fliš) te glinci, lapori, gline i laporci (tercijara).

Prostranstvo ovih sedimenata na području sliva je znatno. Izgrađuju jugozapadna područja obuhvatajući i sarajevsko-zeničko polje. Ovi sedimenti čine osnovnu geološku građu planina: Jahorina, Igrišta, Romanija i Zvijezda (verfen).

Vodonepropusne stijene (tercijara) izgrađuju sjeverne obodne dijelove razmatranog sliva. Ovoj grupi pripadaju i naslage tercijarnih basena.

S obzirom da ove stijene imaju izrazitu funkciju hidrogeoloških izolatora, te na njihovom kontaktu sa drugim slabo ili jače vodopropusnim stijenama uslovljavaju formiranje manjih ili većih izvora. Sa druge strane ove stijene utiču na opšti hidrografski karakter pomenutih područja koja se odlikuju izrazito površinskom mrežom.

#### *Slabovodopropusne stijene i hidrogeološki kompleksi*

U ovu grupu stijena spadaju eruptivne i sedimentne stijene (serpentini, peridotiti, dijabazi, melafiri, kvarcporfiri, gabro, andeziti, daciti i dr., te laporoviti krečnjaci, dolomiti i fliš. Rasprostranjenje ovih sedimenata je veoma veliko. Uglavnom izgrađuju područja oko centralnog toka rijeke Bosne, jugozapadni dio i sjeveroistočni dio sliva. Stijene ove grupe na pomenutom području ispresjecane su prslinama i pukotinama različitih pravaca. Najčešće su to zatvorene pukotine koje zahvataju relativno plitku površinsku zonu. Podzemne vode i



izvori koji se javljaju na području izgrađeni od ovih stijena uglavnom su vezani za prsline i pukotine i redovno su neznatne izdašnosti. Radi toga se pomenute stijene odlikuju prslinsko-pukotinskom poroznošću te predstavljaju stijene sa hidrogeološkom funkcijom loših (slabih) vodonosnika. Pomenuti prostori izgrađeni od ovih stijena odlikuju se pretežno površinskom hidrografskom mrežom u vidu većih ili manjih tokova.

*Dobrovodopropusne stijene- hidrogeološki kolektori*

U ovu grupu stijena uvršteni su karstifikovani krečnjaci (srednjeg i gornjeg trijasa, gornje jure-titona i gornje krede.

Stijene ove grupe unutar sliva u odnosu na ranije opisane stijene, imaju znatno manje rasprostranjenje. Najčešće se javljaju kao izolovane partije unutar ranije opisanih hidrogeoloških jedinica. Nešto veći kompleks ovih stijena je otkriven u jugoistočnom i istočnom dijelu sliva, te na prostoru JI i SI od Travnika.

Od ovih stijena su izgrađeni planinski vrhovi Igmana, Trebevića, Ozrena, Romanije, Zvijezde i dr.

U tim područjima se javljaju tipični kraški oblici, zjapeće pukotine, vrtače, ponori, jaka kraška vrela i dr. Ove osobine daju stijenskoj masi karakter izraziti vodopropusne sredine pukotinsko-kavernozne poroznosti sa hidrogeološkom funkcijom dobrih vodosprovodnika. Radi toga su ovi tereni bezvodni i odlikuju se podzemnom hidrografskom mrežom.



Slika 1. Hidrogeološka karta slivnog područja Bosne



## Zaključak

Geomorfološka građa proučavanog područja je raznovrsna i morfometrijski neujednačena zbog promjenjivog litološkog sastava te složenih tektonskih odnosa.

Geološka građa je kompleksna. Slivno područje je izgrađeno od složenih litoloških kompleksa paleozojske, mezozojske i kenozojske starosti. U geotektonskom smislu tretirano područje pripada zoni mezozojskih krečnjaka i paleozojskih škriljaca.

Po svojim hidrogeološkim svojstvima proučavani teren je najvećim dijelom izgrađen od vodonepropusnih i slaboopropusnih stijena dok su dobropropusne stijene odnosno karstifikovani krečnjaci srednjeg i donjeg trijasa, gornje jure i gornje krede manje rasprostranjeni.

U inženjerskogeološkom pogledu na tretiranom području su zastupljeni svi predstavnici pojedinih grupa stijena (vezanih, poluvezanih i nevezanih) sa velikim brojem njihovih varijeteta podgrupa, klasa i vrsta). Teren je izgrađen od čvrstih kamenitih karbonatno-klastičnih stijena fliša i nevezanih stijena riječnog i drobinskog materijala. Čvrste stijenske mase su stabilne premda u stijeni postoje određene, lokalne, zone gdje su pojedina inženjerskogeološka i hidrogeološka svojstva nepovoljna u smislu stabilnosti, nosivosti, deformabilnosti i vodopropustljivosti.

## Literatura

- Atanacković, M (1977):* Geologija Bosne i Hercegovine, Knjiga III, str. 63-66, Sarajevo.
- Čičić, S., Milojević, R. (1977):* Geologija Bosne i Hercegovine, Knjiga III, str. 67-106, Sarajevo.
- Čičić, S (2002):* Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Monografija. Earth Science Institute. Sarajevo.
- Hrvatović H. (1999):* Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu, Zavod za geologiju Sarajevo, BiH.
- Hrvatović, H. (2000):* Passive Continental margin formations (Bosnia flysch), Pancardi 2000, 71-72, Dubrovnik, Croatia
- Hrvatović, H. (2000):* Postorogenic intramontane basins, Pancardi 2000, 73-74, Dubrovnik, Croatia.
- Hrvatović, H. (2002):* Geological map of Bosnia and Herzegovina IGME 5000/7. Geol. glas. 35, p139-152, Sarajevo.
- Jovanović, R., Mojičević, M., Tokić, S. & Rokić, Lj. (1978):* List Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Jovanović, R., Mojičević, M., Tokić, S. & Rokić, Lj. (1978):* Tumač za list Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Katzer, F. (1903):* Geologischer Führer durch Bosnien und die Hercegovina, IX Internationalen Geologencongresses, Sarajevo
- Katzer, F. (1906):* Historijsko razvijanje i današnje stanje geološkog proučavanja Bosne i Hercegovine. Glas. Zemalj. muz. u BiH, 18, 37-68.
- Katzer, F. (1926):* Geologija Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
- Mišćević, P. (2004):* Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet IGH d.d Zagreb. Građevinsko-arhitektonski fakultet IGH d.d Zagreb.
- Olujić, J., Pamić, O., Pamić, J., Mihajlović, R., Veljković, D. & Kapeler, I. (1977):* List Vareš, Geološki zavod, Sarajevo, 1958-1970, Savezni geol. zavod Beograd.
- Sofilj, J. Živanović, M. (1979):* List Prozor, Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.
- Sofilj, J. Živanović, M. (1979):* Tumač za list Prozor, Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.

*Vujnović, L., Vrhovčić, J., Jovanović, R., Živanović, M. & Soflji, J. (1975):* List Bugojno, Savezni geološki zavod, Beograd.

*Vujnović, L. (1975):* Tumač za osnovnu geološku kartu list Bugojno, Savezni geološki zavod, Beograd.

*Živanović, M. (1963):* Prilog stratigrafiji srednjobosanskih škriljavih planina. Geol. glas. 7, p. 195-198, Sarajevo.

*Živanović, M. (1975):* List Zenica, Savezni geološki zavod, Beograd.

*Živanović, M. (1975):* Tumač za list Zenica, Savezni geološki zavod, Beograd.

## Kvalitet podzemnih voda područja Gračanice

Dr.sc.Dinka Pašić-Škripić, vanr.prof.  
Dr.sc.Izet Žigić, red.prof.  
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet  
Univerzitet u Tuzli  
Mr.sc.Fuad ALIĆ  
Vodovod d.o.o.Gračanica

### UVOD

U ovom radu predstavljeni su rezultati istraživanja fizičko-hemijskih karakteristika podzemnih voda na teritoriji općine Gračanica. Istraživanja su imala za cilj da ispitaju i sistematizuju podatke o karakteristikama voda koje se koriste za vodosnabdijevanje, kao i da ukažu na neophodnost zaštite ovog prirodnog resursa. Trenutno se sistem na području Gračanice vodom snabdijeva sa prirodnih izvorišta (Vrela, Ilidža iz Sokola, kao i bušenih bunara Sklop, Seljanuša i Hadžina voda), kao i sa više lokalnih vodovodnih sistema. Nedovoljne količine vode u sistemu za posljedicu imaju redukcije u snabdijevanju kao i problem nemogućnosti širenja zone snabdijevanja vodom za nova naselja.

Ključne riječi: kvalitet voda, izvorišta, vodosnabdijevanje, fizičko-hemijske analize, uzorci vode.

### SUMMARY

This paper presents the results of testing the physical and chemical characteristics of ground water in the municipality of Gračanica. Investigations have sought to systematize the information on the characteristics of water used for water supply, emphasizing the need to protect this natural resource, and the possibility of further research. Currently, the sistem is in Gračanica water is supplied from natural springs (Vrela, Ilidža from Sokol, and drilled wells Sklop, Seljanuša and Hadžina voda), and several local water systems. Insufficient amount of water in the system, resulting in a reduction in supply, and the problem of expansion possibilities and areas of water supply to the new settlements.

Key words: water quality, water source, supply, physical and chemical analyzes, water samples

### 1. KVALITET PODZEMNIH VODA GRAČANICE

Stanovništvo općine Gračanica snabdijeva se kombinovanim sistemom vodoopskrbe (bušeni bunari u intergranularnoj i pukotinsko-karstnoj sredini, prirodni izvori iz krečnjačkih sredina, plitki bunari u individualnim domaćinstvima, javne česme i drugo). Veći dio stanovništva snabdijeva se vodom iz javnog vodovoda, gdje se distribucija vode vrši iz centralnog rezervoara primarnom i sekundarnom mrežom.

Tretman vode nije prisutan, a vrši se dezinfekcija vode. Mikrobiološka i hemijska analiza uzoraka vode vrše se kontinuirano. Uslijed povećanja broja korisnika postojeći sistem vodosnabdijevanja ima potrebu uvođenja novih količina vode, zbog čega se posljednjih desetak godina vrše intenzivna istraživanja.

Podzemne vode za potrebe vodosnabdijevanja, formirane su u sredinama pukotinsko-karstne i intergranularne poroznosti.

Vode iz pukotinsko – kaverozne poroznosti pokazuju nepromijenjen kvalitet, kakav je bio kvalitet vode u vrijeme probnog crpljenja tako i poslije dužeg vremena eksploatacije.

Bakteriološki nalazi pokazuju da je voda na izlazu iz bunara sterilna, što znači da se može koristiti za vodosnabdijevanje stanovništva.

Vode iz intergranularne poroznosti Sprečanske doline, pokazuju povećan sadržaj željeza i mangana, što zahtijeva odgovarajući tretman vode ako se odluči koristiti za snabdijevanje stanovništva vodom.

### **Kvalitet podzemnih voda u izvorištu Sklop i Seljanuša**

Podzemne vode izvorišta Sklop i Seljanuša, najvjerojatnije, pripadaju istoj hidrogeološkoj jedinici. U prilog tome su i veoma slično fizičko-hemijske karakteristike voda, te se u narednom izlaganju kvalitet voda ovih izvorišta razmatra jedinstveno.

Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda u izvorištima Sklop i Seljanuša vrši se kontinuirano dugi niz godina, što je i zakonska obaveza preduzeća koje se bavi eksploatacijom podzemnih voda za potrebe javnog snabdijevanja vodom. Ispitivanja kvaliteta vode iz eksploatacionih bunara Sklop III u Sklopu i P-2 Seljanuša vršena su na nivou kompletnih i skraćenih analiza fiziko-hemizma, te bakterioloških analiza vode. Ispitivanja na nivou kompletnih analiza vršena su u ograničenom obimu, za razliku od redovnog praćenja kvaliteta vode na nivou skraćenih fizičko-kemijskih i bakterioloških analiza. Ispitivanje kvaliteta vode iz eksploatacionih bunara na lokalnim izvorištima i javnim česnama, prikazane u ovom radu, vršeno je skraćenim analizama u laboratoriji Global Ispat Koksna Industrija u Lukavcu.

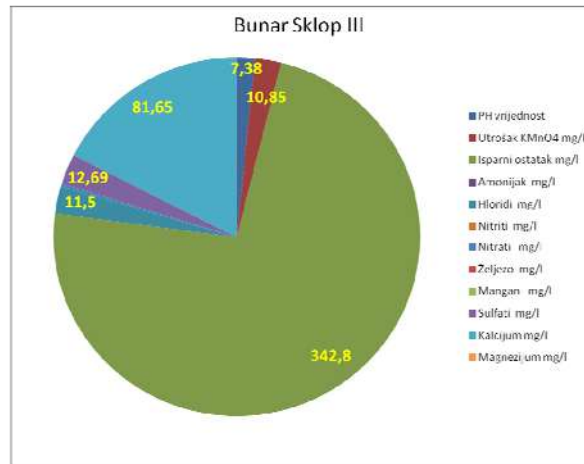
Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode uzetih iz bunara Sklop III u Sklopu i P-2 Seljanuša pokazuju da su vode veoma sličnog sastava i da, najvjerojatnije, potiču iz istog vodonosnika, te da su: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH ~ 7, temperature 15,5 – 17,5 °C, i elektroprovodnosti 440-530 μS/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda izvorišta Sklop i Seljanuša u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava na ispitivanim uzorcima vode uzetim u periodu od 2001. godine do danas, iz bunara Sklop III Sklop i P-2 Seljanuša.

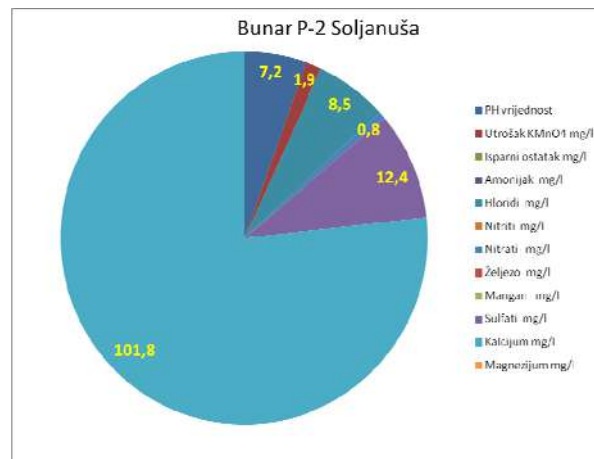
Na osnovu raspoloživih analiza fiziko-hemizma, može se konstatirati da je sadržaj **sulfata** u vodi relativno nizak i ne prelazi 20 mg/l, kao i **klorida** čije su vrijednosti oko 10 mg/l.

U ispitivanim uzorcima vode je utvrđen veoma nizak sadržaj **nitrita** (< 0,002 mg/l). Sadržaj **nitrata** praćen duži niz godina je veoma nizak i u dozvoljenim granicama vode za piće, kao i **amonijaka**. Odsustvo i veoma nizak sadržaj nitrita, nitrata i amonijaka ukazuje na odsustvo direktnog organskog zagađenja vode. Utrošak KMnO<sub>4</sub>, ima relativno niske vrijednosti što, također, ukazuje na **odsustvo organskog zagađenja vode**. Sadržaj **željeza** u vodi je veoma nizak. U većem broju uzoraka ono nije determinirano, dok se u nekim uzorcima nalazi u vrijednostima manjim od 0,05 mg/l. Sadržaj **mangana** ispitivan na manjem broju uzoraka **je veoma nizak** (< 0,05 mg/l).

Na osnovu prikazanih fizičko-kemijskih parametara može se zaključiti da kvalitet vode u izvorištima Sklop i Seljanuša odgovara uslovima Pravilnika o kvaliteti voda za piće, te da pokazuje stabilnost u višegodišnjem periodu ispitivanja.



**Grafikon 1.** Fizičko– hemijske karakteristike vode bunara Sklop III



**Grafikon 2.** Fizičko– hemijske karakteristike vode bunara P-2 Seljanuša

Bakteriološka ispitivanja vode u izvorištima Sklop i Seljanuša vršena su višegodišnjim uzorkovanjem u bunara bunara Sklop III Sklop i P-2 Seljanuša. Analize ispitivanja pokazuju da podzemne vode ovih izvorišta u potpunosti **odgovaraju** uslovima Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće. Primjer grafičkog prikaza srednjih vrijednosti fizičko-hemijskih karakteristika vode bunara Sklop i Seljanuša, predstavljen je grafikonima 1 i 2.

### Kvalitet podzemnih voda izvorišta Ilidža i Vrela - Soko

Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda u izvorištima Ilidža i Vrela vrši se kontinuirano dugi niz godina uzorkovanjem iz vodozahvatnih objekata.

Kvalitet vode se redovno prati a ispitivanja se vrše na nivou skraćenih fizičko-kemijskih i bakterioloških analiza.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz vodozahvata Ilidža i Vrela pokazuju da su vode veoma sličnog sastava i da potiču iz istog vodonosnika, te da su: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH ~ 7, temperature oko 11 °C, i elektroprovodnosti 500-515 μS/cm.



U kemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda izvorišta Ilidža i Vrela u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što potvrđuju ispitivanja iz 2007. i 2008. i 2012 godine iz vodozahvatnih objekata.

Na osnovu raspoloživih analiza fiziko-kemizma, može se konstatirati da **sulfati odsustvuju** a da je sadržaj **klorida** oko 11 mg/l. U ispitivanim uzorcima vode je utvrđen veoma nizak sadržaj **nitrita** (< 0,001 mg/l), kao i **nitrata** koji su u dozvoljenim granicama vode za piće. Veoma je važno pomenuti odsustvo **amonijaka** u vodi. Odsustvo i veoma nizak sadržaj nitrita, nitrata i amonijaka ukazuje na odsustvo direktnog organskog zagađenja vode. Utrošak KMnO<sub>4</sub>, praćen duži niz godina, ima relativno niske vrijednosti što, također, ukazuje na **odsustvo organskog zagađenja vode**.

Voda ne sadrži **željezo** kao i **mangan** koji je veoma nizak (< 0,05 mg/l).

Na osnovu prikazanih fizičko-kemijskih parametara može se zaključiti da kvalitet vode izvorišta Vrela i Ilidža - Soko odgovara uslovima Pravilnika, te da pokazuje stabilnost u višegodišnjem periodu ispitivanja.

### **Kvalitet podzemnih voda u izvorištu Hadžina voda**

Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda u izvorištu Hadžina voda vrši se kontinuirano dugi niz godina. Ispitivanja kvaliteta vode vrše se iz eksploatacionog bunara G-1. na nivou skraćenih analiza fiziko-kemizma, te bakterioloških analiza vode. Ispitivanja na nivou kompletnih analiza, vršena su u ograničenom obimu.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz bunara G-1 Hadžina voda pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,15 – 7,43, temperature oko 12 °C, i elektroprovodnosti 440-608 µS/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda izvorišta Hadžina voda, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analiza ispitivanja od 2006. godine do danas.

Na osnovu raspoloživih analiza fiziko-hemizma, može se konstatirati da je sadržaj **sulfata** u vodi veoma promjenjiv (0,00 – 58,6 mg/l) što, prema nekim autorima, može biti uzrokovano određenim zagađenjem jer se u isto vrijeme značajno povećava i elektroprovodnost vode. Sadržaj **klorida** je relativno nizak čije su vrijednosti 11-17 mg/l. Sadržaj **nitrita** je veoma nizak (< 0,001 mg/l) kao i **nitrata** (max.2,3 mg/l) u ispitivanim uzorcima, te potpuno odsustvo **amonijaka**. Odsustvo i veoma nizak sadržaj nitrita, nitrata i amonijaka ukazuje na odsustvo direktnog organskog zagađenja vode. Utrošak KMnO<sub>4</sub>, praćen duži niz godina, ima relativno niske vrijednosti (manje od 3,2 mg/l) što, također, ukazuje na **odsustvo organskog zagađenja vode**. Voda ne sadrži željezo a mangana je veoma nizak (< 0,05 mg/l).

### **Kvalitet podzemnih voda na lokalnom vodovodu 1 Miričina**

Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda sa lokalnog vodovoda 1 Miričina, vrši se u kontinuitetu što pokazuju rezultati fizičko hemijske analize.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz bunara EPM-1 Miričina pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,3, elektroprovodnosti 448 µS/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij , što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda izvorišta EPM-1, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

#### **Kvalitet podzemnih voda na lokalnom vodovodu 2 Miričina**

Na nivou skraćenih analiza fiziko-hemizma, te bakterioloških analiza vode kvalitet vode se redovno prati u laboratorijama Zavoda za javno zdravstvo.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz javnog vodovoda pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 6,8, elektroprovodnosti 405  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij , što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda na lokalnom vodovodu 2 Miričina, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

#### **Kvalitet podzemnih voda na lokalnom vodovodu Donja Orahovica**

Na nivou skraćenih analiza fiziko-hemizma, te bakterioloških analiza vode kvalitet vode se redovno prati u laboratorijama Zavoda za javno zdravstvo

Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode uzetih iz lokalnog vodovoda Donja Orahovica pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 6,5, elektroprovodnosti 405  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij , što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda na lokalnom vodovodu Donja Orahovica, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

#### **Kvalitet podzemnih voda na lokalnom vodovodu Pribava**

Lokalni vodovod Pribava služi za vodosnabdijevanje oko 3 000 stanovništva.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz lokalnog vodovoda pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,3, elektroprovodnosti 495  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij , što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda na lokalnom vodovodu Pribava, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

#### **Kvalitet podzemnih voda na lokalitetu Donja Orahovica NB**

Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda u izvorištu NB, Donja Orahovica vrši se kontinuirano dugi niz godina. Ispitivanja kvaliteta vode vrše se iz eksploatacionog bunara NB. Na nivou skraćenih analiza fiziko-hemizma, te bakterioloških analiza vode

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz bunara NB Donja Orahovica pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,70, elektroprovodnosti 510  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda izvorišta NB Donja Orahovica, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće, a što su pokazala i provedena ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

### **Kvalitet podzemnih voda na lokalitetu javna česma " Hajr voda " Donja Orahovica**

Javna česma izgrađena je u augustu 2011. godine i za svakodnevne potrebe koristi je veći dio stanovništva Donje Orahovice.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih iz javnog vodovoda pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,8, elektroprovodnosti 564  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet vode na javnoj česmi "Hajr voda", u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine.

### **Kvalitet podzemnih voda na lokalitetu javna česma Gračanica**

Javna česma Gračanica nalazi se u centralnom dijelu Gračanice i sa ove česme se vodom koristi dio stanovništva koje gravitira centru grada.

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode uzetih sa javne česme pokazuju da su vode: pitke, bez boje, mirisa i okusa, pH 7,8, elektroprovodnosti 443  $\mu$ S/cm.

U hemijskom sastavu vode procentualno dominiraju hidrokarbonati i kalcij, što ukazuje da voda potiče iz krečnjačkih naslaga. Kvalitet voda na javnoj česmi Gračanica, u pogledu fiziko-hemizma, u potpunosti odgovara uslovima vode za piće što se uočava iz analize ispitivanja iz oktobra 2012. godine

## **2. ANALIZA KVALITETA VODA PODRUČJA GRAČANICE**

Kvalitet voda je definisan na osnovu utvrđenih vrijednosti temperature vode, mutnoće, pH vrijednosti, utroška  $\text{KMnO}_4$ , jedinjenja azota, željeza mangana, dio teških metala, te ukupnog isparnog ostatka vode.

Rezultati analiza su pokazali da temperatura vode na ispitivanim uzorcima se kreće između 12 i 17 stepeni, pH vrijednost se kreće od 7,2 do 8,5, utrošak  $\text{KMnO}_4$  od 4,3 do 9,92 za podzemne vode što ukazuje na mali stepen zagađenja voda organskih materija, mutnoća je utvrđena u vrijednostima od 0,28 do 8,7 NTU jedinica, voda je bez mirisa i ukusa, jedinjenja azota utvrđena su u niskim koncentracijama ispod 0,03 mg/l ili ih uopšte nema, sadržaj željeza i mangana utvrđen je usredini intergranularne poroznosti sa nešto većim sadržajem, željezo se kreće u granicama od 0,3 do 0,5 mg / l, a mangan od 0,5 do 0,092 mg/l, sadržaj teških metala ( As, Cu, Cr, Pb, fenoli, deterdženti, cijanidi ) nisu indetificirani u pukotinsko-karsnoj izdani, dok u intergranularnom kolektoru treba izvršiti detaljna hemijska istraživanja u cilju utvrđivanja kvaliteta vode. Isparni ostatak se kreće od 360 do 450 mg / l na 105<sup>0</sup> C što govori o podzemnim vodama niske mineralizacije.

Na osnovu rezultata hemijskih analiza vode pukotinsko karsne izdani odgovaraju kvalitetu pitke vode po svim pokazateljima, dok vode intergranularne izdani imaju povećan sadržaj

željeza i mangana što traži određeni tretman i u pojedinim izvorištima, ne mogu se koristiti za piće.

Vode istražnog područja Gračanice se mogu svrstati kao podobne za snabdijevanje stanovništva pitkom vodom, s tim da treba računati sa odgovarajućim tretmanom voda u intergranularnoj izdani radi očuvanja kontrole kvaliteta vode.

## ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Grad Gračanica, kao i većina gradova Tuzlanskog kantona, suočava se sa problemom nedostatka dovoljnih i kvalitetnih količina vode za piće. Iako su u dugogodišnjem periodu (od 1962.godine do danas), izvršena brojna geološka i hidrogeološka istraživanja, ali ona najčešće nisu bila sistematična. Razvoj vodoopskrbe nije pratio trend razvoja grada, zbog ograničenih kapaciteta (izdašnosti) lokalnih izvorišta, dotrajale infrastrukturne mreže, kao i drugih objektivnih problema. I pored svega, Gračanica je ulagala značajna sredstva, posebno u zadnjoj deceniji, u istraživanja i rekognosciranje terena gdje su izvršena brojna opitna crpljenja vode iz bunara u cilju istraživanja hidrogeoloških parametara i karakteristika akvifera, te ispitivanja kvaliteta voda. Dobiveni hidrogeološki podaci, kao i kontinuirani monitoring voda, mogu biti dobra osnova za dalja istraživanja dugoročnog rješenja vodosnabdijevanja na području Gračanice, kao i zaštite izvorišta.

## LITERATURA

1. Alić F.; Pašić-Škripić, D.; Žigić, I; Srkalović D.: Karakteristike vodnih tijela podzemnih voda Gračanice, ISSN 0350-235 , Geološki glasnik br. 37,341 – 345, Sarajevo, 2008.
2. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I; Srkalović D.: Ranjivost podzemnih voda područja sjeveroistočne Bosne, Zbornik sa 38. ISBN 978-86-904241-6-0, COBISS.SR-ID 16754124, str.243-249, Zlatibor-Srbija Konferencije o korištenju i zaštiti voda " Vodra 2009. Zlatibor
3. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I.: Ugroženost podzemnih voda kod izgradnje i eksploatacije saobraćajnica, VII Naučno – stručni simpozij " Metalni i nemetalni materijali " Zenica, ISBN 978-9958-785-10-8, COBISS.BH-ID 1 6628486, str.611-615, Zenica 2008..
4. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I. D. Srkalović, 2010.: Ecological Aspects of Traditional Drinking water Supply by Shallow Wells in Nordwest Bosnia, 14th International Research/Expert Conference, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2010, ISBN 1840-4944, str. 333 – 337, Mediterranean Cruise.
5. Žigić, I; Pašić-Škripić, D. i drugi: Studija ranjivosti prostora Tuzlanskog kantona ( hidrogeološki dio ), Bosna – Soil Services company, 2008.
6. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D.; Alić F.: Studija sa programom hidrogeoloških radova na zahvatanju podzemnih voda u cilju poboljšanja vodosnabdijevanja općine Gračanica, Zavod za vodoprivredu Sarajevo, 2008.
7. Žigić, I; Pašić-Škripić, D.: Studija karakterizacije podzemnih voda sliva rijeke Save, na teritoriji FBiH, Zavod za vodoprivredu, 2009. Sarajevo
8. Žigić, Pašić-Škripić, D., et all (2008.): Studija sa programom hidrogeoloških radova na zahvatanju podzemnih voda u cilju poboljšanja vodosnabdijevanja Općine Gračanica. Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo.

## Prilog poznavanju geneze termalnih voda u Fojnici

FERID SKOPLJAK, HAZIM HRVATOVIĆ

### Sažetak :

Termalne vode u Fojnici su prvorazredan hidrogeološki objekat u srednjobosanskom škriljavom gorju i središnjim Dinaridima Bosne i Hercegovine. Definiranje njihove geneze je od prvorazrednog, ako ne i od najvećeg značaja, za istraživanje i zahvatanje dodatnih količina termalnih voda do sada utvrđenih i voda viših temperatura, optimalnu i održivu eksploataciju termalnih voda, te njihovu zaštitu. U objavljenim radovima pojedinih istraživača koji su se u proteklom periodu bavili proučavanjem geneze termalnih voda Fojnice, prisutna su značajno različita i često neuporediva stajališta u pogledu njihove geneze što dodatno daje podsticaj za stalna nastojanja da se geneza termalnih voda u Fojnici definira ili da se bar daju najvažniji njeni parametri u smislu definiranja uslova njihovog formiranja, dubine zalijeganja, pravaca glavnog toka, utvrđivanja mogućnosti zahvatanja termalnih voda viših temperatura, eventualnog miješanja voda viših i nižih temperatura i drugih pitanja. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja i proučavanja geneze termalnih voda Fojnice koji mogu biti prilog definitivnom rješavanju ovog pitanja u narednom periodu, te usmjeravanju budućih istraživanja i eksploatacije termalnih voda u Fojnici.

**Ključne riječi:** Fojnica, termalne vode, geneza

Thermal water in Fojnica are super hydrogeological structure in Central Schist Mountains and central Dinarides of Bosnia and Herzegovina. Defining their genesis is of great, if not of the utmost importance, for research and capturing additional quantities of thermal waters identified to date and at higher temperatures, optimal and sustainable exploitation of thermal waters and their protection. In the published work of individual researchers who have in recent years engaged in the study of the genesis of thermal waters Fojnica, there are significantly different and often incomparable views in terms of their genesis, which further gives impetus to ongoing efforts to be the genesis of thermal waters in Fojnica defined or at least to give the most important aspects of the genesis in terms of defining the conditions of their formation, deep burial, directions mainstream touching, to determine the possibility of abstraction thermal waters of higher temperatures, possibly mixing high and low water temperature and other issues. This paper presents the results of research and study of the genesis of thermal waters Fojnica that will be attached to a definitive resolution of this issue in the future, and guide future research and exploitation of thermal waters in Fojnica.

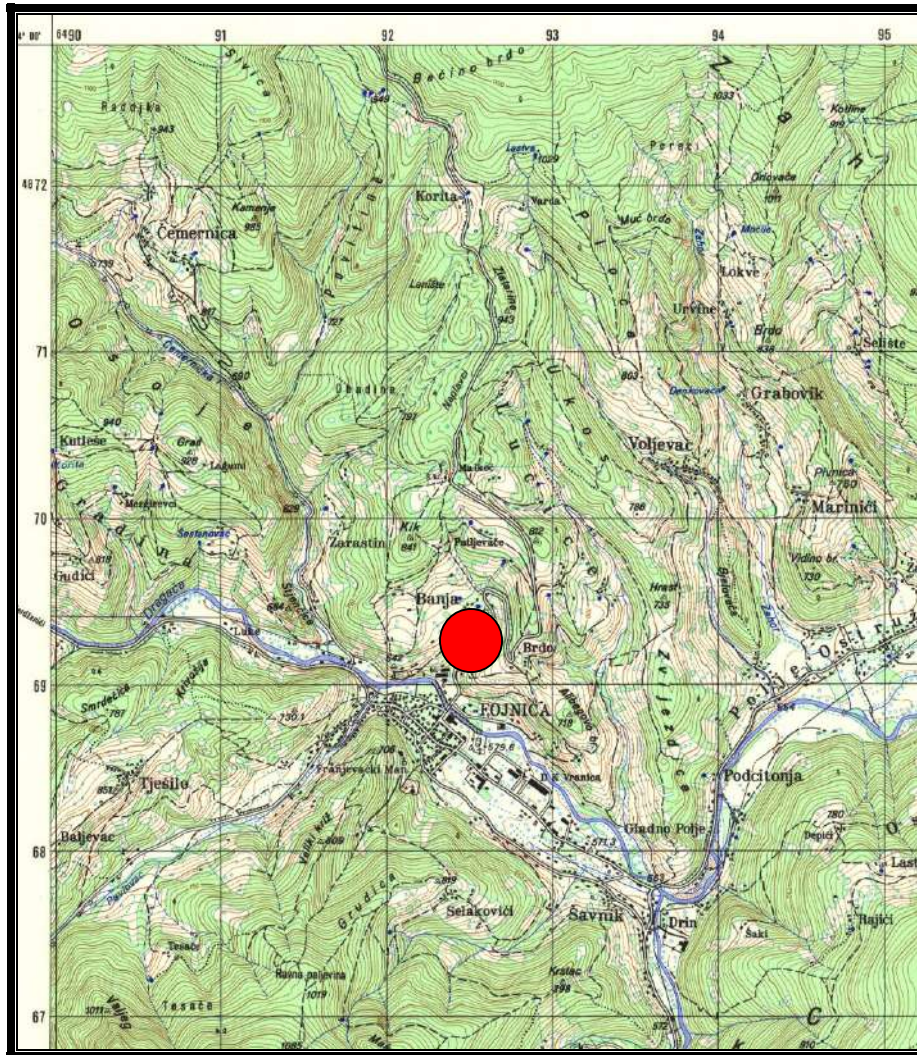
**Keywords:** Fojnica, thermal waters, genesis

## UVOD

Termalne vode u Fojnici su prvorazredan hidrogeološki objekat u srednjobosanskom škriljavom gorju i središnjim Dinaridima Bosne i Hercegovine. Predstavljaju veoma vrijedan mineralno-sirovinski resurs čije korištenje i proučavanje seže u daleku prošlost, a danas predstavlja okosnicu privrednog razvoja općine Fojnica i okoline. Prve podatke o geološkim istraživanjima termalnih voda u Fojnici nalazimo u radovima austrijskih geologa koji, krajem XIX i početkom XX stoljeća, vrše ispitivanja kvaliteta vode i daju osnove naznake njihove geološke lokalizacije i geneze. Već tada se potvrđuje izuzetan kvalitet termalnih voda i mogućnost njihovog korištenja za liječenje i rekreaciju na osnovi čega je 70-tih godina XX stoljeća izgrađen banjski centar "Reumal" sa pratećim sadržajima i stvoreni temelji razvoja banjsko-rekreacionog turizma u Fojnici. Obuhvatnija geološka i hidrogeološka istraživanja u cilju zahvatanja većih količina i viših temperatura termalnih voda Fojnice se, uz manje prekide, izvode u drugoj polovini XX stoljeća. Ova istraživanja rezultirala su utvrđivanjem značajnih rezervi termalnih voda čime su stvorene pretpostavke za njihovo korištenje kako za liječenje, tako i za rekreaciju, zagrijavanje prostora, flaširanje, aquakulturu i druge segmente privredne djelatnosti. Interesovanja određenog broja istraživača u tom periodu ali i danas su, između ostalog, u značajnoj mjeri bila usmjerena na proučavanje geneze termalnih voda što je sasvim razumljivo kada se uzme u obzir da ove terme predstavljaju sasvim nezavisnu pojavu usred prostranog metamorfnog kompleksa srednjobosanskog škriljavog gorja; da se pojavljuju na veoma uskom prostoru, te nastojanja da se u budućnosti zahvate veće količine i više temperature termalnih voda. Ovdje se ističe da je za istraživanje i zahvatanje dodatnih količina termalnih voda u Fojnici do sada utvrđenih i viših temperatura, optimalnu i održivu eksploataciju termalnih voda, te njihovu zaštitu od prvorazrednog, ako ne i od najvećeg značaja, definiranje njihove geneze. Rezultat nedovoljnog poznavanja uslova geološke lokalizacije i geneze termalnih voda Fojnice je činjenica da se dosadašnja istraživanja termalnih voda nisu odmaknula dalje od lokaliteta "Banja" gdje se od davnina nalaze izvori termalne vode i gdje su do sada izvedene brojne bušotine koje su ili nisu zahvatile termalne vode. Tako se danas opravdano postavlja pitanje da li se u Fojnici, zbog eventualne interferencije, mogu izvoditi nove bušotine termalne vode, te da li postoji mogućnost zahvatanja termalnih voda i izvan detaljno istraženog ležišta "Banja" u Fojnici. U objavljenim radovima pojedinih istraživača koji su se u proteklom periodu bavili proučavanjem geneze termalnih voda Fojnice, prisutna su značajno različita i često neuporediva stajališta u pogledu geneze što dodatno daje podsticaj za stalna nastojanja da se geneza termalnih voda u Fojnici definira ili da se bar daju najvažniji aspekti geneze termalnih voda u smislu uslova njihovog formiranja, dubine zalijeganja, pravaca glavnog toka prihranjivanja, mehanizma isticanja, utvrđivanja mogućnosti zahvatanja termalnih voda viših temperatura i većih pritiska, eventualnog miješanja voda viših i nižih temperatura i drugih pitanja. Autori ovog rada već dugi niz godina učestvuju u geološkim i hidrogeološkim istraživanjima ovog dijela srednjobosanskog škriljavog gorja, kako fundamentalnim istraživanjima, tako i čvrstih mineralnih sirovina, termalnih i pitkih voda. Na osnovi ranije provedenih geoloških, hidrogeoloških i hidrohemijskih ispitivanja od strane brojnih istraživača, te vlastitih istraživanja i proučavanja autori su došli do zaključka da su geneza i uslovi lokalizacije termalnih voda u Fojnici u najužoj vezi sa geološkom građom, strukturno-tektonskim i hidrogeološkim karakteristikama terena. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja i proučavanja geneze termalnih voda Fojnice koji će biti prilog definitivnom rješavanju ovog pitanja u narednom period, te usmjeravanju budućih istraživanja i eksploatacije termalnih voda u Fojnici, a naročito termalnih voda viših temperatura od onih koje su do danas zahvaćene.

## OSNOVNE GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA

Ležište termalnih voda u Fojnici se nalazi cca 50 km zapadno od Sarajeva. Situirano je u terenu koji pripada krajnjem sjeveroistočnom dijelu planine Vranice i krajnjem jugozapadnom dijelu planine Zahor. Teren sjeveroistočno od doline Dragače odlikuju dosta velike visinske razlike od 1.423. mnm (Bandera) na Zahoru do 580 mnm u dolini rijeke Dragače u Fojnici, dok se na jugozapadu uzdižu vrhovi Vranice među kojima se posebno ističe Matorac (k.l.937). Planinski karakter reljefa presijeca duboko usječena dolina rijeka Dragače koja se pruža pravcem sjeverozapad-jugoistok. Širina doline je u prosjeku cca 100-150 m; mjestimično je proširena na cca 250-300 m kao u Fojnici, Polje Ostružnja i dalje nizvodno. Dolina Dragače je usječena u stijene paleozojskog metamorfnog kompleksa.



Slika 1 – Geografski položaj ležišta termalnih voda u Fojnici

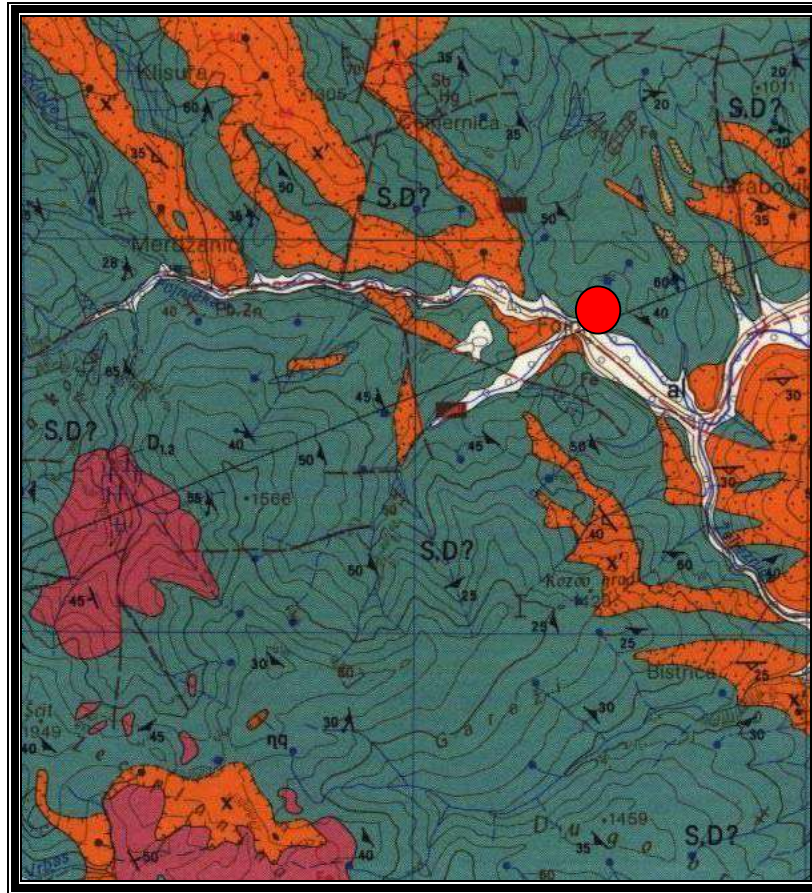
Područje Fojnice u ima predplaninske klimu u nižim dijelovima i planinsku klimu u terenima preko 1000 m nadmorske visine. Predplaninsku klimu u dolini rijeke Dragače i njenih pritoka karakterizira srednja godišnja temperatura zraka od oko 10 °C i godišnja visina padavina 800-1.200 mm. Planinsku klimu karakterišu niske temperature, jaki vjetrovi i velika količina padavina preko cijele godine. Srednja godišnja temperatura zraka je 9°C, a godišnja visina padavina 1.200-1.500 mm. Padavine su prilično ravnomjerno raspoređene; maksimum je u novembru ili decembru a minimum u augustu.

Najveći vodotok u području Fojnice je rijeka Dragača. Formira se od brojnih izvora i potoka u rejonu Vranice među kojima su veći Tocila, Požarna, Bježanija, Nozdrva, Jezernica, Zvonac i drugi. Neposredno niže grada u rijeku Dragaču se uliva Željeznica sa kojom se zajedno formira rijeka Fojnicu. Minimalni proticaj Dragače je 0,6 m<sup>3</sup>/s a srednji 3,18 m<sup>3</sup>/s.

## GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONIKA TERENA

### Geološka građa

U građi šireg područja Fojnice, prema OGK, list Prozor, najvećim dijelom učestvuju paleozojske tvorevine silur-devona (SD) i devona (D<sub>1,2</sub>) sa izljevima riolita (x), a samo podređeno u dolini Dragače i njenih pritoka deponovane su kvartarne naslage (Q).



Slika 2 - Geološka karta šireg područja Fojnice (OGK list Prozor, M 1:100.000)

### Silur–devon (S,D ?)

Tvorevine silur-devona su predstavljene uglavnom metamornim stijenama. Imaju veće rasprostranjene na Zahoru, Vrhovima, Matorcu i Jasikovici. Silur-devonski kompleks metamornih stijena pretežno je izgrađen od liskunsko-kvarcnih škriljaca, mjestimično argilošista, kvarcita, metapješčara, dolomita, krečnjaka i mermera. **Liskunsko-kvarcni škriljci** imaju najveće rasprostranjenje. U njihovom sastavu su kvarc i liskuni, pretežno sericit, odnosno hlorit kod hloritskih škriljaca, ponekad muskovit, sasvim rijetko biotit i hlorit. Kvarc se pojavljuje kao mikro i sitnozrnast i često obrazuje veća sočivasta nagomilanja. Od akcesornih minerala su određeni cirkon, turmalin, pirit i limonit. **Kvarciti** se u rejonu Fojnice pojavljuju na više mjesta, a veće površine su otkrivene u Voljevcu. Predstavljaju veća ili manja sočiva u višem dijelu kompleksa škriljaca. Uglavnom su bijele boje, jako ispucali, porozni i trošni; pri udaru se raspadaju u sitne komade, a na površini terena često pretvoreni u prah. U njima su formirane žice i sočiva rude željeza, antimona i žive koji su nekada eksploatirani u Voljevcu. **Dolomiti** silur-devona zauzimaju veće prostranstvo u dolini Razdolja potoka. Najčešće su slojeviti i masivni; sivosmeđe, rijede svijetlosmeđe boje. Dolomiti su pretežno zastupljeni sitnim, ređe srednjozrnastim tipovima. Sitne pukotine su u njima obično ispunjene kalcitom. Dolomiti u Razdolja potoku su navučeni na tamnosive škriljce. **Mermeri** silur-devona su izdvojeni u Banji, kod Ragala, u jaruzi potoka Puhovac, te kod sela Klisura i Turkovići. Mermeri, prema OGK list Prozor, predstavljaju sočiva u škriljcima. Pretežno su produkt regionalnog metamorfizma. Najbolji opis mermera na lokalitetu “Banja” u Fojnici daje I. J u r k o v i ć (1959.) u mikroskopskoj Studiji bušotina fojničke Banje u kojoj kod kartiranja bušotine B-Ia navodi slijedeće: „ Od 25.80 m pa do kraja bušotine na 93.50 m bušotina je prolazila kroz mramore. Dno bušotine je ostalo u mramoru. Lom je rijetko izrazito školjkast, češći je oštrobriđan, čak



kukast. To bi ukazivalo da su mramori bar dijelom dolomitični. jasniju sliku dala bi samo kvantitativna kemijska analiza, što nije bio zadatak ove radnje. Osim masivnih, neuslojenih mramora zapaženi su i uslojeni. Uslojenost je pod kutom od 50-70° s jugozapadnim smjerom pada, kao i kod cijele serije metamorfnih stijena. Uslojenost makroskopski uslovljuje alternacija proslojaka raznih tonova sive i crnosive boje. Mikroskopski, uslojenost je karakterizirana alternacijom proslojaka raznih dimenzija zrna kalcita. makroskopski su zapaženi i prugasti, raznoliko šareni mramori, kao i "brečoidni" kataklastični mramori. Osim kalcit-dolomita mramori sadrže samo rjetka zrna kvarca, odnosno žilica kvarca, te diseminacije pirita. Prema tome to su čisti, pravi mramori. Po strukturi razlikujemo heteroblastične, granoblastične te rekristalizaciono usmjerene strukture. Po teksturi zapaženi su masivni, uslojeni i kataklastični mramori. Dimenzije zrna kreću se u prosjeku od 150-300 mikrona, rjeđe do 500 mikrona. Nastali su najvjerovatnije regionalnim metamorfizmom niskog stupnja metamorfoze, ali je izvjesno djelovanje imao i intruzivni proboj kvarcporfira u neposrednoj blizini. On je mogao izvršiti određeni kontaktni metamorfizam /termometamorfnog i hidrotermalnog karaktera/. Na cijeloj dužini bušotine, koja je prolazila kroz mramore zapaženo je slabije ili jače piritiziranje stijena. Ipak najjača piritizacija je izvršena u dubinama između 32.8 do 63.40 m. Osim diseminacija na tom dijelu zapažene su družne šupljine obložene piritom /kao kristali samci ili nakupine/, zatim brojne prslinske žilice, otvorene i zatvorene. Naročito jaka piritizacija vezana je za šupljikave, porozne i kavernozne partije mramora između 41.50 do 49.50 m. Tu se vide žilice i gnijezda krupnozrnastog kalcita, ankerit-kalcita /ružičaste boje/ te sideritičnog medenožutog. Na jednom uzorku zapažen je i antimonite. Sve te pojave piritizacije, ankeritizacije, prekrystalizacije vezane su na hidrotermalnu djelatnost Fojničkog termalnog vrela.“

### **Metarioliti i rioliti (X' i X)**

Metarioliti (škriljavi rioliti) su jako rasprostranjeni u okolini Fojnice. Od Turkovića i Ragala se metarioliti kao dio riolitskih masa Šćita prostiru preko terena Fojnice i Nadbara do Jasikovice kod Bakovića, dok su rioliti više zastupljeni na Zec planini. Za riolite se smatra da su pretežno karbonske i permske starosti, ali ovo pitanje do danas nije definitivno riješeno. Važno je istaći da su zbog različitih tumačenja starosti riolita neki autori riolite nazivali „kvarcporfiri“. Pojava škriljavih riolita se vezuje za regionalnu metamorfozu tokom variscijske orogeneze, mada se smatra da je na to djelimično uticao i autometamorfizam. Struktura škriljavih riolita je porfiroblastična ili blastoporfiriska. Zrna fenokristala kvarca su najčešće zdrobljena za razlika od fenokristala feldspata, koji su obično sericitisani i ne pokazuju znakove mehaničkog drobljenja. U osnovnoj masi su sericit, hlorit i biotit raspoređeni fluidalno. Kvarc je češći od feldspata. Od akcesornih minerala su utvrđeni cirkon, apatit, turmalin i sfen.

### **Devon (D<sub>1,2</sub>)**

Devonske naslage su rasprostranjene, uglavnom, jugozapadno od Fojnice u rejonu Vranice. Predstavljene su pretežno dolomitima i krečnjacima koji leže pretežno preko škriljaca silur-devona. Debljina devonskih naslaga je oko 400 m. **Dolomiti** devona su otkriveni u rejonu Dusine. Najčešće su srednjozrni, sitnozrni ili fino kristalasti, a ima i dolomikrita. Zrna dolomita različitih veličina, najčešće nepravilna ili poligonalna, rjeđe romboedarskog oblika. U nerastvornom ostatku nađeni su kvarc, feldspat, muskovit, cirkon i glinovito-organogena grafična materija. Dolomikriti pored mikritičnog dolomita sadrže i primjese kalcita. **Krečnjaci** devona su otkriveni su gornjem dijelu toka potoka Bježanija, Požarna i Jezernica, te na Zec planini. Na kontaktu sa riolitima su mjestimično izmjenjeni u mermer. Većinom su masivni, a samo mjestimično je u njima izražena i slojevitost. Do sada je u krečnjacima nađena samo fauna žvetskog kata. Krečnjaci su pretežno sive, mjestimično bjeličaste boje. Krečnjaci izgrađeni od mikrosparita i pseudosparita makroskopski podsjećaju na mermer.

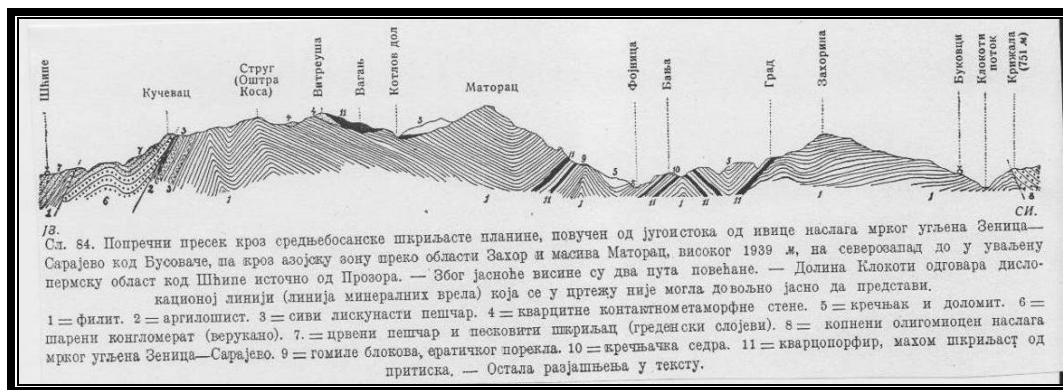
### **Kvartar (Q)**

Kvartarne naslage su predstavljene tvorevinama pleistocena holocena. **Pleistocen** je predstavljen glacijalnim materijalom koji ima široko rasprostranjenje na obroncima Vranice. U sastavu glacijalnog

materijala su krupne valutice stijena, šljunka, odlomaka stijena i gline pretežno izgrađenih od škriljaca i riolita. **Holocen** je zastupljen sa aluvijalnim i proluvijalnim naslagama, te izvorskim sedimentima. **Aluvijalni sedimenti** su različitog glinovito-šljunkovitog sastava i granulacije (al) i u dolini Dragače i njenih pritoka grade manje aluvijalne zaravni. **Proluvijalne naslage** su deponovane u koritima potoka koji se ulivaju u Dragaču. U njihovom sastavu su krupne valutice, odlomci stijena i šljunak uglavnom porijeklom od magmata i metamorfita. **Izvorski sedimenti** (i) su predstavljeni sedrom koja se pojavljuju u zoni nekadašnjih i sadašnjih isticanja termalnih voda; u Banji iznad Fojnice, i drugim lokalitetima.

## Tektonika

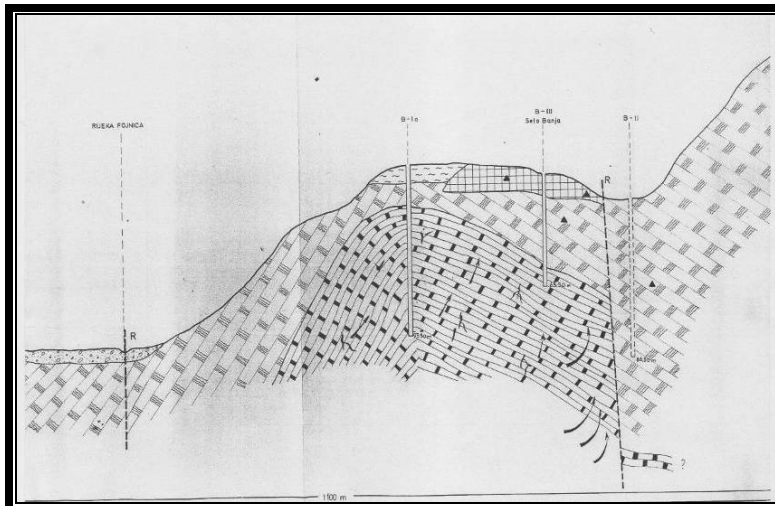
Šire područje Fojnice, prema OGK list Prozor, ulazi u sastav strukturno-facijalne jedinice "centralno-bosanski paleozoik", odnosno tektonske jedinice Vranica koju, u najvećoj mjeri, izgrađuju paleozojski metamorfiti, karbonati i kvarcporfiri, te trijaski klastiti i karbonati. Ovaj kompleks naslaga je dio složene antiforne "bosanskih škriljavih planina" dinarskog pravca pružanja. Naslage su intenzivno ubrane u prevrnutu izokline i lepezaste nabore metarskih dimenzija sa razorenim tjemnim dijelovima. Od strukturnih oblika u terenu je značajnija „antiklinala Zahor“, uzdužni rasjed dolinom Dragače, te rasjedi poprečni na Dragaču u zoni Banje Fojnica i Grabovika. U cjelini, rupturni sklop terena odražava gotovo parketnu strukturu sa tzv. „blokovskom tektonikom“ i spletovima rasjeda i pukotina u međusobnim presjecanjima. Takve rasjedne zone su nesumnjivo tranzitni „koridori“ za prilive termalnih voda, a jedno od dominantnih rasjednih „čvorišta“ predstavlja i područje Banje. Nije isključeno postojanje rasjeda dolinom potoka Šćona, desne pritoke Dragače, koji nije izdvojen na OGK list Prozor, a koji bi ukoliko se utvrdi mogao imati važnu ulogu kao privilegovani pravac toka termalnih voda iz pravca jugozapada, odnosno planine Vranice.



**Slika 3** – Geološki profil preko srednjobosanskog škriljavog gorja (F. Katzer, 1926.)

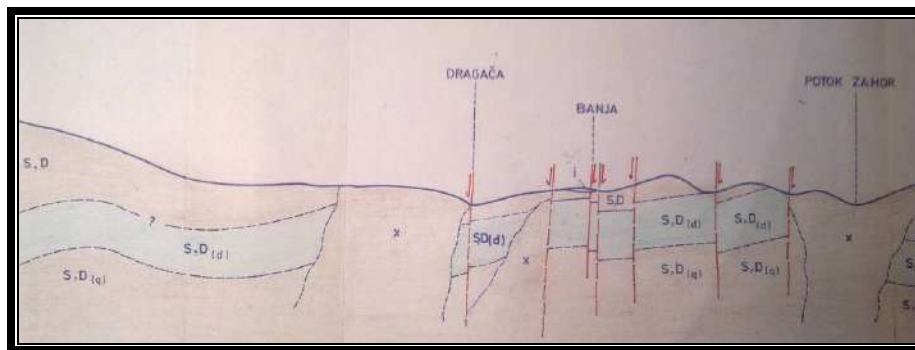
H. H r v a t o v i ć (2006.) područje Fojnice izdvaja u zonu " paleozojsko-trijasko alohtone formacije", odnosno Srednjobosanskim alohtonim masama. Najstarije tvorevine predstavljaju metamorfiti nastali od sedimentnog kompleksa silurske i ordovicijske (?) starosti. Srednjobosansko škriljavo gorje prema H r v a t o v i ć u predstavlja zaseban „tektonski blok“.

Strukturno-tektonske karakteristike ležišta termalne vode u Fojnici nisu u potpunosti riješene. Sagledavane su u skladu sa vremenom i brojem prikupljenih informacija sa ciljem definiranja geneze i tektonske uslovljenosti isticanja termalne vode na ovom lokalitetu koji je hipsometrijski cca 100 m viši u odnosu na erozioni basis rijeke Dragače. Sama činjenica da termalni izvori izbijaju ovako hipsometrijski visoko u terenu ukazuju da su geološka građa, strukturno-tektonske i hidrogeološke karakteristike terena uslovile njihovo pojavljivanje i mjesto isticanja. Prvi na tragu ovog razmišljanja bio je F. K a t z e r (1926.) koji crtajući profil preko srednjobosanskog škriljavog gorja u području "Banje"-Fojnica izdvaja antiklinalu u paleozojskim filitima i kvarcporfire škriljaste od pritiska (sl.3).



Slika 4 – Šematski geološki profil preko Banje Fojnica (B.Đerković,1981.)

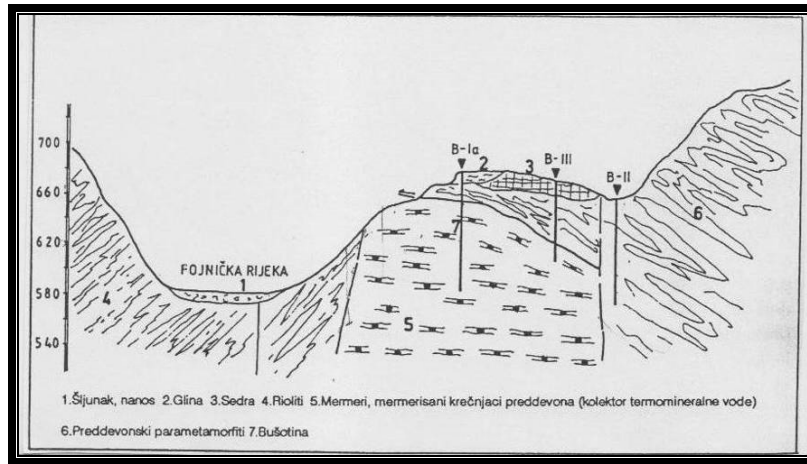
Sličan model koristeći se podacima bušotina B-Ia, B-II i B-III izvedenih u rejonu “Banje” daje B. Đ e r k o v i ć (1981.) koji izdvaja tjeme antiklinale iskidano rasjedima (sl.4). Tom prilikom izdvaja dva rasjeda; jedan koji se preko Banje pruža pravcem sjever-jug kojim su izdignuti paleozojski mermeri iz kojih izbija termalna voda Fojnice , i drugi rasjed pružanja zapad-istok koji je izlomio filitične slojeve. Đ e r k o v i ć navodi da mermeri, najvjerovatnije, zaliježu duboko kako prema jugu tako i prema sjeveru, te da je upravo u toj zoni perspektivno istraživanje dubljih toplih voda.



Slika 5 – Hidrogeološki profil preko “Banje” Fojnica (I. Krušić, 1986.)

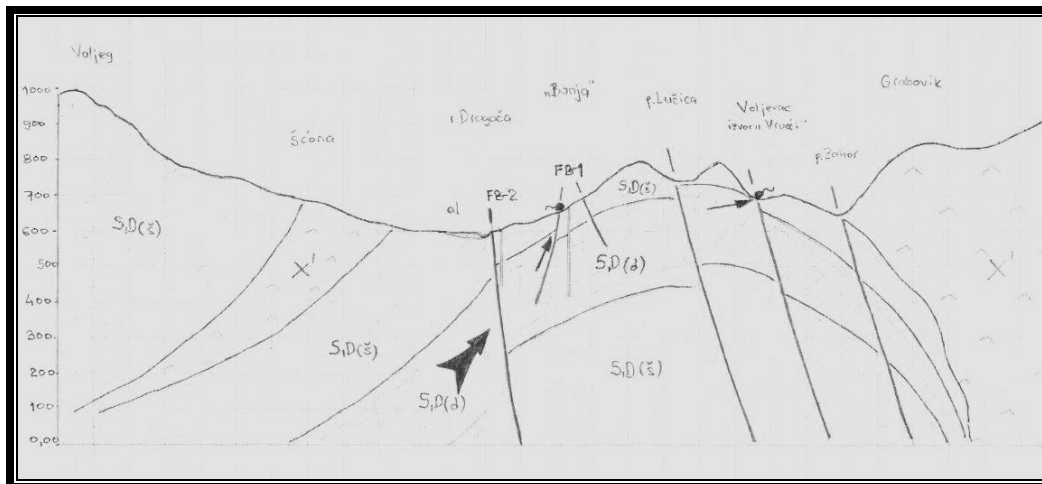
I. K r u š i ć (1986.) u Elaboratu o rezervama termalne vode u Fojnici daje hidrogeološki profil iz kojeg se uočava rasprostranjenje silur-devonskih karbonata od potoka Zahor, odnosno Grabovika do Banje Fojnica i dalje u planinu Vranicu gdje duboko zaliježu (sl.5). Na profilu se uočava veći broj rasjeda u rejonu pojave termalnih voda u Fojnici, posebno dolinom Dragrače i preko Banje.

H. H r v a t o v i ć (1999.) dopunjava šematski geološki profil preko banje Fojnica koji je izradio Đerković (sl.6). Tom prilikom između navodi da su glavni akvifer termalnih voda mermeri i mermerisani krečnjaci „preddevona“ čija je debljina preko 300 m, te da njihov sadašnji položaj ne odgovara primarnom rasporedu stvaranja naslaga. H r v a t o v i ć napominje da su škriljci u krovini mermera u taj položaj došli tektonskim pokretima (nabiranje, navlačenje, rasjedanje, transpozicija s-površni).



Slika 6 – Geološki profil preko “Banje” Fojnica (H.Hrvatović, 1999.)

Na osnovu razmatranja geoloških i hidrogeoloških odnosa u području srednjobosanskog škriljavog gorja, te podataka istražnih i eksploatacionih bušotina F. S k o p l j a k 2013.godine za potrebe Elaborata o zaštiti izvorišta termalne vode u Fojnici daje hidrogeološki profil preko svih izvora i bušotina termalne vode u Fojnici. Tom prilikom izdvaja antiklinalu u području “Banje” čije jugozapadno krilo izgrađeno od mermera i mermeriziranih dolomita ( $S, D_{(d)}$ ) zaliježe duboko u masiv Vranice, a sjeveroistočno krilo je raskinuto probojima kvarcporfira (sl.7).



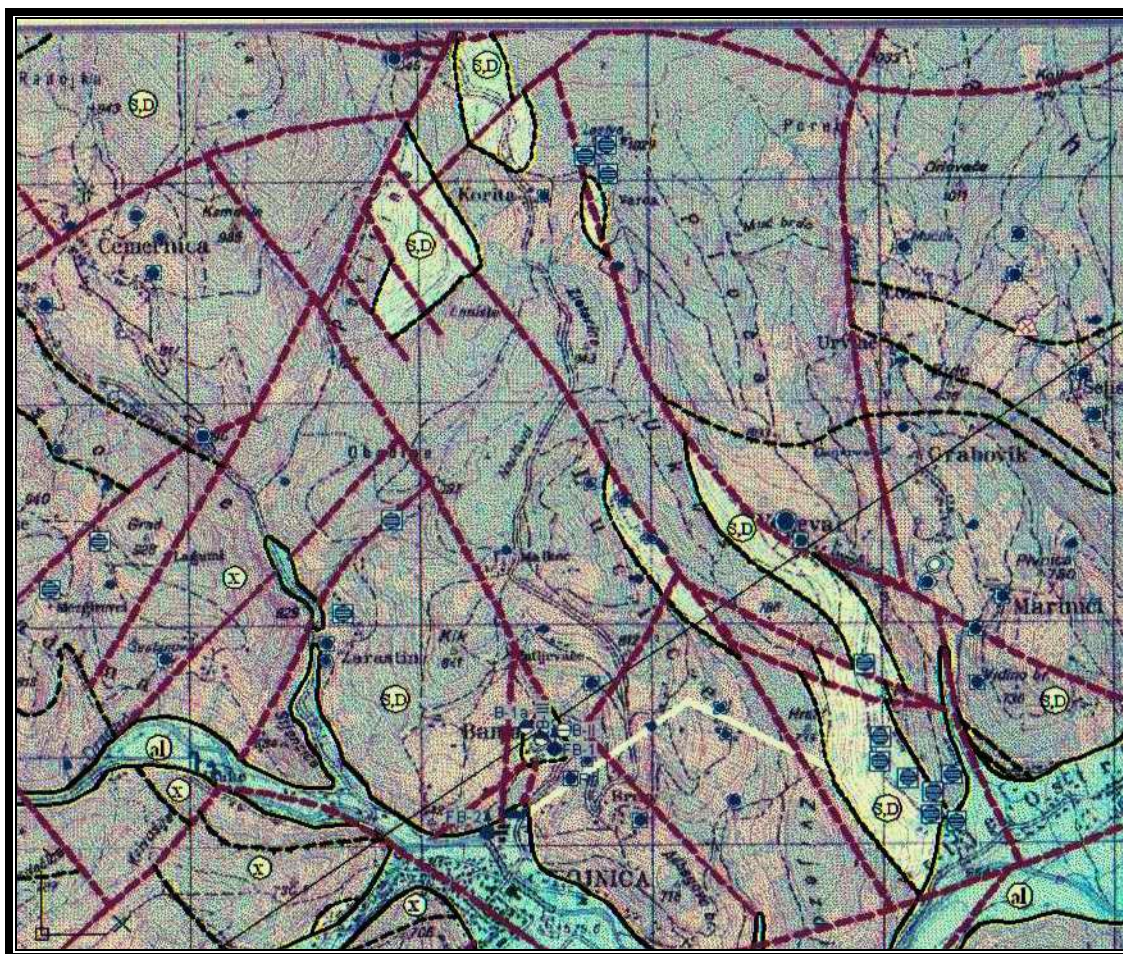
Slika 7 – Geološki profil preko “Banje” Fojnica (F.Skopljak, 2013.)

Termalne vode prema datom profilu izbijaju u tjemenu antiklinala na dvije strane; jedna na jugozapadu u selu Banja iznad Fojnice i druga na sjeveroistoku u selu Voljevac i Grabovik. Isticanje termalne vode je, pored rasjedima poremećenog tjemena antiklinala, uzrokovano i duboko erodovanim paleozojskim škriljcima u rejonu Banje skoro sve do mermera i mermeriziranih dolomita silur-devona, odnosno akvifera termalne vode.

## HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA ŠIREG PODRUČJA FOJNICE

### 5.1. Hidrogeološka kategorizacija, rejonizacija i funkcije stijena

U području Fojnice su izdvojene propusne i nepropusne stijene. **Propusne stijene** su razvrstane na propusne stijene međuzrnske poroznosti, propusne stijene pukotinske poroznosti i propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti.



Slika 8 - Hidrogeološka karta šireg područja Fojnice 1:25.000 (I. Krušić, 1986.)

**Propusne stijene međuzrske poroznosti** su aluvijalne i proluvijalne naslage (valutice i odlomci stijena, šljunak, pijesak, glina i drobina) taložene u dolini i koritu Dragače i njenih pritoka. Na osnovu podataka kartiranja terena ocjenjeno je da ove naslage imaju relativno dobre filtracione karakteristike sa funkcijama vodonosnika međuzrske poroznosti ograničenih razmjera i rezervi podzemnih voda.

**Propusne stijene pukotinske poroznosti** su rioliti, metarioliti i kvarciti. Karakterizira ih pukotinska poroznost čija se propusnost, u određenoj mjeri, povećava u zoni rasjeda. Na osnovu stepena ispućalosti rioliti i kvarciti su izdvojeni u klasu slabije propusnih stijena pukotinske poroznosti. Skoro cijeli Ščit, Zahor i Bakovička cionja obiluju veoma hladnim izvorima koji izbijaju iz ovih stijena, a čija izdašnost ponekad dostiže 2-3 l/s („Gornje vrelo“ – Korita, „Jasen vrelo“ u Bakovićima, „Bukva“ na Jasikovici i dr.). Važno je naglasiti da podzemne vode u riolitima zbog dominantnog silicijskog sastava, imaju veoma nisku mineralizaciju.

**Propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti** su krečnjaci, dolomiti, mermerizirani krečnjaci i dolomiti, te mermeri silur-devona (S,D) i devona (D<sub>1,2</sub>). Prema intenzitetu karstifikacije izdvojeni su u klasu dobro karstificiranih naslaga u kojima se pojavljuju površinski i mjestimično podzemni kraški oblici. Od površinskih kraških oblika u ovim stijenama utvrđene su manje vrtače, a od podzemnih kraških oblika pećine (Turkovići, i dr.). Karbonati silur-devona imaju dvojake hidrogeološke funkcije; vodonosnika termalne vode i vodonosnika pitke (obične) vode, dok karbonati devona imaju prvenstveno hidrogeološke funkcije vodonosnika pitke (hladne) vode. Vodonosnik termalnih voda u kojima se pojavljuju izvori ili su nabušene termalne vode su mermeri, mermerizirani dolomiti, dolomiti, i krečnjaci silur-devona (S,D). Vodonosnici pitke vode formirani u karbonatima silur-devona su također veoma vodoobilni i prazne se na izvorima velike izdašnosti, među kojima su najveći „Tocila“ u Razdolje potoku i „Nozdrva“ ispod sela Klisura. U kategoriji **nepropusnih stijena** izdvojeni su škriljci silur-devona (S,D?). Škriljci imaju funkcije podinske hidrogeološke barijere vodonosnicima pitke vode formiranim u karbonatima

devona, te krovinske hidrogeološke barijere vodonosnicima termalne vode u rejonu Fojnice. U zoni rasjeda i terenima gdje je intenzivno razvijen klivaž i pukotine nije isključeno da škriljci silur-devona imaju funkcije vodosprovodnika.

## LEŽIŠTE TERMALNIH VODA

Ležišta termalnih voda u Fojnici se na sadašnjem stepenu istraženosti prostire od Fojnice na jugozapadu do Grabovika na sjeveroistoku. U ovom prostoru su uvrđeni izvori i izvedeno nekoliko bušotina termalne vode.

### Izvori termalne vode

U selu Banja sjeverno od centra Fojnice su od davnina postojali izvori termalne vode. Izvor termalne vode "Staro kupalište" u Fojnici se, prema literaturnim podacima nalazio na lijevoj strani rijeke Dragače, oko 40 m iznad korita ove rijeke. Izvor je od davnina poznat i korišten kao ljekovita termalna voda. Prema F. K a t z e r u (1919.) izvor je bio kaptiran drvetom ograđenim bunarom dok S. M i h o l i ć (1955.) navodi da vrelo izvire u uvali koja ispunjava prirodni bazen. Prema navodima M i h o l i ć a na lokalitetu Banja u Fojnici je postojao niz termalnih vrela: "Vrelo starog kupališta", "Vrelo u spilji", "Kaptaža kod sela Banja", "Kaptaža na obali Banjskog potoka" i "Memino vrelo". Podaci o izdašnostima navedenih izvora su veoma oskudni ali su zato ispitivanja kvaliteta vode bila češća posebno od strane M i h o l i ć a. U radu "Kemijska analiza termalnog vrela u Fojnici" (1956.) M i h o l i ć opisuje "**Izvor pored Banjskog potoka**" i navodi slijedeće: "Na istočnom rubu terase od sedre na desnoj obali Banjskog potoka u visini od oko ca 1 m nad koritom potoka nalazi se izvor kaptiran u betonu, ali tako, da je izvor nepristupačan. Iz kaptaze vodi se voda željeznom cijevi u sabirni rezervoar iz kojeg je uzet uzorak za analizu. U taj rezervoar posebnom cijevi ulazi i voda iz kaptaze kod sela Banja. Kapacitet vode iznosi 1,5 l/s. Podaci ispitivanja kvaliteta vode pokazuju da je voda jako radioaktivna (133-1372 Bq/l), mineralizacije oko 0,47 g/l, hidrokarbonatno-kalcijsko-magnezijskog tipa i temperature oko 29 °C. Važno je istaći da kvalitet vode pokazuju stabilnost u dužem vremenskom periodu". "**Memino vrelo**" je pored Specijalne bolnice kaptirano betonskom kaptazom (autor greškom navodi naziv vrela koje se zove "Memijino vrelo"). O ovom izvoru u istom radu M i h o l i ć piše slijedeće: "U samom mjestu Fojnici izgrađena je Donja banja (Memina banja), koja se snabdijevala termalnom vodom iz Meminog vrela... Donja banja je sad napuštena i ne upotrebljava se više." Prema N. M i o š i ć u (2001) Memino vrelo u Fojnici ima stalnu temperaturu od 21°C i slične je geneze kao i voda na bušotini FB-2". U Graboviku su registrirana dva izvora termalne vode. Izvor "**Banja**"-Grabovik (nizvodni izvor) se nalazi oko 2,5 km sjeveroistočno od Fojnice, u dolini potoka Zahor. U blizini ovog izvora nalazi se još jedan izvor termalne vode ("Banja"-Grabovik uzvodni izvor). Prema I. K r u š i ć (1986.) izvori su locirani na rasjedu; temperatura vode je 21°C, a izdašnost 3,0 l/s. Izvori su po fiziko-kemijskim osobinama gotovo identični. Termalni izvor "**Vrućci**" se nalaze u selu Voljevac cca 2 km sjeveroistočno od Fojnice. Izvori termalne vode su situirani na istom rasjedu koji se pruža preko termalnih izvora u Graboviku, a termalna voda ističe iz sivih mermeriziranih dolomita silur-devona koji su na kontaktu sa kvarcitima. Izvorište termalne vode u Voljevcu je razbijenog tipa. Temperatura vode na izvorima je u rasponu 12–19 °C, a ukupna izdašnost je 7–10 l/s.

### Bušotine termalne vode

U izvorištu "Banja" su u proteklom periodu izvedene i danas sačuvane bušotine B-Ia FB-1 i FB-2. **Istražno-eksploataciona bušotina B-Ia** se nalazi sjeverozapadno od bušotine FB-1 od koje je udaljena 160 m. Bušotina je izvedena na mjestu nekadašnjeg izvora termalne vode. Nema dokumentacije o njenom izvođenju osim podataka da je dubine 63,50 m. Bušotina je nekada imala samoizliv cca 10 l/s i dugo godina se koristila za potrebe Banje u Fojnici. Danas se bušotina ne koristi jer je nakon izvođenja bušotine FB-1 i njene eksploatacije utvrđena interferencija na bušotinu B-Ia. **Istražno-eksploataciona bušotina FB-1** nalazi se u selu Banja oko 20 m niže puta na ulazu u naselje. Termalne vode na ovoj bušotini nabušene su u silursko-devonskim mermeriziranim dolomitima koji se u profilu bušotine nalaze ispod škriljaca na dubinama preko 59 m. Na osnovu raspoloživih podataka uz optimalna

sniženje nivoa vode u bušotini FB-1 moguće je zahvatiti 50 l/s i više termalne vode. *Istražno-eksploataciona bušotina FB-2* se nalazi kod Specijalne bolnice južno od sela Banja. Termalna voda na ovoj bušotini je nabušena u mermeriziranim silur-devonskim dolomitima koji u profilu bušotine ispod škriljaca zaliježu na dubini 97 m. Nakon izgradnje i puštanja bušotine FB-2 u eksploataciju, samoizliv bušotine je iznosio oko 200 l/s i pritisak 4.5 bara na ušću.

### Fizičko-hemijske karakteristike vode

Hemijske i fizičke komponente sastava termalnih voda u Fojnici pokazuju stabilnost i postojanost u dužem vremenskom period što se može vidjeti u narednoj tabeli:

| Objekat                          | Na   | K    | Ca   | Mg   | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl   | M     | Tem. | Analitičar-godina                     |
|----------------------------------|------|------|------|------|------------------|-----------------|------|-------|------|---------------------------------------|
|                                  | mg/l |      |      |      |                  |                 |      |       | (°C) |                                       |
| Kaptaža u selu Banja             | 15,9 | 0,86 | 55,6 | 27,5 | 93,15            | 4,79            | 2,05 | 483,4 | 28,9 | S. Miholić, 1955.                     |
| Memino vrelo                     | 0,7  |      | 32,0 | 9,68 | 146,6            | 0,0             | 6,0  | 195,5 | 21   | S. Miholić, 1956.                     |
| Vrelo terma st.kupalište         | 25,1 |      | 68,6 | 17,2 | 334,0            | 14,7            | 4,4  | 505,1 | 29,5 | Ludwig, E. 1888.                      |
| Kaptaža na obali Banjskog potoka | 22,4 | 2,03 | 62,0 | 13,3 | 296,1            | 10,95           | 5,07 | 439,6 | 21,0 | S. Miholić, 1954.                     |
| Bušotina B-Ia                    | 21,0 | 2,0  | 68,0 | 17,0 | 305,0            | 20,0            | 7,0  | 440   | 30,0 | Geoinženjering,1977.                  |
| Bušotina B-III                   | 22,0 | 1,8  | 68,0 | 17,0 | 316,0            | 18,0            | 7,0  | 450   | 30,0 | Geoinženjering,1977.                  |
| Bušotina FB-1                    | 28,7 | 2,2  | 67,0 | 16,5 | 341,6            | 10,0            | 7,0  | 500   | 30   | Z.Červenjak, 1985.                    |
| Bušotina FB-2                    | 5,0  | 0,3  | 30,0 | 15,8 | 146,4            | 10,0            | 7,0  | 233   | 22   | Z.Červenjak, 1985.                    |
| Bušotina FB-1                    | 22,0 | 2,24 | 65,3 | 16,6 | 327              | 7,8             | 4,8  | 447   | 30   | Veterinarski fakultet Sarajevo, 2003. |
| Bušotina FB-2                    | 4,30 | 0,64 | 29,7 | 12,1 | 144              | 10,1            | 2,1  | 165   | 24   | Veterinarski fakultet Sarajevo, 2003. |
| Bušotina FB-1                    | 16,1 | 1,17 | 68,1 | 17,9 | 329,7            | 7,0             | 3,73 | 473   | -    | ZZJZ FBiH, jan. 2013.                 |
| Bušotina FB-1                    | 17,2 | 1,56 | 67,3 | 16,5 | 322,1            | 7,0             | 3,19 | 330   | -    | ZZJZ FBiH, apr. 2013.                 |
| Bušotina FB-2                    | 2,99 | 0,78 | 29,6 | 12,1 | 143,9            | 10,0            | 2,13 | 162,1 | -    | ZZJZ FBiH, apr. 2013.                 |

Sadržaj mikroelemenata u termalnim vodama je zanimljiv za proučavanje geneze i u nastavku se daje tabelarni prikaz pojedinih mikroelemenata.

| Objekat        | Rb   | Sr   | Ba   | Mn   | Al    | Zn    | Br   | J     | Li    | Analitičar-godina     |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-----------------------|
|                | mg/l |      |      |      |       |       |      |       |       |                       |
| Bušotina B-Ia  | 0,02 | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,02  | 0,007 | 0,04 | 0,015 | 0,014 | Geoinženjering,1977.  |
| Bušotina B-III | 0,02 | 0,21 | 0,07 | 0,01 | 0,015 | 0,006 | 0,04 | 0,018 | 0,016 | Geoinženjering,1977.  |
| Bušotina FB-1  | 0,02 | 0,21 | -    | 0,03 | 0,11  | 0,01  | 0,05 | 0,02  | 0,02  | Z.Červenjak, 1985.    |
| Bušotina FB-2  | 0,01 | 0,04 | -    | 0,01 | 0,05  | 0,01  | 0,06 | 0,02  | 0,01  | Z.Červenjak, 1985.    |
| Bušotina FB-1  | -    | 0,11 | 0,05 | 0,0  | -     | -     | 0,02 | 0,07  | 0,00  | ZZJZ FBiH, FBiH,2013. |

## Radioaktivnost vode

Termalna voda "Banje" u Fojnici je na izvorima bila veoma radioaktivna i prema navodima S. M i h o l i ć a (1958.) je nakon Istarske Toplice drugi najjači radioaktivni izvor u Jugoslaviji. Nakon izvođenja bušotina i presušivanja izvora radioaktivnost termalne vode slabi što je ponukalo M i h o l i ć a da zaključi da ona potiče iz sedre. S. M i h o l i ć je 1954. i 1958. godine ispitivao radioaktivnost termalne vode u Fojnici a rezultati su prikazani u slijedećoj tabeli:

| Objekat                 | 1954. |        | 1958.  |        |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|
|                         | M.J.  | nC/l   | M.J.   | nC/l   |
| Vrelo starog kupališta  | 9,90  | 3,604  | -      | -      |
| Bušotina B-Ia           | -     | -      | 0,3341 | 0,1218 |
| Bušotina B-III          | -     | -      | 0,3751 | 0,1365 |
| Vrelo u špilji          | 16,79 | 6,11   | 25,46  | 9,269  |
| Kaptaža u selu banja    | 28,88 | 10,169 | 97,59  | 35,52  |
| Kaptaža (banjski potok) | 48,96 | 17,82  | 101,7  | 37,00  |

Z. Č e r v e n j a k 1985. ispituje sadržaj radijuma i urana u termalnim vodama bušotina FB-1 i FB-2 "Banja" u Fojnici, a rezultati jednih od ovih ispitivanja su prikazani u slijedećoj tabeli:

|           | FB-1 | FB-2 |
|-----------|------|------|
| Ra (Bq/l) | 0,2  | 0,12 |
| U (μg/l)  | 0,3  | 1,2  |

Na osnovu navedenih analiza radioaktivnosti termalne vode u ležištu "Banja" u Fojnici, te činjenice da je radioaktivnost značajno veća na izvorima nego na bušotinama, sasvim je izvjesno zaključiti da se voda radioaktivnim elementima obogaćuje u pripovršinskim dijelovima terena, odnosno u zoni gdje do izvora protiče kroz škriljce i metamorfisane metariolite koji prožimaju škriljce.

## Izotopski sastav vode i plina

Izotopski sastav vode i plina u termalnim vodama Fojnice ispituju B. O b e l i ć (1985.) i J. P e z d i ć (1985.). Ispitivanja su obuhvatala sadržaj deuterija, izotopa kisika, tricija, te izotopa ugljika u vodi bušotine FB-1 i FB-2 u Fojnici kako je prikazano u tabeli.

| R. b. | Objekat       | Godina | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{18}\text{O-SO}_4$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $^3\text{H}$ | $\delta^{14}\text{C}$ |
|-------|---------------|--------|--------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|       |               |        | ‰ -VSMOW           |                       |                            | ‰-VPDB                | TU           | pcm                   |
| 1.    | Bušotina FB-1 | 1985.  | -75,6              | -10,89                | -                          | -2,55                 | „mrtva voda“ | 32 800 ± 2 400        |
| 2.    | Bušotina FB-2 | 1985.  | -71,5              | -9,93                 | -                          | -6,54                 | < 1,7        | -                     |

## GENEZA TERMALNIH VODA

Dosadašnjim istraživanjima i ispitivanjima geneza termalnih voda u Fojnici nije do kraja razjašnjena. Proučavanjem geneze termalnih voda u Fojnici nije se bavilo mnogo geologa, a važnije podatke o tome nalazimo u radovima F. K a t z e r (1926.), J. J o s i p o v i ć (1971.), N. M i o š i ć (1981., 1982.), I. K r u š i ć (1986.) i H. H r v a t o v i ć (1999.).



F. K a t z e r (1926.) navodi da terma u Fojnici izbija iz filita prosječenog kvarcporfiroom što prikazuje na profilu na kojem se uočava da se Banja nalazi u tjemenu antiklinale koja nije poremećena rasjedom (str.287-291).

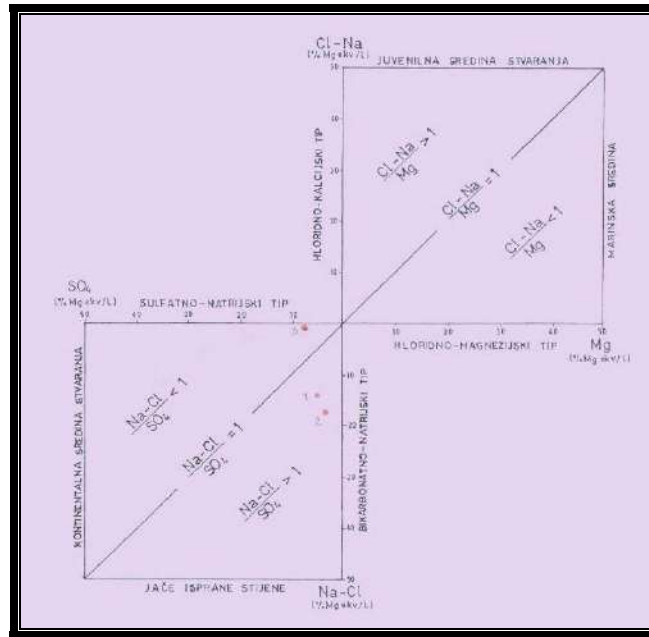
J. J o s i p o v i ć (1971.) smatra da su termalne vode Kreševa, Kruščice i Fojnice, na osnovu izrazito niske mineralizacije, preovladavanja bikarbonata i međujonskih odnosa, nastale infiltracijom padavina koje se zagrijavaju u dubljim dijelovima terena. Anomalni geotermiski stupanj prema Josipoviću posljedica je ili radiohemijskih procesa (Fojnica) ili oksidacionih procesa (Kreševo i Kruščica).

N M i o š i ć (1982.) termalne vode Fojnice izdvaja u hidrogeokemijsku provinciju  $N_2$  i  $N_2-O^2$  termalnih i termomineralnih voda, odnosno zonu termalnih voda srednjobosanskog masiva paleozojskih škriljaca, eruptiva i karbonata. Ističe da su termalne vode ove zone formirane u vapnjenjačkom mediju, ukazuje na sličnost sa vodama koje izbijaju iz trijaskih vapnenaca, te postavlja pitanje starosti i položaja stijena koje bi mogle dati ovako vodoobilne izdanke termalnih voda.

I. K r u š i ć (1986.) navodi da hidrokemijska i izotopska istraživanja upućuju na zaključak da dio termalnih voda u Fojnici dolazi iz nekarbonatnog kolektora, tj. da su mermerizirani dolomiti sekundarni kolektor. Prema pretpostavci Krušić primarni kolektori voda bi bili paleozojski pješčari i kvarciti koji se nalaze na većim dubinama ili trijaski krečnjaci preko kojih su navučene starije paleozojske stijene. K r u š i ć također navodi da neki autori (J.Papeš, L.Vujnović) zastupaju hipotezu da su paleozojske tvorevine srednjobosanskih škriljavih planina navučene na mlađe mezozojske sedimente prema čemu bi primarni kolektor termalnih voda mogli biti trijaski sedimenti ispod silurdevonskih naslaga (loc.cit.str.43). Kada je riječ o genezi termalnih voda važno je istaći da K r u š i ć na osnovi hidrohemijskih proučavanja navodi da su termalne vode miješanog porijekla sa učesćem skoro 87 % frakcije hladne vode.

H. H r v a t o v i ć (1999.) ističe da su akvifer termalnih voda u Fojnici mermeri i mermerizirani krečnjaci najgornjeg dijela „preddevona“.

Termalne vode u Fojnici su, prema I. K r u š i ć (1986.) hidrokarbonatno-kalcijskog tipa, mineralizacije 195,53 mg/l do 804,51 mg/l. Temperatura vode je 15°- 30°C. pH vrijednost varira od 7,1-8,4 i smanjuje se sa povećanjem mineralizacije. Hidrokarbonatno-kalcijsko-magnezijski tip termalnih voda ukazuje da vode teku kroz krečnjake i dolomite. Najzastupljeniji anion su hidrokarbonati sa koncentracijama od 140,3 mg/l do 611 mg/l odnosno 78-98% mg ekv/l. Sulfati i hloridi su znatno manje zastupljeni. Joni sulfata pokazuju veće varijabilnosti i kreću se u granicama od 0,00 mg/l do 21,39 mg/l. Vrijednosti sadržaja hlorida se kreću u manjem rasponu od 6,00-8,5 mg/l a najčešće oko 7 mg/l. Međujonski odnosi  $HCO_3/(Cl+SC_4)$  za vode sa lokaliteta Fojnice se kreću od 4,9 do 24,4 dok su za termalne vode Grabovika i Voljevca znatno više i iznose od 45,9 do 82,6. Slične relacije su i kod međujonskog odnosa  $Cl/SO_4$  koji pokazuje također više vrijednosti za termalne vode sa lokaliteta Grabovik i Voljevac (izuzetak je banja Grabovik iz 1981 godine). Ovo bi moglo značiti da vode na ova dva lokaliteta prolaze kroz različite litološke sredine gdje se obogaćuju hidrokarbonatima, hloridima i sulfatima. Dominantan kation u termalnim vodama je kalcijum sa koncentracijama od 30,0 mg/l do 118,64 mg/l tj. od 52-62 % mgekv/l, izuzev na izvoru Vućci gdje predstavlja najmanje zastupljen kation sa 22,4 mg/l odnosno 15% mgekv/l. Drugi po zastupljenosti je jon magnezijuma sa 9,68-35,82 mg/l.



Slika 10– Genetski grafik Sulina za termalne vode u Fojnici (F.Skopljak,2013.)  
1. Izvori u selu Banja; 2. FB-1 ; 3. FB-2

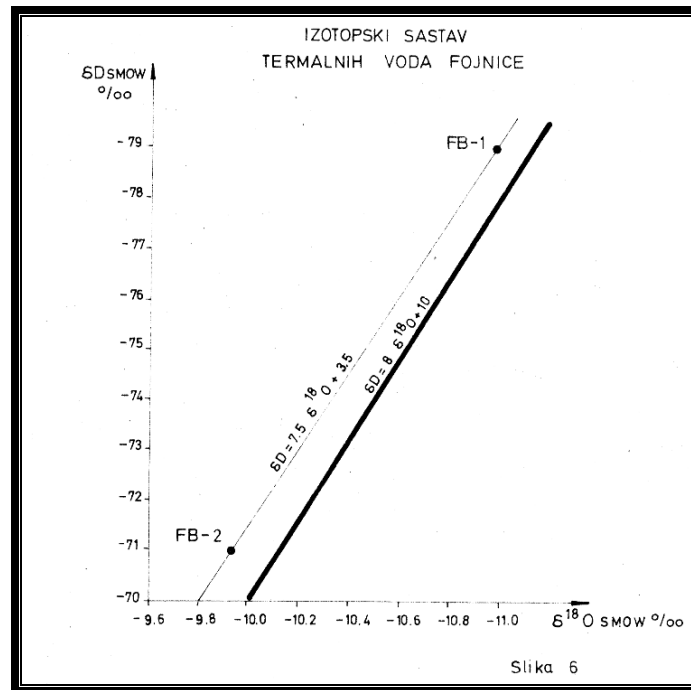
Odnos ova dva jona (Ca/Mg) kreće se uglavnom u malom rasponu od 3,22 - 4,06 i ne pokazuje određenu zakonitosti u, odnosu na promjene mineralizacije. Iz odnosa sadržaja magnezijuma i kalcijuma može se zaključiti da termalne vode potiču većim dijelom iz karbonatnih kolektora ali se prihranjuju vodom i iz klastičnih kolektora. Vode sa izvora Vrućci pokazuju odnose ova dva anijona karakteristične za porijeklo iz klastičnog kolektora. U ispitivanim termalnim vodama registrovan je sadržaj silicijum dioksida koji nije karakterističan za karbonatne vode. Njegov sadržaj je upravo proporcionalan sa sve tri ove komponente hemijskog sastava, što je donekle suprotno pravilnostima, koje se javljaju u hidrokarbonatno-kalcijskim vodama iz čistih krečnjačkih kolektora. Dakle, i ovo ukazuje na činjenicu da je dio voda iz dolomitično-krečnjačkog kolektora, a dio iz klastičnog kolektora.

Genetski grafik S u l i n - a i odnos  $Na/Cl > 1$  i  $Na-Cl/SO_4 > 1$  na svim izvorima u naselju „Banja“ kao i bušotini FB-1 ukazuje da ove termalne vode pripadaju *bikarbonatno-natrijskom tipu* voda (sl.10) nastalom u formacijama „jače ispranih stijena“. S druge strane odnos  $Na/Cl = 1$  i  $Na-Cl/SO_4 < 1$  u vodi bušotine FB-2 ukazuje da ove vode pripadaju *sulfatno-natrijskom tipu* voda (sl.10) nastalim u „kontinentalnoj sredini stvaranja“. Već na osnovu ovih pokazatelja uočava se da voda bušotine FB-2 ima drugačije međujonske odnose u odnosu na vodu bušotine FB-1, što će se pokazati i u narednim analizama.

Temperatura termalnih voda u Fojnici je, najvjerovatnije, uzrokovana strukturnim sklopom, geološkim i hidrogeološkim karakteristikama silur-devonskog karbonatnog akvifera, odnosno većom dubinom infiltracije atmosferskih voda. Temperatura termalnih voda je u skladu sa normalnim geotermnim gradijentom. Rezultati svih ispitivanja ukazuju da termalne vode u Fojnici imaju atmosfersko porijeklo, iako je, na osnovu sadržaja izotopa tricija ( $^3H < 1,7 T.U$ ), utvrđeno da termalne vode nisu imale vezu sa atmosferskim ili površinskim vodama nakon 1953. godine. Navedeno ukazuje na dugo vrijeme zadržavanje termalne vode u podzemlju što su na koncu potvrdili i rezultati ispitivanja starosti voda.

Metoda *deuterija* ( $^2H$ ) i *kisika* 18 ( $^{18}O$ ) je korištena u cilju prepoznavanja atmosferskog porijekla termalnih voda u Fojnici. Sadržaj izotopa deuterija u termalnim vodama Fojnice ima vrijednosti od -71,5 ‰ do -75,6 ‰  $\delta^2H$  i -9,93 ‰ do -10,89 ‰  $\delta^{18}O$ . I. K r u š i ć (1986.) na osnovu sadržaja

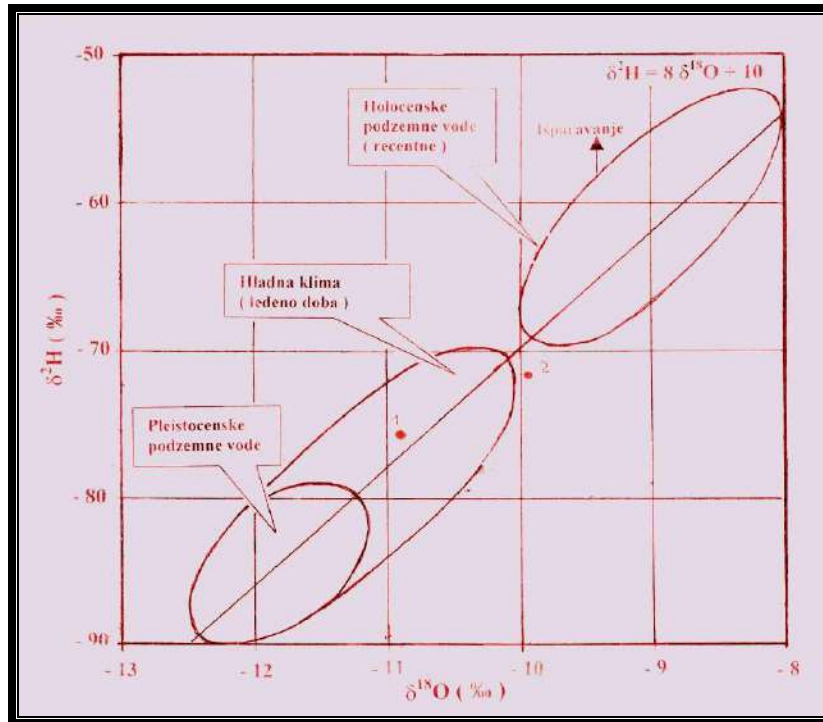
stabilnih izotopa deuterijuma i kiseonika 18 zaključuje da su ove vode atmosferskog porijekla, veoma bliske atmosferskim vodama (slika 11) i mogu se predstaviti jednačinom  $D = 7,5 \delta^{18}O + 3,5$



Slika 11 - Korelacija izotopskog sadržaja kisika  $\delta^{18}O$  i deuterijuma  $\delta^2H$  termalnih vode u Fojnici (I.Krušić, 1986.)

J. P e z d i ć (1985.) u Izvještaju o ispitivanjima izotopskog sastava termalnih voda u Fojnici ističe slijedeće „ Na osnovu izotopskog sastava vode i rastvorenog karbonata može tvrditi da je voda u bušotini FB-2 mješavina voda koja snabdijeva FB-1 i oko jedne trećine mlade meteorne vode sa plićih kolektora. Ovo podudara i sa temperaturom koja je u FB-2 za oko 7,5 °C niža nego u FB-1. Gasnih komponenti je u vodi malo pa se jedva izdvajaju mjehurići. U FB-1 to je azot, au FB-2 CO<sub>2</sub>. Ovaj CO<sub>2</sub> u većem dijelu oslobađa se iz iz biogeno uravnoteženog hidrokarbonata, ali dio CO<sub>2</sub> koji se nalazi i u FB-1 produkt je termohemijskih procesa ( $\delta^{13}C = -2,55 ‰$ )“.

Dijagram korelacije izotopskog sadržaja kisika  $\delta^{18}O$  i deuterijuma  $\delta^2H$  termalnih vode u Fojnici koje je priredio F. Skopljak (2013.) ukazuje također da navedene vrijednosti izotopa deuterija i kisika pokazuju da su termalne vode u Fojnici a t m o s f e r s k o g porijekla (sl.12), jer sadržaji  $^{18}O$  i  $^2H$  termalnih voda leže blizu tzv. *srednje prave* oborina reprodukovanom jednačinom  $\delta H = (8 \times \delta^{18}O) + 10$ . Manje odstupanje od srednje prave može se tumačiti razlikama u vrijednostima lokalnog pravca oborinskih voda za ovaj dio Bosne i Hercegovine u odnosu na globalni pravac oborinskih voda (IAEA, 1981.) koji je korišten za pripremu dijagrama usljed nedostatka osmatranja stabilnih izotopa u našoj zemlji. Na istom dijagramu se uočava da su termalne vode, najvjerovatnije, stvorene u gornjem pleistocenu, u vrijeme uticaja hladnije klimatske epohe, najvjerovatnije u vrijeme Wirmske glacijacije, s tim da voda bušotine FB-2 poprima karakteristike recentnih voda, vjerovatno pod uticajem mješanja termalnih voda sa običnim hladnim vodama (v.sl.12).



Slika 12- Korrelacija izotopskog sadržaja kisika  $\delta^{18}O$  i deuterijuma  $\delta^2H$  termalnih vode u Fojnici (prema podacima J.Pezdić, 1985. priredio F.Skopljak,2013.) 1 – FB-1; 2 – FB-2

Termalne vode u Fojnici su prema ranijim istraživanjima preko hidrohemijjskih geotermometara mješanog porijekla i sadrže 88 % frakcije hladne vode (I. K r u š i ć 1986.str.43). Temperature termalne vode u primarnoj izdani izračunate preko Na-K-Ca i SiO geotermometara za bunar FB-1 kreću se od 78 °C do 187°C dok su za bunar FB-2 znatno niže i iznose od 54°C do 91°C. Geotermametar SiO pokazuje nešto niže temperature u odnosu na one dobijene Na-K-Ca geotermometrom što je naročito izraženo na bunaru FB-1 gdje su razlike i više od dva puta. Prema M. V e s e l i ć u ovo bi značilo da su vode iz klastičnog kolektora. Međutim to nije u potpunosti u skladu sa rezultatima analize fizičko-hemijskog sastava voda koji ukazuju na pretpostavku da je dio voda iz karbonatnog kolektora. Prema tome možemo zaključiti da su vode dijelom iz karbonatnog a dijelom iz klastičnog kolektora, ali bi ovo daljim istraživanjima trebalo detaljnije ispitati.

Također, i naša istraživanja i proučavanja ukazuju da su termalne vode Fojnice, najvjerojatnije, mješavina dvije ili više voda različite mineralizacije. Miješanje voda je na većim dubinama bez uticaja savremenih klimatskih faktora, a na intenzivno miješanje voda ukazuju visok odnos Ca/Sr=319 na bušotini FB-1 do Ca/Sr=742 na bušotini FB-2 na kojoj je miješanje intenzivnije, a što pokazuju temperatura i mineralizacija vode. Odnos Na/Cl = 6,25 na bušotini FB-1, starom presahлом izvoru u selu Banja Na/Cl=7,75 i kaptaži na obali Banjskog potoka Na/Cl=7,0 ukazuje da termalna voda izvorišta „Banja“ nema vezu sa kamenom solju. Odnos Ca/SO<sub>4</sub>=13,4 u termalnoj vodi kaptaže na obali Banjskog potoka, te Ca/SO<sub>4</sub>=15,9 na bušotini FB-1 ukazuje da voda ne rastvara gips. Međutim, na bušotini FB-2 odnos Na/Cl=1,1 koja vrijednost ukazuje na rastvaranje kamene natrij-kloridnih stijena. Može se samo pretpostaviti da zaostale krpe perma u okolini Fojnice mogu sadržavati evaporate, te eventualnu cirkulaciju dijela voda koje se pojavljuju na bušotini FB-2 kroz te naslage. Također je i odnos Ca/SO<sub>4</sub>=7,14 u vodi bušotine FB-2 nešto viši u odnosu na druge bušotine i izvore ali ne ukazuje na rastvaranje gipsa sa vodom.

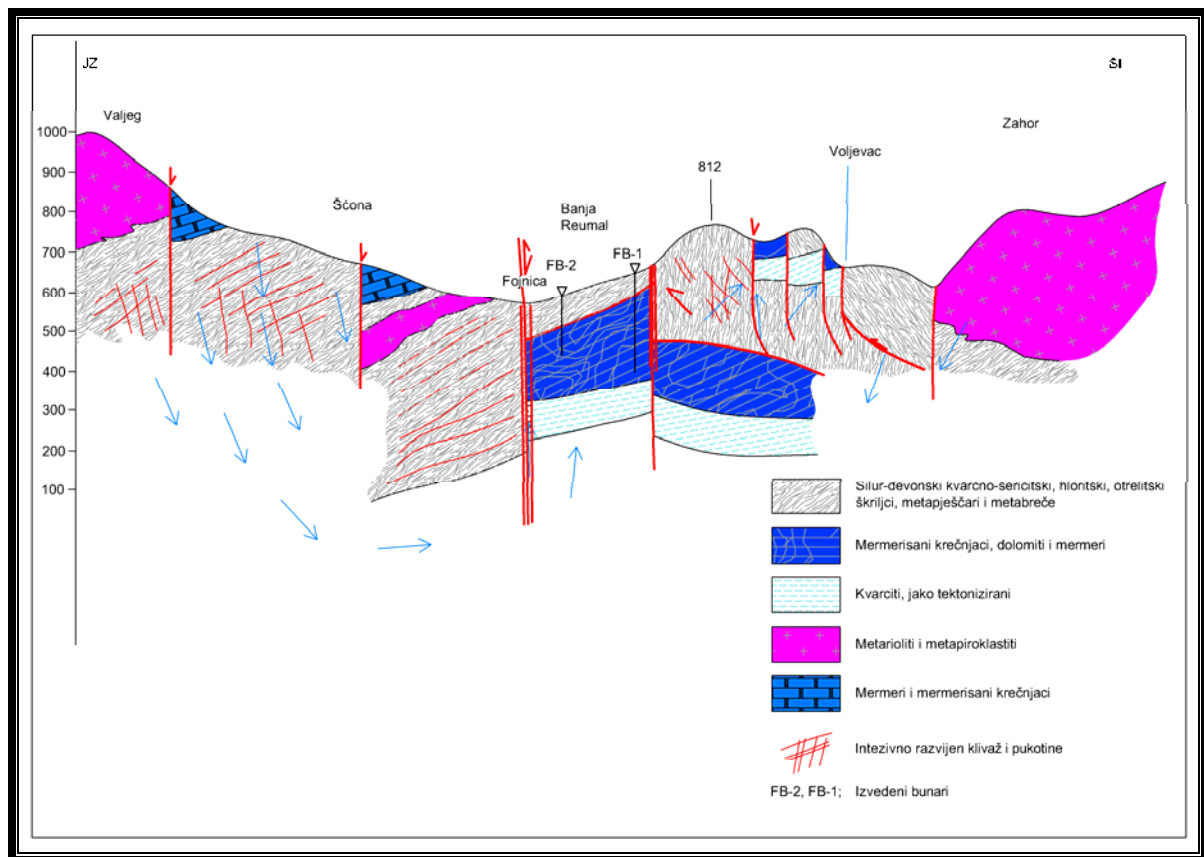
Sadržaj tricijuma u termalnim vodama Fojnice je manji od 1,7 TU što ukazuje da su termalne vode tzv. „mrtve vode“, te da nisu imale vezu sa atmosferskim ili površinskim vodama nakon 1953. godine.

Sadržaj *izotopa ugljika 14* određen je samo za termalne vode bušotine FB-1. Na osnovu rezultata ispitivanja starost termalnih voda je  $32\,800 \pm 2$  godina. Ovi podaci ukazuju da su termalne vode "stare vode" sa dugim periodom zadržavanja u podzemlju, te da nemaju brzu vodozamjenu, da su dobro zaštićene od površinskih voda i zagađivača što je veoma važno za definiranje zona i mjera zaštite izvorišta.

Sadržaj *ugljika 13* ( $^{13}\text{C}$ ) određen je iz rastvorenog anorganskog ugljika (DIC) u termalnim vodama bušotina FB-1 i FB-2. Sadržaj stabilnog izotopa ugljika  $\delta^{13}\text{C}$  u termalnim vodama Fojnice odnosno u ukupno otopljenom anorganskom ugljiku (DIC – engl.dissolved inorganic carbon), ima vrijednosti - 2,55 ‰ (FB-1) do - 6,54 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  (FB-2) što ukazuje da potiče iz karbonatnih stijena koje izgrađuju njegov vodonosnik. Nije isključeno da je dio ugljika  $\delta^{13}\text{C}$  u termalnim vodama bušotine FB-2 organskog porijekla, te potiče iz tla, odnosno kore trošenja, a što je još jedan od pokazatelja miješanja termalnih voda sa običnim vodama.

Na osnovu rezultata ispitivanja geneze termalnih voda Fojnice može se zaključiti slijedeće:

- vodonosnik termalnih voda u Fojnici su mermeri i mermerizirani dolomiti silur-devona,
- termalne vode su atmosferskog porijekla,
- starost termalnih voda je oko 30.000 godina, i najvjerojatnije su stvorene u gornjem pleistocenu, u vrijeme uticaja hladnije klimatske epohe,
- termalne vode se u pripovršinskim dijelovima terena kreću kroz stijene koje sadrže radioaktivne elemente.



Slika 13 – Model formiranja termalnih voda Fojnice

Uzimajući u obzir rezultate svih dosadašnjih hidrohemijskih ispitivanja, geološku građu, strukturne i hidrogeološke karakteristike terena, geneza termalnih voda Fojnice, prikazana na modelu (sl.13), je slijedeća:

- termalne vode se, najvećim dijelom, prihranjuju atmosferskim vodama u rejonu Vranice,
- atmosferske vode se u podzemlje infiltriraju rasjedima i pukotinama, ,
- infiltracija vode se u rejonu Vranice vrši na dubine preko 600 m,
- infiltracija vode na veće dubine, uz relativno brzo tečenje i visoke pritiske nastavlja se u pravcu doline Dragače,
- tečenje voda u podzemlju omogućuje intenzivno razvijeni klivaž i pukotine,
- u dolini Dragače gdje su karbonatne naslage silur-devona izdignute bliže površini terena a nepropusni škriljci erodovani termalne vode ističu na izvorima.

## LITERATURA

Bašagić, M., Skopljak, F. (2004.): Izvještaj o stanju zaštite izvorišta "Požarna", "Bježanija" i "Tocila" - Općina Fojnica, Institut za geologiju Građ.fak. Sarajevo.

Bašagić, M. (2011.): Hidrogeološka istraživanja termalnih voda u izvorištu "Banaj" u Fojnici, Institut za geologiju Građ.fak. Sarajevo.

Đerković, B. (1971.): Geološki i hidrogeološki odnosi područja srednje Bosne, Posebna izdanja Geološkog glasnika knj. X p. 90-121., Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.

Hrvatović, H. (1999.): Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu, Zavod za geologiju Sarajevo.

Hrvatović, H. (2006.): Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina, Federalni zavod za geologiju BiH, Sarajevo.

Josipović, J. (1970.): Hidrogeološke odlike srednjobosanskih škriljavih planina, Geološki glasnik knj. 14., p. 287-303. Sarajevo.

Josipović, J. (1971.): Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine, Geološki glasnik knj. 15., p. 233-275. Sarajevo.

Jurković, I. (1959): Mikroskopska studija bušotina u području Fojničke banje, Zagreb.

Katzer, F. (1926.): Geologija Bosne i Hercegovine, Direkcija državnih rudarskih preduzeća. Sarajevo.

Krušić, I. (1986.): Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji termalnih voda Fojnice, Geoinženjering – Sarajevo, OOUR Geoinstitut Ilidža. Ilidža.

Miholić S., 1956: Kemijska analiza termalnog vrela u Fojnici, Geološki vjesnik – glasilo Zavoda za geološka istraživanja N. R. Hrvatske i Hrvatskog geološkog društva, SV. XI, GOD. 1954-1955, Zavod za geološka istraživanja N. R. Hrvatske, Zagreb

Miholić S., 1958: Nuklearna geologija, Geološki vjesnik – glasilo Zavoda za geološka istraživanja N. R. Hrvatske i Hrvatskog geološkog društva, SV. XI, GOD. 1957, Zavod za geološka istraživanja N. R. Hrvatske, Zagreb

Miošić, N. (1982.): Genetska kategorizacija mineralnih, termalnih i termomineralnih voda BiH, Geološki glasnik knj. 27, p. 221-258, Geoinženjering, Sarajevo.

Miošić N, 2001: Postignuća i zadaci hidrogeologije i geotermija u Bosni i Hercegovini, Geološki glasnik 34, Institut za geoznanosti građevinskog fakulteta u Sarajevu, Zavod za geologiju Sarajevo, Sarajevo

Obelić, B., (1985.): Rezultati ispitivanja sadržaja tricija i <sup>14</sup>C u vodi bušotine FB-1 i FB-2 u Fojnici, Institut „Ruđer Bošković“, Zagreb.

Pezdić, J. et al. (1985.): Izvještaj o ispitivanjima izotopskog sastava voda, plinova i sedre, slobodnih i rastvorenih plinova, radona u vodi i gasu, Institut „Jozef Stefan“, Ljubljana.

Skopljak, F. (2013.): Elaborat o zaštiti izvorišta termalne vode Banja – Fojnica, GEA d.o.o. Tuzla.

Sofilj, J. et al (1971.): Osnovna geološka karta 1 : 100.000, list Prozor i tumač. Savezni geološki zavod. Beograd.

Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu (2003.): Radiološka ispitivanja u RRC Fojnica.

## Metodologija istraživanja u cilju povećanja eksploatacionih rezervi kraških vrela na primjeru „Studešnice“ i „Krabašnice“ na Konjuhu - Banovići

FERID SKOPLJAK, IZET ŽIGIĆ, DINKA PAŠIĆ-ŠKRIPIC, EDIN ALIĆ

Doc.dr.sc. Ferid Skopljak, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo  
Prof.dr.sc. Izet Žigić, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla  
Prof.dr. Dinka Pašić-Škripić, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla  
Mr.sc. Edin Alić, Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo

### Sažetak:

Opitna crpljenja kraških vrela u prostorima Bosne i Hercegovine i uopšte su rijedak hidrogeološki zadatak koji je skoro rijetko moguće i veoma teško izvršiti. Kraška vrela najčešće imaju nepovoljan pristup, neadekvatan položaj i dimenzije kraškog kanala, veliku izdašnost, te složen mehanizam i režim pražnjenja.

Kraška vrela, međutim, predstavljaju veliki hidrološki potencijal koji se u najvećem broju slučajeva, a naročito ona relativno manje minimalne izdašnosti, iskorištava za potrebe vodosnabdijevanja tako da se veoma često nameće potreba definiranja njihovih stvarnih eksploatacionih mogućnosti. Imajući u vidu da izdašnost kraških vrela značajno opadne u hidrološkom periodu malih voda kada su potrebe za vodom najveće, ukazuje se potreba utvrđivanja mogućnosti zahvatanja većih količina vode crpljenjem kraškog vrela uz snižavanje nivoa vode na preljevnom pragu, odnosno povećanjem sniženja nivoa podzemnih voda u pećinskom kanalu, ukoliko to morfologija kraškog kanala i hidraulički karakter kraškog vrela omogućava.

Ukazana potreba zahvatanja dodatnih količina pitke vode u hidrološkom periodu malih voda za potrebe sistema vodosnabdijevanja Banovića, relativno povoljni uslovi pristupa, položaja i dimenzija kraških kanala, te hidraulički mehanizam kraških vrela omogućili su izvođenje opitnog crpljenja kraških vrela „Studešnica“ i „Krabašnica“, koje su u ljeto 2012. godine proveli autori ovog rada.

U radu su prikazane geološko-hidrogeološke karakteristike terena u slivu rijeke Oskove, hidrogeološke karakteristike kraških vrela „Studešnica“ i „Krabašnica“, metodologija i rezultati opitnog crpljenja ovih kraških vrela, te mogućnosti zahvatanja dodatnih količina podzemnih voda na ovim izvorima.

**Ključne riječi:** opitno crpljenje, kraško vrelo, izdašnost, sniženje, hidrogeološki parametri

### Abstract:

Experimental extraction of karst springs in the territory of Bosnia and Herzegovina and in general are rare hydrogeological task that is almost rarely possible and very difficult to execute. Karst springs usually have an unfavorable approach, inadequate position and dimensions of karst channels, high yield, and a complex mechanism and mode of discharge. Karst springs, however, represent a major hydrological potential that in most cases, especially those relatively lower minimum yield, uses for water supply so that very often there is a need to define their actual exploitation opportunities. Considering the fact that karst springs yield significant drops in the hydrological period of low water when the water needs of the largest, there is a need to determine the possibility of abstraction of large quantities of water pumping karst springs with lowering the water level in the overflow threshold, or increase up groundwater levels in the cave channel if the morphology of the karst channels and hydraulic character of karst springs to. Pointed out the need of additional quantities of abstraction of drinking water in the

hydrological period of low water for the water supply system Banovići, relatively favorable conditions of access, location and dimensions of karst channels and hydraulic mechanism karst springs enabled performance for test pumping karst springs "Studešnica" and "Krabašnica" which in summer 2012. the authors conducted this study. The paper describes the geological and hydrogeological characteristics of the terrain in the danube River Oskova, hydrogeological characteristics of karst springs' Studešnica "and" Krabašnica" methodology and results for test pumping of the karst springs, and the ability to involve additional quantities of groundwater to these sources.

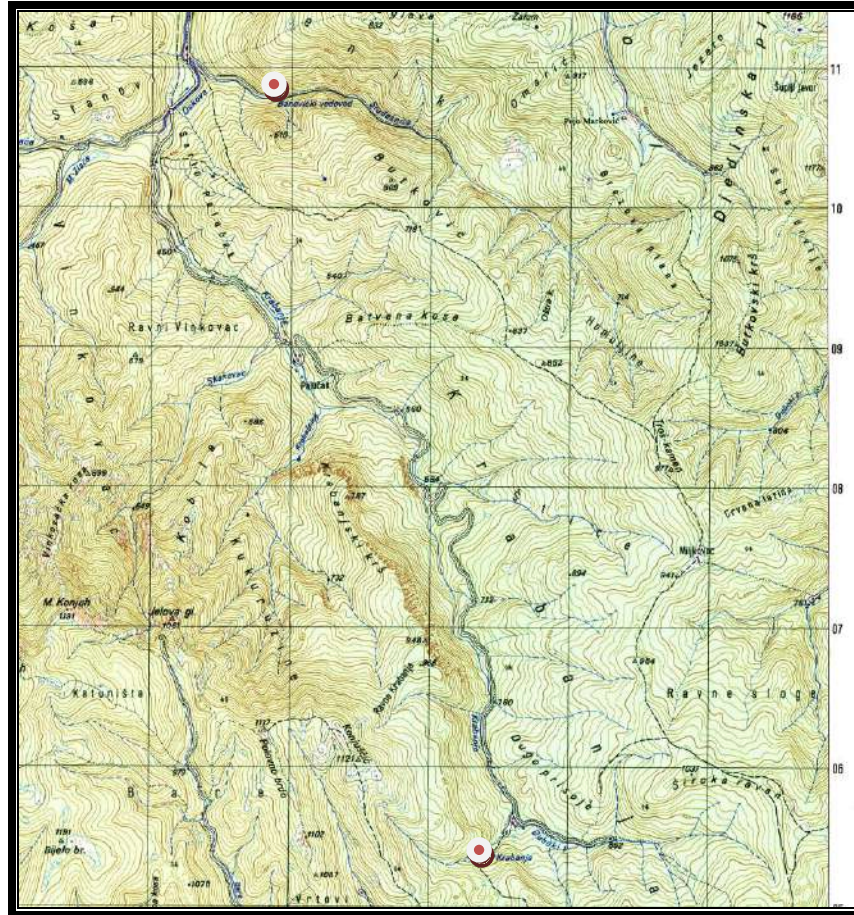
**Key Words:** The department pumping, karst springs, bounty, reduction, hydrogeological parameter.

## 1. UVOD

U cilju obezbjeđenja dodatnih količina pitke vode za potrebe vodosnabdijevanja Općine Banovići, nadležne službe Općine su pokrenula aktivnosti na izvođenju hidrogeoloških istraživanja u slivu rijeke Oskove, odnosno zoni rasprostranjenja krečnjaka srednje-gornjeg trijasa. Aktivnosti na izvođenju hidrogeoloških istraživanja započele su izradom Projektnog zadatka kojim su poštivajući principe faznosti, optimalnosti i ekonomske opravdanosti programirane III (tri) faze hidrogeoloških istraživanja. U sklopu prve faze istraživanja je, između ostalog, predviđeno opitno crpljenje izvora „Studešnica“ i „Krabašnica“ sa ciljem utvrđivanja mogućnosti zahvatanja dodatnih količina podzemnih na ovim izvorima, prvenstveno u hidrološkom periodu malih voda.

Imajući u vidu urgentnu potrebu uvođenja dodatnih količina podzemnih voda u sistem vodosnabdijevanja Općine Banovići u periodu juli-august 2012. godine, prije svega zbog nedostatka vode za piće usljed smanjenja izdašnosti izvorišta i gubitaka u sistemu vodosnabdijevanja, te uvođenja redukcije potrošnje vode, odlučeno je radove I-faze hidrogeoloških istraživanja započeti opitnim crpljenjem izvora „Studešnica“ i „Krabašnica“ kako bi se stvorile pretpostavke za prevazilaženja nastale situacije. U ovom radu prezentirani su podaci o metodologiji i rezultatima opitnog crpljenja izvora „Studešnica“ i „Krabašnica“, te utvrđene mogućnosti zahvatanja dodatnih količina podzemnih voda na ovim izvorima.





Slika 1 – Položaj izvorišta „Studešnica“ i „Krabašnica“

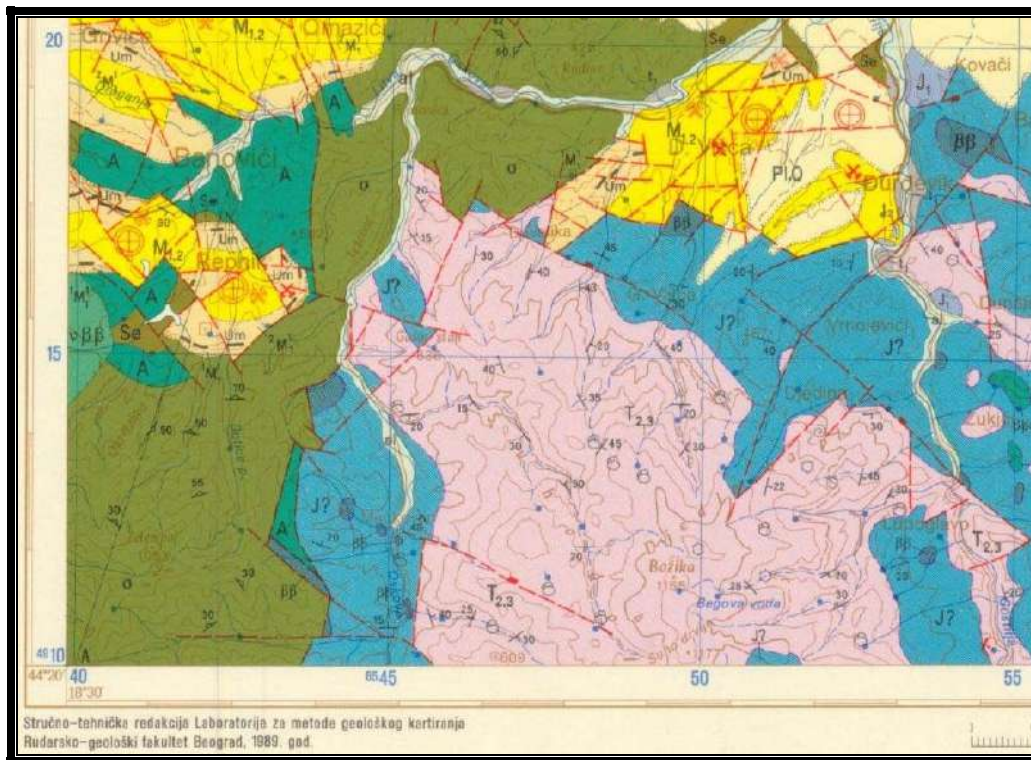
## 2. POLOŽAJ KRAŠKIH VRELA

Kraška vrela „Studešnica“ i „Krabašnica“ se nalazi oko 8 km jugoistočno od Banovića. Slivno područje kraških vrela administrativno pripada Tuzlanskom kantonu, odnosno Općini Banovići. Komunikacijske prilike područja istraživanja su veoma povoljne. Do izvorišta "Studešnica" i „Krabašnica“ i njihovog zaleđa, te doline Suhodola i Drvenika, izgrađeni su asfaltni i makadamski putevi što je pozitivan faktor istraživačkog procesa. U orografskom pogledu, područje istraživanja predstavlja brdoviti teren sa visinama 400 u dolini Oskove do 1.155 m.n.m koliki je najviši vrh Djedinjske planine. Dominiraju uzvišenja brda Božika (k.1155 m), Butkovski krš (k.1037 m), Hum (k.966 m) i Kočarin (k.982 m) i dr. koja su gotovo u cjelosti izgrađena od krečnjaka srednje-gornjeg trijasa. Najveći stalni vodotok u području je rijeka Oskova koji izvire u rejonu Krabanje, odnosno jugozapadnim dijelovima Djedinjske planine. Najveće desne pritoke Oskove su Krabanja i Studešnica, a lijeva riječica Zlaća. Od povremenih potoka, najznačajniji su potok Suhodol i Duboki potok. Područje Banovića i okoline pripada pojasu kontinentalne klime. Prosječne godišnje padavine iznose oko 850 mm.

## 3. PREGLED RANIJIH ISTRAŽIVANJA

Osnovna geološka istraživanja šireg područja Banovića realizirana su kroz izradu Osnovne geološke karte Jugoslavije, mjerila 1:100.000, a koja su područje istraživanja obuhvatila na

listu Tuzla. Osnovna geološka istraživanja su sagledala sve bitne elemente facijalnog sastava, superpozicionih odnosa i tektonske strukture ovih terena. Ovim istraživanjima su, u širem rejonu izvorišta "Studešnica", izdvojene tvorevine „dijabaz-rožnačke formacije“ mlađe jure, te karbonati srednjeg i gornjeg trijasa. Ostalo je otvoreno pitanje detaljnog rasčlanjivanja naslaga srednjeg i gornjeg trijasa što je bilo veoma teško zbog oskudne faune. U toku izrade navedenog lista geološke karte su, također, u osnovi sagledane strukturno-facijalne i tektonske karakteristike ovih terena, ali je ostalo otvoreno pitanje strukturnog položaja karbonatnog bloka Djedinske planine. Hidrogeološka istraživanja izvorišta "Studešnica" i „Krabašnica“ su u manjem obimu provedena 1973/74., te 1987. godine kada su provedena uglavnom hidrometrijska mjerenja i traserska ispitivanja. Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo je 2003. godine izradio Studiju stanja vodosnabdijevanja Tuzlanskog kantona u kojoj je, između ostalog, dat pregled stanja vodosnabdijevanja Općine Banovići i naglašene mogućnosti zahvatanja podzemnih voda u krečnjacima srednje-gornjeg trijasa Djedinske planine.



Slika 2 – Geološka karta šireg područja izvorišta „Studešnica“ i „Krabašnica“

## 4. GEOLOŠKI SASTAV TERENA

### 4.1. Stratigrafija

U građi terena šireg područja izvorišta "Studešnica" i „Krabašnica“ učestvuju tvorevine srednjeg i gornjeg trijasa (T<sub>2,3</sub>), "dijabaz-rožnačke formacije" mlađe jure (J) i kvartara (Q).

#### Srednji i gornji trijas (T<sub>2,3</sub>)

Naslage srednjeg i gornjeg trijasa se pojavljuju u pojasu širine cca 5 i dužine cca 20 km koji se pruža od Banovića na jugozapadu do Strupara na jugoistoku. U najvećoj mjeri izgrađuju teren u rejonu Djedinske planine. Predstavljene su uglavnom debelim paketima bankovitih i

masivnih krečnjaka, te rjeđe krečnjacima sa rožnacima. Krečnjaci su bijele i sivobijele boje, sa visokim sadržajem  $\text{CaCO}_3$ , kristalasti, lokalno brečasti. Najčešće ne sadrže faunu tako da nije izvršeno razdvajanje srednjeg od gornjeg trijasa. Debljina nerasčlanjenog dijela srednjeg i gornjeg trijasa prema tumaču lista Tuzla je 800-1000 m

## **Jura (J)**

Sjeveroistočno i jugozapadno od pružanja karbonata srednjeg i gornjeg trijasa, teren skoro u cjelosti izgrađuju tvorevine "dijabaz-rožnjačke formacije". Njihova starost nije definitivno određena, a najveći broj autora, koji su se bavili problematikom starosti ovih tvorevina, smatra da je jurska (J), odnosno dogersko-malmska ( $J_{2,3}$ ). Ove tvorevine prema S. Č i č i ć u imaju naglašene riftogene osobine, te se shodno tome u njima nalaze tri grupe facija: a) sedimentne, b) submarinsko-vulkanske sinsedimentne i c) okeanske kore i najvišeg omotača (2002.str.280). Sedimentne stijene "dijabaz-rožnjačke formacije" imaju manje rasprostranjenje i uglavnom su uklještene u zoni rasjeda različite orijentacije. U njihovom sastavu su, uglavnom, pješčari, glinci i alevrolitski glinci, rožnaci i breče. Magmatske i metamorfne stijene su izdvojene na većim površinama u ofiolitnim terenima. Predstavljene su peridotitima, gabroperidotitima, dijabazima, serpentinitima, amfibolitima, kvarc-sericitskim škriljcima i zelenim škriljcima.

## **Kvartar**

Kvartarne naslage su utvrđene u koritu i proširenim dolinama rijeke Oskove i Gostilje, te njihovih pritoka. Predstavljene su, uglavnom, proluvijalnim naslagama (pr) u čijem sastavu su drošina, valutice stijena, šljunak i pijesak u većoj i manjoj mjeri zaglinjeni.

## **4.2. Strukturno - tektonske karakteristike**

Područje istraživanja dodatnih količina pitke vode za Banoviće se nalazi na prelazu unutrašnjih i središnjih Dinarida BiH. Prema Tumaču lista Tuzla pripada centralnoj ofiolitskoj zoni. Ovu tektonsku jedinicu karakterizira megablok karbonata srednjeg i gornjeg trijasa unutar ofiolita konjuško-ozrenskog ultramafitskog kompleksa. Trijaski blok je na sjeverozapadu, istoku i jugozapadu u tektonskom kontaktu sa peridotitima koji su, po svemu sudeći, kao čvrsta tijela intrudirali u jurske sedimente, jer nisu registrirane kontaktnometamorfne pojave u okolnim stijenama. Tektonski kontakt karbonata srednjeg i gornjeg trijasa sa tvorevinama "dijabaz-rožnjačke formacije" u proučavanom terenu nije upitan. Zbog nedostatka faktografskog materijala, ostaje otvoreno pitanje strukturnog položaja karbonata srednjeg i gornjeg trijasa; da li je olistolit unutar "dijabaz-rožnjačke formacije" ? ili predstavlja izdanke trijasko karbonatne platforme ?. Prema svim naznakama u terenu, većina autora zastupa mišljenje da megablok karbonata srednjeg i gornjeg trijasa predstavlja olistolit unutar "dijabaz-rožnjačke formacije". Definitivne ocjene o tome moguće je donijeti detaljnim geološkim istraživanjima ovih i susjednih terena sa pronalaskom većeg broja faktografskog materijala, posebno stratigrafskim definiranjem jurskih klastičnih naslaga i tvorevina "dijabaz-rožnjačke formacije".

## 5. OSNOVNE HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA

U širem području izvora „Studešnica“ i „Krabašnica“ izdvojene su dvije hidrogeološke kategorije stijena: dobropropusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti i nepropusne stijene.

*Dobropropusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti* su karbonati srednjeg i gornjeg trijasa (T<sub>2,3</sub>). Predstavljene su krečnjacima, krečnjacima sa muglama i slojevima rožnaca koji su pretežno veoma ispucali i uglavnom intenzivno karstificirani. U hidrogeološkom pogledu ove krečnjačke naslage imaju funkcije vodonosnika kavernožno-pukotinske poroznosti. Pukotine, kaverne i pećine formirane u ovim stijenama imaju poseban hidrogeološki značaj jer u njima postoji mogućnost akumuliraju većih količina podzemnih voda u karstnom vodonosniku. Veliki prečnici kaverni, također, omogućuju velike brzine i protok većih količina vode iz vodonosnika prema karstnim vrelima. Prihranjivanje vodonosnika vrši se infiltracijom padavina u rejonu Djedinske planine i poniranjem vodotokova. Pražnjenje vodonosnika je na sadašnjem stupnju istraženosti najvećim dijelom na izvorima „Studešnica“ i „Krabašnica“.

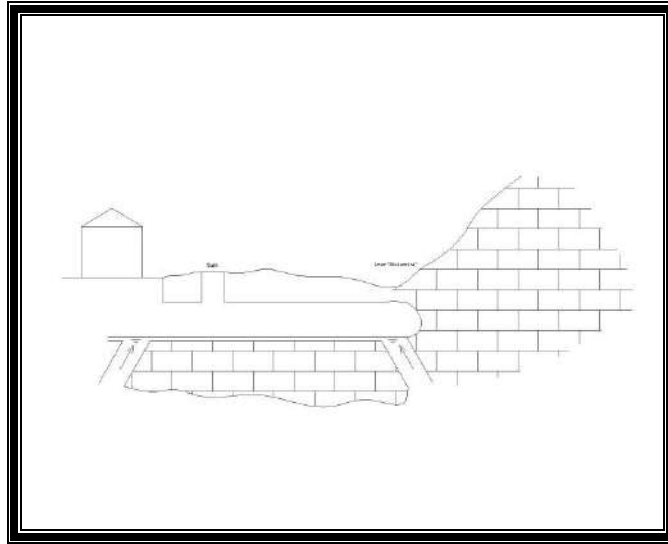
U kategoriju *nepropusnih stijene* izdvojene su tvorevine "dijabaz-rožnjačke formacije" predstavljene glincima, serpentinitima, pješčarima, alevrolitima i peridotitima. Ove naslage imaju hidrogeološke funkcije bočnih, najvjerojatnije, i podinska barijera podzemnim vodama akumuliranim u krečnjacima srednje-gornjeg trijasa.

### Izvori

Najveći izvori u predmetnom području su „Studešnica“ i „Krabašnica“. Nalazi se u slivu rijeke Oskove. Situira su blizu kontakta veoma propusnih krečnjaka srednje-gornjeg trijasa sa tvorevinama dijabaz-rožnjačke formacije. Pojava izvora su pored kontakta propusnih i nepropusnih stijena, najvjerojatnije, predisponirane rasjedima koji se pružaju duž rijeke i poprečnim rasjedima što je potrebno utvrditi na terenu.

### *Izvor „Studešnica“*

Izvor „Studešnica“ je nastao na kontaktu krečnjaka srednje-gornjeg trijasa sa tvorevinama dijabaz-rožnjačke formacije. Pojava izvora je pored kontakta propusnih i nepropusnih stijena, najvjerojatnije, predisponirana rasjedom koji se pružaju duž potoka Studešnice. Koordinate izvora su X 4 910 795; Y 6 545 876; Z 459 m.



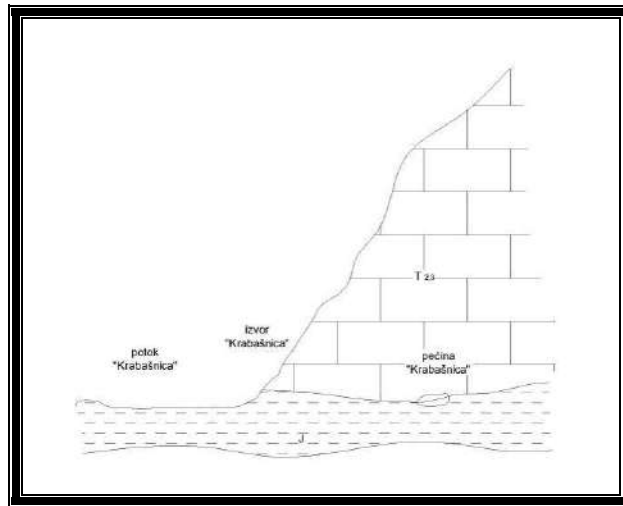
Slika 3 – Skica hidrogeološkog profila izvora „Studešnica“

Izvor „Studešnica“ je uzlaznog mehanizma isticanja. Izbija iz kaverne promjera cca 1,0 m formirane duž međuslojnih pukotina u krečnjacima gornjeg trijasa. Krečnjaci su masivni, mjestimično bankoviti bijele boje, podređeno sivi. Pad krečnjaka je pod uglom  $65^\circ$  u pravcu jugoistoka. Na mjestu isticanja je nekada bila manja podpečina na čijim zidovima je taložena sedra, što govori da je to nekada bilo primarno isticanja. Pećinski kanal iz kojeg izbija voda je prema dostupnom osmatranju promjera cca  $\varnothing$  50-60 cm; inverzan i zaliježe u pravcu jugoistoka pod uglom cca  $70^\circ$  koliki je približno i pad slojeva krečnjaka. Na zidovima pećinskog kanala su tragovi, odnosno smeđe i žute skrume hidroksida gvožđa, moguće i mangana. Na mjestu primarnog isticanja voda iznosi manje valutice i šljunak koji potiče od stijena dijabaz-rožne formacije. Prema zaobljenosti valutice može se zaključiti da je transport valutica relativno dug, nekoliko kilometara. Izvor „Studešnica“ je uključen u sistem vodosnabdijevanja Banovića preko cjevovoda  $\varnothing$  250 mm; direktno u sistem tokom ljetnog perioda, odnosno preko filter stanice u pluvijalnom periodu godine.

Na izvoru „Studešnica“ nema mogućnosti direktnog mjerenja izdašnosti, odnosno količine vode koja ističe na izvoru. Posredno je moguće doći do nesigurnih podataka izdašnosti preko mjerača u hlornoj stanici. Jedini način da se utvrdi izdašnost izvora „Studešnica“ u hidrološkom periodu malih voda je opitno crpljenje stim da je preporučeno da u narednom periodu odgovarajućim hidrotehničkim rješenjem treba predvidjeti uspostavu mjernog profila na izvoru „Studešnica“. Izdašnost vrela na mjestu primarnog isticanja iznosi cca  $Q = 15$  l/s ali je registrirano još jedno mjesto isticanja u sabirnoj komori gdje nije moguće procijeniti izdašnost ali se pretpostavlja da ističe minimalno 8-10 l/s vode. Procjenjena ukupna minimalna izdašnost izvora „Studešnica“ iznosi  $Q = 20-25$  l/s. Izvor „Studešnica“ prema raspoloživim literaturnim podacima ima maksimalnu izdašnost oko 1.300 l/s. Uzvodno od izvora „Studešnica“ cca 70 m se nalazi zatrpani pećinski kanal koji u hidrološkom periodu visokih voda ima hidrauličku vezu sa izvorom „Studešnica“. Osnovni podaci o fizičko-kemijskim osobinama izvora „Studešnica“ mjereni 21.07.2012. godine su: TDS =194 mg/l (Totalno otopljene tvari); Salinitet=0,0;  $E_p=304$   $\mu$ S/cm (Elektroprovodljivost); Temperatur vode  $t_{vode} = 9,2$   $^\circ$ C pri temperaturi zraka  $T_{zraka}=27,9$   $^\circ$ C.

**Izvor „Krabašnica“**

Izvor „Krabašnica“ je formiran na kontaktu krečnjaka srednje-gornjeg trijasa sa nepropusnim tvorevinama dijabaz-rožnjačke formacije. Koordinate izvora su X 4 908 250; Y 6546 054; Z 577 m. Osmatranje primarnog mjesta isticanja i kaptiranja izvora „Krabašnica“ nije moguće. Prema našim opservacijama izvor je kaptiran, najvjerovatnije, duž približno horizontalne pukotine ili kaverne u krečnjacima trijasa, najvjerovatnije sa 2 krila usmjerena u pravcu juga i jugozapada. Prema dostupnom osmatranju izgleda da je unutar krila ugrađen kameni nabačaj.



Slika 4 – Skica hidrogeološkog profila izvora „Krabašnica“

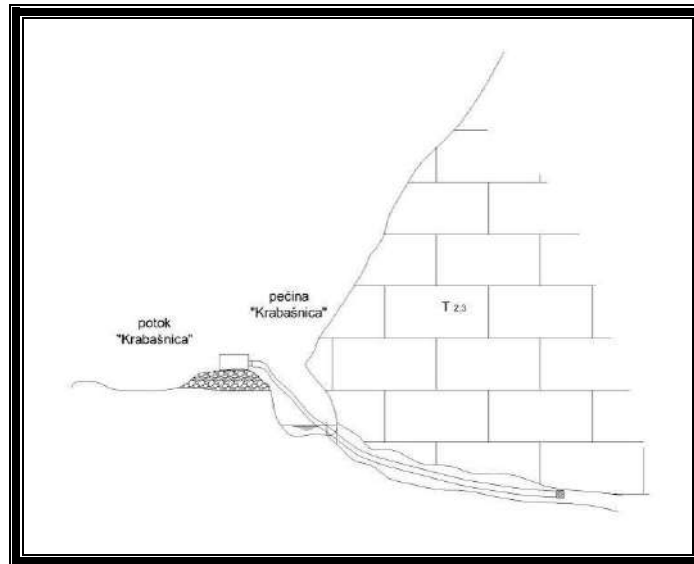
Izdašnost izvora „Krabašnica“ procjenjena 21.07.2012. godine je iznosila cca  $Q = 10$  l/s a mjerenjem dana 04.08. 2012. godine izdašnost izvora je iznosila  $Q = 3,0$  l/s. Opitno crpljenje izvora „Krabašnica“ nije moguće izvršiti jer je kaptažom potpuno zatvoreno primarno mjesto isticanja izvora. Osnovni podaci o fizičko-kemijskim osobinama izvora „Krabašnica“ mjereni dana 21.07.2012. godine su: TDS = 201 mg/l (Totalno otopljene tvari); Salinitet=0,0;  $E_p=315$   $\mu$ S/cm (Elektroprovodljivost); Temperatur vode  $t_{vode} = 9,1$  °C pri temperaturi zraka  $T_{zraka} = 29$ °C. Voda izvora „Krabašnica“ je prema fiziko-kemizmu veoma slična izvoru „Studešnica“ što ukazuje na njihovu sličnu genezu ali različite puteve cirkulacije. Na udaljenosti cca 80 m jugozapadno od izvora „Krabašnica“ registrirana je pećina koja je djelomično istražena u toku opitnog crpljenja.

**Pećina Krabašnica“**

Pećina „Krabašnica“ je formirana u krečnjacima trijasa ( $T_{2,3}$ ) sa desne strane potoka Krabašnica. Krečnjaci su masivni, tektonizirani, uškrljeni i padaju prema jugoistoku. Pećina zaliježe prema jugoistoku pod uglom 60-65°. Kaverna formirana duž međuslojnih pukotina ima promjer širine 0,5 i duž 3-4 metra. Zatrpna je proluvijalnim valuticama i šljunkom pretežno ofiolitskog sastava. Koordinate pećine su X 4 908 169; Y6545 982; Z 579 m

Pećina je zavodnjena i prohodna koliko smo imali mogućnosti osmatranja, što ukazuje da se pećina i akvifer pružaju dublje u zaleđe. Nakon što je pećina iscrpljena do dna utvrđeno je da pećinski kanal pod malim nagibom povija prema sjeveroistoku, gdje sa desne strane prihvata slap visine cca 2 m na koji voda uzlazno dotiče iz pravca jugozapada. Pećinu je detaljnije

potrebno istražiti speleološkim istraživanjima. Nivo vode u kaverni je cca 3 m od površine terena. Nivo podzemne vode u pećini je nešto viši od nivoa izvora „Krabašnica“.



Slika 5 – Skica hidrogeološkog profila pećine „Krabašnica“

U budućnosti izvršiti regulaciju potoka Krabašnica radi zaštite kaverne i podzemnih voda od zagađenja. Pećina „Krabašnica“ je povremeno vrelo uzlaznog mehanizma isticanja što znači da postoji mogućnost zahvatanja dodatnih količina vode. Pećina „Krabašnica“ je sifon i za visokih voda postaje vrelo. Ustvari funkcioniра kao estavela, postaje ponor u hidrološkom periodu malih voda (ponire voda iz potoka) i izvor nakon padavina u hidrološkom periodu velikih voda. Osnovni podaci o fizičko-kemijskim osobinama vode iz pećine „Krabašnica“ mjereni 04.08.2012. godine su: TDS = 161 mg/l (Totalno otopljene tvari); Salinitet = 0,0;  $E_p = 208 \mu\text{S/cm}$  (Elektroprovodljivost); Temperatur vode  $t_{\text{vode}} = 9,3 \text{ }^\circ\text{C}$  pri temperaturi zraka  $T_{\text{zraka}} = 27^\circ\text{C}$

## 6. METODOLOGIJA IZVOĐENJA OPITNOG CRPLJENJA

### 6.1. Izvor „Studešnica“

Opitno crpljenje izvora "Studešnica" je izvršeno nakon prethodno izvršenih pripremnih radova koji su obuhvatili:

- utvrđivanje stanja izvora i kaptaže,
- utvrđivanje načina sadašnjeg sistema korištenja vode,
- ugradnju vodomjernih letvi,
- mjerenje nultog stanja nivoa podzemnih voda u izvorištu, i
- pripreme opreme za crpljenje (pumpe, nivomjeri, konduktometri, i dr.)

Opitno crpljenje je izvršeno sa nekoliko pumpi tipa "Honda" sa nekoliko kapaciteta crpljenja ( $Q_{\text{max}} = 27,8 \text{ l/s}$ ) u ukupnom trajanju 20 sati.

Tokom crpljenja izvora "Studešnica" vršeno je kontinuirano mjerenje nivoa podzemnih voda na instaliranim vodomjernim letvama u izvoru, u kaptazi, kao i prelivu sabirne komore, te mjerenje ukupne količine vode na hlornoj stanici i dr.

U toku opitnog crpljenja izvora "Studešnica" uzeti su uzorci za proširene kemijske i bakteriološke analize vode.

## 6.2. Pećina „Krabašnica“

Opitno crpljenje pećine „Krabašnica“ izvršeno je nakon prethodno izvršenih pripremnih radova koji su obuhvatili:

- čišćenje ulaza pećinskog kanala,
- utvrđivanje stanja i karakteristika pećine,
- utvrđivanja najpovoljnije lokacije za instaliranje usisne korpe pumpe,
- ugradnje vodomjerne letve,
- mjerenje nultog stanja nivoa podzemnih voda u pećini i izvoru „Krabašnica“,
- pripreme opreme za crpljenje,
- probno crpljenje pećine kapacitetom 15 l/s pri čemu je pećina potpuno isušena.

Opitno crpljenje pećine „Krabašnica“ izvršeno je pumpom tipa "Honda" sa jednim kapacitetom crpljenja ( $Q_{max} = 4,4$  l/s) u ukupnom trajanju 4 sata, jer je probnim crpljenjem sa  $Q = 15$  l/s utvrđeno utvrđeno da nema mogućnosti crpljenja većim kapacitetom

Tokom opitnog crpljenja kontinuirano je mjeren nivo podzemnih voda na vodomjernoj letvi u pećini, kapacitet crpljenja pećine i izdašnost izvora „Krabašnica“.

Na kraju opitnog crpljenja su uzeti uzorci za proširene kemijske i bakteriološke analize vode.

## 7. REZULTATI ISPITIVANJA

### 7.1. „Studešnica“

Opitno crpljenje izvora "Studešnica" je izvršeno sa više pumpi i nekoliko različitih kapaciteta crpljenja u ukupnom trajanju 20 sati. Za proračun i obradu podataka crpljenja su odabrana dva kapaciteta crpljenja koja su vremenski najduže trajala i pri kojima je ustaljenje nivoa podzemnih voda trajalo minimalno 5-8 sati što je pouzdano vrijeme ustaljenja sa aspekta proračuna hidrogeoloških parametara i izdašnosti izvora, i to:

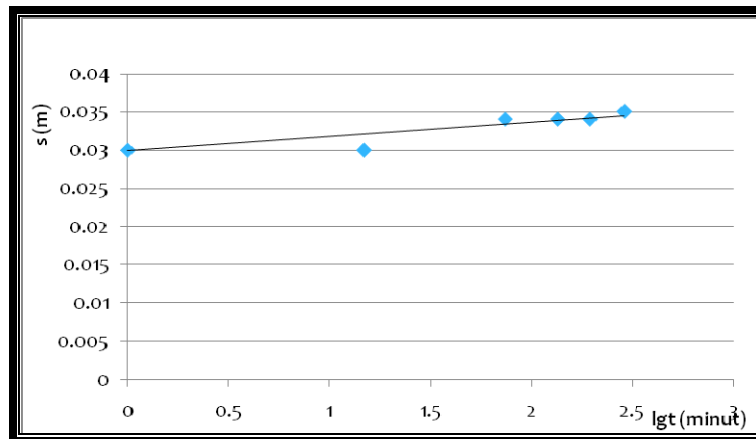
$$Q_1 = 27,8 \text{ l/s} \quad S_1 = 0,035 \text{ m}$$

$$Q_2 = 13,0 \text{ l/s} \quad S_2 = 0,012 \text{ m}$$



## Hidrogeološki parametri

Hidrogeološki parametri, odnosno filtracione karakteristike vodonosnika koji se prazni na izvoru "Studešnica" utvrđeni su proračunom na osnovu podataka opitnog crpljenja izvora kapacitetom  $Q = 27,8$  l/s. Od hidrogeoloških parametara proračunat je koeficijent vodoprovodnosti  $T$  ( $m^2/s$ ) koji definira količinu vode koja u jedinici vremena prođe kroz jedinicu poprečnog presjeka vodonosnika debljine (m) pri jediničnom hidrauličkom gradijentu. Proračun parametara izvršen je prema metodi N.N. Bindemana i L.S. Jazvina (1963.) za nestacionarne uvjete strujanja.



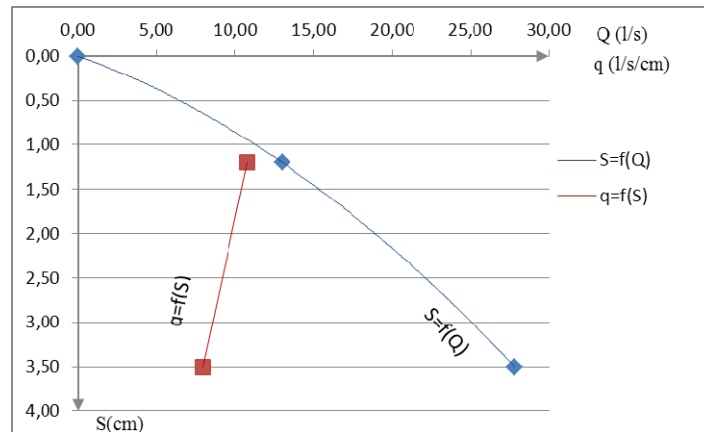
Slika 6 – Dijagram  $S - lgt$  za crpljenje izvora  $Q = 27,8$  l/s

Koeficijent vodoprovodnosti vodonosnika u zaleđu izvora "Studešnica" ima dosta visoku vrijedost koja prema navedenim proračunima iznosi  $T = 3,38 \times 10^{-2} m^2/s$ .

## Izdašnost izvora

Izdašnost izvora "Studešnica" uz optimalna, odnosno minimalna sniženja nivoa podzemnih voda u pećinskom kanalu utvrđena je proračunom na osnovu podataka opitnog crpljenja izvora sa dva kapaciteta i ustaljena sniženja nivoa podzemnih voda (preko obrazaca K e l e r a) za paraboličnu zavisnost sniženja i kapaciteta crpljenja, odnosno specifičnog kapaciteta. Proračun izdašnosti izvora "Studešnica" izvršen je na osnovu podataka opitnog crpljenje sa dva kapaciteta i ustaljenja sniženja kako je prikazano u narednoj tabeli:

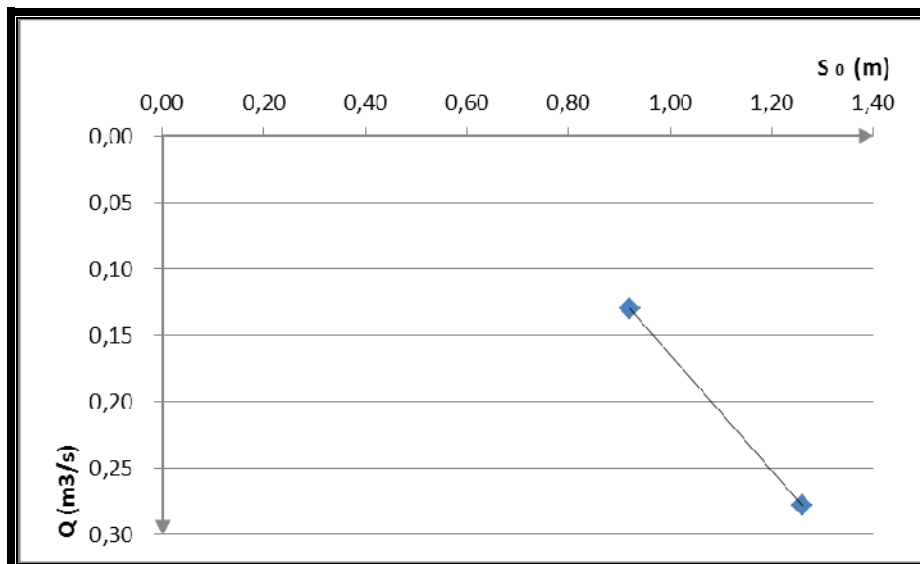
| Q<br>(l/s) | S<br>(m) | q<br>(l/s/m) |
|------------|----------|--------------|
| 27,8       | 0,035    | 7,94         |
| 13,0       | 0,012    | 10,80        |



Slika 7 - Dijagram zavisnosti  $S = f(Q)$  i  $q = f(S)$

Iz dijagrama zavisnosti  $S = f(Q)$  i  $q = f(S)$  uočava se da je vodonosnik sa slobodnim nivoom; izdašnost se mijenja po krivoj tipa parabole, a njegova specifična izdašnost se smanjuje sa sniženja nivoa u pravoj liniji. Uzimajući u obzir da je vodonosnik sa slobodnim nivoom, te paraboličnu zavisnost izdašnosti i sniženja za proračun izdašnosti izvora "Studešnica" primjenjen je obrazac K e l e r -a :

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4b \times s} - a}{2b}$$



Slika 8 – Dijagram  $Q - S_o$  za opitno crpljenje izvora  $Q = 27,8$  l/s i  $Q = 13,0$  l/s

Proračun sniženja za izdašnost izvora  $Q = 40$  l/s izvršen je preko obrasca:

$$S = a \times Q + b \times Q^2$$

$$S = 7,4 \text{ cm}$$

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4b \times s} - a}{2b}$$

Na osnovu proračunatih parametara na izvoru "Studešnica" je za sniženje  $S = 7,4$  cm moguće zahvatiti:

$$Q = 38 \text{ l/s}$$

ili

$$Q = 140,4 \text{ m}^3/\text{sat}$$

### **Kvalitet vode**

Kvalitet podzemnih voda izvora „Studešnica“ određen je proširenom fizičko-kemijskom i bakteriološkom analizom na uzorcima vode uzetim tokom opitnog crpljenja izvora dana 02.08.2012. godine.

### ***Fizičko-kemijske karakteristike vode***

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode pokazuju da su vode:

- pitke,
- bez mirisa,
- temperature  $9,2$  °C,
- pH oko  $6,6$
- elektroprovodnosti  $262$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,
- mineralizacije  $264$  mg/l,
- ukupne tvrdoće  $176$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , i
- hidrokarbonatno - kalcijskog tipa.

U kemijskom sastavu vode od aniona dominiraju hidrokarbonati ( $184,22$  mg/l). Sadržaj sulfat iona u vodi je nizak ( $6,0$  mg/l) kao i klorida ( $1,24$  mg/l). Voda ne sadrži nitrite, a sadržaj nitrata je nizak i u dozvoljenim granicama ( $6,46$  mg/l). Od kationa dominira kalcij ( $64,13$  mg/l) dok je magnezij vrlo nizak ( $3,88$  mg/l). Sadržaj natrija ( $0,29$  mg/l) i kalija ( $0,39$  mg/l) ima veoma niske vrijednosti. Sadržaj amonijaka u vodi je veoma nizak ( $0,04$  mg/l) i u granicama MDK što zajedno sa nitratima i nitritima ukazuje na odsustvo organskog zagađenja vode. Utrošak  $\text{KMnO}_4$  je veoma nizak ( $0,48$  mg/l) što je, također, indikacija odsustva organskog zagađenja vode. Sadržaj željeza u vodi je veoma nizak ( $0,01$  mg/l) a voda također, ne sadrži mangana ( $0,00$ ). Na osnovu rezultata proširene analize kvaliteta vode uzetih u toku crpljenja izvora "Studešnica" može se zaključiti da voda, sa aspekta fizičko-kemijskog sastava, **odgovara** uslovima Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće u daljem tekstu - Pravilnik (Sl. Glasnik BiH 40/10 ). Uzorkovanje i ispitivanje kvaliteta vode treba nastaviti i u narednom periodu u obimu i periodima kako je predviđeno Pravilnikom.

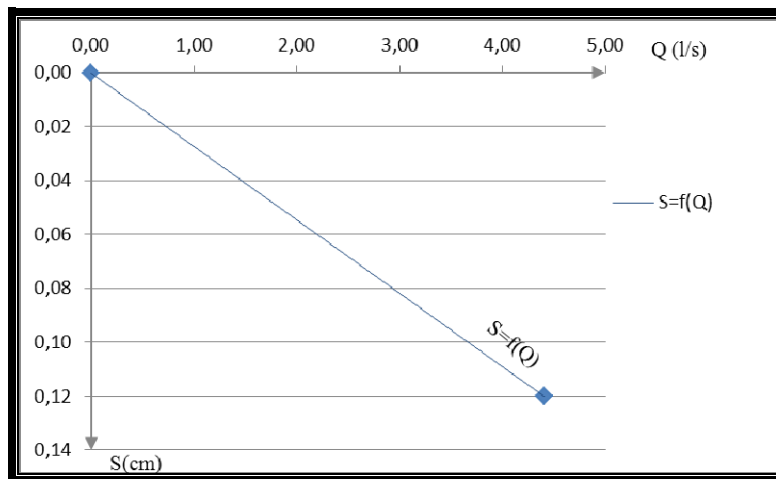
### ***Bakteriološka analiza vode***

Bakteriološke analize uzorka vode uzetog u toku crpljenja izvora "Studešnica" pokazuju da voda sadrži aerobne i bakterije fekalnog porijekla, te prema tome **ne odgovara** uslovima Pravilnika. Uzrok bakteriološke neispravnosti vode su antropogene aktivnosti u toku opitnog crpljenja, odnosno kontaminirana oprema i loši uslovi zaštite izvora u neposrednoj blizini.

## 7.2. Pećina „Krabašnica“

Opitno crpljenje pećine "Krabašnica " je izvršeno jednim kapacitetom crpljenja sa ustaljenim sniženjem nivoa podzemnih voda u trajanju od 4 sata, i to:

$$Q_1 = 4,4 \text{ l/s} \quad S_1 = 0,012 \text{ m}$$



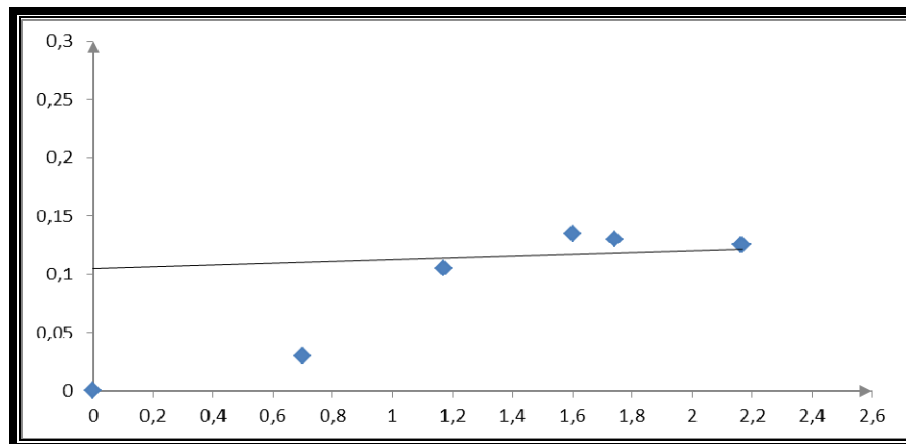
Slika 9 - Dijagram zavisnosti  $S = f(Q)$

Podaci za proračun hidrogeoloških parametara i izdašnosti izvora su dati u prilogu.

### Hidrogeološki parametri

Hidrogeološki parametri, odnosno filtracione karakteristike vodonosnika koji se prazni na izvoru "Krabašnica" su utvrđeni proračunom na osnovu podataka opitnog crpljenja izvora kapacitetom  $Q = 4,4 \text{ l/s}$ . Od hidrogeoloških parametara proračunat je koeficijent vodoprovodnosti  $T \text{ (m}^2/\text{s)}$ .

Proračun parametara izvršen je po metodi N.N. Bindemana i L.S.Jazvina (1963.) za nestacionarne uvjete strujanja.



Slika 10 – Dijagram  $S - lgt$  za crpljenje izvora  $Q = 4,4 \text{ l/s}$

Koeficijent vodoprovodnosti vodonosnika u zaleđu pećine “Krabašnica” ima dosta visoku vrijedost koja prema navedenim proračunima iznosi:

$$T = 2,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

### **Izdašnost pećine**

Izdašnost pećine “Krabašnica” uz optimalna, odnosno minimalna sniženja nivoa podzemnih voda u pećinskom kanalu je utvrđena proračunom na osnovu podataka opitnog crpljenja pećine sa jednim kapacitetom crpljenja i ustaljenima sniženjem nivoa podzemnih voda. Izdašnost nije mogla biti utvrđena preko zavisnost sniženja i kapaciteta crpljenja, odnosno specifičnog kapaciteta jer je crpljenje izvršeno samo jednim mogućim kapacitetom crpljenja. Iz ovih razloga podaci o izdašnosti pećine “Krabašnica” su orjentacioni. Na osnovu navedenog optimalna izdašnost pećine “Krabašnica” utvrđena opitnim crpljenjem u hidrološkom periodu malih voda iznosi

$$Q = 4,4 \text{ l/s}$$

ili

$$Q = 15,8 \text{ m}^3/\text{sat}$$

Važno je istaći da je izdašnost izvora „Krabašnice“ prije početka crpljenja pećine Krabašnica iznosila  $Q = 3,0 \text{ l/s}$ , a u toku crpljenja pećine izdašnost izvora Krabašnice je smanjena na  $Q = 2,4 \text{ l/s}$ . Uzrok ovome je, najvjerojatnije, precrpljenje pećine „Krabašnica“ probnim crpljenjem sa kapacitetom  $15 \text{ l/s}$  pri čemu je pećina potpuno isušena. Navedeno ukazuje na određenu hidrauličku vezu pećine i izvora “Krabašnica”, te da pripadaju istom vodonosniku. I pored toga na pećini “Krabašnica” moguće je zahvatiti dodatne količine podzemnih voda.

### **Kvalitet vode**

Kvalitet podzemnih vode pećine i izvora „Krabašnica“ određen je proširenom fizičko-kemijskom i bakteriološkom analizom na uzorcima vode uzetim tokom opitnog crpljenja izvora dana 04.08.2012. godine.

#### ***Fizičko-kemijske karakteristike vode***

Rezultati ispitivanja fizičko-kemijskih parametara vode pokazuju da su vode:

- pitke,
- bez mirisa,
- temperature  $9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- pH 7,1
- elektroprovodnosti  $279 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ,
- mineralizacije  $278 \text{ mg/l}$ ,
- ukupne tvrdoće  $180 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$ , i
- hidrokarbonatno - kalcijskog tipa.

U kemijskom sastavu vode od aniona dominiraju hidrokarbonati (195,20 mg/l). Sadržaj sulfat iona u vodi je nizak ( 8,0 mg/l) kao i klorida (0,53 mg/l). Voda ne sadrži nitrite, a sadržaj nitrata je nizak i u dozvoljenim granicama (4,27 mg/l). Od kationa dominira kalcij (52,10 mg/l) dok je magnezij vrlo nizak (12,15 mg/l). Sadržaj natrija (1,17 mg/l) i kalija (0,54 mg/l) ima veoma niske vrijednosti. Sadržaj amonijaka u vodi je veoma nizak (0,05 mg/l) i u granicama MDK što zajedno sa nitratima i nitritima ukazuje na odsustvo organskog zagađenja vode. Utrošak  $KMnO_4$  je veoma nizak (0,88 mg/l) što je, također, indikacija odsustva organskog zagađenja vode. Sadržaj željeza u vodi je veoma nizak (0,03 mg/l) a voda također, ne sadrži mangana (0,00). Na osnovu rezultata proširene analize kvaliteta vode uzetih u toku crpljenja izvora „Krabašnica“ može se zaključiti da voda, sa aspekta fizičko-kemijskog sastava, **odgovara** uslovima Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće u daljem tekstu - Pravilnik (Sl. Glasnik BiH 40/10 ). Uzorkovanje i ispitivanje kvaliteta vode treba nastaviti i u narednom periodu u obimu i periodima kako je predviđeno Pravilnikom.

### ***Bakteriološka analiza vode***

Bakteriološke analize uzorka vode uzetog u toku crpljenja pećine i izvora „Krabašnica“ pokazuju da voda sadrži aerobne i bakterije fekalnog porijekla, te prema tome **ne odgovara** uslovima Pravilnika. Uzrok bakteriološke neispravnosti vode su aktivnosti opitnog crpljenja, odnosno kontaminirana oprema i loši uslovi zaštite pećine i izvora u neposrednoj blizini.

## **8. MOGUĆNOST ZAHVATANJA DODATNIH KOLIČINA VODE**

### **8.1. Izvor „Studešnica“**

Na osnovu proračuna hidrogeoloških parametara i izdašnosti izvora „Studešnica“ može se zaključiti da se odgovarajući hidrotehničkim rješenjem na izvoru „Studešnica“, za korespondentni nivo podzemnih voda u hidrološkom periodu malih voda (juli-august 2012. godine), mogu zahvatiti podzemne voda u količini:

$$Q = 40 \text{ l/s}$$

Zahvatanje podzemnih voda moguće je izvršiti odgovarajućim hidrotehničkim rješenjem koje bi podrazumjevalo instaliranje pumpnog agregata na mjestu primarnog isticanja vode na izvoru, a prema zasebnom hidrotehničkom projektu.

Navedene količine podzemnih voda koje je moguće zahvatiti crpljenjem na izvoru „Studešnica“ predstavljaju **dodatnih 10-15 l/s** vode u odnosu na dosadašnje zahvatanje vode na prelivu kaptaže, odnosno slobodnom isticanju vode na izvoru.

### **8.2. Izvor „Krabašnica“**

Na osnovu proračuna hidrogeoloških parametara i izdašnosti pećine „Krabašnica“, te izdašnosti izvora „Krabašnica“ može se zaključiti da se odgovarajućim hidrotehničkim rješenjem na pećini „Krabašnica“ i izvoru „Krabašnica“, za korespondentni nivo podzemnih voda u hidrološkom periodu malih voda (juli-august 2012. godine), mogu zahvatiti podzemne voda u ukupnoj količini:

$$Q = 6,8 \text{ l/s}$$

Zahvatanje podzemnih voda moguće je izvršiti odgovarajućim hidrotehničkim rješenjem koje bi podrazumjevalo instaliranje pumpnog agregata u pećinu „Krabašnica“, a prema zasebnom hidrotehničkom projektu.

Navedene količine podzemnih voda koje je moguće zahvatiti crpljenjem u pećini „Krabašnica“ predstavljaju **dodatnih 3,0 - 4,0 l/s** vode u odnosu na dosadašnje zahvatanje vode na kaptaži izvora „Krabašnica“.

## 9. LITERATURA

1. OGK 1:100000 , Tumač za list Vlasenica, „Institut za geološka istraživanja“, Sarajevo 1965-1972.
2. OGK 1:100000 , Tumač za list Tuzla, „Geoinstitut“ Sarajevo, SGZ Beograd 1991.
3. Projekat sanacije zaštitnih zona izvorišta „Studešnica“ u Banovićima, Rudarski institut d.d. Tuzla, maj 2003.
4. Projekat zaštite izvorišta „Studešnica“ , „Finiš“ d.o.o. Živinice, 2007.
5. Karakterizacija podzemnih voda sliva rijeke Save na teritoriji Federacije BiH- Knjiga III - Tijela podzemnih voda podsliva rijeke Bosne sa neposrednim slivom rijeke Save na teritoriji FBiH – Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo 2009.
6. Projektni zadatak za zahvatanje dodatnih količina podzemnih voda za potrebe vodosnabdijevanja Banovića - I i II faza, Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo 2012.
7. Hidrogeološka rajonizacija i bilans podzemnih voda u pukotinskim i karstno pukotinskim masama BiH, FSD Zavod za geologiju Sarajevo, Sarajevo 1983.

## Zagreb: Put vode

JELENA PARLOV<sup>1</sup>, ZORAN NAKIĆ<sup>1</sup>, KRISTIJAN POSAVEC<sup>1</sup>, STANKO RUŽIČIĆ<sup>1</sup>, GORAN DURN<sup>1</sup>, MARTA MILEUSNIĆ<sup>1</sup>, ZORAN KOVAČ<sup>1</sup>, ANDREA BAČANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Temelj vodoopskrbe Grada Zagreba, kao i drugih gradova i naselja u Zagrebačkoj županiji su podzemne vode, koje se nalaze u šljunčanim slojevima zagrebačkoga vodonosnoga sustava. Posebno je značajno da su *Strategijom upravljanja vodama Republike Hrvatske* podzemne vode na zagrebačkom području definirane kao strateške zalihe, koje su od prvorazrednoga nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku. Kako je eksploatacija podzemne vode u Zagrebu započela je još krajem 19. stoljeća, od tada su provedena mnogobrojna geološka i hidrogeološka istraživanja koja su rezultirala mnoštvom podataka, koji su često nerazumljivi krajnjim korisnicima. Stoga ih je neophodno objasniti na jednostavan i prihvatljiv način, kao i sve probleme vezane uz zagrebački vodonosnik, svim zainteresiranim stranama (nadležna ministarstva, javna uprava, komunalna poduzeća, znanstvene institucije, poljoprivrednici, industrija, stanovništvo...). Što im je za činiti? Tiče li ih se uopće ta problematika? Kako mogu pomoći zaustaviti negativne trendove i osigurati dovoljne količine pitke podzemne vode za sadašnje, ali i za buduće generacije? Rezultati projekta GENESIS pokazali su da je kvantificiranje ekonomske vrijednosti podzemnih voda nužno za efikasno upravljanje i gospodarenje podzemnim vodama. Zašto je bitno procijeniti vrijednost podzemnih voda? Naravno da se podrazumijeva da je vrijednost podzemnih voda zbog svoj primarne funkcije, a to je osiguranje pitke vode za vodoopskrbu, neprocjenjiva i kao takvu ju je zapravo i nemoguće vrednovati. Međutim, radi očuvanja i zaštite podzemnih voda u obimu i na način koji će garantirati održanje svih relevantnih funkcija podzemnih voda, definiranje vrijednosti podzemnih voda te definiranje svih aspekata troškova, koji mogu nastati zbog onečišćenja podzemnih voda ili zbog prekomjernog crpljenja, postaje uvjet bez kojega se ne može efikasno provoditi zaštita podzemnih voda. Stoga je vrlo bitno da donositelji odluka prepoznaju važnost provedbe ekonomske analize u cilju određivanja vrijednosti podzemnih voda zagrebačkoga vodonosnika.

Nema jednostavnijeg (i popularnijeg) načina, za približavanje teme različitim subjektima, od snimanja kratkog filma. Film se fokusira na utvrđivanje porijekla prihranjivanja podzemne vode, ali i na čimbenike i aktivnosti koje utječu na kvalitetu podzemne vode. U 15 minuta sažeti su rezultati najnovijih istraživanja provedenih u sklopu FP7 projekta GENESIS.



**GEOMORFOLOGIJA-GEOTURIZAM-  
PALEOGEOGRAFIJA**

## Geološka istraživanja u cilju određivanja lokacije deponije otpada, sanacije općinskih i nelegalnih deponija otpada

Muris Mujkić<sup>1</sup>, Ćazim Šarić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GEOTEST d.o.o. Sarajevo

<sup>2</sup>Federalni zavod za geologiju, Sarajevo

### SAŽETAK

**Ključne riječi:** deponija otpada, deponija opasnog otpada, ciljevi, lokacije, geološki uslovi i kriterijumi, geološke barijere, zakon

Jedan od četiri strateška cilja Strategije zaštite okoliša FBiH 2008-2018 (Strategije), kada je upitanju upravljanje otpadom, je **smanjenje rizika po okoliš**. Za ostvarenje ovog cilja Strategijom su postavljeni operativni ciljevi kojim je definisano da se do kraja planskog perioda moraju pripremiti uslovi za sanitarno odlaganje, zatim ukloniti nelegalne deponije i sanirati lokacije na kojima su se nalazile, kao i rekultivisati i zatvoriti općinske nesantitarne deponije.

Na području FBiH nalazi se cca 2.000 nelegalnih deponija čija ukupna površina iznosi 974.221 m<sup>2</sup>.

S obzirom da su ove deponije uglavnom nekontrolisane, svojim prisustvom predstavljaju izravne kontaminante podzemnih i površinskih voda, a razlog više je i taj da se na ovakvim deponijama odlaže i opasni otpad, medicinski otpad i sl.

Kao primjer lošeg lociranja deponije može se uzeti kamenolom Karabegovac, općina Doboj. Općinska deponija formirana je na napuštenom dijelu kamenoloma u jako ispucalim i karstifikovanim krečnjacima, što predstavlja veliku opasnost za onečišćenja podzemnih voda.

Na području BiH postoji samo jedno sanitarno odlagalište, i to na području Kantona Sarajevo. U FBiH planirana je izgradnja 10 regionalnih centara za upravljanje otpadom (RCUO), gdje će biti neophodna izgradnja sanitarnih deponija. S obzirom da na području BiH ne postoje kapaciteti za tretman opasnog otpada, neophodna je izgradnja deponije opasnog otpada.

Da bi se izabrala lokacija za postavljanje sanitarnih deponija, deponije opasnog otpada ili deponija inertnog otpada, potrebno je sprovesti detaljna geološka istraživanja u cilju određivanja geoloških karakteristika stijenske mase.

Zakonom o geološkim istraživanjima FBiH definisano je da se detaljna geološka istraživanja tla i stijena obavezno vrše prije izrade tehničke dokumentacije za izgradnju sanitarnih deponija otpada i postrojenja za tretman čvrstog i opasnog otpada.

Prema hidrogeološkim, inženjerskogeološkim i geotehničkim uslovima deponija se ne može locirati na:

- terenu sa jako ispucalom stjenovitom podlogom sa visokom vodopropusnošću i nedefinisanim pravcima kretanja podzemnih voda,

- terenima sa slobodnim nivoima podzemnih voda gdje je sezonski nivo veći od dva metra, a u određenim hidrogeološkim i hidrološkim uslovima,
- području ugroženom klizanjem, urušavanjem, slijeganjem tla ili drugim promjenama zemljane mase, ukoliko se takva pojava ne može riješiti tehničkim mjerama,
- područja sa nejednakim geotehničkim svojstvima na površini i ispod površine koji ugrožavaju deponiju, ukoliko se takva promjena ne može riješiti tehničkim mjerama.

## 1. Zakonska regulativa

**Zakon o geološkim istraživanjima FBiH** predviđa da su geološka istraživanja radi zaštite životne sredine od interesa za Federaciju BiH. Prema ovom zakonu detaljna geološka istraživanja tla i stijena obavezno se vrše prije izrade tehničke dokumentacije za izgradnju sanitarnih deponija otpada. Detaljna geološka istraživanja tla za građenje sanitarnih deponija kao objekata za čiju su izgradnju ovim zakonom propisana obavezna geološka istraživanja tla vrše se na osnovu projekta istraživanja čiji se rezultati prezentuju u elaboratu o izvedenim istražnim radovima. Ova istraživanja vrše se na osnovu odobrenja nadležnog kantonalnog ministarstva.

**Zakon o upravljanju otpadom FBiH** nalaže da se dozvole za nove sanitarne deponije mogu izdati samo za deponovanje na regionalnom nivou. Iz ovog proizilazi da se mogu graditi samo regionalne sanitarne deponije. Kantonalnim propisima definišu se uslovi za određivanje lokacije deponija.

Zakonom je definisana i izgradnja deponije opasnog otpada, ali ostaje potreba da se njen konačni izgled i način odlaganja odrede prema najboljim raspoloživim kapacitetima i tehnologijama.

Za određivanje lokacije sa najboljim karakteristikama koje pružaju raspoložive kapacitete, velikim dijelom doprinose istražni geološki radovi.

**EU Direktiva o deponijama** uređuje problematiku izgradnje deponije otpada kojom se propisuju opći kriteriji deponovanja otpada i određeni tehnički standardi za deponije. Ključni tehnički zahtjev, neovisno o tipu deponije je sprečavanje njenog zagađenja voda i zemljišta, a postiže se postavljanjem geološke barijere. Geološka barijera je određena geološkim i hidrogeološkim karakteristikama lokacije i sačinjena je od kombinacije geološke barijere i donje obloge deponije tokom radne faze i kombinacije geološke barijere i prekrivke nakon zatvaranja deponije.

Kriterij za oblaganje dna i bočnih strana deponije u smislu vodopropusnosti i debljine geološke barijere su sljedeći:

- Deponije opasnog otpada  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; debljina  $\geq 5$  m;
- Deponije neopasnog otpada  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; debljina  $\geq 1$  m i
- Deponije inertnog otpada  $K \leq 1,0 \times 10^{-7}$  m/s; debljina  $\geq 1$  m

Sve zemlje Evropske unije obavezne su svoje nacionalne propise u potpunosti uskladiti sa zahtjevima za projektovanje deponija propisanih u Direktivi.

Ono što bi uveliko doprinijelo pri određivanju lokacije deponije je donošenje Pravilnika o izboru lokacija deponija, gdje bi pored svih uslova bili definisani i geološko-geomorfološki uslovi povoljni za lociranje deponija.

## 2. Analiza stanja na terenu

Jedan od većih problema današnjice je otpad. Sa razvojem tehnike i tehnologije raste i proizvodnja otpada. Porastom proizvodnje otpada raste i negativan uticaj na okoliš kao životnu sredinu. Da bi se smanjio negativan uticaj otpada na životnu sredinu raste potreba za smanjenjem proizvodnje otpada na mjestu njegova nastanka kao i tretiranje proizvedenog otpada. S obzirom da se ne može zaustaviti proizvodnja otpada, već samo smanjiti, neophodno je razvijati tehnologije za njegovo zbrinjavanje. Različite su tehnologije zbrinjavanja otpada od deponovanja, energetske iskoristivosti, reciklaže, spaljivanja i td. Različite tehnologije daju i različite rezultate, ali nose i cijene koje su često ekonomski neisplative. Za naše uslove trenutno je najisplativija tehnologija deponovanja otpada. Ovim ne treba zanemariti ni ostale tehnologije koje bi se s vremenom razvijale.

S obzirom da još uvijek nije razvijen selektivni pristup u prikupljanju otpada na deponije se uglavnom odlaže komunalni, industrijski, inertni i otpad animalnog porijekla. Ovakav pristup uveliko dovodi do negativnog uticaja na okoliš. Veliki broj nelegalnih i divljih deponija svojim prisustvom na vodopropusnim geološkim podlogama vrše izravni uticaj, gdje preko procjednih voda zagađuju tlo i akumulacije podzemnih i površinskih voda. Ovakav proces je nekontrolisan upravo iz razloga što se vrši nekontrolisano odlaganje otpada na nelegalnim deponijama.

Prije svega potrebno je naglasiti da se ukupno 40 % prikupljenog otpada odlaže na općinska nesanitarna odlagališta kojih ima 54. Na području Federacije BiH nalazi se 2.000 divljih deponija na površini od 974.221 m<sup>2</sup>.

Na području Federacije BiH postoji samo jedna sanitarna regionalna deponija na području Kantona Sarajevo. Jedna ovakva deponija je u izgradnji u Zenici, dok su još tri u pripremi. Na teritoriji BiH, prema konceptu regionalnog upravljanja otpadom, planira se izgradnja 16 regionalnih sanitarnih deponija od čega je 10 u Federaciji BiH i 6 u Republici Srpskoj.

U okviru razvoja regionalnog principa upravljanja otpadom, jedan od ciljeva je zatvaranje općinskih nesanitarnih i nelegalni deponija čiji rok je vremenski ograničen.

## 3. Primjeri lošeg odabira lokacije deponije otpada

Mnogi su primjeri lošeg odabira lokacija deponija otpada u BiH. Jedan od primjera je i općinska deponija komunalnog otpada u Doboju koja je postavljena na lokaciji kamenoloma Karabegovac. Na napuštenom dijelu kamenoloma formirana je općinska deponija gdje se otpad sa područja grada Doboja i pojedinih susjednih manjih općina dovozi i odlaže na ovu deponiju.



Slika br. 1: *Općinska deponija u Doboju, kamenolom Karabegovac*

S obzirom da se deponija nalazu na jako ispućalim krećnjacima i da ne postoji geološka barijera, procjedne vode imaju izravan uticaj, ponirući kroz ispućale krećnjake zagađuju podzemne i površinske vode i stijenski masiv.



Slika br. 2: *Vodena površina ispod deponije (procjedne vode)*

Na osnovu preliminaranih rezultata rekognosciranja terena i istražnihi hidrogeoloških radova u cilju procjene uticaja deponije na okoliš, taćnije na osnovu hemijske analize podzemnihi i površinskihi voda koje je radila kompanija GEOtest a.s. Brno, a u okviru projekta „Razvoj otpadne privrede u općinama Doboj i Maglaj“ mođe se dati sljedeća konstatacija.



Slika br. 3: *Rekognisciranje terena oko deponije*

Naime gradska nesanitarna deponija se nalazi u neposrednoj blizini vodotoka rijeke Spreče i rijeke Bosne. U neposrednij blizini deponije na samom kamenolomu registrovano je prisustvo izvora kao i manje jezero.



Slika br. 4: *Uzimanje uzorka vode sa vodene površine u blizini deponije*

Deponija je na većoj nadmorskoj površini u odnosu na otvorene vodene površine čime je omogućeno kretanje procjednih voda do njih. Ovim su navedene vodene površine pod direktnim uticajem zagađenih procjednih voda što je pokazala i analiza vode iz uzoraka uzetih sa više lokacija oko deponije.

#### 4. Dobar primjer u iznalaženju rješenja

Da bi riješio problem grad Doboj je u okviru regionalnog koncepta odlučio naći lokaciju za izgradnju regionalne sanitarne deponije. Naime, u okviru projekta „Razvoj otpadne privrede u općinama Doboj i Maglaj“ koji je finansiran iz sredstava programa zvanične Inostrane razvojne saradnje Republike Češke s Bosnom i Hercegovinom, primarni cilj je izrada dokumentacije za izgradnju regionalne sanitarne deponije. Urađena su opsežna hidrogeološka i inženjerskogeološka i geomehanička istraživanja.



Slika br. 5: Uzimanje uzoraka tla za analizu

Ponudeno je nekoliko lokacija od kojih je jedna i kamenolom Karabegovac na kome bi se istovremeno izgradila sanitarna regionalna deponija i sanirala gradska nesanitarna deponija. Cilj istraživanja bio je da se na osnovu kriterija u izboru lokacije daju najbolja rješenja. Istražne radove i izradu projektne dokumentacije radila je firma GEOTest a.s. Brno koja ima izuzetno veliko iskustvo u oblasti ekologije, otpadne prvrrede i geoloških istraživanja i svojim radom u BiH prenosi iskustvo na domaći BiH stručni kadar. Neophodno je bilo zadovoljiti glavni cilj a to je zaštita okoliša odnosno smanjenje rizika po okoliš.

Dobra strana ovog projekta je, što je regionalnom konceptu upravljanja otpadom pristupilo 14 općina, 8 iz Republike Srpske i 6 iz Federacije BiH. Ovo predstavlja dobar primjer međuentitetske saradnje, jer u smanjenju rizika po okoliš neophodna je saradnja svih nivo vlasti.

#### 5. Geološki uslovi u cilju izbora lokacije za deponiju

Pri određivanju lokacije za gradnju deponije, uzimaju se u obzir podaci o geološkim karakteristikama u idejnom planu na bazi geološke, hidrogeološke i inženjerskogeološke podloge, a u glavnom projektu na osnovu istražnih radova sa podacima o nivou podzemnih voda. Pri izboru lokacije za deponiju uzimaju se u obzir opći uslovi i kriteriji koji se odnose

na inženjerskogeološke, geotehničke i hidrogeološke i seizmičke uslove na posmatranom području.

Deponiju između ostalog treba projektovati tako da sprečava zagađenje zemljišta, podzemnih i površinskih voda što se postiže kombinacijom geološke barijere i donjeg nepropusnog sloja za vrijeme aktivne faze deponije i kombinacijom geološke barijere i gornjeg nepropusnog sloja za vrijeme pasivne faze nakon zatvaranja deponije.

Prema inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uslovima posmatranog područja deponija se ne može locirati na:

- terenu sa jako ispucalom stjenovitom podlogom sa visokom vodopropusnošću i nedefinisanim pravcima kretanja podzemnih voda;
- terenima sa slobodnim nivoom podzemnih voda gdje je sezonski nivo veći od dva metra, a u određenim hidrogeološkim i hidrološkim uslovima;
- području ugroženom klizanjem, urušavanjem, slijeganjem tla ili drugim pomijeranjem zemljane mase, ukoliko se takva pojava ne može spriječiti tehničkim mjerama;
- području sa nejednakim geotehničkim svojstvima na površini i ispod površine koji ugrožavaju deponiju, ukoliko se takva pojava ne može spriječiti tehničkim mjerama.

Prilikom geoloških istraživanja neophodno je voditi računa da se odrede lokacije sa najpovoljnijim geološkim uslovima kako bi se postigli željeni rezultati:

1. uslovi u pogledu deponijskog dna - Dno i bočne strane tijela deponije treba da se sastoje od prirodne geološke barijere koja zadovoljava zahtjeve u vezi propusnosti i debljine sa kombinovanim dejstvom u smislu zaštite tla, podzemnih i površinskih voda, barem jednakim sa dejstvom koje je rezultat sljedećih zahtjeva:
  - deponija za opasni otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; debljina sloja  $\geq 5$  m;
  - deponija za neopasni otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; debljina sloja  $\geq 1$  m;
  - deponija za inertni otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-7}$  m/s; debljina sloja  $\geq 1$  m.
2. uslovi u pogledu procjedne vode - Kada prirodna geološka barijera ne zadovoljava propisane vrijednosti, ona se obezbjeđuje oblaganjem deponijskog dna sintetičkim materijalima ili prirodnim mineralnim tamponom koji mora biti tako konsolidovan da se dobije ekvivalentna vrijednost dna u smislu njegovih vodopropusnih svojstava.

Procjena podobnosti geoloških karakteristika stijenskih masa, procjena zaštitnih slojeva, od prirodnih (geološke barijere) i vještačkih izolacionih sistema zaštite (geomembrane) za obezbjeđenje podzemnog skladišta, vrši se tako da se uzimaju u obzir tehnika odlaganja, izgrađena struktura objekata i geološka svojstva stijenskih masa.

Prilikom izbora lokacije za sanitarnu deponiju potrebno je provjeriti da li su zadovoljeni sljedeći kriteriji:

- Stabilnost terena, odnosno da li su povoljne geomehaničke i inženjersko-geološke karakteristike terena



- Vodonepropusnost, odnosno povoljne hidrogeološke karakteristike terena, poželjno je odsustvo površinskih i podzemnih voda,
- Nagib terena i prostorne karakteristike
- Blizinu nalazišta prekrivnog materijala (istražiti potencijalne lokacije pozajmišta materijala)
- Povoljne klimatske uslove.

Da bi se postigli željeni rezultati i ispunili uslovi za lociranje deponije otpada neohodno je izvršiti:

- detaljna geološka istraživanja u cilju određivanja geoloških karakteristika stijenske mase,
- detaljno hidrogeološko istraživanje i ispitivanje u cilju definisanja hidrogeoloških uslova sredine i
- detaljna inženjersko-geološka istraživanja i ispitivanja u cilju definisanja inženjersko-geoloških uslova sredine.

## 6. Zaključci

- Sve zemlje Evropske unije obavezne su svoje nacionalne propise u potpunosti uskladiti sa zahtjevima za projektovanje deponija propisanih u Direktivi. S obzirom da BiH teži priključenju Evropskoj uniji bitno je da se počnu mijenjati navike u rješavanju problema u oblasti otpadne privrede.
- Voditi se prema principima **EU Direktiva o deponijama koja** uređuje problematiku izgradnje deponije otpada kojom se propisuju opći kriteriji deponovanja otpada i određeni tehnički standardi za deponije.
- Koristiti iskustva zemalja EU kada su upitanju određivanje kriterija koji se odnose na inženjersko-geološke, geotehničke i hidrogeološke i seizmičke uslove na posmatranom području za izbor lokacije deponije otpada.
- Unapređenje i sprovođenje legislativa u oblasti istražnih radova u oblasti geologije u cilju smanjenja rizika po okoliš.
- Donijeti Pravilnik o izboru lokacija deponija, gdje bi pored svih uslova bili definisani i geološko- geomorfološki uslovi povoljni za lociranje deponija.
- I na kraju čuvati našu BiH geološku baštinu od štetnih audita.

## LITERATURA:

Službene novine FBiH (2003). *Zakon o upravljanju otpadom FBiH*. Sarajevo: Službene novine FBiH, 33/03, 72/09.

Ministarstvo okoliša i turizma FBiH. *Strategija zaštite okoliša 2008-2018*. (2009.g.)

Službene novine FBiH (2009). *Zakon o geološkim istraživanjima FBiH*. Sarajevo: Službene novine, 9/10

Vijeće Evrope, Direktiva 1999/31/EC 26. April 1999. o deponijama

GEOtest a.s. Brno (2012). *Koncepcija sistema upravljanja komunalnim i ostalim otpadom za regiju Doboj-Maglaj. Razvoj otpadne privrede u opštinama Doboj i Maglaj*. Brno: GEOtest a.s.

## Europski projekti u Bosni i Hercegovini – SARMa i SNAP SEE

IVANA SUŠA

Ministarstvo gospodarstva Hercegbosanske županije trenutno implementira projekt naziva Održivo planiranje kamenih agregata u jugoistočnoj Europi, akronima SNAP SEE, koji se sufinancira putem Transnacionalnog programa suradnje za jugoistočnu Europu. Projekt SNAP SEE zapravo predstavlja nastavak projekta Održivo upravljanje kamenim agregatima akronima SARMa, koji je također bio implementiran od strane Ministarstva gospodarstva HBŽ, i koji je bio sufinanciran putem istog fonda. Projekt SARMa se bavio primjerima dobrih praksi upravljanja kamenim agregatima, uključujući smanjenje negativnih utjecaja na okoliš i lokalnu zajednicu, unaprjeđenje sanacije iscrpljenih ležišta, smanjenje nelegalnog rudarenja, promoviranje uporabe sekundarnih agregata, odnosno recikliranja, potom analizom nacionalne legislative i davanjem preporuka, te uključivanjem kamenih agregata u prostorno planiranje uzimajući u obzir očuvanje prirode, vodne resurse, promet i druge podatke. Projekt SNAP SEE bavi se pitanjima održivog planiranja, a uključuje različite aktivnosti od podizanja kapaciteta aktera uključenih u proces eksploatacije kamenih agregata, davanje preporuka za prikupljanje svih potrebnih podataka koji uključuju informacije o primarnim i sekundarnim resursima, lokacijama, tehničkim karakteristikama, predviđanjima potražnje i drugim pitanjima, davanje preporuka o metodama analize podataka, analizu praksi planiranja u zemljama partnerima na projektu i analizu najboljih praksi u drugim zemljama, te davanje preporuka za harmonizaciju legislative i usvajanje najboljih praksi planiranja.

Ključne riječi: održivo upravljanje, održivo planiranje, primarni agregati, recikliranje

Ministry of Economic Affairs of Herzegbosnian Canton implements the project called Sustainable Aggregates Planning in South East Europe, with acronym SNAP SEE that is being co-funded through The South East Europe Transnational Cooperation Programme. Project SNAP SEE actually represents follow-up of the project Sustainable Aggregates Resource Management, with acronym SARMa that was also implemented by the ministry and co-funded through the same programme. Project SARMa was dealing with the examples of good practices in the management of aggregates including decreasing environmental and social impacts of quarrying and improving reclamation, reducing illegal quarrying, promoting use of the secondary aggregates, i.e. increasing recycling, analyzing national legislation and giving recommendations, and finally inclusion of aggregates in the land use planning while considering nature conservation, water resources, transportation and other information.

Project SNAP SEE is dealing with the issues of sustainable planning, which includes different scope of activities, such as capacity building of all stakeholders included in the process of aggregates exploitation, collection of all needed data which encompass information about primary and secondary resources, locations, technical characteristics, demand forecasts and other issues, recommendations about methods for data analysis, analysis of planning approaches in the partner countries as well as analysis of planning approaches in other countries, and finally giving recommendations for harmonization of the legislation and adoption of the best planning approaches.

Key words: sustainable management, sustainable planning, primary aggregates, recycling,

IVANA SUŠA, dipl. oec., Stjepana II Kotromanića b.b. 80 101 Livno  
Ministarstvo gospodarstva HBŽ, Stjepana Kotromanića b.b. 80 101 Livno  
Tel: 034 200 901, Mob: 063 485 870

Projekti Održivo upravljanje kamenim agregatima – SARMA i Održivo planiranje kamenih agregata u jugoistočnoj Europi - SNAP SEE sufinancirani su putem Transnacionalnog programa suradnje za jugoistočnu Europu, iz prvog i četvrtog poziva za podnošenje projektnih prijedloga. Program za jugoistočnu Europu jeste jedan od programa Europske Unije, koji je dostupan i za Bosnu i Hercegovinu, kao zemlju koja ima status potencijalnog kandidata za članstvo. Transnacionalni program suradnje za jugoistočnu Europu ima za cilj da razvija prekogranična partnerstva u pitanjima od strateške važnosti, kako bi poboljšao proces teritorijalne, ekonomske i socijalne integracije i kako bi se doprinijelo koheziji, stabilnosti i kompetitivnosti regije. Ovim programom je obuhvaćeno 16 zemalja jugoistočne Europe.

Provedba projekta SARMA od strane Ministarstva gospodarstva Hercegbosanske županije trajala je od 1. lipnja 2009. godine do 31. prosinca 2011. godine. U projektu SARMA sudjelovalo je 14 partnera iz 10 različitih zemalja jugoistočne Europe. Vodeći partner bio je Geološki Zavod Slovenije. Ukupna vrijednost projekta iznosila je 1.922.000 eura, dok je proračun Ministarstva gospodarstva HBŽ iznosio 59.000 eura.

Industrija kamenih agregata jeste esencijalna za građenje i razvoj i spada u brzo rastuće sektore, kako u zemljama Europske unije, tako i u zemljama kandidatima za članstvo. Procjenjuje se da će potražnja za kamenim agregatima rasti i u budućnosti, te je stoga od strateške važnosti osigurati da se ponuda kamenih agregata bazira na održivom upravljanju. Projekt SARMA nastao je nakon analize stanja u industriji kamenih agregata, koja je ukazala na sljedeću situaciju. Razlike u politikama i praksama upravljanja kamenim agregatima između starih i novijih zemalja članica Europske unije, te pogotovo između članica i zemalja kandidata i potencijalnih kandidata za članstvo, su veoma velike. Primarni agregati se mogu eksploatirati samo na ležištima, međutim rudarenje neizbježno ima i utjecaj na okoliš i lokalnu zajednicu, uključujući neučinkovitu uporabu vode i energije, zagađivanje zraka i negodovanje lokalne zajednice. Sve je ovo doprinijelo stvaranju negativne slike o ovoj industriji, koju dodatno pojačava nelegalno rudarenje, ograničeno ili nepostojeće recikliranje otpada od gradnje i rušenja i minimalna uporaba rudarskih i industrijskih nus proizvoda. Zadovoljavanje potražnje zahtijeva eko-učinkovit i održiv lanac opskrbe (planiranje, eksploataciju, transport, uporabu i recikliranje), te socijalno i ekološki prihvatljivo rudarenje, kako bi se isključilo protivljenje eksploataciji i ograničen rast.

Dva glavna cilja projekta SARMA bila su učiniti pomak ka „održivom upravljanju kamenim agregatima“ i ka poticanju politika tzv. „održive mješovite opskrbe“ na tri razine, kako bi se osigurala učinkovita i sigurna opskrba u jugoistočnoj Europi. Prvi termin označava učinkovito rudarenje sa malim socio-ekološkim učinkom i upravljanje otpadom. Drugi termin označava uporabu višestrukih izvora, uključujući reciklirani otpad i industrijske nus proizvode. Ovi ciljevi podrazumijevaju: koordinaciju u upravljanju izvorima kamenih agregata, povećanje prijenosa znanja („know-how“), potporu povećanju kapaciteta u poduzećima, vladi i civilnom društvu, razvoj unificirane informacijske infrastrukture i zajedničko razumijevanje tematike kamenih agregata bazirano na EU smjernicama i direktivama, uključujući i one koje se tiču zaštićenih područja, potencijalne sekundarne opskrbe i transnacionalnih prometnih mreža. Aktivnosti projekta su uključivale suradnju institucionalnih aktera, donositelja odluka, provoditelja politika, ekonomskog sektora, vlasnika kamenoloma, građanskog društva i nevladinih udruga.

Projekt je imao za cilj da na tri različite razine: lokalnoj, regionalnoj/državnoj i međudržavnoj postigne određene učinke.

Na lokalnoj razini projektom se planiralo sljedeće:

- a) optimizirati učinkovitost proizvodnje primarnih agregata,
- b) spriječiti ili minimizirati učinak rudarenja na okoliš i poboljšati sanaciju iscrpljenih ležišta,
- c) minimizirati nelegalno rudarenje putem povećanja znanja,
- d) promovirati recikliranje (otpada od rudarenje, građenja i rušenja) i
- e) povećati kapacitete zainteresiranih grupa, kao i onih grupa na koje rudarenje ima određeni utjecaj.

Na regionalnoj/državnoj razini imalo se za cilj sljedeće:

- a) procijeniti i kvantificirati izvore agregata i relevantne transportne veze,
- b) razviti strategije za održivo upravljanje kamenim agregatima uključujući zaštićena područja, te uzimajući u obzir izvore kamenih agregata u planiranju i korištenju zemljišta i harmoniziranju politika u regijama, te
- c) razviti smjernice i procedure za planiranje održive mješovite opskrbe.

Međudržavni učinci su uključivali:

- a) pripremu preporuka za harmoniziranje održivog upravljanja i održive mješovite opskrbe unutar i između regija i država, te
- b) izradu višenamjenskog i višesektorskog Informacijskog sustav kamenih agregata, kao dugoročnog alata za prijenos znanja.

Shodno tomu rezultati projekta uključivali su postizanje:

Lokalno:

- a) učinkovitije eksploatacije kamenih agregata sa ciljem da se maksimaliziraju neto dobiti i postigne održiv životni vijek rudnika,
- b) češćeg usvajanja najboljih praksi,
- c) smanjenja nelegalnog rudarenja i korištenje baza podataka kako bi se ušlo u trag nelegalnim aktivnostima, i
- d) povećanja recikliranja nus proizvoda od eksploatacije, građenja i rušenja i šire uporabe analize životnog vijeka.

Regionalno/državno:

- a) većeg broja politika ili legislativa koji uvažavaju principe održivog upravljanja i održive mješovite opskrbe,
- b) konzistentnijeg upravljanja kamenim agregatima i recikliranjem unutar i između regija i država jugoistočne Europe,
- c) većeg uvažavanja potreba za planiranjem održive mješovite opskrbe i veće primjene aktivnosti planiranja,
- d) učinkovitijeg, konzistentnijeg i vremenski primjerenog širenje informacija svim zainteresiranim grupama,
- e) šire uporabe GISa kao potpore održivom upravljanju i održivom skupu mješovite opskrbe i
- f) povećanja broja regija/država koje razvijaju karte i baze podataka o transportu kamenih agregata.

Međudržavno:

- a) povećanja kapaciteta putem prijenosa znanja,
- b) veće razine koordinacije politika o održivom upravljanju i održivom skupu mješovite opskrbe između zemalja jugoistočne Europe,
- c) energetski učinkovitijeg transporta agregata,
- d) upotpunjavanja Informacijskog sustava kamenih agregata sa podacima i njegove šire uporaba od strane zemalja jugoistočne Europe i
- e) nastavka suradnje među partnerima na projektu, koji uključuju predstavnike nadležnih ministarstava, vlasti, gospodarskih komora i industrije.

Iz projekta je proizišlo saznanje da principi održivosti u kontekstu mineralnih sirovina podrazumijevaju sljedeće:

- Osiguranje efikasne uporabe resursa.
- Osiguranje poštene distribucije rizika, troškova i koristi.
- Zamjena iscrpljenih prirodnih resursa sa drugim tipovima resursa, kako bi se osiguralo da buduće generacije nisu lišene koristi zbog tekućih iskopavanja.
- Promoviranje odgovornog upravljanja prirodnim resursima i okolišem, uključujući popravak štete nastale u prošlosti.
- Minimiziranje otpada i onečišćenja okoliša duž cijelog lanca opskrbe.

- Održavanje i unaprjeđivanje uvjeta za održivo poslovanje.

U pogledu metodologije provedbe projekta, projekt SARMA je bio organiziran u 5 radnih paketa:

- RP 1: Upravljanje projektom i koordinacija
- RP 2: Komunikacija
- RP 3: Eksploatacija i rušenje na rudarskim lokacijama
- RP 4: Regionalna i državna razina aktivnosti
- RP 5: Međudržavna razina aktivnosti

Prva dva radna paketa odnosila su se na logistiku i promociju, dok su ostala tri paketa bila tematska.

Radni paket 3: Eksploatacija i rušenje na rudarskim lokacijama imao je za cilj sljedeće:

- Smanjenje okolišnih i socijalnih učinaka rudarenja i unaprjeđenje sanacije iscrpljenih ležišta,
- Smanjenje nelegalnog rudarenja i
- Povećanje razine recikliranja, koje će voditi do smanjenja uporabe primarnih agregata.

Radni paket 4: Regionalna i državna razina aktivnosti imao je za cilj sljedeće:

- Razvoj koncepta održivog upravljanja kamenim agregatima,
  - a) koji uključuje pregled regionalne/državne legislative i relevantnih EU direktiva i dokumenata o upravljanju agregatima, uključujući procedure provedbe i uska grla,
  - b) koji je baziran na ulaznim informacijama dobivenim putem radionica organiziranih na više različitih razina,
  - c) koji treba razviti plan za harmonizaciju učinkovitog upravljanja i planiranja, te
  - d) koji će stvoriti preporuke.
- Razvoj koncepta planiranja održivog skupa mješovite opskrbe, koji
  - a) je baziran na saznanjima proizišlih iz sedam provedenih studija slučaja vezanih za procese planiranja,
  - b) treba preporučiti dizajn GISa za kamene agregate,
  - c) razvija planove provedbe za siguran skup mješovite opskrbe,
  - d) stvara preporuke za integraciju skupa mješovite opskrbe u regionalnu/državnu legislativu, koja se tiče razvoja i korištenja zemljišta, te
  - e) stvara regionalne karte kamenih agregata.

Radni paket 5: Međudržavna razina aktivnosti imao je za cilj sljedeće:

- Harmonizaciju legislativa i politika, izradu prijedloga za uključivanje principa održivog upravljanja u postupak planiranja i upravljanja zemljištem, te dizajn struktura i protokola za Informacijski sustav kamenih agregata koji treba obuhvaćati podatke i informacije, karte, legislativu, prakse, protokole, procedure itd.
- Izradu koncepta održivog upravljanja u jugoistočnoj Europi.
- Pripremu priručnika za državne i međudržavne razine o održivom upravljanju kamenim agregatima i sigurnom, održivom skupu mješovite opskrbe na regionalnoj, državnoj i međudržavnoj razini, te
- Stvaranje pretpostavki za prateće aktivnosti, koje zagovaraju osnivanje Regionalnog centra za održivo upravljanje kamenim agregatima.

Glavna saznanja proistekla iz projekta SARMA objedinjena su u sedam priručnika, koji su distribuirani u svim zemljama koje su bile partneri na projektu. U BiH priručnici su distribuirani nadležnim entitetskim i županijskim ministarstvima, rudarsko-geološkim fakultetima u BiH, zavodima, koncesionarima na razini HBŽ, te sudionicima regionalne radionice koja se održala u okviru projekta u Livnu.

Priručnici nose sljedeće nazive:

1. „Kako postići učinkovitost uporabe kamenih agregata u lokalnim zajednicama“,

2. „Održivo gospodarenje kamenim agregatima i održiva mješovita opskrba na regionalnoj, nacionalnoj i međudržavnoj razini“,
3. „Proizvodnja kamenih agregata recikliranjem“,
4. „Smjernice za okolišnu rekultivaciju kamenoloma u riječnim područjima“,
5. „Kratki priručnik za planiranje rekultivacije kamenoloma“,
6. „Pregled EU legislative – Okvirne preporuke“, te
7. „Studija predizvodljivosti za Regionalni centar za održivo upravljanje i održivu mješovitu opskrbu.

Elektronska verzija ovih dokumenata dostupna je na službenoj web stranici projekta pod linkom: <http://www.sarmaproject.eu/index.php?id=1557>.

Nakon završetka projekta SARMa, partneri koji su sudjelovali na projektu su prepoznali prazninu između saznanja stečenih projektom SARMa i postojećih planova upravljanja agregatima u njihovim državama. Stoga se grupa institucija koje sudjeluju u upravljanju i planiranju kamenih agregata složila da surađuju na inicijativi koja ima za cilj da unaprijedi planiranje kamenih agregata u jugoistočnoj Europi, kako bi se postigla viša razina učinkovitosti uporabe resursa i održivosti u cijeloj regiji jugoistočne Europe. Iz te suradnje izrodio se novi projekt, kao nastavak projekta SARMa. Projekt SNAP SEE se bavi ovim ključnim pitanjem: „kako zemlje jugoistočne Europe mogu unaprijediti procese planiranja kamenih agregata i integrirati planiranje primarnih i sekundarnih agregata u cilju povećanja učinkovitosti uporabe resursa, te kako mogu podići kapacitete lokalnih vlasti, industrije i civilnog društva vezano za upravljanje kamenim agregatima, planiranje i opskrbu“.

Sa provedbom projekta SNAP SEE započelo se 1. listopada 2012. godine i projekt će trajati do kraja rujna 2014. godine. Na projektu SNAP SEE sudjeluje dvadeset i sedam partnera iz četrnaest zemalja. Vodeći partner je Sveučilište iz Leobena (Austrija). Ukupna vrijednost projekta iznosi 1.737.900 eura, dok proračun Ministarstva gospodarstva HBŽ iznosi 70.000 eura. U partnerstvu projekta sudjeluju institucije nadležne za planiranje opskrbe primarnih i sekundarnih agregata, uključujući tijela javne vlasti, ministarstva, istraživačke institute, sveučilišta i geološke zavode.

Osiguranje održive opskrbe kamenim agregatima je važan izazov, zbog njihove ograničene dostupnosti u kontekstu održivog regionalnog razvoja. Različiti su pristupi politikama, planiranju i upravljanju kamenim agregatima u jugoistočnoj Europi, uzrokovani regionalnim razlikama i povijesnim razvojem, a to u konačnici ograničava resursnu učinkovitost i ekonomski razvoj regije. Razlike postoje među mineralnim politikama i planovima na različitim političkim razinama i među regijama. Agregatne politike i planovi nisu ograničeni na jedan dokument; njihove odredbe su distribuirane u mnogo različitih zakonskih dokumenata, što otežava njihovu koordinaciju i razumijevanje. Nadalje, postoji gotovo potpuni manjak koordinacije po pitanju planiranja opskrbe primarnim i sekundarnim agregatima. Najnovije tendencije idu ka tomu da regiju jugoistočne Europe učine eko učinkovitim društvom okrenutom recikliranju, a da bi se to ostvarilo potrebno je da se potražnja za kamenim agregatima zadovoljava iz višestrukih izvora koji uključuju kako primarne, tako i sekundarne agregate.

Nadalje, regiji jugoistočne Europe manjkaju podaci koji su neophodni za planiranje kamenih agregata. Ljudskim resursima manjka kapaciteta za pravilno planiranje primarnih i sekundarnih agregata, a razina i način uključivanja svih zainteresiranih strana u plan upravljanja trebaju biti znatno unaprijeđeni.

Problemi koji su identificirani kao ključni obuhvaćaju:

- a) manjak koordiniranog državnog/regionalnog planiranja opskrbe kamenih agregata koji uzima u obzir višesektorske faktore i koji vodi računa o konzistentnosti dokumenata,
- b) manjak integriranog planiranja primarnih i sekundarnih agregata koji uzima u obzir resursnu učinkovitost,
- c) manjak potrebnih kompetencija za rješavanje prethodna dva problema i
- d) manjak procedura koje bi osigurale uključenost svih ciljanih grupa u proces planiranja kamenih agregata.

Glavni cilj projekta SNAP SEE jeste unaprijediti planiranje kamenih agregata putem višestrukih i sveobuhvatnih alata, koji se trebaju razviti u okviru projekta, a koji će imati za svrhu da podupru proces planiranja u zemljama jugoistočne Europe. Ovi alati obuhvaćaju izradu dokumenta nazvanog SNAP SEE Vizija, koji opisuje principe primjenom kojih se postižu ciljevi resursne učinkovitosti, visokih stopa recikliranja i održivosti, izradu priručnika koji opisuje načine izgradnje ljudskih kapaciteta i uključivanje svih zainteresiranih grupa u proces planiranja, izradu priručnika o metodama prikupljanja i analize podataka, te izradu sheme planiranja kamenih agregata, baziranoj na planskim modulima koji uvažavaju principe, pristupe i aktivnosti potrebne za postizanje ciljeva definiranih vizijom.

Ovakav SNAP SEE alat, koji će služiti za potporu državnom/regionalnom planiranju primarnih i sekundarnih kamenih agregata u zemljama jugoistočne Europe u konačnici treba:

- Biti sveobuhvatan i baziran na višesektorskom principu, pokrivajući sve aspekte planiranja uključujući tematiku koja može potpadati pod područja drugih politika kao što su vode, promet ili upravljanje otpadom.
- Tretirati primarne i sekundarne kamene agregate, kao izvore opskrbe koji se mogu nadopunjavati,
- Biti prilagodljiv lokalnim uvjetima bez da gubi ključne planske elemente i treba biti primjenjiv neovisno o lokalnim stavovima u ciklusu planiranja,
- Biti utemeljen na principima održivog upravljanja kamenim agregatima i održivom skupu opskrbe sa ciljem postizanja resursne učinkovitosti,
- Uzimati u obzir potrebe, brige, preferencije i ciljeve vlade, industrije, civilnog društva i stručnjaka,
- Biti poduprt potrebnim podacima i
- Biti primjenjiv u zemljama jugoistočne Europe, kako bi se olakšala kohezija i harmonizacija opskrbe kamenim agregatima.

Drugi ciljevi projekata jesu: uključiti sve relevantne aktere u aktivnosti izgradnje kapaciteta, organizirati državne/regionalne radionice i razviti postupak i izraditi popratne materijale za gradnju kapaciteta i uključivanje svih zainteresiranih strana u postupak planiranja.

Rezultati koji se planiraju postići su: konzistentnije, integrirano i resursno učinkovito planiranje kamenih agregata na državnoj/regionalnoj razini koje vodi održivoj opskrbi, povećanje kapaciteta za planiranje javnog sektora, građanskog društva, industrije i stručnjaka i stvaranje dugotrajne državne/regionalne i međudržavne mreže agregata. Sve skupa ovo će voditi održivoj opskrbi i povećanju resursne učinkovitosti regije jugoistočne Europe.

U pogledu metodologije provedbe projekta SNAP SEE, projekt je organiziran u 6 radnih paketa:

- RP 1: Administracija
- RP 2: Komunikacija
- RP 3: Izgradnja kapaciteta i uključivanje dionika
- RP 4: Podaci i metode analize
- RP 5: Državno/regionalno planiranje
- RP 6: Shema planiranja kamenih agregata

Prva dva radna paketa odnose se na logistiku i promociju, a ostala četiri su tematska.

Radni paket 3: Izgradnja kapaciteta i uključivanje dionika ima za cilj sljedeće:

- Osigurati zajedničku bazu razumijevanja kroz izradu i distribuciju materijala za podizanje kapaciteta,
- Organizirati okrugle stolove (barem dva u svakoj zemlji partneru) sa ciljanim grupama kako bi se osiguralo sudjelovanje dionika u razvoju vizije i sheme planiranja kamenih agregata jugoistočne Europe,



- Napraviti Priručnik o izgradnji kapaciteta i uključivanju dionika, koji uključuje materijale za izgradnju kapaciteta, kao i detaljan postupak planiranja za organiziranje i provođenje okruglih stolova.

Radni paket 4: Podaci i metode analize ima za cilj sljedeće:

- Osigurati cjelokupan spektar podataka potrebnih za potporu efektivnom i održivom državnom /regionalnom planiranju primarnih i sekundarnih agregata, (npr. podaci o resursima, lokacijama, tehničkim karakteristikama, predviđanja potražnje itd.),
- Stvoriti rječnik podataka koji uključuje tipove, definicije, izvore, djelokrug, razinu analize potrebne za sirove podatke, preporuke o najnovijim strategijama prikupljanja i pohrane podataka, metode izvještavanja i druge teme.
- Istražiti i izvijestiti o metodologijama analize ključnih podataka koje mogu poslužiti za sveobuhvatno i održivo planiranje kamenih agregata.
- Stvoriti priručnik o podacima i metodologijama analize.

Radni paket 5: Državno/regionalno planiranje ima za cilj:

- Utvrditi kako se planira u zemljama partnerima na projektu, te gdje se svaka zemlja nalazi u planskom ciklusu s obzirom na sve aspekte planiranja kamenih agregata. Stvoriti državna izvješća sa informacijama o kamenim agregatima kao i multi-sektorske izvještaje.
- Identificirati načine na koje se planiranje može poboljšati u zemljama partnerima na projektu i stvoriti državni/regionalni vodič za planiranje.
- Stvoriti zajedničku viziju za planiranje kamenih agregata u jugoistočnoj Europi.

Radni paket 6: Shema planiranja kamenih agregata ima za cilj:

- Napraviti uvid u to kako se planiranje agregata radi u odabranim zemljama koje nisu iz regije jugoistočne Europe.
- Stvoriti preporuke za planiranje koje sadržavaju sve korake koji se trebaju poduzeti i sve probleme koje treba uzeti u obzir, kako bi se osiguralo sveobuhvatno planiranje agregata u jugoistočnoj Europi.
- Identificirati module pogodne za održivo planiranje agregata, koji uključuju teme kao što su transport, nelegalno rudarenje, recikliranje, izdavanje dozvola kao i druge teme koje su obuhvaćene drugim planovima kao što su upravljanje otpadom i vodama itd.

U okviru projekta je već odrađen dio planiranih aktivnosti. Između ostalog održan je i prvi od dva planirana okrugla stola u Livnu, sa predavačima, eminentnim stranim stručnjacima, partnerima na projektu. Po završetku projekta, sva stručna publikacija će se ponovo distribuirati svim relevantnim akterima širom BiH, u cilju podizanja razine kapaciteta i znanja.

## Zaključak

Bosni i Hercegovini kao zemlji koja ima status potencijalnog kandidata za članstvo u Europskoj uniji, na raspolaganju stoje dvije od ukupno pet komponenti, putem kojih se europska sredstva raspodjeljuju za najrazličitije namjene. Dvije Bosni i Hercegovini dostupne komponente jesu IPA I – Podrška tranziciji i izgradnja institucija i IPA II – Prekogranična suradnja. U kontekstu BiH svaka od ove dvije komponente nadalje obuhvaća nekoliko različitih programa, odnosno fondova, koji u prosjeku svaku ili svaku drugu godinu objavljuju pozive za podnošenje projektnih prijedloga za sufinansiranje projekata. Komponenta Prekogranična suradnja, u okviru koje je i razvijen Transnacionalni program suradnje za jugoistočnu Europu, putem kojega su sufinancirani projekti SARMA i SNAP SEE jeste izvrstan način za izgradnju kapaciteta ljudskih resursa i prijenos znanja od iskusnijih ka manje iskusnim partnerima. Tematske radionice koje su bile organizirane u okviru projekata bile su izvrstan način da se prikupe ulazne informacije od širokog broja različitih aktera, te da se istima prezentiraju primjeri dobrih praksi iz razvijenih zemalja. Publikacije koje su tiskane i distribuirane sadržavale su sveobuhvatne preglede praksi upravljanja kamenim agregatima u velikom broju zemalja, konkretne primjere i preporuke o najnovijim trendovima upravljanja, te su veoma dobra stručna literatura,

primjenjiva kako za zakonodavce, donositelje odluka, operatere kamenoloma i druge zainteresirane strane. Osobni kontakti između partnera, uspostavljeni putem projekata, otvaraju prostor za daljnju suradnju i razmjenu iskustava, što je uvijek dobrodošlo s obzirom na to da Bosna i Hercegovina vidi svoju budućnost unutar Europske unije, te da je podizanje razine znanja i stručnosti jedan od preduvjeta za postizanje resursne učinkovitosti i pravilno upravljanje kamenim agregatima, na način kako to preporučuju najnovija saznanja iz oblasti geologije i rudarstva.

Literatura:

- Bressi Giorgio, Volpe Gianpaolo, Pavesi Elisabetta, 2012., Proizvodnja kamenih agregata recikliranjem,
- F. Chalkiopolou, K. Hatzilazaridou, Kako postići učinkovitost uporabe kamenih agregata u lokalnim zajednicima,
- P. Boggio Tomasaz, C. Marasmi, F. Ricciardelli, A.R. Rizzati, M. Romagnoli, A. Pelosio, 2011., Smjernice za okolišnu rekultivaciju kamenoloma u riječnim područjima,
- P. Boggio Tomasaz, C. Marasmi, F. Ricciardelli, A.R. Rizzati, M. Romagnoli, A. Pelosio, 2011. god., Kratki priručnik za planiranje rekultivacije kamenoloma,
- Tamás Hámor, 2012., SARMA – Pregled EU legislative - Okvirne preporuke
- Zacharias Agioutantis, Slavko Šolar, 2012., Održivo gospodarenje kamenim agregatima i održiva mješovita opskrba na regionalnoj, nacionalnoj i međudržavnoj razini,  
<http://www.sarmaproject.eu/>

POKROVITELJ



**GEO-Marić**  
Mostar d.o.o.

Cim, ul. Ante i Nikole Marića br. 7;  
Tel/fax: 036 341-591; Mob: 063 317-477  
e-mail: geo.marić@mocable.ba

**ISTRAŽNO BUŠENJE, ISTRAŽIVAČKE STUDIJE I PROJEKTIRANJE**

**DJELATNOST**

- \* Istraživanja ležišta mineralnih sirovina
- \* Inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja
- \* Hidrogeološka istraživanja i izrada bušotina i bunara
- \* Geotehnički radovi

**REFERENTNI RADOVI:**

- Ležište lignita Kongora
- Rudnik ugljena Vihovići – Mostar (sanacija)
- Autoput na koridoru Vc Lot-7
- Autoput Zagreb – Dubrovnik (dionica Bisko – Ploče)

**ISKUSTVO, ZNANJE I OPREMA  
GEO-MARIĆ MOSTAR d.o.o.**