

UDRUŽENJE / UDRUGA GEOLOGA  
BOSNE I HERCEGOVINE

# ZBORNIK SAŽETAKA

VI

SAVJETOVANJE GEOLOGA  
BOSNE I HERCEGOVINE

SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM



**MOSTAR, 05. - 06.10.2017. godine**

Izdavač:

**Udruženje/udruga geologa Bosne i Hercegovine**

Glavni i odgovorni urednik:

**Van.prof.dr.sc. Ferid Skopljak**

Uredništvo:

**Van.prof.dr.sc. Ferid Skopljak; Doc.dr.sc.Elvir Babajić; Mr.sc.Alojz Filipović;**

**Branko Ivanković; Svetlana Renovica**

Tehnički urednik:

**Mr.sc. Ćazim Šarić, dipl.ing.geol.**

Štampa:

**Štamparija Fojnica d.o.o. - Fojnica, BiH**

Tiraž:

**100 primjeraka**

Za podatke i način prezentiranja radova odgovorni su autori

**ZBORNİK RADOVA**

VI SAVJETOVANJE GEOLOGA

BOSNE I HERCEGOVINE

ISSN 1840-4073

**POKROVITELJI:**

IPIN Institut d.o.o. Bijeljina - Generalni sponzor

GeoAVAS d.o.o. Sarajevo - Pokrovitelj

WINNER PROJECT d.o.o. Sarajevo - Donator

IBIS-INŽENJERING d.o.o Banja Luka - Donator

GEOTEHNOS d.o.o. - Donator

„KRIPTOS“ d.o.o. Milići - Donator

„IRM-Bor“ d.o.o. Zvornik - Donator

ZAVOD ZA VODOPRIVREDU d.d. Sarajevo - Donator

GEOCON d.o.o. Čitluk - Donator

JU Institut za urbanizam, građevinarstvo i ekologiju

Republike Srpske, Banja Luka - Donator

## **SADRŽAJ**

### **AKADEMIK ENVER MANDŽIĆ**

Prognoza slijeganja terena iznad podzemnih praznih rudarskih prostora na osnovu rezultata geodetskih mjerenja

### **AKADEMIK NEDO ĐURIĆ**

Istraživanja geotehničkih karakteristika terena u procesima planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja površinske saobraćajne infrastrukture

### **PROF.DR.SC. IZET ŽIGIĆ**

Rad u uslovima pokrenutih kosina na površinskim kopovima uglja

### **PROF.DR.SC. VASO NOVAKOVIĆ**

Savremene metode primjenjenih geoloških istraživanja za potrebe projektovanja i izgradnje regulacija i nasipa

### **PROF.DR.SC. ĐENARI ĆERIMAGIĆ**

Pregled geološko-geotehničkih ispitivanja i istraživanja za potrebe projektovanja HE Babino Selo

### **DR.SC.SANDRA MELZNER**

Landslide and rockfall hazard assessment at the Geological Survey of Austria

### **DR.SC. MILOVAN RAKIJAŠ**

Sanacija postojećih nesanitarnih i izgradnja novih sanitarnih deponija sa hidrogeološkog aspekta

### **DR.SC. DRAŽEN NAVRATIL**

Inženjerskogeološki istražni radovi za potrebe sanacije odrona blokova stijene na padini podno Srđa kod Dubrovnika

### **JOSIP MARINČIĆ**

Inženjersko geološka i geofizička istraživanja u svrhu determinacije aluvijalnih ponora, na primjeru dovodnog kanala CHE Čapljina

**MR.SC. HAMID BEGIĆ**

Uzroci i posljedice nastanka klizišta na prostoru Bosne i Hercegovine

**CVJETKO SANDIĆ**

Neki aspekti geotehničkih karakteristika uslova fundiranja i izgradnje objekata

# PROGNOZA SLIJEGANJA TERENA IZNAD PRAZNIH RUDARSKIH PODZEMNIH PROSTORA NA OSNOVU REZULTATA GEODETSKIH MJERANJA

E. Mandžić\*

## Rezime

Prognoza slijeganja terena iznad praznih rudarskih podzemnih prostora postavlja se kao veoma važan problem koji treba rješavati kao bi se ti dijelovi terena, nakon nekog vremena, mogli ponovo koristiti za različite namjene, najčešće za ponovnu ili novu urbanizaciju. Problem se može podijeliti na tri osnovne faze koje podrazumijevaju: početak slijeganja, vrijeme trajanja intenzivnog slijeganja, i vrijeme „konsolidacije“ terena nakon što je završena rudarska aktivnost na otkopavanju mineralne sirovine u određenom području. U ovom radu ne bavimo se sa prve dvije faze slijeganja, nego upravo sa onom bitnom trećom fazom koja treba da da odgovor kada se teren iznad otkopanog prostora može smatrati dovoljno „konsolidovanim“ da bi se mogao ponovo koristiti. Ova prognoza je veoma značajana ako je otkopavanje mineralne supstance izvedeno ispod gradskih područja, kao što je to slučaj ugradovima Tuzli, Zenici, Mostaru, Banovićima i drugdje u BiH. Predložen je model razmatranja i rješavanja datog problema na osnovu rezultata geodetskih mjerenja. Razmatrana je uloga geologa i geologa geotehničara u razjašnjenju pojava koje se događaju u svim fazama slijeganja terena do finalne konsolidacije.

**Ključne riječi:** slijeganje terena, geodetske metode mjerenja

## Summary

Forecasting the terrain subsidence over empty mining underground sites is a very important issue that needs to be resolved so that those parts of the terrain could, after some time, be reused for different purposes, mostly for re-urbanization or new urbanization. The problem can be divided into three basic phases, which include: the beginning of the subsidence, the time of intense subsidence, and the time of "consolidation" of the terrain after completion of mining activity on the extraction of mineral raw materials in a given area. In this paper, we are not dealing with the first two stages of subsidence, but that very important third phase that needs to give answer when the terrain above the excavated space can be considered sufficiently "consolidated" to be re-used. This prediction is very significant if excavation of mineral substances is carried out under urban areas, such as Tuzla, Zenica, Mostar, Banović and elsewhere in BiH. A model for considering and solving a given problem was proposed based on the results of geodetic measurements. The role of geologists and geologists who deals with geotechnics was discussed in clarifying phenomena occurring at all phases of terrain subsidence until final consolidation.

**Key words:** terrain subsidence, geodetic measurement methods

---

Akademik Enver MANDŽIĆ, Prof. emer. Dr sc. dipl.ing.  
Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine  
Bistrik 8, 71000 Sarajevo

## Uvod

Otkopavanjem mineralnih sirovina podzemnim rudarskim radovima nastaje prazan prostor koji se sa vremenom zapunjava krovinskim stijenskim materijalom. Zapunjavanja praznog prostora iskopom mineralne sirovine prati destrukcija krovinskog stijenskog materijala čime se mijenjaju fizičko – mehanička svojstva stijena masiva i strukturno – teksturne karakteristike tog stijenskog materijala. Te promjene su, zavisno od dubine rudarskih radova i visine praznog prostora koji nastaje otkopavanjem mineralne sirovine, najčešće takva da dovode i do slijeganja površine terena iznad otkopanih prostora. Tako je slijeganje površine terena, kao posljedica podzemne eksploatacije mineralnih sirovina problem koji treba rješavati; prije, za vrijeme i nakon eksploatacije određene mineralne sirovine. U radu se nećemo baviti različitim teorijama slijeganja; Salustović, Budrik – Knot, NCB, Patarić i dr. koje u suštini daju neke konačne vrijednosti slijeganja kao i oblik korita slijeganja. Danas prognozu slijeganja terena, prije početka podzemne eksploatacije mineralnih sirovina, možemo izvesti savremenim metodama složenog kompjuterskog proračuna ( u nekoj vertikalnoj ravni ili trodimezionalno) kao što je metoda konačnih elemenata ili neka od još savremenijih metoda. U proračun se unose fizičko – mehaničke karakteristike geoloških – litoloških sredina, kao i strukturno – tektonske karakteristike ležišta (uslojenost, rasjedi, i dr.). Konačni rezultat provednih proračuna je slika stanja napona u masivu, zoneloma gdje je prevaziđena neka od čvrstoća stijenskog materijala i pomaci koji mogu dati sliku pomaka na površini terena. To su najčešće konačne vrijednosti koje samo prognoziraju slijeganje terena iznad modelom izabраних praznih prostora u podzemlju. Tačnost dobivenih podataka slijeganja zavisi od tačnosti unesenih podataka o karakteristikama masiva (geologija, strukturna geologija, fizičko-mehaničke karakteristike, inženjerskogeološki uslovi, i dr.)

Pošto je slijeganje vremenski proces, koji se odvija i u kraćem i u dužem vremenskom periodu nakon završene eksploatacijemineralne sirovine, zavisno od niza uticajnih faktora, nameće se kao posebno značajno pratiti taj proces u vremenu. Za to nam mogu poslužiti geodetske metode mjerenja koje se zasnivaju na opažanju pomaka tačaka u vremenu u koordinatnom sistemu x,y,z.

Postoje i savremene metode koje pomoću snimaka terena iz vazduha mogu modelirati površinu terena a uporedbom snimaka iz različitih vremenskih perioda, može se odrediti razlika u površini terena, što omogućava praćenje slijeganja terena u vremenu.

Uzimajući geodetske metode kao klasične metode koje daju pomake tačaka u sistemu x,y,z, moguće je utvrditi početak, trajanje i završetaka slijeganja terena. Od posebnog je interesa utvrditi – prognozirati kada će slijeganje terena prestati kako bi se taj teren mogao koristiti za određene namjene. Upravo ta prognoza slijeganja je od izuzetne važnosti ako se slijeganje terena odvija u urbanim sredinama, kao što je na primjer grad Tuzla, Zenica, Banovići, Mostar i dr.

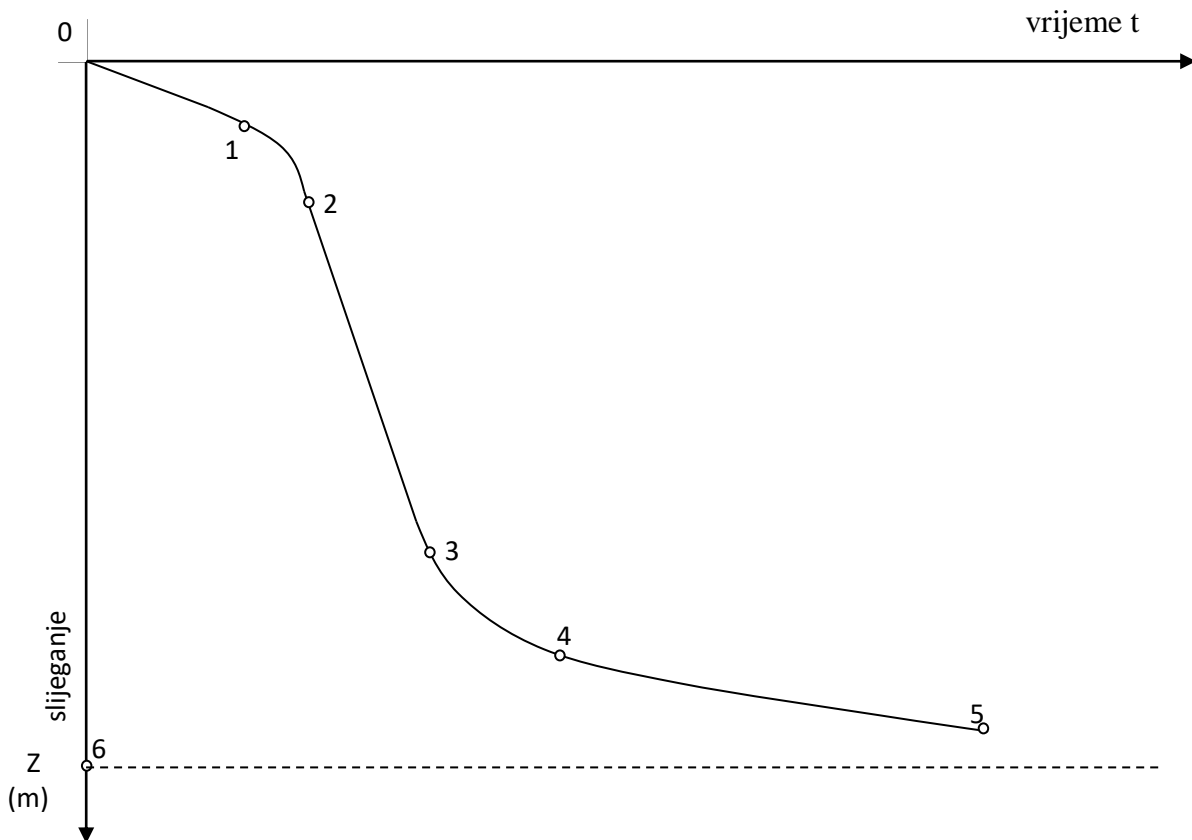
Obzirom da su nam za rješavanje problema potrebni podaci slijeganja u vremenu, od početka eksploatacije pa do konačnog prestaka slijeganja terena, geodetski podaci su sada jedini koji mogu poslužiti za rješavanje problema slijeganja terena tamo gdje je eksploatacija mineralne sirovine već završena.

## Pomaci tačaka

Određivanje koordinata x,y,z, neke tačke na profilu preko terena na kome se prati slijeganje nekada se izvodilo klasičnim geodetskim metodama (triangulacija, nivelman), dok se danas to izvodi savremenim metodama koje određuju koordinate tačke na osnovu veza preko satelita, tj. GPS ili geografski pozicioni sistem.

Rezultati pomaka tačaka mogu se predstaviti u koordinatnom sistemu  $x,y$ , koji nam pokazuje pomak tačke u horizontalnoj ravni. Pomak u vertikalnom pravcu (slijeganje tačke) dobijemo iz razlike vertikalne koordinate  $z$  u vremenu. Iz koordinata  $x,y,z$ , možemo dobiti i rezultatni pomak tačke koji pokazuje pomijeranje u prostoru. Za dalja razmatranja slijeganja terena i prognozu vremenskog slijeganja koristiti ćemo samo pomak u vertikalnom pravcu, tj. rezultate dobivene za vertikalnu koordinatu  $z$ .

Ako posmatramo slijeganje terena iznad otkopanih podzemnih prostorata možemo poći od jednog opšteg modela slijeganja tačke u vremenu. Taj model ima određene karakteristike koje se, u opštem slučaju, mogu svesti na tok krive kako je to pokazano slikom 1.



Slika 1. Vremenski tok linije slijeganja na površini terena iznad rudarskih podzemnih praznih prostora

Zakonomitosti slijeganja opisane linijom slijeganja imaju određena karakteristična područja koja, u principu, imaju slijedeće karakteristike:

0 – 1 - Početak slijeganja površine terena karakteriše elastično ponašanje masiva u visokojkrovini, dok se u neposrednoj krovini iznad otkopanog prostora slijeganje odvija tako što se stijenska masa razlama na pojedinačne blokovi čija veličina zavisi isključivo od fizičko - mehaničkih karakteristika stijena neposredne krovine, brzine napredovanja radova otkopavanja i ostvarenja praznog prostora iza podgrađenog radilišta. Što jestijena neposredne krovine „čvršća“ blokovi su veći i obrnuto. Postoji i niz drugihuticajnih faktora na uslove loma neposredne krovine iznad otkopanih praznih prostora.

1 – 2 - Početak elastično – plastičnog ponašanja masiva visoke krovine do površine terena pojavom pukotina unutar masiva. Na površini terena ne pojavljuju se znaci „lomova“. Veoma važno je naglasiti da se ovo područje toka slijeganja različito može manifestovati zavisno od toga gdje se nalazi posmatrana tačka u odnosu na korito slijeganja, tj da li se nalazi upodručju gdje je dominantno zatezanje, ili pritisak ili se nalazi u dijelu koritaslijeganja gdje se odvija samo vertikalnoslijeganje terena.

2 – 3 - Ovo područje karakteriše potpuna promjena fizičko – mehaničkih i strukturno – teksturnih

karakteristika masiva sve do površine terena. Dolazi do destrukcije masiva, stvaranja blokova različitih veličina po visini do površine terena unutar masiva. Najveći dio od ukupnog slijeganja odvija se u relativno kratkom vremenskom intervalu.

3 – 4 - Destrukcija masiva je završena. U masivu se formiraju blokovi, koji su manji što je bliže

otkopanom prostoru (neposredna krovina) i veći sa udaljavanjem od otkopanog prostora (srednja i visoka krovina, sve do površine terena). Počinje proces zbijanja stijenske mase razdvojene u blokove, pod djelovanjem gravitacije, tj težine prekrivnih naslaga stijenskemase. Taj proces prati smanjenje praznih prostora među blokovima. Od tačke 3 prema tački 4 počinje da se odvija „konsolidacija“ u masivu gdje je došlo do razaranja njegove prvobitne strukturno – teksturne građe. U ovom slučaju pod „konsolidacijom“ podrazumijevamo dovođenje masiva u stanje da nakon nekog vremena prestaje slijeganje terena.

4 -5 - Vremenski proces konsolidacije masiva. Slijeganje sa vremenom se smanjuje i u tački 5 dostiže vrijednost koja se može smatrati tolerantnom za ponovno korištenje terena za određenu namjenu. Položaj tačke 5 zavisi od potrebnih uslova da bi se evidentirano slijeganje moglo smatrati dovoljno tolerantnim za primjenu terena za gradnju ili drugu namjenu.

Vremenski tok koji zahvata područje 4 – 5 je od izuzetnog značaja za došenje zaključaka kada se teren može koristiti za određenu namjenu. Što je linija 4 – 5 strmija u odnosu na horizontalu to vrijeme je duže, i obrnuto što je linija blaža to je povoljnije za privođenje terena prije određenoj namjeni. Nagib linije 4 – 5 značajno zavisi od fizičko – mehaničkih karakteristika stijenske mase, veličine blokova nastalih u masivu od neposredne krovine iznad praznog prostora sve do površine terena. Nekada su ti blokovi tako veliki da na površini terena stvaraju linije koje pokazuju postojanje rasjeda nastalih u masi koja se sliježe, kao što je to slučaj u slijeganju u gradu Tuzli. Ovakvo slijeganje terena, sa pojavom rasjeda do površine terena zabilježeno je i naviše mjesta u literaturi.

Tok linije slijeganja u vremenu, u dijelu 4 – 5, jedini su mjerodavan podatak za prognozu vremena „konsolidacije“ masiva iznad otkopanog prostora. Zato je taj dio linije slijeganja od izuzetnog značaja i njemu treba posvetiti posebnu pažnju.

Tok linije slijeganja 4 – 5 niza geodetskih tačaka korišten je za prognozu slijeganja terena gradskog područja Tuzle za urbanizaciju do 2025. godine. Na osnovu podataka iz linije 4 – 5 možemo napraviti zone slijeganja za periode, na primjer od 5 godina (ili manje), gdje možemo prognozirati slijeganje po apsolutnoj vrijednosti (kao za grad Tuzlu).

6. Maksimalno moguće slijeganje za datu tačku postignuto u vrijeme pune konsolidacije masiva.



U opštem slučaju za praktičnu upotrebu najvažnije je dobiti kvalitetan dio linije slijeganja 4 – 5. Navedeno je da ta linija u najvećem broju slučajeva predstavlja pravu ili blago zakrivljenu liniju sa različitim nagibom u odnosu na vremenski osu. Što je nagib linije manji to je vrijeme konsolidacije kraće i obrnuto, veći nagib linije pokazuje da će vrijeme konsolidacije biti duže.

Svaki dio linije slijeganja ima i svoje fizičko tumačenje, pa naprimjer nagib linije u sektoru 2 – 3 pokazuje kako brzo dolazi do destrukcije masiva, što zavisi od nagiba linije prema vertikalnoj osi. Što je nagib manji destrukcija masiva je sporija i obrnuto.

Segment 3 – 4 može biti duži i kraći. Kraći segmet pokazuje da dolazi do bržeg „spajanja“ blokova i zatvaranja većih praznih prostora među blokovima. Duži segmet 3 - 4 pokazuje da je stijena litološki od „čvršćeg“ stijenskog materijala gdje sporo dolazi do smanjenja većih praznih prostora među blokovima unutar masiva.

Za procjenu ukupnog slijeganja masiva u vremenu od posebne važnosti su segmeti 3 – 4 i 4 – 5. Segmet 4 – 5 je važan jer se samo na osnovu njega može procijeniti konačno i potrebno vrijeme konsolidacije masiva i kada se na određenim dijelovima terena mogu izvoditi radovi gradnje objekata određene namjene, na primjer. Činjenica je da različiti građevinski objekti podnose različito diferencijalno slijeganje na površini koju zauzimaju. Samo diferencijalno slijeganje terena ispod objekta izaziva pukotine u objektima.

Potrebno je posebno naglasiti da segmentu linije slijeganja 4 – 5 najčešće se ne posvećuje posebna pažnja jer je opažanje, bez obzira koja metoda se koristila, da bi ovaj segmet ima što više tačaka u vremenu, od najvećeg značaja upravo za procjenu stepena konsolidacije masiva u vremenu.

### **Procjena slijeganja masiva u vremenu**

Za procjenu slijeganja masiva u vremenu, vezano za konsolidaciju masiva, usvajamo ponašanje masiva koje nam indicira segment 4 – 5. Već smo naveli da je nagib te linije prema horizontali (vremenska osa) neposredni indikator tj. vremenske konsolidacije masiva a time i slijeganja površine terena. Naravno, potrebno je da imamo dovoljna broj podataka da bi mogli povući liniju slijeganja kroz tačke dobivene neposrednim opažanjem na terenu, što se u praksi relativno rijetko pojavljuje predstavlja presudne podatke za dio vremenskog slijeganja potrebnog da bi se shvatio ili utvrdio proces konsolidacije masiva. Važno je utvrditi položaj tačke 4 a od te tačke niz tačaka koji bi nam što vjernije mogao poslužiti za konstrukciju segmeta 4 – 5. Taj segmet (4 – 5) možemo podijeliti na pojedinačne linerane segmete od 1 do 5 godina na primjer, i izračunati slijeganje za svaki od usvojenih perioda. To nam omogućava da spajanjem niza tačaka u ravni (površini) slijeganja, u jednom odabranom vremenskom intervalu dobijemo linije iste vrijednosti slijeganja, koje možemo nazvati izotahe. Računajući tako za svaki segmet možemo dobiti zone sa istom vrijednosti slijeganja u određenom (odabranom) vremenskom periodu. Ovo ima praktičnu vrijednost jer možemo direktno izdvojiti zone gdje je konsolidacija masiva dostigla takav nivo da se u tim zonama može graditi. Na takav način je praktično izvedena reonizacija gradskog područja Tuzle za izradu urbanističkog plana do 2025. godine. Dio linije slijeganja 4 -5, na tačkama koje su geodetski opažane, podijeljen je na segmete po 5 godina. Tako su ustanovljene zone slijeganja prema stepenu konsolidacije masiva do 2025. godine.

## **Savremene metode prognoze slijeganja**

U najsavremenije metode prognoze slijeganja možemo uvrstiti snimanje LIDAR. Osnova za korištenje ove metode su rezultati koji se prikupе aerosnimanjem terena, ili podacima sa satelita, tako da taj teren možemo predstaviti trodimenzionalno ili površinski u nekom vremenu. Novi snimak nakon 3, 6, ili 12 mjeseci daje nam novu sliku koju možemo preklopiti preko prethodne slike i program izbacuje rezultate razlike terena koji se sliježe sa rezolucijom na tačnost koja je zadata. Ranije se nisu mogle koristiti navedene metode zbog problematike tačnosti određivanja visinske koordinate z. Sa daljim razvojem ovih metoda prevaziđen je i taj problem tako da se danas aerosnimanjem ili korištenjem podataka sa satelita može sa zadovoljavajućom tačnosti dobiti vrijednost visinske koordinate z. Za svako područje se bojom označi ista vrijednost slijeganja, pa dobijemo veličinu tog područja, promjene koje su nastale u veličini slijeganja u vremenu. Iz niza snimanja možemo dobiti sve potrebne podatke za slijeganje za bilo koji dio linije slijeganja od vremena kada počnemo koristiti ovu metodu. Metoda ima ograničenje jer zahtijeva korištenje avio snimanja ili satelitskim snimaka, što se ograničava na firme koje to mogu uraditi, sa značajnim uticajnim faktorom koji predstavlja cijenu jednog takvog snimanja. Zavisno od veličine područja koga treba snimati danas je moguće izvesti mnogo jeftinije snimanje dronom. Kod nas u BiH, do danas nije primijenjena ova metoda niti za jedno ležište gdje se prati slijeganje terena. Savremene geodetske metode omogućavaju brzo, efikasno snimanje, niza tačaka kojima se može prekriti neki teren koji je od interesa za snimanje slijeganja. Utvrđivanje koordinata svake tačke koja se snima omogućava dobivanje niza podataka za teren koji je snimljen a kompjuterska obrada podataka može nam dati sve dijagrame koji su od interesa za dati teren.

## **Uloga geologa i geologa geotehničara u definisanju problema slijeganja**

Uloga geologa i geologa geotehničara u definisanju problema slijeganja počinje sa izradom projekta otkopavanja mineralne sirovine. Potrebno je što detaljnije definisati rudno tijelo i materijale krovine sve do površine terena. Takođe, potrebno je otkriti i u profile i karte ucrtati sve strukturno – teksturne karakteristike u krovinskim stijenskim materijalima. Određivanje mjerodavnih fizičko – mehaničkih karakteristika krovinskih stijena jedan je od najvažnijih faktora kod proračuna, ako se koristi, na primjer, metoda konačnih elemenata za proračune slijeganja. Od litološke građe, strukturnih elemenata, fizičko - mehaničkih karakteristika krovinskih stijenskih materijala zavisi oblik krive, koja je je u radu opisana. Tumečenje oblika krive može se dati samo ako se dobro znaju navedene karakteristike masiva. Iskustva u tumačenju oblika krive neophodna su za svako ležište mineralne sirovine koja se otkopava. Izuzetno rijetko se buše naknadne bušotine na mjestima gdje je otkopana mineralna sirovina i zbog toga je slika ponašanja masiva samo kriva slijeganja, koju treba znati tumačiti i iz nje izvlačiti određene zaključke, što je prevashodno uloga geologa geotehničara.

## Zaključak

Slijeganje terena u vremenu iznad podzemnih rudarskih radova kod eksploatacije mineralnih sirovina slijedi određene zakonitosti koje se mogu isčitavati ako raspoložemo podacima o vertikalnim pomacima pojedinih tačaka stabiliziranih na terenu koji se sliježe. Generalisani dijagram slijeganja (vertikalni pomak u vremenu) omogućava sgljedavanje procesa koji se događaju nakon što u podzemlju nastane prazan prostorna mjestu otkopane mineralne sirovine. Taj generalisani dijagram slijeganja omogućava nam da sagledamo i protumačimo različite faze procesa slijeganja, stanja u masivu u vremenu sa promjenama fizičko – mehaničkih i strukturno – teksturnih karakteristika masiva koji se sliježe, utvrdimo vrijeme početka i dostizanja pune ili za potrebe korištenja potrebne ili dovoljne konsolidacije masiva i površine terena, izvedemo reonizaciju terena po stepenu konsolidacije, što je od izuzetnog značaja za početak korištenja određenih dijelova terena za različite namjene (urbanizacija, izgradnja infrastrukture, i dr.). Savremene metode snimanja terena koji se sliježe u mnogome će olakšati dobivanje potrebnih podataka i u zonama slijeganja gdje se to slijeganje odvija već dugi niz godina, kao što je to slučaj sa slijeganjem terena u gradskom području gradova Tuzla, Zenica, Mostar, Banovići i dr. Primjena GPS-a ili LIDAR snimanja daje rezultate, ali je interpretacija tih rezultata ograničena na uski krug stručnjaka za te metode bez učešća geologa geotehničara u privođenju nekog terena, koje je bilo zahvaćeno slijeganjem, nekog namjeni.

S obzirom da je kod procjene slijeganja od ključnog značaja i geologija područja zahvaćenog slijeganjem (litologija, strukturno – teksturne karakteristike, i dr), kao i fizičko – mehaničke karakteristike stijenske mase, stoga je učešće geologa geotehničara u analizi procjene slijeganja od velikog značaja za adekvatno rješavanje ovog problema.

## Literatura

1. Grupa autora; 2012, Zoniranje terena po stepenu konsolidacije za potrebe urbanizacije za period 2012-2015, 2015-2020, 2020-2026, za područje pod uticajem eksploatacije soli u gradu Tuzla, Studija, Dokumentacija Rudarsko-geološko građevinskog fakulteta Univerziteta u Tuzli i Opštine Tuzla,
2. Mandžić, E., 2005., Slijeganje terena grada Tuzla, Geografski radovi, 1:12-23, Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Tuzli, Odsjek za geografiju.
3. Čeliković, R., 2001, Zakonitosti razvoja deformacija površine terena kod nekontrolisanog podzemnog izluživanja soli, Doktorski rad, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, (mentor E. Mandžić),
4. Čeliković, R., Mandžić, E., 2003., Brzina ulijeganja površine terena u zoni uticaja izluživanja tuzlanskog sonog ležišta, Zbornik radova Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta u Tuzli, XXV(1):21-27
5. Mandžić, E., i saradnici, 2005., Istraživanje podizanja nivoa podzemne vode u masivu na području sa nekontrolisanim izluživanjem soli u cilju obustave eksploatacije na sonim bunarima na Trnovcu i Hukalu, Studija, Dokumentacija Rudnika soli Tušanj, Tuzla

# ISTRAŽIVANJA GEOTEHNIČKIH KARAKTERISTIKA TERENA U PROCESIMA PLANIRANJA, PROJEKTOVANJA, IZGRADNJE I ODRŽAVANJA POVRŠINSKE SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

Đurić N.<sup>1</sup>, Đujić A.<sup>1</sup>, Đurić D.<sup>1</sup>, Perišić M.<sup>1</sup>, Đuran P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehnički institut Bijeljina, e.mail. [nedjo@tehnicki-institut.com](mailto:nedjo@tehnicki-institut.com)

## REZIME

Saobraćajnice kao linijski objekti prolaze najsloženijim dijelovima terena, što zahtijeva prethodna detaljna geološka istraživanja, ali i nadzor tokom njihovog građenja i eksploatacije. Vremenom su saobraćajnice sve savremenije, koje pored trase puta imaju i značajan broj objekata na trasi i pored trase. Nivo istraženosti terena radi sigurnosti objekata stalno se povećava, posebno kod autoputeva koji ne trpe nagle promjene pravca trase. Ipak posljednjih godina zbog novih preporuka datih u International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) studiji, jedan dio istraživanja se radi tokom građenja puteva, što se na ovim prostorima nije pokazalo uspješnim.

U radu su prikazane faze, vrste i okvirne količine geotehničkih istraživanja i ispitivanja terena za potrebe izgradnje površinske - kopnene saobraćajne infrastrukture u zavisnosti od karakteristika objekta, nivoa tehničke dokumentacije i uslova terena koji će biti angažovan za gradnju objekta. Naglašena je potreba geotehničkih istraživanja koja prethode svakoj fazi projektnih aktivnosti, od procesa planiranja, preko projektovanja i izgradnje do praćenja nakon izgradnje objekta čime se stvaraju uslovi za zadovoljenje osnovnih principa istraživanja: postupnost, potpunost, ravnomjernost i ekonomičnost.

**Ključne riječi:** saobraćajnice, objekti na trasi, geotehnička istraživanja, geološka sredina, geotehnički elaborat i projekat

## RESEARCH OF GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE TERRAIN IN PROCESSES OF PLANING, PROJECTING, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF SURFACE ROADS INFRASTRUCTURE

### ABSTRACT

Roads as line objects pass through the most complex parts of the terrain, which demand previous detail geological research, and also supervision during their construction and exploitation. During time roads were becoming more and more modern, and have a significant number of objects on route and beside the route. Level of terrain research for object safety constantly increases, especially at highways which do not tolerate sudden changes of route direction. However, during last several years, because of new recommendations given in International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) study, one part of research was done during construction of roads, which showed successful on this regions.

In work are shown phases, types and framework quantities of geotechnical research and terrain investigations for the purpose of construction of surface – land roads infrastructure depending from object characteristics, level of technical documentation and conditions of

terrain which would be used for object construction. Highlighted is the need of geotechnical research that precede to every phase of project activities, from planning process, over projecting process and construction to following after the object construction with which are created conditions for satisfaction of basic research principles: graduality, completeness, equality and economy.

**Key words:** roads, objects on the route, geotechnical research, geological environment, geotechnical study and project.

## 1. UVOD

Istraživanje terena za potrebe izgradnje saobraćajnica predstavlja jedan od najsloženijih zadataka u pripreмноj fazi projektovanja, obzirom na složenost geološke građe terena duž koje trasa prolazi. Sva istraživanja su svrstana u geotehnička istraživanja koja predstavljaju osnovni preduslov za kvalitetnu izradu tehničke dokumentacije za trasu saobraćajnice i objekata na trasi. Stepен istraženosti terena je različit u zavisnosti morfolоgije terena i objekata koji se nalaze na trasi.

Duž trase potrebno je istražiti teren aktivnog dijela na kome se nalaze objekti, kao i pasivnog dijela koji zahvata širi prostor sa jedne i druge strane. Aktivni dio istraživanja obuhvata trasu saobraćajnice i objekate koji se nalaze na trasi, kao što su mostovi, nadvožnjaci, podvožnjaci, propusti ili potporni zidovi, što čini obavezni dio istraživanja. Pasivni dio zavisi od stabilnosti terena sa jedne i druge strane saobraćajnice. Ovaj dio terena nije aktivan, jer dinamička opterećenja od saobraćaja nemaju značajan uticaj. Ipak negativan uticaj može nastati kao rezultat narušavanja stabilnosti tokom građenja ili djelovanjem određenih egzodinamičkih procesa tokom eksploatacije. Zbog toga se istraživanja terena duž trase i objekata na trasi, vrše minimalno 100 – 200 m sa jedne i druge strane trase. Nivo istraženosti zavisi od složenosti terena. Ukoliko su duž trase prisutni određeni egzogeni procesi, onda se stepen istraženosti povećava, jer je neophodno provesti istraživanja za sve prisutne pojave.

Izgradnja puteva, autoputeva i željeznica podrazumjeva velike količine zemljanih radova na terenu i u terenu. Duž trase saobraćajnice postoje velike promjene u reljefu, geološkoj građi, hidrogeološkim i inženjerskogeološkim karakteristikama terena. Sve navedeno ima značajan uticaj na projektna rješenja i uslove izgradnje. Istraživanjima i ispitivanjima definisat će se geološke sredine u koridoru objekta i to do dubina do kojih se očekuju uzajamni uticaji vještačkog objekta i prirodne geološke sredine – interakcija objekta i geološke sredine, u svim fazama izgradnje i eksploatacije objekata.

Geotehnička svojstva terena imaju velik uticaj ne samo u fazi izrade tehničke dokumentacije, svih nivoa i izgradnje objekata, već i u procesu planiranja odnosno u fazi varijantnih rješenja odabira trase. Ponekad je kraća varijanta trase opterećena mnogim inženjerskogeološkim procesima i pojavama kao što su velika i duboka klizišta, sipari, malo nosivi tereni, skupi i teško izvodljivi uslovi fundiranja objekata na trasi, skupo obezbeđenje lokalnih geološko – građevinskih materijala i ... U takvim slučajevima geotehnička svojstva terena u velikoj mjeri, utiču na tehničke mogućnosti, povoljnosti i ograničenja izgradnje objekta, a time i na ukupna finansijska ulaganja što uslovljava donošenje definitivne odluke o položaju trase odnosno o usvojenoj varijanti.

U morfološki složenim terenima trasa saobraćajnice prolazi kroz tunele, gdje stepen istraženosti terena manji u svim fazama projektovanja, ali se istraživanja vrše kontinuirano tokom građenja na otvorenom profilu trase tunela.

Geološka istraživanja kod saobraćajnica regulisana su zakonskim propisima kao inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja. Obuhvataju proučavanje morfologije terena, litološkog sastava, strukturno–tehtonskih, hidrogeoloških, inženjerskogeoloških i geotehničkih karakteristika u prostoru i po dubini njihovog aktivnog i pasivnog uticaja.

## **2. ISTRAŽIVANJE TERENA ZA SAOBRAĆAJNICE**

Saobraćajnice u koje spadaju putevi i pruge su linijski objekti sa specifičnim geometrijskim oblicima u planu i profilu, izložene su čestim promjenama inženjerskogeoloških karakteristika terena. Niveleta saobraćajnica se poklapa sa terenom, izdiže iznad njegove površine ili usijeca u teren. Posmatrajući tako, stijenske mase vezane za ove objekte imaju trostruku ulogu:

- kao podloga na kojoj se grade objekti, što obuhvata trasu, mostove, nadvožnjake, podvožnjake, propuste, nasipe
- kao sredina kroz koju se gradi, a to su usjeci i tuneli
- kao materijal sa kojim se gradi

Stijenske mase duž trase saobraćajnica su različite, zbog čega je teško odrediti obim i vrste istraživanja. Trasa saobraćajnice za razliku od ostalih građevinskih objekata izložena je dinamičkim opterećenjima, a područje fundiranja raznim i promjenljivim klimatskim uticajima. Izgradnja trase zahtijeva veću količinu materijala za ugradnju u njenu podlogu, zbog čega je potrebno u neposrednoj blizini istražiti pozajmišta građevinskog materijala. Objekti na trasi saobraćajnice zahtijevaju detaljnija istraživanja, što se jednostavnije može realizovati, obzirom da zahvataju manje površine terena.

Istraživanja započinju sa upoznavanjem osnovnih karakteristika terena duž trase saobraćajnih objekata. Analiziraju se podaci prethodnih istraživanja ukoliko postoje i daje ocjena o stepenu istraženosti, odnosno o osnovnim podacima terena, na osnovu čega se planiraju određeni istražni radovi, prvenstveno istražne bušotine i geofizička ispitivanja. Obim i vrsta istraživanja zavise od karakteristika terena posmatrano prostorno i vertikalnom rasporedu geološke građe.

Ukoliko se radi revitalizacija ili rekonstrukcija, odnosno poboljšanje kvaliteta postojećih objekata, onda već ima određena dokumentacija na osnovu koje su urađena projektna rješenja.

Tokom rekognosciranja terena važno je uočiti sve pojave narušavanja stabilnosti terena u periodu eksploatacije objekata i mogućnosti razvoja novih procesa prilikom poboljšanja kvaliteta prije svega putnih saobraćajnica. Ranije izgrađene saobraćajnice zadovoljavaju stepen istraženosti za tadašnje potrebe trase puta i objekata na trasi. Poboljšanje kvaliteta puta podrazumijeva proširenje postojeće trase, izmještanje pojedinih dijelova trase, te djelimičnu ili potpunu izgradnju objekata na trasi.

Željezničke saobraćajnice često prolaze terenima složenije morfološke i geološke građe, a na njihovoj trasi postoji znatno više objekata, kao što su viadukti, mostovi i tuneli. Metodologija istraživanja je ista, a razlika je u zahtjevima za donji stroj pruge, gdje su propisi malo rigorozniji. Obim i vrsta istražnih radova zavise od karakteristika terena i vrste objekata. Kod poboljšanja kvaliteta izgrađenih pruga, važno je dati dobru ocjenu postojećeg stanja, stepena oštećenosti nasipa duž trase pruge i pojave eventualnih savremenih inženjerskih procesa koji ugrožavaju trasu i objekte na trasi.

### 3. CILJEVI GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA

Ciljevi geotehničkih istraživanja, koja se provode u koridoru putne i željezničke infrastrukture, prvenstveno su u zavisnosti od svojstava geološke sredine i specifičnosti objekata. Osim toga ovisni su o vrsti dokumenta odnosno da li se dokumentacija radi za prostorno i plansko uređenje ili se radi tehnička dokumentacija, pri čemu viši nivo planske i tehničke dokumentacije zahtjeva detaljnije ciljeve koje treba postići geotehničkim istraživanjima. Osnovno je da se postavljenim ciljevima obezbjeđe uslovi za optimalan izbor svih planskih i projektnih rješenja, ovisno o nivou plana ili projekta, putne i željezničke infrastrukture.

U načelu, ciljevi geotehničkih istraživanja, iako su specifični za različite objekte, mogu se definisati kao:

- opšti
- posebni ciljevi

**Opšti ciljevi geotehničkih istraživanja** postavljaju se za čitavu trasu puta ili pruge ili za njihove pojedine dionice i svode se na definisanje:

- odabira koridora trase puta i željezničke pruge pri čemu se ne isključuje izbor optimalnih varijanti
- tehnologije iskopa u odnosu na reljefne karakteristike i svojstva stjenskih masa u smislu težine iskopa – otpora pri iskopu
- referentnog nivoa i oscilacija nivoa podzemne vode dužinom čitave trase objekta, ocjene štetnog uticaja u toku izgradnje objekta, prognoze štetnog uticaja u toku eksploatacije i prijedloga mjera zaštite
- nosivosti prirodne podloge puta a u slučaju provođenja trase preko slabo nosivih terena, uslova izgradnje i mjera sanacije naročito ako je trasa puta ili pruge u nasipu
- načina ugradnje nasipa, prijedloga geometrije i nagiba kosina, stabilnosti nasipa i prijedloga mjere zaštite
- geometrije i nagibe kosina usjeka i zasjeka, njihove stabilnosti i prijedloga mjera zaštite kosina u svrhu očuvanja stabilnosti
- uslova prevođenja trase preko aktivnih i umirenih klizišta, labilnih i drugih nestabilnih padina na kojima su razvijeni savremeni geološki procesi i prijedloga mjera njihove sanacije
- lokacija i kvaliteta materijala za nasipe, za betonski i asfaltni agregat, u odnosu na kvalitet i količine materijala iz iskopa i u odnosu na postojeća ili potencijalna lokalna nalazišta

- mjera zaštite puta od površinskih i podzemnih voda, uslove odvodnjavanja i dreniranja
- lokacija i načina deponovanja viška materijala iz iskopa
- mogućih uticaja gradnje i korišćenja puta na tlo i vodu sa aspekta zaštite životne sredine i prijedloga mjera zaštite od eventualnih zagađenja

**Posebni ciljevi geotehničkih istraživanja** odnose se na pojedine objekte na trasi puta i pruge kao što su: mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, prolazi, i veći propusti u trupu visokog nasipa. U posebne ciljeve istraživanja uvršteni su i ciljevi koji se postavljaju za potrebe projektovanja, izgradnje i održavanja tunela. Sastavni su dio saobraćajnica, ali se obrađuju kao podzemni objekt.

Posebni ciljevi istraživanja za površinske objekte na trasi puta i željezničke pruge svode se na rješavanje slijedećih problema:

- usvajanje mikrolokacije objekata, u smislu predložene od strane projektanta, i/ili prijedloga nove lokacije
- uslova fundiranja, dubinu i vrstu temelja, utvrđivanja dozvoljenog opterećenja i sljeganja podloge
- način iskopa temeljnih jama sa aspekta stabilnosti i zaštite temeljnih jama u toku iskopa
- stabilnosti stubova i konstrukcije u cjelini
- mogućnost korišćenja lokalnih materijala za gradnju, materijala iz iskopa i uslovi deponovanja viška materijala. Ovaj cilj može biti rješavan i kroz opšte ciljeve koji se odnose na trasu

U novije vrijeme, modernizacijom opreme i tehnologije izvođenja zemljanih radova, otvaraju se mogućnosti da se umjesto objekata na strmim padinama ili dubokim jarugama grade visoki nasipi, viši od 40,0 m, uglavnom na autoputevima. Takve alternative imaju prednosti kako u finansijskom smislu tako i u smislu povoljnosti izgradnje, održavanja objekta u toku eksploatacije a također i u smislu zaštite i očuvanja životne sredine. Da bi se donijela ispravna odluka o izgradnji nasipa umjesto objekta neophodno je da se detaljnim geotehničkim istraživanjima utvrde svi parametri koji definišu geološku sredinu do dubine uticaja nasipa. Prvenstveno se to odnosi na:

- stabilnost postojećih kosina
- svojstva tla, uključujući prisutnost i ponašanje podzemne vode u tlu i pokosu nasipa
- dozvoljena apsolutna i diferencijalna sljeganja krune nasipa u odnosu na zahtijevanu ravnost putnih i željezničkih konstrukcija
- dostupnost odgovarajućeg materijala za nasipe, količine i kvalitet materijala iz iskopa, udaljenost postojećih i potencijalnih lokacija za nasipne materijale

Kod odluke za izgradnju nasipa umjesto objekta neophodno je poznavanje i drugih faktora kao što su:

- smještaj objekta u odnosu na okolinu (postojeća naselja, mreža lokalnih puteva i mogućnost njihovog korištenja za dovoz nasipnog materijala)
- zahtjevi i potrebe lokalnog stanovništva za prolazima



- zahtjevi očuvanja životne sredine u smislu obezbjeđenja estetskih uslova i održanja ekosistema, u smislu obezbjeđenja prolaza za životinje
- lokalni klimatski uslovi i drugo

Navedene faktore o svojstvima i stanju geološke sredine i faktore o ostalim karakteristikama lokacije i njenog neposrednog okruženja potrebno je detaljno definisati, posebno za svaku lokaciju za koju se postavi pitanje da li izgradnja objekta ili nasipa.

#### **4. FAZE GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA**

Racionalan pristup za dobijanje podataka o sastavu tla i uslovima izgradnje objekata formirao je pravila geotehničke struke koja su potvrđena zakonskim okvirima, standardima, tehničkim propisima i evropskim normama (Eurokod 7, dio 1 i 2). U Republici Srpskoj i Federaciji BiH pristup i tok geotehničkih istraživanja regulisan je Smjernicama za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima), Sarajevo/Banja Luka, 2005).

Prema normama Eurokod 7, u odnosu na konstruktivne karakteristike objekta i geotehničke uslove u temeljnom tlu, utvrđeni su geotehnički razredi konstrukcija (3 razreda). Za svaki od razreda definisan je tok, obim i količina istražnih radova. Obzirom na konstruktivne elemente saobraćajnica višeg reda i željeznica, te obzirom na objekte u sklopu takvih linijskih objekata, geotehnička istraživanja potrebno je prilagoditi situaciji drugog i trećeg geotehničkog razreda.

Geotehnička istraživanja za objekte drugog i trećeg geotehničkog razreda, svode se na tri osnovne faze. To su:

- prethodna istraživanja
- glavna istraživanja
- dopunska istraživanja

Za sve tri faze istraživanja potrebno je vrste i količine istražnih radova planirati unapred tako da zadovolje fazu istraživanja i nivo projektovanja odnosno planiranja, za konkretan objekat. Planiranje istražnih radova za prethodna i dopunska istraživanja rade se kroz Program istraživanja, a za glavna istraživanja potrebno je uraditi Projekat geotehničkih istraživanja koji se reviduje. Nakon dobijanja revizione klauzule, istražni radovi mogu početi i provode se u skladu sa Projektom.

Osim navedenih osnovnih faza istražnih radova, veoma često kod magistralnih puteva, a redovno kod autoputeva i željeznica, provode se dodatne faze. To su:

- pretpripreme za istraživanja,
- tekuća istraživanja i
- kontrolna istraživanja

Faza pretpripreme za istraživanja provodi se u svrhu izrade konkursne dokumentacije za izvođenje prethodnih istraživanja.

Tekuća istraživanja vrše se za vrijeme izvođenja radova, na lokacijama na kojima, iz objektivnih razloga (nepristupačnost lokaciji, neopravdano visoka financijska ulaganja za izvođenje istraživanja i slično) nisu pribavljeni dovoljni i pouzdani geotehnički podaci o terenu koji će se angažovati za izgradnju. Takva istraživanja obavezna su za tunele i druge duboke iskope, a uslovno za izvođenje iskopa za temelje i slično.

Kontrolna istraživanja provode se u svrhu kontrole kvaliteta izvršenih radova ali i kontrole projektnih pretpostavki.

Potrebe za tekućim i kontrolnim istraživanjima utvrđuju se u tehničkoj dokumentaciji predmetnog objekta.

Interpretacija svake od navedenih faza istraživanja mora sadržavati sva saznanja koja su dobijena u prethodnim fazama, odnosno potrebno je uraditi analizu prethodnih podataka i izvršiti sintezu sa novo dobijenim.

Svaka od osnovnih i dodatnih faza geotehničkih istraživanja prethodi određenom nivou izrade tehničke dokumentacije. Naime, proces projektovanja površinskih saobraćajnica i željezničkih pruga odvija se u više nivoa izrade tehničke dokumentacije. U skladu sa Smjericama (**lit. br.X**) to su:

- studija varijantnih rješenja,
- idejni projekat,
- projekat za građevinsku dozvolu,
- projekat za konkurs,
- projekat za izvođenje i
- projekat izvedenog stanja

Prije izrade svakog od nivoa tehničke dokumentacije potrebno je izvesti određenu fazu geotehničkih istraživanja i obezbjediti takav nivo podataka o geotehničkim svojstvima tla na osnovu kojih će biti moguće izvršiti optimalan izbor svih projektnih rješenja, dovoljan za taj nivo projektovanja. Veza između faza geotehničkih istraživanja i nivoa izrade tehničke dokumentacije prikazana je u tabeli 1.

Tabela 1: Faze geotehničkih istraživanja u odnosu na nivo izrade tehničke dokumentacije

Faza geotehn. istraživanja	Nivo izrade tehničke dokumentacije	Svrha geotehničkih istraživanja
Pretpripremna istraživanja	Konkursna dokument. za prethodna istraživ.	Pribavljanje osnovnih podataka o geološkoj građi terena u granicama koridora predloženih varijantni trase (postojeća dokumentacija)
Prethodna istraživanja	Studija varijantnih rješenja	Generalno upoznavanje geološke građi terena (povoljnosti i ograničenja varijantnih rješenja) sa ciljem: <ul style="list-style-type: none"> <li>• donošenja odluke o najpovoljnijoj varijanti i o adekvatnosti lokacije planirane gradnje</li> <li>• izbora najadekvatnije vrste gradnje</li> <li>• utvrđivanja prethodnog plana za način izgradnje geotehničkih zahvata i temeljenje objekta</li> <li>• izrade Projekta glavnih istraživanja</li> </ul>

Glavna istraživanja	Idejni projekat	Dobijanje svih podataka o geotehničkim svojstvima tla neophodnih za projektovanje konstruktivnih elemenata trase puta i temeljenja objekata na trasi
Dopunska istraživanja	Projekat za građevinsku dozvolu Projekat za konkurs Projekat za izvođenje	Dopuna podataka o geotehničkim svojstvima tla dobijenih prethodnim i glavnim istraživanjima u slučaju da je: <ul style="list-style-type: none"> <li>• analiza do tada pribavljenih podataka pokazala njihovu nepouzdanosti ili nedostatke</li> <li>• izmjenjena dionica trase puta ili lokacija nekog od objekata</li> <li>• došlo do izmjene uslova na terenu (okruženje)</li> <li>• došlo do izmjena u građevinskom projektu (opterećenja, tehnološki postupci, faznost izvođenja radova i drugo), koje zahtjevaju dodatne geotehničke podatke</li> <li>• mikrolokacija planiranih istražnih radova bila nepristupačna u vrijeme izvođenja istraživanja</li> </ul>
Tekuća i kontrolna istraživanja	Periodični i završni izvještaji o rezultatima geotehn. istraživanja	Tekuća istraživanja (tuneli i duboki iskopi): <ul style="list-style-type: none"> <li>• provjera projektnih pretpostavki</li> <li>• usmjeravanje tehnologije iskopa</li> <li>• prijedlozi zaštite otvorenog iskopa</li> </ul>
	Projekat izvedenog stanja	Kontrolna istraživanja: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kontrola kvaliteta izvršenih radova na trasi puta i na objektima</li> </ul>
	Praćenja trase puta i/ili objekta sa prijedlogom mjera sanacije i programom daljnjeg praćenja	Provjera funkcionalnih sposobnosti trase puta i/ili pojedinih objekta Provjera svrsishodnosti projektovanih rješenja na lokacijama sanacionih zahvata Racionalan pristup sanaciji u slučaju da je to potrebno

## 5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA GEOTEHNIČKIH KARAKTERISTIKA TERENA U KORIDORU SAOBRAĆAJNICA

### 5.1. Uvodni dio

Metodologija geotehničkih istraživanja utvrđuje se u odnosu na postavljene opšte i posebne ciljeve odnosno zadatke i probleme koje je potrebno riješiti da bi se ciljevi ispunili. Činjenica je da je stepen detaljnosti postavljenih zadataka i problema prilagođena nivou projektovanja zbog čega su, pojedine osnovne faze istraživanja različite, uglavnom po količinama istražnih radova, a često i po vrstama. I pored toga, za sve faze geotehničkih istraživanja, metodološki pristup svodi se na slijedeće radove:

- proučavanje i analiza rezultata prethodnih radova
- terenska istraživanja
- laboratorijska ispitivanja
- izrada geotehničkih izvještaja

Navedeni metodološki pristup, primjenjuje se u svakoj fazi istraživanja a sve faze istraživanja predstavljaju jedinstvenu cjelinu u kojoj se, postepenim putem, rješava postavljeni zadatak, odnosno postepeno se dobivaju podaci o tlu kao prirodnoj konstrukciji i kao radnoj sredini. Metodologijom istraživanja, uz pravilan odabir metoda istraživanja, ponaosob u svakoj fazi i u svim fazama - kao cjelini, otvaraju se mogućnosti da se zadovolje osnovni principi geološkog – inženjerskogeološkog izučavanja terena koji se svode na slijedeće:

- postupnost u toku istraživanja što podrazumjeva postepena saznanja o terenu ali dovoljna za rješavanje problema postavljenog za određeni nivo projektovanja
- potpunost istraživanja što znači da se u granicama čitavog istražnog prostora (koridora trase ili koridora varijantnih prijedloga trasa) primjene takve metode istraživanja kojima će biti obuhvaćeni svi problemi vezani za karakteristike objekta i nivo projektovanja
- ravnomjernost u smislu pokrivenosti terena sa relevantnim podacima o terenu, u odnosu na objekat i nivo projektovanja što podrazumjeva da se na čitavom istražnom prostoru postigne isti stepen istraženosti. To ne znači istu gustinu istražnih radova nego podjednako poznavanje parametara o terenu kao geološkoj sredini i kao radnoj sredini. Ovo je veoma bitno za fazu prethodnih istraživanja čiji rezultati su podloga Studiji varijantnih rješenja i utiču na odabir i usvajanje trase saobraćajnice
- ekonomičnost što predstavlja svođenje na minimum materijalnih, finansijskih i vremenskih troškova uz potrebnu tačnost i pouzdanost podataka

Vrste i obim istražnih radova u svakoj pojedinoj fazi istraživanja proizilaze iz zadataka postavljenih fazom planiranja i projektovanja zbog čega svaka od osnovnih faza istraživanja ima specifične i konkretne zadatke i predstavlja cjelinu za sebe. Zbog toga je metodologija istraživanja, a samim tim i primjenjene metode, prilagođena fazi odnosno nivou geotehničkih istraživanja. Tako na primjer za niže nivoe projektovanja (Studija varijantnih rješenja, Idejna rješenja), metodologijom je naglasak dat na proučavanje i analizu rezultata prethodnih istraživanja, analizu aerosnimaka, a od terenskih radova glavnina istraživanja svodi se na prospekciju terena i geofizička ispitivanja. Za više nivoe projektovanja (Idejni projekat, Projekat za izvođenje), terenska istraživanja i laboratorijska ispitivanja čine najvažniji dio geotehničkih istraživanja.

Geotehnička istraživanja u različitim fazama planiranja i projektovanja ne razlikuju samo po količini radova nego i po vrsti, ciljevima i koncepciji istraživanja, a samim tim i po metodologiji i primjenjenim metodama. U narednim poglavljima prikazane su metodologije i osnovne metode za pojedine osnovne faze geotehničkih istraživanja.

## **5.2. Faza prethodnih geotehničkih istraživanja**

Faza prethodnih geotehničkih istraživanja izvodi se za potrebe izrade Studije varijantnih rješenja trase saobraćajnice ili Idejnog rješenja. Pri tome se vrši generalno upoznavanje geološke građe terena (povoljnosti i ograničenja varijantnih rješenja) sa ciljem:

- donošenja odluke o najpovoljnijoj varijanti i o adekvatnosti lokacije planirane gradnje

- izbora najadekvatnije vrste gradnje
- utvrđivanja prethodnog plana za način izgradnje geotehničkih zahvata i temeljenje objekta
- izrade Projekta glavnih istraživanja

U odnosu na postavljene ciljeve, metodološki pristup za realizaciju istražnih radova je slijedeći:

- proučavanje i analiza rezultata prethodnih radova
- terenska istraživanja
- laboratorijska ispitivanja
- izrada geotehničkih izvještaja i elaborata
- prijedlog za odabir najpovoljnije trase puta
- izrada Projekta glavnih geotehničkih istraživanja

**Proučavanje i analiza rezultata ranije provedenih geoloških istraživanja,** u fazi prethodnih istraživanja, su veoma bitni iz razloga što se analiziraju i interpretiraju sa aspekta geotehničkih svojstava terena, donosi se ocjena o njihovoj upotrebljivosti i, uz rezultate koji će se dobiti u fazi prethodnih istraživanja, predstavljaju osnov za projektovanje trase puta i objekata na trasi, za nivo Studije varijantnih rješenja. Metodologijom istraživanja obuhvaćeni su slijedeći kabinetski radovi:

- ***Pribavljanje potrebnih podloga o trasi saobraćajnog objekta i objektima u sastavu trase*** pri čemu je obavezno da dobijena dokumentacija (uzdužni presjek nivelete saobraćajnice i poprečni presjeci) predstavljaju zadnju verziju tehničkih rješenja
- ***Prikupljanje, proučavanje, odabir, sistematizacija, interpretacija i reinterpetacija rezultata prethodno izvedenih istraživanja*** sa ocjenom stepena istraženosti koridora i neposrednih područja koja su direktno ili indirektno uključena u prostor buduće saobraćajnice. U okviru radova ove tačke proučava se sva raspoloživa informaciono - dokumentaciona osnova vezana za geološke radove bez obzira za koje namjene su rađeni istražni radovi.
- ***Fotogeološka analiza aerosnimaka*** i interpretacija dobivenih rezultata pri čemu će se prostorno odrediti:
  - položaj tektonskih linija - rasjeda,
  - strukturno - tektonskih jedinica,
  - klizišta ( veće površine - ovisno o razmjeri aero snimaka),
  - pokrivenost i uslojenost terena
  - ostali morfološki i geološki oblici i pojave koji mogu imati uticaj na izgradnju objekta
- ***Formiranje kartografske osnove*** sa podacima prethodnih radova i fotogeološke analize. Odabrani rezultati prethodnih radova i rezultati fotogeološke analize prikazuju se na topografskim podlogama koje predstavljaju osnovni materijal za prospekciju terena.

**Terenska istraživanja** za fazu prethodnih istraživanja uglavnom su svedena na prospekciju terena te na rijetku mrežu bušenja i/ili iskopa istražnih jama

- ***Prospekcija terena*** obavlja se primjereno razmjeri karte, najčešće R 1:5000 do R 1:10000, maksimalno do nivoa R 1:25000 pri čemu se vrši provjera rezultata prethodnih istraživanja, prikazanih na karti i nadopuna sa relevantnim podacima o terenu vezanim za inženjerskogeološke i hidrogeološke karakteristike stjenskih masiva i za savremene inženjerskogeološke procese i pojave. To su osnovni podaci, neophodni za konačno opredjeljenje koridora puta (usvajanje vrijante).

Osnovni podaci koji se pribavljaju prospekcijom terena su:

- litološki sastav terena
- područja zamočvarena i stalno pod vodom
- aktivna i umirena klizišta te labilne padine
- područja zahvaćena linijskom i planarnom erozijom
- način pojavljivanja stijena
- podložnost mehaničkom i kemijskom trošenju stijena
- morfološki oblici koji imaju uticaja na izgradnju trase
- hidrogeološke pojave i hidrografska mreža
- speleološke pojave i okršenost terena
- svi ostali parametri značajni za odabir koridora puta

Prospekcijom terena uzimaju se i uzorci za laboratorijska ispitivanja na nepravilnim uzorcima (point load test - PLT).

- ***Bušenje geomehaničkih bušotina i/ili iskop istražnih jama*** izvodi se na dionicama za koje ne postoje podaci prethodnih istraživanja a koje su, u smislu izgradnje objekta, prospekcijom terena, procjenjene kao kritične tačke. Mreža bušotina i/ili istražnih jama je veoma rijetka – prospektorskog tipa, dubine do koje se procijeni uticaj objekta.

Bušenje geomehaničkih bušotina izvodi se i na lokacijama objekata i to najmanje po jedna bušotina na početku i na kraju objekta.

Iz bušotina i jama, nakon kartiranja jezgra i jame, uzimaju se uzorci za laboratorijska ispitivanja a u bušotinama se rade opiti standardne penetracije (SPT) i mjeri se nivo podzemne vode.

- ***Geofizička istraživanja*** izvode se uglavnom na lokacijama tunela. Ukoliko je koridor trase puta loše ili potpuno nepokriven rezultatima prethodnih istraživanja, ili nema otvorenih profila a pokrivenost rastinjem i humuziranim dijelom tla je velika, tada se također rade geofizička istraživanja. Metode koje se najčešće primjenjuju su:
  - seizmičke (refraciona seizmika) i
  - geoelektrične (geoelektrično profiliranje na tunnelskom dijelu terena, geoelektrična tomografija, posebno kod glinovitih slojeva)

Dobiveni podaci u korelaciji sa rezultatima kartiranja terena i izvođenja istražnih radova koriste se za određivanje (nivo prognoze):

- granica litoloških članova u zoni tunela
  - granica između tla i čvrste stijenske mase
  - strukturno-tektonskih karakteristika terena
  - hidrogeoloških karakteristika
  - dinamičkih parametara stijenske mase
  - dubine po kojoj se vrši kretanje masa, kao što je klizanje
- **Laboratorijska ispitivanja** u toku realizacije faze prethodnih istraživanja programiraju se tako da se za svaki očekivani litološki član dobiju podaci o:
    - zemljanim materijalima:
      - identifikaciona ispitivanja (klasifikacija)
      - određivanje zapreminske težine
      - ispitivanja parametara čvrstoće
      - ispitivanja krutosti
      - ispitivanja vodopropusnosti
      - ispitivanja upotrebljivosti za nasipe
      - osnovna hemijska ispitivanja zemljanih materijala
    - stjenovitoj podlozi
      - klasifikacija i identifikacija stijena (petrografska i mineraloška ispitivanja)
      - ispitivanja parametara čvrstoće
      - ispitivanja sposobnosti bubrenja
      - ispitivanja krutosti
      - ispitivanja upotrebljivosti stjenovitih materijala za preradu u kameni agregat
      - ispitivanja upotrebljivosti za nasipe

Ukoliko nije moguće obezbjediti dovoljan broj uzoraka za laboratorijska ispitivanja (zbog rijetke mreže bušotina i/ili istražnih jama te zbog nepostojanja otvorenih profila ili nepristupačnosti terena u ovoj fazi istraživanja, tada se podaci o parametrima tla i stijena daju iskustveno i literaturno. Takvi podaci moraju biti jasno obilježeni i detaljno obrazloženi.

U okviru laboratorijskih ispitivanja, potrebno je u fazi prethodnih istraživanja uraditi i određena geološka ispitivanja, prvenstveno:

- paleontološka
- stratigrafska
- sedimentološka

Također je programom laboratorijskih ispitivanja potrebno predvidjeti hemijska ispitivanja tla i vode sa aspekta zaštite životne sredine. Takva ispitivanja svode se na dobijanje parametara o:

- prisustvu organskih materija
- pH vrednosti
- prisustvu sulfata u zemlji i podzemnoj vodi
- prisustvu hlorida
- prisustvu karbonata

- ***Izrada geotehničkih elaborata*** bazirana je na sintezi rezultata dobijenih proučavanjem I analizom postojeće geološke dokumentacije o terenu sa rezultatima terenskih i laboratorijskih istraživanja i ispitivanja novo provedenih (faza prethodnih istraživanja). Geotehnički elaborati formiraju se na slijedeći način:
  - Geotehnički elaborat za otvorenu trasu
    - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu saobraćajnice (faza prethodnih istraživanja)
    - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase saobraćajnice (faza prethodnih istraživanja)
  - Geotehnički elaborat za objekte
    - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za objekte (faza prethodnih istraživanja)
    - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata u sastavu saobraćajnice (faza prethodnih istraživanja)

Ovdje je potrebno naglasiti da se navedeni Elaborati za objekte na trasi mogu dati pojedinačno ili zbirno, po vrsti objekata i njihovoj dužini (mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, propusti), što ovisi o zahtjevima projektanta.

Svi Elaborati su formirani tako da sadrže tekstualni i grafički dio kao i dokumentacioni materijal o izvedenim istražnim radovima i laboratorijskim ispitivanjima (tabele, dijagrami, standardizovani zapisi i drugo).

Kao zaseban elaborat o objektima na trasi daje se Elaborat za tunele i to:

- Geotehnički elaborat za tunel
  - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za tunel (faza prethodnih istraživanja)
  - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje tunela (faza prethodnih istraživanja)

Obzirom da predmet referata nisu podzemni objekti na trasama saobraćajnica, ovdje se neće posebno razmatrati.

***U elaboratima o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu i objekte*** prikazuje se analiza i obrada rezultata istraživanja na takav način da predstavljaju osnov za definisanje geotehničkog modela terena do dubina do kojih se očekuju uticaji planiranih konstruktivnih elemenata saobraćajnice i objekata na tlo.

*U Elaboratu o geotehničkim istraživanjima za otvorenu trasu,* prikazuju se slijedeći rezultati:

- rezultati istraživanja u odnosu na: morfološke karakteristike terena, geološku građu, inženjerskogeološke, hidrogeološke te seizmičke karakteristike sa mjerodavnim podacima na osnovu kojih su utvrđene navedene karakteristike



- rezultati terenskih opita, geofizičkih i laboratorijskih ispitivanja (vrijednosti fizičko – mehaničkih parametara tla i stijena, u granicama dobijenim ispitivanjima)
- analiza rezultata ispitivanja fizičko – mehaničkih karakteristika tla i stijena sa prijedlogom karakterističnih (usvojenih) vrijednosti
- prikaz izdvojenih geotehničkih sredina, do nivoa litoloških članova, i njihova svojstva, u okviru prirodne konstrukcije terena
- prikaz kritičnih dionica duž trase saobraćajnice u odnosu na:
  - stabilnost terena u prirodnim uslovima i uslovima izvođenja radova (klizišta – aktivna i umirena, labilne padine, sipari, odroni, erozija, podzemni karstni oblici)
  - stabilnost terena obzirom na slabo nosiva tla
  - karakteristike terena u odnosu na podložnost poplavama i mogućnosti odvodnjavanja
  - zauzetost terena u odnosu na prirodne i stvorene uslove (zaštitne zone izvorišta vode za piće i termomineralnih voda, eksploataciona polja mineralnih sirovina, zaštićena prirodna i kulturna dobra, deponije komunalnog otpada)

*Grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
- inženjerskogeološka karta trase saobraćajnice u širini koridora od oko 200 – 400 m
- prognozni podužni geotehnički presjek terena
- karakteristični poprečni geotehnički presjeci terena (nasipi, usjeci, zasjeci, zamočvareni i slabo nosivi tereni, nivo prognozni)
- prognozni poprečni presjeci trase saobraćajnice i terena na lokacijama nestabilnih padina (klizišta, odroni)

*U Elaboratu o rezultatima geotehničkih istraživanja na lokaciji objekta prikazuju se slijedeći rezultati:*

- rezultati istraživanja u odnosu na: morfološke karakteristike terena, geološku građu, inženjerskogeološke, hidrogeološke te seizmičke karakteristike sa mjerodavnim podacima na osnovu kojih su utvrđene navedene karakteristike
- rezultati terenskih opita, geofizičkih i laboratorijskih ispitivanja (vrijednosti fizičko – mehaničkih parametara tla i stijena, u granicama dobijenim ispitivanjima)
- analiza rezultata ispitivanja fizičko – mehaničkih karakteristika tla i stijena sa prijedlogom karakterističnih (usvojenih) vrijednosti
- prikaz izdvojenih geotehničkih sredina i njihova svojstva, u okviru prirodne konstrukcije terena na lokaciji objekta

*Grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata te sa posebnom naznakom predmetnog objekta
- inženjerskogeološka karta šireg područja lokacije
- prognozne podužne i poprečne geotehničke presjeke terena na lokaciji objekta

**Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase i objekata na trasi saobraćajnice** poziva se na elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja i sadrži pretpostavke, podatke, računске metode i rezultate provjere sigurnosti i upotrebljivosti.

- *Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase* uglavnom sadrži slijedeće:
  - opis geotehničkih uslova tla
  - opis projektovanih konstruktivnih elemenata trase (trasa položena na teren, nasipi, usjeci, zasjeci)
  - prognozne geotehničke zone (rejone) duž saobraćajnice i prognozne geotehničke modele terena za svaku zonu, sa parametrima za geostatičke proračune
  - uslovi izgradnje nasipa (priprema podtla nasipa, ugradnja materijala)
  - geostatičke analize stabilnosti nasipa na prolom tla i konsolidaciona sleganja tla na karakterističnim presjecima
  - geotehničke uslove izgradnje nasipa na slabo nosivom tlu sa prijedlogom mjera sanacije
  - uslovi iskopa usjeka i zasjeka
  - geostatičke analize stabilnosti usjeka i zasjeka, geometrija kosina
  - prijedlog zaštite od erozije
  
- *Obavezni grafički prilozi Elaborata* su:
  - situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
  - inženjerskogeološka karta trase saobraćajnice u širini koridora od oko 200 – 400 m
  - prognozni podužni geotehnički presjek terena po osi trase sa izdvojenim geotehničkim zonama
  - prognozni karakteristični poprečni geotehnički presjeci terena
  - prognozni presjeci terena na lokacijama nestabilnih padina (klizišta, odroni) za koje su vršeni geostatički proračuni
  
- *Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata na trasi saobraćajnice* načelno sadrži sledeće:
  - opis lokacije i njenog okruženja
  - opis geotehničkih uslova tla
  - opis projektovane konstrukcije, zajedno sa opterećenjima
  - geotehnički model terena sa parametrima izdvojenih litoloških članova
  - odgovarajuće geostatičke analize, prijedlog rješenja temelja
  - dokaz stabilnosti temelja u odnosu na lom tla i dopuštena sljeganja
  - uslovi iskopa temeljnih jama, pripreme podtla temelja, zatvaranja iskopa
  - varijanta fundiranja objekata na šipovima sa dokazom stabilnosti temelja u odnosu na lom tla i dopuštena sljeganja
  - preporuke za izvođenje temeljenja objekata
  - komentar o pogodnosti lokacije u odnosu na predlaganu konstrukciju i nivo prihvatljivog rizika
  
- *Obavezni grafički prilozi Elaborata* su:
  - situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
  - inženjerskogeološka karta u zoni objekta

- prognozni geotehnički presjeci terena sa prijedlogom temeljenja

Uz navedene obavezne grafičke priloge, u Elaborat se prilažu i drugi prilozi kojima se prikazuju rješenja specifična samo za tu lokaciju (napr. prijedlog drugačijeg prelaza preko rijeke, jaruge ili postojeće saobraćajnice, i sl.).

U elaboratu o rezultatima istraživanja za otvorenu trasu saobraćajnice, ali u posebnim poglavljima, daje se prikaz rezultata istraživanja o:

- upotrebljivosti materijala iz iskopa za izgradnju nasipa, potencijalnim lokacijama pozajmišta materijala i o lokacijama za deponovanje viška materijala
- uticaju planirane saobraćajnice i objekata na tlo i podzemnu vodu, u toku izgradnje i eksploatacije, sa aspekta zaštite životne sredine
- ***Upotrebljivost materijala iz iskopa za izgradnju nasipa kao i potencijalne lokacije pozajmišta materijala***, za nivo prethodnih istraživanja, izučavaju se i istražuju na prospektorskom nivou čiju upotrebljivost je neophodno dokazati laboratorijskim ispitivanjima. Količine se ocjenjuju na osnovu rijetke mreže terenskog profiliranja. Također je u istom poglavlju potrebno dati prijedlog lokacija za deponovanje viška materijala iz iskopa.

Grafički prilozi su situaciona karta lokacija u razmjeri max. R 1.50000, najčešće R 1.25000. i prognozni geološki profil pozajmišta. Dokumentacioni prilozi su zapisnici, tabele i dijagrami laboratorijskih ispitivanja.

- ***Uticaj planiranih objekata na tlo i podzemnu vodu, sa aspekta zaštite životne sredine***, također se proučavaju na prospektorskom nivou i to samo za tlo, podzemnu i površinsku vodu. Pri tome je obavezno predložiti mjere zaštite u toku izgradnje i eksploatacije objekta a naročito u slučaju havarije. Parametre nultog mjerenja, prije početka izgradnje objekta, obezbjeđuju se hemijskim ispitivanjima vode i tla.
- ***Uticaj na floru i faunu i zaštitu karakterističnih vrsta*** definisanih u crvenoj knjizi, zaštitu kulturno – prirodnih dobara, zatim uticaj na ambijentalne karakteristike u smislu stvaranja udobnijeg pogleda na okolinu, a posebno uticaj na kretanja životinja u prostoru koji su ranije koristile, analiziraju se i izučavaju u Studiji procjene uticaja na životnu sredinu, čija izrada je obavezujuća, propisana zakonskim odredbama, i koja predstavlja sastavni dio ukupne tehničke dokumentacije objekta.

***Prijedlog usvajanja jedne od varijanti trase saobraćajnice*** radi se nakon detaljne analize rezultata prethodne geotehničke faze istraživanja. Za odabir jednog od varijantnih rješenja, detaljno se analiziraju svi parametri koji definišu pogodnosti i ograničenja terena kao prirodne konstrukcije, radne i životne sredine. Također je veoma bitno izvršiti i analizu potencijalnih lokacija prirodnih građevinskih materijala u odnosu na njihovu udaljenost od trase, kvalitet materijala i količine a nije zanemarljiv problem rješavanja imovinsko – pravnih odnosa. Za odabranu varijantu radi se Projekat glavnih (detaljnih) geotehničkih istraživanja.

***Projekat glavnih geotehničkih istraživanja*** (detaljna istraživanja) radi se za nivo Idejnog projekta, nakon usvajanja varijante saobraćajnice. Projekat se radi na bazi rezultata prethodnih istraživanja a u odnosu na postavljene zadatke i probleme, Projektom se utvrđuju koncepcija i

metodologija istraživanja, planiraju se vrste i obim istražnih radova, daju se tehnički uslovi njihovog izvođenja kao i ekonomska opravdanost takvih istraživanja.

Ukoliko nisu rađena prethodna istraživanja a fond podataka o terenu nije dovoljan za izradu projekta glavnih geotehničkih istraživanja, bilo u pogledu detaljnosti, kvalitete ili ravnomjerne raspoređenosti podataka unutar svih varijantnih prijedloga, tada je neophodno uraditi prospektorska istraživanja koja ne znače samo obilazak i upoznavanje sa terenom i položajem trase u terenu nego podrazumjevaju kartiranje terena (rjeđa mreža profila), geofizička ispitivanja, izradu raskopa i istražnih jama pa čak i bušenje na, kartiranjem utvrđenim, kritičnim lokacijama. Na osnovu rezultata prospektorskog istraživanja radi se projekat glavnih geotehničkih istraživanja.

U Republici Srpskoj i Federaciji BiH često se ne radi faza prethodnih istraživanja pa čak ni prospektorskih nego se odmah vrše istraživanja za nivo Idejnog projekta. Istraživanja se provode na bazi Programa istraživanja a ne Projekta istraživanja. Obarazloženja su vezana za finansijska sredstva, ne uzimajući u obzir veličinu rizika štete koja pri tome može nastati. Kada nastane onda su finansijska ulaganja daleko veća nego sva istraživanja, ne računajući faktor vremena. Osim toga, više relevantnih podataka o terenu kao radnoj sredini, pribavljenih u fazi prethodnih istraživanja, garantuje dobro, svrsishodno i ekonomično urađen Projekat (Program) istraživanja prema kojemu se izvode istražni radovi za potrebe izrade Idejnog projekta.

Obaveza izrade Projekta detaljnih geoloških istraživanja regulisana je zakonskim propisima, a njegov sadržaj podzakonskim aktima. Obaveza izrade Projekta glavnih (detaljnih) geotehničkih istraživanja za saobraćajnice, na nivou Bosne i Hercegovine regulisana je Smjericama za izradu autoputeva i puteva, koje su usvojene u parlamentima entiteta i predstavljaju dokument sa zakonskom snagom.

### **5.3. Faza glavnih geotehničkih istraživanja**

Faza glavnih geotehničkih istraživanja izvodi se za nivo Idejnog projekta i nastavak su istražnih radova izvedenih u fazi prethodnih istraživanja odnosno za nivo Studije varijantnih rješenja. Zapravo, istraživanja u fazi glavnih istraživanja čine cjelinu sa istraživanjima u fazi prethodnih istražnih radova. Ne smije se dogoditi da rezultati faze glavnih istraživanja budu u suprotnosti sa rezultatima dobijenim u prethodnoj fazi. U ovoj fazi istraživanja podrazumjeva se da je izabrana najoptimalnija trasa puta te se sva istraživanja vrše na terenu u granicama koridora, koji će biti angažovan za izgradnju saobraćajnice.

Iznimno se istraživanja provode i izvan početnog projektovanog koridora trase ako se prethodnim istraživanjima utvrdi da je to neophodno iz razloga što problem koji treba riješiti zahvaća šire područje. Takav slučaj najčešće se pojavljuje na nestabilnim padinama (aktivna klizišta, odroni, linijska erozija i sl.) te se, radi cjelovitosti rješavanja problema i prijedloga sanacionih zahvata, istražni radovi projektuju na čitavoj padini ili dijelu padine za koji se procjeni da postoji visok rizik ugrožavanja budućeg objekta.

Osnovni cilj ove faze istraživanja je dobijanje svih kvalitativnih podataka o geotehničkim svojstvima tla, neophodnih za projektovanje i građenje saobraćajnica, proračun i dimenzionisanje kako njenih konstruktivnih elemenata (nasipi, usjeci, zasjeci) tako i temeljenja objekata na trasi saobraćajnice. Istraživanja se izvode po revidovanom Projektu detaljnih geotehničkih istraživanja.

Metodologija istraživanja utvrđena je u odnosu na osnovne ciljeve istraživanja odnosno na osnovne probleme i zadatke koje treba riješiti da bi se ciljevi ostvarili, a to su:

- optimalna rješenja za provođenje puta i željezničke pruge projektovanom trasom
- uslovi i način provođenja puta preko nestabilnih i malo nosivih terena
- uslovi i način temeljenja mostova i drugih objekata u sastavu saobraćajnice
- uslovi i način izgradnje nasipa, usjeka i zasjeka
- uslovi izgradnje nasipa na prelazu za most
- prijedlog mjera stabilizacije nestabilnih padina u prirodnim uslovima i uslovima zasijecanja
- prijedlog mjera stabilizacije kosina nasipa, usjeka i zasjeka
- izbor načina građenja i tipa tunelskih konstrukcija
- obezbjeđenje lokalnih geološko – građevinskih materijala
- prijedlog mjera zaštite životne sredine u uslovima izgradnje i eksploatacije
- prijedlog detaljnog plana nadzora i monitoringa u toku izgradnje i eksploatacije

Za rješavanje navedenih problema i zadataka neophodno je izvršiti detaljna istraživanja i ispitivanja čiji rezultati predstavljaju dio tehničke dokumentacije objekta u kojoj se razrađuju sva rješenja pojedinih cjelina kao što su: otvorena trasa saobraćajnice, nasipi, usjeci, zasjeci, temeljenje objekata, sanacija nestabilnosti, melioracijski zahvati i drugo.

Koncepcijski, geotehnička istraživanja u okvirima ove faze radova podjeljena su na:

- istraživanja na otvorenoj trasi puta
- istraživanja na kritičnim dionicama puta (tereni na kojima su razvijeni ili su potencijalni za razvoj savremenih egzogenih procesa i pojava: klizišta aktivna i umirena, labilne padine, linijska i planarna erozija, odroni, sipari, slabo nosivi tereni, tereni podložni poplavlavama i drugo)
- istraživanja na lokacijama objekata
- istraživanja na lokacijama tunela
- istraživanja na lokacijama materijala za nasipe, za sve konstruktivne dijelove nasipa, bilo da se radi o materijalu iz iskopa ili novo utvrđenim pozajmištima

U odnosu na postavljene ciljeve, odnosno probleme i zadatke koje treba riješiti, te koncepciju istraživanja, metodološki pristup za realizaciju istražnih radova glavne faze istraživanja je slijedeći:

- analiza rezultata prethodnih istražnih radova

- terenska istraživanja
- laboratorijska ispitivanja
- izrada geotehničkih elaborata
- prijedlog plana nadzora i monitoringa tokom izvođenja i eksploatacije objekta
- izrada izvještaja o pozajmištima materijala za nasipe

Koncepcijski i metodološki pristup istraživanja trebaju se realizirati u skladu sa osnovnim principima geološkog – inženjerskogeološkog istraživanja: postupnost, potpunost, ravnomjernost i ekonomičnost čije pojedinačne osnovne postavke su navedene u uvodnom dijelu tačke 5.

**Analiza rezultata prethodnih istražnih radova**, metodologijom istraživanja, utvrđena je kao početak istražnih radova u fazi glavnih geotehničkih istraživanja. Ukoliko je rađena faza prethodnih istraživanja i urađen Projekat detaljnih geotehničkih istraživanja, tada se analiza rezultata svodi na detaljno upoznavanje geotehničkih karakteristika terena, njegove mogućnosti i ograničenja koja su utvrđena u okviru faze prethodnih istraživanja, a koja treba riješiti projektovanim radovima u fazi glavnih istraživanja, za nivo Idejnog projekta saobraćajnice i objekata.

Kako je napred naglašeno, u praksi se veoma često ne izvodi faza prethodnih geotehničkih istraživanja a istražni radovi često se izvode po Programu a ne po Projektu istraživanja, kako je to regulisano zakonskim odredbama i Smjernicama. U tom slučaju, analiza prethodnih radova je daleko opsežnija jer se na osnovu prikupljene, proučene i analizirane dokumentacije programiraju detaljna istraživanja. Radovi koje je u takvim slučajevima potrebno izvršiti su:

- ***Prikupljanje, proučavanje, odabir, sistematizaciju, interpretaciju i reinterpetaciju rezultata svih ranije izvedenih istražnih radova*** kako u koridoru trase tako i za kontaktna područja koja su direktno ili indirektno uključena u rješavanje problema vezanih za projektovanje i izgradnju budućeg objekta. U okviru radova ove tačke proučava se sva raspoloživa informaciono - dokumentaciona osnova vezana za geološke radove bez obzira za koje namjene su rađeni istražni radovi.
- ***Dati ocjenu stepena istraženosti terena*** u odnosu na probleme i zadatke koje treba riješiti u fazi glavnih geotehničkih istraživanja. Ovdje je jako bitno utvrditi ravnomjernost u pogledu pokrivenosti ranijim istražnim radovima ali ne u smislu gustine istražnih radova već u smislu valjanosti i primjenjivosti rezultata u rješavanju problema i zadataka ove faze
- ***Fotogeološku analizu aerosnimaka*** i interpretaciju dobivenih rezultata pri čemu će se prostorno odrediti:
  - položaj tektonskih linija - rasjeda,
  - strukturno - tektonskih jedinica,
  - klizišta ( veće površine - ovisno o razmjeri aero snimaka),
  - pokrivenost i uslojenost terena

- ostali morfološki i geološki oblici i pojave koji mogu imati uticaj na izgradnju objekta
- **Formiranje kartografske osnove** sa podacima prethodnih radova i fotogeološke analize. Odabrani rezultati prethodnih radova, uključujući i osnovna geološka, inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja, i rezultati fotogeološke analize prikazuju se na adekvatnim kartama R 1:10000 do R 1:5000 ili planovima razmjere R 1:2500 do R 1:1000 koje predstavljaju osnovni materijal za prospekciju terena ili detaljno inženjerskogeološko kartiranje, ovisno o tome da li se istraživanja ove faze provode po Programu ili po Projektu istraživanja.

**Terenska istraživanja** i metode istraživanja u fazi detaljnih - glavnih istraživanja, koncipiraju se u odnosu na detaljan sadržaj zadataka istraživanja. Osnovne i nezaobilazne metode istraživanja u okviru terenskih istraživanja su:

- detaljno geološko, inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje u koridoru trase saobraćajnice, po potrebi i šire
- geofizička ispitivanja
- istražno bušenje, ispitivanja u bušotinama i na jezgru bušenja
- ugradnja pijezo konstrukcije u bušotine i osmatranje nivoa podzemnih voda
- ugradnja inklinometarskih konstrukcija na lokacijama klizišta
- izrada zasjeka, raskopa, potkopa ili drugih otvorenih zahvata
- **Detaljno geološko, inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje terena** obuhvata kartiranje terena duž trase saobraćajnica i na mjestima planiranih objekata. Površina obuhvaćena kartiranjem zavisi od složenosti terena i prisustva geodinamičkih procesa, obično u širini 200 – 400 m. Detaljnost istraživanja zavisi od razmjere karata na kojim se prikazuju podaci, a kreće se između 1:2500 do 1:5000 za pojas širine 200 – 400 m. U složenijim terenima gdje se registruje veći broj podataka, a prikazuje pojas širine 100 – 200 m, razmjera karata može biti 1:1000, posebno ako se se trasa dijeli na više kraćih dionica

Kartiranje terena, ako nije rađena faza prethodnih istraživanja, a utvrđeni stepen istraženosti terena je nedovoljan za programiranje detaljnih istraživanja, provodi se u dvije faze. U prvoj fazi, kartiranje se izvodi na nivou prospekcije, sa rijetkom mrežom profiliranja i uzimanjem manjeg broja uzoraka za laboratorijska ispitivanja. Istražni prostor za prospektorsko kartiranje terena je daleko širi nego što je koridor trase iz razloga što je potrebno registrirati otvorene profile u terenu i rezultate njihovog kartiranja, analogijom uklopiti u teren koridora. Na određenim lokacijama potrebno je uključiti i geofizička ispitivanja, a za čitav istražni prostor, neophodno je izvršiti analizu aero snimaka. Sintezom rezultata svih istražnih radova, programiraju se detaljna geotehnička istraživanja, po kojem se izvode sva daljnja istraživanja.

Ulazni podaci za detaljno geološko, inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje terena su rezultati prethodnih istraživanja koji se provjeravaju i nadopunjuju na terenu.

Detaljno kartiranje terena izvodi se po standardima za izradu inženjerskogeološke karte dogovarajuće razmjere i po tehničkim uslovima iz Projekta istraživanja.

Kartiranjem terena utvrđuje se:

- geomorfološki elementi terena (osnovne odnosno pojedinačne pojave)
- prostiranje stjenskih masa
- njihova strukturna i stratigrafska obilježja
- njihova starost, geneza, litologija
- mehanička i /ili hemijska oštećenost i izmjenjenost stjenske mase,
- karakteristike ispucalosti
- područja padinskih procesa (veličina, stepen aktivnosti, aktivna i potencijalna područja)
- prostorni položaj hidrogeoloških kolektora i izolatora
- dubina do nivoa izdani i zona njenog kolebanja
- izvori, ponori, stalne i povremene površinske tokove
- područja podložna plavljenju
- podaci o tehnogenoj aktivnosti (iskopi, nasipi, deponije, sanacioni zahvati)

Rezultati IG i HG kartiranja prikazuju se na inženjerskogeološkoj karti na kojoj se prikazuju i svi ostali faktori geološke sredine koji imaju uticaja na projektna rješenja saobraćajnice i objekata.

- **Geofizička istraživanja**, provode se kao dopunska istraživanja u cilju sagledavanja prostornog rasporeda inženjerskogeoloških jedinica i karakteristika stjenskih masa. Dobiveni podaci se korelišu sa podacima geoloških istraživanja, prvenstveno podacima iz istražnih bušotina. Primjenjuju se seizmičke i geoelektrične metode ispitivanja.

Seizmičke metode vezane su uglavnom za plitku refrakcijsku seizmiku, a po potrebi se koriste i crosshole ispitivanja, obzirom da daju najtačnije podatke o modulima elastičnosti u geološkim formacijama između bušotina.

Geoelektrična ispitivanja prilagođavaju se geološkoj građi terena, posebno u dijelu podloge objekata za koje se ispitivanja vrše. U nevezanim i slabovezanim stijenama primjenjuje se geoelektrična tomografija čiji se rezultati koriste u korelaciji sa bušotinama za određivanje različitih slojeva tla.

- **Istražno bušenje, ispitivanja u bušotinama i na jezgru bušenja** izvode se dužinom koridora projektovane trase saobraćajnice, na lokacijama nasipa, usjeka, zasjeka, objekata i lokacija nestabilnih padina. Lokacije istražnih bušotina projektuju se u odnosu na probleme koje treba riješiti a ne na ravnomjeren raspored, pri čemu je neophodno zadovoljiti osnovni princip a to je da se, uz minimalan obim bušenja, optimalan raspored, dubinu i tehničke uslove njihovog izvođenja, obezbjedi potreban stepen istraženosti terena.

*Minimalni zahtjevi za razmak bušotina i njihovu dubinu* predložen je u Eurokodu 7 – 2, dodatak B.

U dijelu terena gdje se planira izrada nasipa, razmak između istražnih bušotina je 100–200 m. a ako se nasip formira na slabo nosivom terenu tada je razmak manji. Dubina



ispitivanja zavisi od očekivane veličine slijeganja te se bušenje izvodi do dubine ispod koje su slijeganja manja od 10% ukupno očekivanih.

Na lokacijama usjeka i zasjeka bušotine se postavljaju u poprečni profil na kosinu usjeka i zasjeka a dubina bušenja treba da je 2,0 m ispod dna usjeka.

Za mostove, nadvožnjake i podvožnjake bušotina izvodi se ispod svakog stubnog mjesta. Za ostale objekte, kao što su potporni zidovi ili prateći turističko-poslovni objekti uz trasu saobraćajnica, istražne bušotine postavljaju se na rastojanju 20,0 – 40,0 m.

*Dubina istraživanja* vezana je za vrstu objekata. Za tačkaste i trakaste temelje ispitivanja se vrše do dubine koja iznosi od 1 – 3 puta širine temelja, ispod kote temeljenja. Neki tehnički propisi zahtijevaju da minimalna dubina bude 6,0 m ispod kote temeljenja, ukoliko se prethodno ne pojavi čvrsta stijena. Za temeljnu ploču minimalna dubina istraživanja jednaka je širini ploče, ako prethodno nije registrovana čvrsta stijena.

Temeljenje na šipovima zahtijeva istraživanje terena minimalno pet prečnika šipa, ispod dna šipa. Kod grupe šipova minimalna dubina ispitivanja ispod kote temeljenja je vezana za dvije dimenzije pravougaonika koga čine šipovi u grupi.

*Ispitivanja u bušotima* također su dio terenskih istražnih radova i obuhvataju: penetraciona i presiometarska ispitivanja, zavisno od vrste stijena. Penetraciona ispitivanja vezana su za nevezane i slabovezane stijene i najčešće se primjenjuju standardni penetracioni opit (SPT) i opit krilnom sondom.

Presiometarska ispitivanja vezana za slabovezane, polučvrste i čvrste stijene. Mjeri se deformabilnost pri čemu se za slabovezane glinovite stijene primjenjuje opit dilatometrom, dok se za polučvrste i čvrste stijene koristi opit presiometrom.

Penetraciona ispitivanja izvode se i sa površine terena, do maksimalne dubine oko 20,0 m ili do čvrste stijene. Najčešće se primjenjuje opit statičke penetracije (CPT i CPTU), a kao zamjenski opit koristiti se dinamički penetracioni opit (DPM). Ovi penetracioni opiti nemogu u potpunosti zamijeniti istražne bušotine, ali mogu smanjiti njihov broj. Takođe, primjenjuju se na terenima gdje je otežan pristup za istražno bušenje. Dobiveni podaci korelišu se sa podacima istražnog bušenja.

Tokom istražnog bušenja, u bušotinama se izvode određeni opiti čiji rezultati daju podatke o hidrogeološkim karakteristikama stjenkog masiva. Najčešće se određuju filtracione karakteristike stijena, primjenom određenih metoda u zavisnosti od vrste stijena i stepena ispucalosti. U stijenama pukotinske i pukotinsko-karstne poroznosti, za ispitivanje filtracionih karakteristika, najčešće se primjenjuje metod stupnjevito utiskivanja vode u bušotinu, metod Lugeon-a. Ukoliko su prisutne stijene intergranularne poroznosti, kao što su pjeskovite, pjeskovito-šljunkovite ili glinovite, primjenjuje se metoda Lefranc-a.

Najsloženiji objekti na trasi linijskih objekata su mostovi. U zavisnosti od geološke građe mogu biti pliće ili dublje fundirani, primjenjujući različite metode temeljenja. Iz tih razloga u fazi osnovnih istraživanja gdje se dobije najviše podataka, neohodno je definisati:

- hidrogeološke karakteristike i funkcije stijena na terenu,
- postojanje jednog ili više vodonosnih horizonata i njihova međusobna povezanost ili veza za riječnim tokom,
- režim podzemnih voda,
- položaj i pravac kretanja podzemnih voda u odnosu na temeljne iskope,
- veličinu pritiska u propusnim slojevima,
- prihranjivanje i količinu dotoka u temeljne jame,
- agresivnost voda na građevinske materijale,
- pojave tečnih masa u temeljnim jamama, kao što su muljevi ili prašinsto pjeskoviti sedimenti.

*Ispitivanja jezgra bušotina* veoma su bitna metoda ispitivanja preko koje se dobiju značajni kvantitativni i kvalitativni podaci o stanju i svojstvima tla i stijena. Podaci koji se dobiju neposrednim opažanjem (inženjerskogeološkim kartiranjem) su:

- litološki sastav i struktura sjenske mase
- zona kolebanja nivoa podzemne vode – prognozno
- slojevitost, škriljavost
- učestalost, nagib i oblik zidova pukotina
- procjena stepena mehaničke oštećenosti i hemijske izmjenjenosti stijenske mase
- površine klizanja

Nakon vizuelnog ispitivanja izdvajaju se zone približno homogenih fizičko – mehaničkih svojstava i iz svake takve zone uzimaju se uzorci za detaljna laboratorijska ispitivanja.

Kartiranje jezgra bušotina čvrstih stijena daje poseban značaj pukotinama. Određuje se smjer i ugao pada, razmak među pukotinama istog sistema, kontinuitet pružanja, zijeve, hrapavost površina, čvrstoća stijenci i ispune, karakter ispune, familije i sistemi diskontinuiteta, broj pukotina na jedinici površine, zatim RQD i čvrstoća Schmidt-ovim čekićem. Procjena čvrstoće po ravnima pukotina i parametri čvrstoće pukotinske ispune određuju se prema preporuci ISRM-a.

- **Ugradnja pijezo konstrukcije u bušotine i osmatranje nivoa podzemnih voda** izvodi se na odabranim lokacijama bušotina u kojima je utvrđen visok nivo podzemne vode ili je procjenjeno da su oscilacije nivoa visoke i da mogu imati uticaja na objekat kako u toku izgradnje tako i eksploatacije. Osmatranje stanja nivoa podzemnih voda prati se minimum jedne hidrološke godine.
- **Ugradnja inklinometarskih konstrukcija** izvodi se na lokacijama klizišta i na padinama terena za koje se procjeni da bi se u toku izgradnje, usljed izgradnje nasipa, usjeka, zasjeva i iskopa temeljnih jama za objekte, mogle razviti nestabilnosti koje bi ugrozile stabilnost objekta. Inklinometarske konstrukcije preporučljivo je ugraditi već u fazi prethodnih istraživanja. Ako ta faza nije rađena, tada je korisno da se inklinometri formiraju u početnoj fazi glavnih istraživanja, kako bi se mogli pratiti pomaci tla duži vrenski period, prije početka zemljanih radova.
- **Laboratorijska ispitivanja** vrše se na uzorcima uzetim tokom geološkog kartiranja terena ili izvođenja istražnih radova. Ako su uzorci iz nevezanih i slabo vezanih stijena,

ispitivanja spadaju u domen mehanike tla, dok su ispitivanja uzoraka iz čvrstih stijena vezana za mehaniku stijena. Dobiveni podaci predstavljaju nadogradnju terenskih istraživanja.

Laboratorijska ispitivanja nevezanih i slabovezanih stijena obuhvataju:

- Identifikaciono-klasifikaciona ispitivanja, gdje se određuju osnovne karakteristike tla, na osnovu kojih se može dati detaljan opis vrste tla. Obuhvataju ispitivanje granulometrijskog sastava, vlažnosti, zapreminske težine, zapreminske težine bez pora i šupljina, Aterbergove granice plastičnosti, kao i druga specijalna ispitivanja koja se odnose na smrzavanje, indeks gustoće ili još neka karakteristična ispitivanja.
- Hemijska ispitivanja tla i podzemne vode, odnose se na klasifikaciona ispitivanja, gdje se određuju karakteristike tla sa aspekta njihove hemijske strukture, koja može negativno uticati na građevinske materijale. Određuje se sadržaj organskih materija, karbonata i sulfata, zatim pH vrijednost, sadržaj hlorida, kao i neka druga specifična ispitivanja.
- Ispitivanje stišljivosti i bubrenja glinovitih materijala, vrši se u edometrima, gdje je uzorak bočno ograničen, opterećenje vertikalno, stepenasto, uz istovremenu mogućnost dreniranja vode u vertikalnom pravcu. Ispitivanje stišljivosti vezano je za određivanje deformacionih i konsolidacionih karakteristika tla i njegovog ponašanja u uslovima opterećenja i rasterećenja. Ako dolazi do bubrenja, nastaje kolaps uzorka u edometrima, pri čemu se daje ocjena kompresionih parametara nezasićenog tla i procjena dodatnih zapreminskih promjena prilikom zasićenja.
- Ispitivanja parametara čvrstoće tla, određuju nedreniranu čvrstoću smicanja, efektivne parametre čvrstoće tla i porne pritiske, za potrebe ocjene nosivosti i stabilnosti tla. Metode ispitivanja su opit direktnog smicanja i opit triaksijalne kompresije. Pored njih koriste se i druge metode, kao što su opiti primjenom džepnog penetrometra, laboratorijske krilne sonde, laboratorijskog konusa, zatim jednoaksijalni opit pri nespriječenom bočnom širenju, te nekonsolidovani i nedrenirani kompresioni opit.
- Ispitivanje propusnosti tla, odnosno određivanje koeficijenta propusnosti vrši se za potrebe određivanja toka vode u tlu, ocjene dotoka vode u građevinske radove ili za proračune vremenskog razvoja konsolidacije. Najčešće metode ispitivanja su opiti u permeamtru sa konstantnim i padajućim pritiskom vode.
- Ispitivanja mogućnosti upotrebe materijala za ugradnju u trasu saobraćajnica, vrše se u cilju ocjene sposobnosti tla, ali i ostalih stijenskih materijala, za mehanička zbijanja i karakteristike tla u zbijenom stanju. Ukoliko su karakteristike tla takve da mehaničko zbijanje nije moguće standardnim metodama, vrši se poboljšanje tla primjenom aditiva sa anorganskim ili organskim vezivima. Najčešće korišteni postupci za ispitivanja su:
  - određivanje optimalne vlažnosti i maksimalne gustoće prema Proctoru
  - određivanje CBR indeksa nosivost
  - određivanje optimalne vlažnosti sa cementom ili drugim vezivima stabilizirajućih stijenskih materijala
  - određivanje pritisne čvrstoće sa cementom ili drugim vezivima stabilizirajućih stijenskih materijala
  - određivanje vremenske otpornosti stijenskih materijala

- Posebna ispitivanja vezana su za specijalne karakteristike tla, kao što su rastresita tla, jednolično sortiran pijesak, prekonsolidovane čvrste gline, dijatomejske zemlje ili karakteristike ponašanja tla u kombinaciji sa ostalim materijalima.

Laboratorijska ispitivanja polučvrstih i čvrstih stijena obuhvataju:

- Identifikaciju i klasifikaciju stijena, koja sadrži opis stijenskog materijala na osnovu mineraloškog sastava, geneze, strukture, sklonosti trošenju, vlažnosti zapreminske težine i drugih osnovnih karakteristika. Opis se vrši na uzorcima prirodne stijene, jezgra iz bušotina ili drugih uzoraka uzetih tokom terenskih istraživanja.
- Ispitivanje parametara čvrstoće stijena, koja obuhvataju monoaksijalni opit deformabilnosti, određivanje brzine prostiranja pritisnih i smičućih talasa ultrazvučnom tehnikom niske frekvencije, Point load test, opit direktnog smicanja i triaksijalni opit.
- ***Izrada geotehničkih elaborata*** bazirana je na sintezi rezultata prethodnih istraživanja, sa rezultatima detaljnih terenskih i laboratorijskih istraživanja i ispitivanja provedenih u fazi glavnih geotehničkih istraživanja. Geotehnički elaborati formiraju se isto kao za nivo istraživanja prethodne faze. Sadržaj i struktura pojedinih elaborata također je slična, Razlika je u detaljnosti, odnosno opsegu izvedenih radova, a često i u primjeni određenih metoda istraživanja. Osim toga, određeni grafički prilozi (naglašeno profili) i dijelovi teksta vezani za takve priloge, nisu na nivou prognoze (kao u prethodnim istraživanjima) već usvojeni i konačni.

Geotehnički elaborati formiraju se na slijedeći način:

- Geotehnički elaborat za otvorenu trasu
  - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu saobraćajnice (faza glavnih istraživanja)
  - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase saobraćajnice (faza glavnih istraživanja)
- Geotehnički elaborat za objekte na trasi
  - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za objekte (faza glavnih istraživanja)
  - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata u sastavu saobraćajnice (faza glavnih istraživanja)

Kao i za fazu prethodnih istraživanja, Elaborati za objekte na trasi mogu se dati pojedinačno ili zbirno, po vrsti objekata i njihovoj dužini (mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, propusti), što ovisi o zahtjevima projektanta.

Svi Elaborati su formirani tako da sadrže tekstualni i grafički dio kao i dokumentacioni materijal o izvedenim istražnim radovima i laboratorijskim ispitivanjima (tabele, dijagrami, standardizovani zapisi i drugo).

***U elaboratima o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu i objekte*** prikazuje se analiza i obrada rezultata istraživanja na takav način da predstavljaju osnov za detaljno utvrđivanje geotehničkih zona (rejona) terena duž trase saobraćajnice i detaljno definisanje geotehničkog modela terena u svakom od rejlona, do dubina do kojih će se ostvariti uticaji planiranih konstruktivnih elemenata saobraćajnice i objekata na tlo. Detaljno utvrđivanje geotehničkih zona duž trase saobraćajnice čine osnov za definisanje geotehničkih uslova izgradnje saobraćajnice, a detaljno utvrđivanje geotehničkog modela terena je osnov za geostatičke proračune stabilnosti i slijeganja. Osnovni geostatički proračuni su:

- za trasu:
  - proračun stabilnosti kosine nasipa
  - proračun slijeganja i vremenske konsolidacije
  - proračun stabilnosti kosine usjeka i zasjeka
  - proračun stabilnosti terena u zoni klizišta
  
- za objekte (plitko o duboko temeljenje)
  - dubina i način temeljenja
  - dozvoljeno opterećenje temelja
  - dopuštena slijeganja temelja
  - stabilnost zidova temeljnih jama
  
- *Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu* (glavna faza istraživanja) sadrži slijedeće:
  - prikaz rezultata geotehničkih istraživanja u odnosu na: morfološke karakteristike terena, geološku građu, inženjerskogeološke, hidrogeološke te seizmičke karakteristike sa mjerodavnim podacima na osnovu kojih su utvrđene navedene karakteristike
  - rezultate terenskih opita, geofizičkih i laboratorijskih ispitivanja (vrijednosti fizičko – mehaničkih parametara tla i stijena, u granicama dobijenim ispitivanjima)
  - analiza rezultata ispitivanja fizičko – mehaničkih karakteristika tla i stijena sa prijedlogom karakterističnih (usvojenih) vrijednosti
  - prikaz izdvojenih geotehničkih sredina do nivoa litoloških članova, i njihovih svojstava, u okviru prirodne konstrukcije terena
  - prikaz geotehničkih zona duž trase saobraćajnice i geotehničkih modela terena za geostatičke proračune, za svaku zonu
  - prikaz kritičnih dionica duž trase saobraćajnice u odnosu na:
    - stabilnost terena u prirodnim uslovima i uslovima izvođenja radova (klizišta – aktivna i umirena, labilne padine, sipari, odroni, erozija, podzemni karstni oblici)
    - stabilnost terena obzirom na slabo nosiva tla
    - karakteristike terena u odnosu na podložnost poplavama i mogućnosti odvodnjavanja
    - zauzetost terena u odnosu na prirodne i stvorene uslove (zaštitne zone izvorišta vode za piće i termomineralnih voda, eksploataciona polja mineralnih sirovina, zaštićena prirodna i kulturna dobra, deponije komunalnog otpada)
  - geotehničke analize i ocjene vrijednosti podataka uz navođenje pretpostavki koje su bile upotrebljene pri interpretaciji rezultata istraživanja

*Obavezni grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
  - inženjerskogeološka karta trase saobraćajnice u širini koridora od oko 200 – 400 m
  - podužni geotehnički presjek terena sa izdvojenim geotehničkim zonama, kategorijama po težini iskopa (prma GN200) i klasama u odnosu na jednu od klasifikacija terena kao radne sredine (često C Louisa, 1974).
  - poprečni geotehnički presjeci terena (nasipi, usjeci, zasjeci, zamočvareni i slabo nosivi tereni – sve lokacije)
  - geotehnički presjeci terena na lokacijama nestabilnih padina (klizišta, odroni)
  - ostali prilozi - liting računskih analiza
- *U Elaboratu o rezultatima geotehničkih istraživanja na lokaciji objekta prikazuju se slijedeći rezultati:*
    - rezultati istraživanja u odnosu na: morfološke karakteristike terena, geološku građu, inženjerskogeološke, hidrogeološke te seizmičke karakteristike sa mjerodavnim podacima na osnovu kojih su utvrđene navedene karakteristike
    - rezultati terenskih opita, geofizičkih i laboratorijskih ispitivanja (vrijednosti fizičko – mehaničkih parametara tla i stijena, u granicama dobijenim ispitivanjima)
    - analiza rezultata ispitivanja fizičko – mehaničkih karakteristika tla i stijena sa prijedlogom karakterističnih (usvojenih) vrijednosti
    - prikaz izdvojenih geotehničkih sredina do nivoa litoloških članova, i njihovih svojstava, u okviru prirodne konstrukcije terena

*Obavezni grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata te sa posebnom naznakom predmetnog objekta
- inženjerskogeološka karta šireg područja lokacije
- podužni i poprečni geotehnički presjeci terena na lokaciji objekta
- ostali prilozi - liting računskih analiza

***Elaborati o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase i objekata na trasi saobraćajnice*** pozivaju se na elaborate o rezultatima geotehničkih istraživanja (faza glavnih istraživanja), i sadrže podatke, računске metode i rezultate provjere sigurnosti i upotrebljivosti.

- *Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase* uglavnom sadrži slijedeće:
  - opis lokacije i njenog okruženja koje je obrađivano radi cjelovitosti rješavanja problema
  - opis geotehničkih uslova tla
  - opis trase i projektovanih konstruktivnih elemenata trase (nasipi, usjeci, zasjeci)
  - opis izdvojenih geotehničkih sredina do nivoa litoloških članova sa usvojenim fizičko – mehaničkim parametrima

- prikaz modela terena za svaku geotehničku sredinu, sa parametrima za geostatičke proračune
- geotehnički uslovi građenja trase: tarasa na terenu, u nasipu, usjeku i zasjeku
- uslovi pripreme podtla za izgradnju nasipa
- geostatičke analize stabilnosti nasipa na prolom tla i konsolidaciona sleganja tla na karakterističnim presjecima
- geotehničke uslove izgradnje nasipa (materijal, nasipanje, razastiranje zbijanje, valjanje)
- geotehničke uslove izgradnje nasipa na slabo nosivom tlu sa prijedlogom mjera sanacije
- geotehnički uslovi izvođenja usjeka i zasjeka,
- geostatičke analize stabilnosti usjeka i zasjeka, geometrija kosina
- prijedlog zaštite od erozije kosina nasipa, usjeka i zasjeka
- geotehničke uslove prevođenja trase preko klizišta i ostalih nestabilnih terena
- prijedlog mjera sanacije, računski dokaz stabilnosti

*Obavezni grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
  - inženjerskogeološka karta trase saobraćajnice u širini koridora od oko 200 – 400 m
  - podužni geotehnički presjek terena sa izdvojenim geotehničkim zonama, kategorijama po težini iskopa (prema GN200) i klasama u odnosu na jednu od klasifikacija terena kao radne sredine (često C. Louisa, 1974)
  - poprečni geotehnički presjeci terena (nasipi, usjeci, zasjeci, zamočvareni i slabo nosivi tereni – sve lokacije)
  - geotehnički modeli terena za geostatičke proračune na izabranim karakterističnim poprečnim presjecima terena (nasipi, usjeci, zasjeci, zamočvareni i slabo nosivi tereni)
  - geotehnički presjeci terena na lokacijama nestabilnih padina (klizišta, odroni) za koje su vršeni geostatički proračuni
  - ostali prilozi - liting računskih analiza
- *Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata na trasi saobraćajnice načelno sadrži sledeće:*
    - opis lokacije i njenog okruženja
    - opis geotehničkih uslova tla
    - opis projektovane konstrukcije, zajedno sa opterećenjima
    - geotehnički model terena sa parametrima izdvojenih geotehničkih sredina odnosno litoloških članova
    - odgovarajuće geostatičke analize, prijedlog rješenja temelja
    - dokaz stabilnosti temelja u odnosu na lom tla i dopuštena sleganja
    - stabilnost zidova temeljnih jama, prijedlog pripreme podtla temelja, zatvaranje iskopa
    - varijanta fundiranja objekata na šipovima sa dokazom stabilnosti temelja u odnosu na lom tla i dopuštena sleganja
    - preporuke za zaštitu i osmatranje objekata

- komentar o pogodnosti lokacije u odnosu na predlaganu konstrukciju i nivo prihvatljivog rizika

*Obavezni grafički prilozi Elaborata su:*

- situaciona karta trase saobraćajnice sa lokacijama i vrstom objekata
- inženjerskogeološka karta u zoni objekta
- geotehnički model terena sa prijedlogom temeljenja
- ostali prilozi - liting računskih analiza

Elaborati o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase i objekata na trasi saobraćajnice moraju sadržavati Program geotehničkog nadzora u toku izgradnje objekta i geotehničkog praćenja u toku eksploatacije objekta. Lokacije u koridoru trase saobraćajnice i objekti za koje je neophodno osigurati nadzor u toku izgradnje i/ili praćenje u toku eksploatacije navode se detaljno u Elaboratu (tekstualno i grafički). Za takve lokacije neophodno se definiše slijedeće:

- namjena praćenja i mjerenja
- metode praćenja mjerenja
- učestalost mjerenja
- vremenski period geotehničkog praćenja nakon završene izgradnje objekta
- očekivani rezultati u odnosu na analizu rezultata prikazanih u elaboratu (faza glavnih istraživanja)

Program geotehničkog nadzora u toku izgradnje objekta i geotehničkog praćenja u toku njegove eksploatacije temelji se na navedenim zadacima. Realizacija programa vrši se u fazi tekućih (pratećih) i kontrolnih geotehničkih istraživanja (opisanih u tački 5.5) a rezultati su sastavni dio Projekta izvedenog stanja.

#### **5.4. Faza dopunskih geotehničkih istraživanja**

Dopunska istraživanja, kao što je naznačeno u tabeli 1, izvode se za potrebe izrade projekata za građevinsku dozvolu i konkurs, a vrlo često i za Projekat za izvođenje. Dopunskim istraživanjima upotpunjuju se podaci o tlu a potreba za njihovim izvođenjem pojavljuje se uglavnom u slijedećim slučajevima:

- ako je analiza do tada pribavljenih podataka pokazala njihovu nepouzdanosti ili nedostatke što se može dogoditi usljed opravdane neadekvatne primjene odabranih metoda i postupaka istraživanja
- ako je došlo do izmjene: kraće dionica trase saobraćajnice, lokacije nekog od objekata ili dužine objekta zbog ograničene visine pristupnog nasipa (mogućnost pojave podnožičnog smicanja nedovoljno nosive podloge nasipa)
- ako su izmjenjeni uslovi na terenu (aktivirana klizišta, izmjenjeno ili regulisano korito rijeke i sl.)
- ako su izmjene izvršene u građevinskom projektu u smislu: opterećenja, tehnoloških postupaka, faznosti izvođenja radova i drugo, a koje zahtjevaju dodatne geotehničke podatke



- ako je mikrolokacija planiranih istražnih radova bila nepristupačna u vrijeme izvođenja glavnih istraživanja

U praksi je veoma čest slučaj da se, zbog kratkog vremenskog perioda koji se daje istraživačima, dopunska istraživanja izvode na lokacijama objekata za koje nije proveden dovoljan broj detaljnih istražnih radova. Istraživanja u glavnoj fazi svode se na detaljne istražne radove u zoni upornjaka i najčešće, centralnog stuba, a za ostala stubna mjesta (najčešće ne za sva), istraživanja se provode u dopunskoj fazi. Također je čest slučaj da se istraživanja na lokacijama klizišta, kako u granicama koridora tako i izvan koridora trase, također provode u fazi dopunskih istraživanja, najčešće sa skraćenim obimom istražnih radova. Ovakav način rada dovodi u pitanje ne samo korektno rješavanje problema nego i tačnost investicione vrijednosti objekta, bez obzira na činjenicu da je udio troškova geotehničkih istraživanja u odnosu na vrijednost objekta, zanemarljivo mali, svega do 1%. Šteta zbog nedovoljne istraženosti redovito je nesrazmjerno veća (čak nekoliko stotina puta) u odnosu na trošak geotehničkih istraživanja.

Osnovni cilj geotehničkih istraživanjima, u fazi dopunskih istraživanja, je da se prikupe detaljni podaci o stanju i svojstvima tla dovoljnih za projektovanje tehnologije građenja, obezbjeđenje temeljnih iskopa i obezbjeđenje iskopa na lokacijama visokih usjeka i zasjeka. Sva istraživanja skoncentrisana su u zoni objekta ili u njegovoj neposrednoj blizini.

Geotehnička istraživanja u fazi dopunskih istraživanja, izvode se po Programu istraživanja.

Metodologija i koncepcija istraživanja istovjetna je sa geotehničkim istraživanjima glavne faze a to znači:

- analiza prethodnih istraživanja
- terenski istražni radovi
- laboratorijska ispitivanja
- izrada Elaborata

Metode istraživanja prilagođene su problemima koje treba riješiti. Obavezno se izvodi detaljno IG I HG kartiranje terena a od terenskih radova najčešće su to bušenje i svi radovi koji prate bušenje (kartiranje jezgra bušotina, uzimanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja i ...), kao i opiti koji se izvode u bušotinama (praćenje nivoa podzemnih voda, penetraciona i presiometarska ispitivanja, hidrogeološki opiti i sl.) a koji su opisani u tački 5.3.

Od geofizičkih istraživanja često se u praksi pojavi potreba za mikroseizmičkim ispitivanjima lokacije objekta i njenog neposrednog okruženja. Također se može pojaviti potreba za geoelektričnim sondiranjem na lokacijama na kojima treba ustanoviti granicu između površinskog pokrivača i stjenske mase. Potreba za geoelektričnim ispitivanjima pojavljuje se i u slučaju da se iz bušotina ne dobiju reprezentativni uzorci za laboratorijska ispitivanja. U tom slučaju, primjenom raznih vrsta karotaža bušotina mogu se upotpuniti podaci o zapreminskoj težini, poroznosti, elastičnim svojstvima stjenskih masa i ...

Elaborati o dopunskim istraživanjima rade se u odnosu na predmet dopunskih istraživanja. Pri tome, elaborati se formiraju u dvije cjeline, isto kao za glavnu fazu istraživanja. Ako se radi o trasi, u naslovu elaborata potrebno je navesti tačnu dionicu trase a ako je u pitanju objekat, obavezno je naznačiti poziciju i naziv objekta.

- Geotehnički elaborat za otvorenu trasu dionica: stac. km x – stac. km y
  - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za otvorenu trasu saobraćajnice (faza dopunskih istraživanja)
  - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje otvorene trase saobraćajnice (faza dopunskih istraživanja)
- Geotehnički elaborat za objekat most br. x
  - Sveska 1: Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja za objekat (faza dopunskih istraživanja)
  - Sveska 2: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekta u sastavu saobraćajnice (faza dopunskih istraživanja)

Ako su dopunska istraživanja izvođena u svrhu rješavanja klizišta na trasi saobraćajnice, odnosno definisanja geotehničkih uslova prevođenja trase saobraćajnice preko klizišta, elaborati se formiraju na isti način. U tom slučaju se u naslovu elaborata navodi naziv klizišta (ako ima) i stacionaže trase saobraćajnice.

### **5.5. Tekuća (prateća) i kontrolna geotehnička istraživanja i geotehničko praćenje stanja saobraćajnice i objekta nakon izgradnje**

Tekuća (prateća) i kontrolna geotehnička istraživanja obavljaju se u toku izgradnje saobraćajnice i objekata. Nakon izgradnje – u toku eksploatacije, vrši se geotehničko praćenje stanja saobraćajnice i objekata pri čemu se, ako se pojavi potreba, također izvode određeni geotehnički istražni radovi.

*Istraživanja u toku izgradnje – tekuća i kontrolna istraživanja*, izvode se radi kontrole rezultata dobijenih u prethodnim fazama istraživanja i usvojenih projektnih rješenja. Najčešće se izvode radi dopune podataka na lokacijama na kojima je ocijenjeno da bi detaljna istraživanja bila neracionalna prije početka izgradnje. Takva situacija je redovito prisutna u toku istraživanja tunela te se detaljni istražni radovi izvode u toku iskopa tunela. Osim tunela, tekuća i kontrolna geotehnička istraživanja izvode se i na lokacijama dubokih iskopa (usjeci, temelji i ....) Osnovni ciljevi istraživanja su:

- provjera projektnih pretpostavki
- usmjeravanje tehnologije iskopa
- prijedlozi zaštite otvorenog iskopa

Osnovni istražni postupak je detaljno IG I HG kartiranje iskopa pri čemu se primjenjuju specijalne metode ispitivanja što je u skladu sa Eurokod 7, istraživanja za treći geotehnički razred (za vrlo velike konstrukcije, one koje uključuju vrlo velike opasnosti, za izuzetno teške uslove u temeljnom tlu ili uslove opterećenja, kao i za konstrukcije u područjima visoke seizmičnosti). Detaljan tok takvih ispitivanja potrebno je prikazati kroz opis metode i opreme a rezultati i njihova analiza prikazuju se kroz dijagrame, tabele, standardizovane zapisnike i ...

U fazi tekućih i kontrolnih geotehničkih istraživanja može se pojaviti potreba izvođenja određenog broja bušenja. Tada se obavezno rade svi prateći radovi bušenja i uzimaju uzorci

za laboratorijska ispitivanja. Čest je slučaj da se u okviru ove faze istraživanja vrše "in situ" mjerenja deformabilnosti, čvrstoće i napona, zatim se može pojaviti potreba za ispitivanjem hidrogeoloških uslova pri čemu se vrše osmatranja i testiranja hidrogeoloških objekata.

Tekuća i kontrolna ispitivanja su naglašeni kod izgradnje nasipa, u slučaju da je projektom predviđena ugradnja zemljanih materijala. Tada je potrebna stalna – tekuća provjera vrste i kvaliteta materijala prije i poslije ugradnje kako bi se osigurali projektovani zahtjevi. Ovi radovi su pretežito laboratorijski a manjim dijelom terenski.

Rezultati svih izvedenih istraživanja, ispitivanja i provedenih računskih analiza prikazuju se tekstualno i grafički uz obavezno prilaganje dokumentacionog materijala o metodama i rezultatima ispitivanja. Elaborat o izvedenim tekućim (pratećim) i kontrolnim istraživanjima sastavni je dio Projekta izvedenog stanja.

***Geotehničko praćenje stanja saobraćajnice i objekata nakon izgradnje*** – u toku eksploatacije, izvode se u svrhu:

- provjere funkcionalnih sposobnosti trase puta i/ili pojedinih objekta
- provjere svrsishodnosti projektovanih rješenja na lokacijama sanacionih zahvata
- racionalnog pristupa sanaciji u slučaju da je to potrebno

Geotehničko praćenje stanja saobraćajnice i objekata nakon izgradnje – u toku eksploatacije provodi se na lokacijama za koje postoji visok rizik stabilnosti sigurnosti a koje su identifikovane u Elaboratu o geotehničkim uslovima izgradnje trase saobraćajnice i objekata na trasi. Takve lokacije mogu biti:

- usjeci, zasjeci i nasipi
- potporne konstrukcije (gravitacioni zidovi, sidreni zidovi, zidovi na šipovima, zidovi od montažnih elemenata)
- sanirana klizišta
- nesanirane labilne padine
- temelji stubova objekata

Osnovni cilj geotehničkog praćenja u toku eksploatacije objekta je osmatranje sadejstava objekta i terena. Praćenje se odvija po Programu geotehničkog praćenja.

Geotehničko praćenje stanja puta i objekta, nakon izgradnje, sastoji se u detaljnom registrovanju i osmatranju slijedećih pojava u trupu puta i na objektima:

- pukotine u temeljima i potpornim konstrukcijama,
- prekomjerna slijeganja nasipa,
- začepljenje drenaža potpornih konstrukcija,
- začepljenje propusta nasipa,
- znakovi nestabilnosti pokosa nasipa, usjeka i zasjeka
- znakovi nestabilnosti saniranih i nesaniranih dijelova terena, neposredno uz zaštitni pojas saobraćajnice, koji mogu ugroziti stabilnost saobraćajnice i/ili objekta

Metode istraživanja prilagođene su problemu kojeg treba riješiti. Čest je slučaj da se ukaže potreba izvođenja detaljnih terenskih radova bušenja i/ili iskopa istražnih raskopa. U tom slučaju vrše se sva prateća ispitivanja u bušotini i istražnom raskopu i uzimaju se uzorci za laboratorijska ispitivanja.

Na osnovu analiziranih terenski prikupljenih podataka i laboratorijskih ispitivanja vrše se računске analize stabilnosti. Sintezom svih rezultata potrebno je predložiti mjere zaštite odnosno sanacije i dati prijedlog daljnjih praćenja objekta.

Elaborat o izvršenim geotehničkim istraživanjima u fazi praćenja stanja saobraćajnice i objekata nakon izgradnje – u toku eksploatacije, formira se od tekstualnog i grafičkog dijela uz obavezan prilog dokumentacionog materijala o vrsti, opsegu i metodama istraživanja i ispitivanja.

## **6. GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA NA POTENCIJALNIM LOKACIJAMA POZAJMIŠTA MATERIJALA ZA NASIPE I LOKACIJAMA ZA DEPONOVANJE MATERIJALA**

Projektnom dokumentacijom na nivou Idejnog projekta, za potrebe izgradnje saobraćajnice, utvrđuju se količine i propisuje kvalitet materijala za izgradnju trupa puta (nasipa), posteljice, podloge kolovozne konstrukcije, veznog i habajućeg sloja saobraćajnice. Također se, istim projektom, daje obračun količina materijala koji će se dobiti iz iskopa (usjeci, zasjeci, podzemne građevine). Da bi se mogao uraditi bilans masa neophodno je utvrditi kvalitet materijala iz iskopa i propisati geotehničke uslove njegove primjene za ugradnju u nasipe. Ukoliko je materijal iz iskopa stjenovit tada se utvrđuje njegov kvalitet za izgradnju posteljice, podloge kolovozne konstrukcije te veznog i habajućeg sloja.

Da bi se u toku izgradnje osigurale dovoljne količine materijala za nasipe i njegove nosive dijelove, a one su red veličine stotine hiljada kubika, u fazi glavnih geotehničkih istraživanja, provode se geotehnička istraživanja na potencijalnim lokacijama pozajmišta takvih materijala.

Također se u istoj fazi geotehničkih istraživanja, utvrđuju lokacije za deponovanje takvih materijala prije ugradnje, ali i lokacije za deponovanje materijala iz iskopa koji se ne može ugraditi u trup puta.

Obzirom na činjenicu da je dovoz i odvoz zemljanih materijala značajna stavka u finansijskoj konstrukciji izgradnje saobraćajnice, potrebno je da sve lokacije pozajmišta i deponovanja materijala budu na udaljenostima koje će minimalno opteretiti izgradnju, u finansijskom pogledu.

Rezultati geotehničkih istraživanja navedenih lokacija prikazuju se u izvještaju o potencijalnim lokacijama pozajmišta materijala i lokacijama za deponovanje materijala za nasipe i viška materijala iz iskopa. Izvještaj je sastavni dio dokumentacije o istraživanjima u okviru glavne faze geotehničkih istraživanja i sastavni dio projektne dokumentacije – nivo Idejni projekat.

### **6.1. Geotehnička istraživanja na potencijalnim lokacijama pozajmišta materijala**

Već je napred navedeno da je veoma bitno utvrditi lokacije pozajmišta na udaljenosti koja će najmanje opteretiti ukupnu izgradnju objekta. Osim toga veoma je važno utvrditi saobraćajnu povezanost sa takvim lokacijama i kvalitet puta u konstruktivnom smislu, sa mogućnostima proširenja, kojim će se vršiti dovoz. Kod toga treba se voditi računa da se izbjegavaju saobraćajni tokovi kroz naseljena mjesta. Veoma bitan uslov, a često i presudan u odabiru lokacija, su imovinsko – pravni odnosi., naglašeno u slučaju privatne svojine. Ako se odabir lokacije vrši u fazi glavnih geotehničkih istraživanja tada postoji mogućnost da lokacija uđe u pojas eksproprijacije, pod uslovom da udaljenost od projektovane trase bude razumno prihvatljiva. U tom slučaju su izbjegnuti problemi naknadnog otkupa privatnog zemljišta a također i detaljnost istraživanja i ispitivanja kao i svih odobrenja, u smislu zakonskih odredbi.

Osnovni cilj geotehničkih istraživanja potencijalnih lokacija pozajmišta materijala za izgradnju saobraćajnica je obezbjeđenje dovoljnih količina i standardima propisanog kvaliteta kao i uslovi eksploatacije materijala za:

- ugradnju u nasip puta
- izgradnju posteljice i za tampon puta
- izgradnju veznog i habajućeg sloja

Činjenica je da materijali za posteljicu, tampon, vezni i habajući sloj, u pogledu kvaliteta, moraju zadovoljiti daleko strožije kriterije u odnosu na materijale za nasip. Ovo je naročito izraženo kod željeznica kod kojih se u dio konstrukcije donjeg stroja – zaštitni sloj na posteljici i u gornji noseći sloj, vrši ugradnja tucanika određenog oblika (oštrih rubova) i krupnoće. Zbog strožijih kriterija za kvalitet, najčešće se materijal za izgradnju navedenih konstruktivnih dijelova puta koristi iz aktivnih – otvorenih kamenoloma ili šljunkara, pod uslovom da materijal iz iskopa ne zadovoljava zahtjevani kvalitet. Kod željeznice, za izgradnju zaštitnog sloja na posteljici i gornjeg nosećeg sloja isključivo se koristi materijal iz otvorenih kamenoloma koji mogu obezbjediti određenu granulaciju i oblik zrna agregata. Aktivni kamenolomi vrše eksploataciju, preradu i praćenje kvaliteta proizvedenih frakcija kamena prema rudarskim projektima (u skladu sa zakonom o rudarstvu) a količine su dokazane Elaboratom o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi tehničkog građevinskog kamena (u skladu sa Zakonom o geološkim istraživanjima). Prema tome, za materijale iz aktivnih kamenoloma, nisu potrebna geološka istraživanja i geotehnička ispitivanja. Jedini uslov je da su svi projekti, elaborati i dozvole za eksploataciju u skladu sa zakonskim regulativama i obavezama u pogledu zahtjevane obnove rezervi.

Imajući u vidu napred navedeno, ostaje da se potencijalne lokacije za izgradnju saobraćajnica najčešće utvrđuju i istražuju samo za potrebe osiguranja materijala za nasipe, završno sa nivoom posteljice i to u slučaju da materijal iz iskopa ne zadovoljava kriterije materijala za nasipe ili količine materijala iz iskopa nisu dovoljne za čitavu trasu saobraćajnice.

Zadaci koje je potrebno riješiti na potencijalnim lokacijama su slijedeći:

- izučavanje geološke građe i inženjerskogeoloških karakteristika lokacije u pogledu litološkog sastava, načina pojavljivanja stjenske mase, stepena raspadnutosti, ispucalosti

- izučavanje savremenih geodinamičkih procesa i pojava koji su prisutni na lokaciji i procjena njihovog pojavljivanja u toku eksploatacije
- izučavanje hidrogeoloških svojstava lokacije i šire okoline
- utvrđivanje fizičko – mehaničkih svojstava stjenske mase
- ocjena stabilnosti radne i završne kosine
- prijedlog mjera rekultivacije nakon prestanka eksploatacije stjenske mase u svrhu zaštite životne sredine

Metodologija istraživanja svodi se na slijedeće:

- analiza rezultata prethodnih istraživanja lokacije i šireg područja (osnovnih i detaljnih)
- terenski istražni radovi
- laboratorijska ispitivanja
- izrada Izvještaja

*Analiza rezultata prethodnih istraživanja lokacije i šireg područja (osnovnih i detaljnih)* najčešće se bazira na rezultatima Osnovnih geoloških istraživanja pri čemu se osnovni podaci o geološkoj građi terena, preuzimaju sa Osnovne geološke karte, R 1:100000.

*Terenski istražni radovi* obuhvataju prospekcijsko kartiranje terena u cilju pronalaženja potencijalnih lokacija. Poželjno je da se duž trase saobraćajnice odabere više lokacija kako bi se umanjili troškovi dovoza na privremene deponije uz trasu. Na odabranim lokacijama vrši se detaljno IG i HG kartiranje terena, izradu istražnih raskopa i istražnih bušotina, te uzimanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja. Veoma je racionalno izvesti geoelektrično sondiranje u svrhu utvrđivanja debljine zemljanog pokrivača, odnosno dubine do čvrste stijene.

Detaljnim kartiranjem terena registruju se litološki sastav, debljina pokrivača, način pojavljivanja stjenske mase, ispucalost, rastrošenost, stabilnost u prirodnim uslovima, dubine do podzemne vode, pravce stalnih i povremenih površinskih tokova i ...

*Laboratorijska ispitivanja* vrše se na poremećenim i neporemećenim uzorcima materijala za nasipe (ovisno o tome da li se nasip gradi od zemljanih - koherentnih ili nekoherentnih materijala) pri čemu se određuje:

- prirodna vlažnosti
- zapreminska masa tla
- granulometrijski sastav
- granice konsistencije
- udio humusnih i organskih primjesa
- stišljivost
- čvrstoća (edometar, triaksialni opit)
- bubrenje
- optimalna vlažnost i najveća gustoća po standardnom Proctor-ovom postupku

Ukoliko se na lokacijama pozajmišta, terenskim istraživanjima, ocijeni da postoji mogućnost upotrebe materijala za posteljicu, noseći i habajući sloj, tada se laboratorijskim ispitivanjima utvrđuju slijedeće fizičko – mehaničke karakteristike:

- čvrstoća na pritisak u suvom stanju
- čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju
- čvrstoća na pritisak posle smrzavanja
- habanje po Los Anđelesu
- čvrstoća ivica na udar (bubanj)
- otpornost na habanje struganjem (Böhme)
- trajnost i postojanost na djelovanje mraza
- oblik zrna i tekstura površine
- žilavost
- sadržaj štetnih sastojaka
- upijanje vode i vlažnost
- specifična težina
- zapreminska težina
- mineraloško – petrografski sastav

*Izrada Izvještaja* o rezultatima geotehničkih istraživanja na potencijalnim lokacijama pozajmišta materijala za nasipe podrazumjeva tekstualni i grafički prikaz izvedenih istraživanja i rezultate istraživanja. U rezultatima istraživanja potrebno je dati analizu značajnih faktora sa aspekta morfoloških, klimatskih, geoloških, inženjerskogeoloških, hidrogeoloških, tehničko – eksploatacionih, tehnoloških i dr. karakteristika lokacije koji utiču na njenu potencijalnost. Naročito je važno dati ocjenu potencijalnosti u odnosu na uslove i način površinske eksploatacije. Pri tome se misli na visine etaža i stabilne nagibe kosina. Posebno je bitno analizirati mogućnosti eksploatacije bez miniranja, a ako je miniranje neophodno, tada se moraju analizirati uticaji miniranja na okolinu.

U Izvještaju je potrebno dati prijedlog rekultivacije pozajmišta nakon prestanka potrebe za materijalom. Također je potrebno prikazati plan tekućih uzorkovanja na pozajmištima i laboratorijskih ispitivanja kojima se dokazuje kvalitet materijala.

Od grafičkih priloga, obavezni su :

- geološka karta šireg područja
- situaciona karta u odnosu na saobraćajnicu
- IG karta lokacije sa naznakom istražnih radova
- geološki presjeci terena na osnovu kojih su utvrđene količine

Poseban prilog Izvještaju je dokumentacioni materijal u vidu standardizovanih zapisa, tabela, dijagrama o terenskim i laboratorijskim ispitivanjima.

## **6.2. Geotehnička istraživanja na lokacijama deponovanja materijala**

U tehničkoj dokumentaciji saobraćajnica, na nivou Idejnog projekta, projektuju se ukupne količine materijala iz iskopa i potrebne količine materijala koje će se ugraditi u trup puta (nasip) i kolovoznu konstrukciju. U okviru geotehničkih istraživanja (glavna faza

istraživanja) vrše se laboratorijska ispitivanja materijala koji će se iskopati u usjecima, zasjecima, galerijama i tunelima te se daje mišljenje o njegovoj podobnosti za ugradnju. Ukoliko se u odnosu na bilans masa, pokaže višak materijala iz iskopa (bilo zbog kvaliteta ili količine), potrebno je da se za njegovo deponovanje osiguraju lokacije.

Osim toga, lokacije za deponovanje neophodno je utvrditi i za materijale koji će se dovoziti sa pozajmišta i/ili kamenoloma bez obzira što će u toku izgradnje saobraćajnice oni biti ugrađeni. Naime, neophodno je da gradilište bude stalno obezbjeđeno sa dovoljnom količinom materijala obzirom da njegova ugradnja u mnogome ovisi o atmosferskim uslovima (optimalna vlažnost za maksimalnu zbijenost).

Utvrđivanje lokacija za deponovanje skinutog humusa sa trase također je obaveza koju treba riješiti, tim više što se treba očuvati njegova struktura jer se njime, radi ozelenjavanja i zaštite, oblažu izgrađene kosine nasipa, usjeka i zasjeka.

Imajući u vidu potrebe zbog kojih se utvrđuju lokacije za deponovanje i namjenu materijala koji se deponuje, može se zaključiti da su neke deponije trajnog a neke privremenog karaktera. U procesu iznalaženja lokacija za deponovanje i izučavanja njihove podobnosti za takve namjene, svakako je, daleko veću pažnju, potrebno posvetiti lokacijama sa trajno deponovanim materijalom.

*Trajna odlagališta* su ona koja ostaju trajno na mjestu odlaganja. To su prostori na kojima se trajno odlaze višak materijala iz iskopa, bilo da je višak nastao zbog nezadovoljavajućeg kvaliteta ili nije bilo potrebe za njegovu ugradnju. Obzirom da ostaju trajno, deponovanje materijala potrebno je vršiti tako da konačna deponija bude stabilna, što manje podložna uticaju atmosferilija i uređena na ekološki i estetski prihvatljiv način

Trajnim odlagalištima ne smije se zauzimati poljoprivredno zemljiše, ugrožavati prirodne površinske tokove, remetiti režim podzemne vode i ...

Obavezan ali i svrsishodan početak za odabir lokacija trajnih deponija je konsultacija sa odgovornim strukturama lokalnih samouprava koje su zadužene za praćenje realizacije planskih dokumenata. Obavezan iz razloga što su to trajne promjene u terenu i sa takvim promjenama moraju biti upoznate lokalne samouprave na čijoj se teritoriji promjene dešavaju. Svrsishodan iz razloga što se deponovanjem materijala mogu poboljšati prirodni uslovi za realizaciju planskih rješenja. Svaka opštinska teritorija pokrivena je sa prostorno – planskim dokumentom određenog nivoa gdje je definisana i namjena površina. Za ruralna područja, utvrđene su zone neplodnog zemljišta i zone od posebnog interesa, a u većim naseljenim mjestima, planirane su zone industrije, građevinskog zemljišta, zone rekreacije i ... Često se događa da su u postojećem stanju, u većim naseljenim mjestima, prostori za navedene namjene devastirani prethodnim iskopima ili nekontrolisano naveženim raznovrsnim otpadom, najčešće habastim. Takve lokacije su potencijalne za odlaganje viška materijala iz iskopa uz uslov da su na prihvatljivoj udaljenosti od lokacije iskopa i da postoje lokalni putevi kojima se, obzirom na kamionski prevoz, može vršiti odvoz. Jedan od bitnih uslova je uređenje lokacije prije početka deponovanja zemljanog materijala, u smislu odvoza habastog otpada. Kontrolisanim deponovanjem viška zemljanog materijala iz iskopa, devastirane površine bi bile uređene za realizaciju plana odnosno za izgradnju planom zacrtanih objekata.



*Privremene deponije* su lokacije na kojima će se deponovati materijal za ugradnju bilo u nasip i/ili kolovoznu konstrukciju i lokacije na kojima će se deponovati humus. Takve lokacije moraju biti na maloj udaljenosti od trase, ali na takvoj da deponovani material ne ugrožava aktivnosti na gradilištu i obrnuto, da se građevinskoim radovima ne remeti struktura deponovanog materijala što je naročito bitno za humus.

Na osnovu napred navedenoga o privremenim i trajnim deponijama formulisani su osnovni zadaci istraživanja. Potrebno je naglasiti da se osnovni zadaci istraživanja odnose na trajne deponije iz razloga što se privremene deponije formiraju unutar koridora trase saobraćajnice a taj dio terena je istražen u okviru geotehničkih istraživanja za trasu i objekte.

Zadaci koje je potrebno riješiti na potencijalnim lokacijama za deponovanje viška materijala iz iskopa su slijedeći:

- izučavanje geološke građe i inženjerskogeoloških karakteristika lokacije u pogledu litološkog sastava
- izučavanje savremenih geodinamičkih procesa i pojava koji su prisutni na lokaciji i okruženju i procjena njihovog razvoja u toku deponovanja materijala
- izučavanje hidrogeoloških svojstava lokacije i šire okoline
- utvrđivanje fizičko – mehaničkih svojstava podtla deponije
- prijedlog uređenja podtla deponije
- ocjena stabilnosti radne i završne kosine deponovanog materijala
- prijedlog mjera zaštite od oborinskih voda
- procjena uticaja na životnu sredinu

Metodologija geotehničkih istraživanja prilagođena je zadacima i ona je slijedeća:

- analiza rezultata prethodnih istraživanja lokacije i šireg područja (osnovnih i detaljnih)
- terenski istražni radovi
- laboratorijska ispitivanja
- izrada Izvještaja

*Analiza rezultata prethodnih istraživanja lokacije* podrazumjeva analizu rezultata osnovnih istraživanja (Osnovna geološka karta) i detaljnih ako su rađena u okruženju lokacije. Svakako tu treba uključiti i rezultate dobijene u toku izrade planskog dokumenta kojim je pokrivena lokacija, naročito ako je u pitanju urbanistički ili provrdbni – regulacioni plan.

*Terenski istražni radovi* obuhvataju prospekcijsko kartiranje terena u širem smislu, u cilju pronalaženja potencijalnih lokacija. Poželjno je da se duž trase saobraćajnice odabere više lokacija kako bi se umanjili troškovi dovoza. Na odabranim lokacijama vrši se detaljno IG i HG kartiranje terena, strojnu izradu istražnih raskopa (dunine 4,0 – 5,0 m, u iznimnim slučajevima i istražnih bušotina, te uzimanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja. Veoma je racionalno izvesti geoelektrično sondiranje u svrhu utvrđivanja debljine zemljanog pokrivača, odnosno dubine do čvrste stijene.

Detaljnim kartiranjem terena registruju se litološki sastav, debljina pokrivača, stabilnost u prirodnim uslovima, dubine do podzemne vode, pravce stalnih i povremenih površinskih

tokova i ... Ako je lokacija na stjenovitoj podlozi tada se detaljnim kartiranjem registruju način pojavljivanja stjenske mase, ispucalost i rastrošenost.

*Laboratorijska ispitivanja* vrše se na poremećenim i neporemećenim uzorcima uzetim iz raskopa pri čemu treba ispitati:

- prirodnu vlažnost
- zapreminsku masu tla
- granulometrijski sastav
- granice konsistencije
- udio humusnih i organskih primjesa
- stišljivost
- čvrstoću (edometar, triaksialni opit)
- bubrenje

*Izrada Izvještaja* o rezultatima geotehničkih istraživanja na potencijalnim lokacijama za trajno odlaganje materijala iz iskopa sadrži tekstualni i grafički prikaz izvedenih istraživanja i rezultate istraživanja. U rezultatima istraživanja potrebno je dati prikaz morfoloških, klimatskih, geoloških, inženjerskogeoloških i hidrogeoloških karakteristika koji utiču na njenu potencijalnost. Naročito je važno prikazati uslove deponovanja u smislu završnih kosina, uređenja podtla deponije i površinsko uređenje u smislu zaštite od površinskih voda.

Od grafičkih priloga, obavezni su:

- geološka karta šireg područja
- situaciona karta u odnosu na saobraćajnicu
- IG karta lokacije sa naznakom istražnih radova
- prognozni IG presjeci terena sa izdvojenim geotehničkim sredinama

Poseban prilog Izvještaju je dokumentacioni materijal u vidu standardizovanih zapisa, tabela, dijagrama o terenskim i laboratorijskim ispitivanjima.

## **7. GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE**

### **U TOKU IZGRADNJE I EKSPLOATACIJE POVRŠINSKIH SAOBRAĆAJNICA**

Koridori saobraćajnica, naročito autoputeva i željeznica izazivaju velike promjene u prostoru, pa samim tim i na životnu sredinu, od onih koje su vidljive bez mjerenja i ispitivanja do onih koje se mogu iskazati samo specijalističkim ispitivanjima, u određenom vremenskom periodu ili dugoročno. Konačan bilans takvih promjena je uvijek pozitivan uz uslov da se projektovanje, izgradnja i eksploatacija izvode u skladu sa strukom, naukom i zakonskim obavezama što podrazumjeva istraživanje i ispitivanje stanja elemenata i faktora životne sredine. Kroz rezultate stanja, a u odnosu na tehničke karakteristike objekta i tehnologiju njegove izgradnje, može se izvršiti procjena osjetljivosti područja i definisati mogući uticaji vezani za zagađenje i opterećenje životne sredine. Analiza uticaja građenja i eksploatacije saobraćajnica na životnu sredinu je predmet posebnog studijskog istraživanja i izučavanja, na

nivou Studije o procjeni uticaja na životnu sredinu, kojim se definišu svi relevantni uticaji koji se mogu pojaviti za vrijeme izgradnje i eksploatacije saobraćajnica. U studiji se daje Plan opštih, tehničkih i administrativnih mjera zaštite, ublažavanja i/ili eliminisanja negativnih uticaja.

Izgradnjom saobraćajne infrastrukture (željezničke i putne) najveći i trajan uticaj ostvaruje se na zemljištu a najveći rizik zagađenja, također trajan, je za podzemne i površinske vode. Zemljište (tlo) i podzemna voda su elementi životne sredine ali su i radna sredina u kojoj će se realizirati izgradnja saobraćajnica. Zaštita tla i podzemne vode može se ostvariti jedino uz uslov detaljnog poznavanja njihovog stanja i svojstava odnosno režima podzemnih voda, a to su upravo osnovni zadaci koji se rješavaju geotehničkim istraživanjima i ispitivanjima za potrebe planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja saobraćajnica. Prema tome, geotehnička istraživanja i ispitivanja ne samo da su nezaobilazna u svrhu sigurne izgradnje nego i u svrhu dugoročne, planirane i sigurne zaštite životne sredine. Rezultati predstavljaju, sa jedne strane, osnov za detaljno definisanje geotehničkih uslova izgradnje i održavanja objekta a sa druge strane, čine osnov za izradu programa i projekata zaštite životne sredine, kako u fazi izgradnje tako i u fazi eksploatacije saobraćajnica.

Potrebno je naglasiti da se analiza uticaja na tlo i podzemnu vodu ne može razmatrati izdvojeno od ostalih elemenata životne sredine iz razloga što su oni uzročno – posljedično vezani zbog čega se zagađenja iskazuju kao direktna i indirektna. Tako zagađenje tla može nastati zbog zagađene površinske i podzemne vode i obrnuto, ili zbog taloženja izduvnih gasova, degradacija tla na pozajmištima materijala može dovesti do opterećenosti vazduha česticama prašine, poremećaj stabilnosti prirodne padine može ugroziti prirodan tok površinske vode ili formirati "branu" zbog čega se uzvodno mogu pojaviti poplave a one opet izazivaju zagađenje tla a preko tla, i podzemne vode, poremećaji stabilnosti deponovanog materijala mogu ugroziti okolni prostor i tako onemogućiti realizaciju konačne namjene prostora deponije i njene neposredne okoline.

Osnovni cilj geotehničkih istraživanja u svrhu zaštite životne sredine u fazi izgradnje i eksploatacije saobraćajnica jeste definisanje geotehničkih uslova izgradnje i održavanja kojima su zagantovani sigurnost stabilnost a da je pri tom rizik zagađenja tla i podzemne vode sveden na minimum.

Zadaci koje je pri tom potrebno riješiti su slijedeći:

- zauzimanje površina svesti na minimum
- predložiti takva tehnička rješenja nasipa, usjeka i zasjeka i tehnologiju njihovog izvođenja kojima se garantuje stabilnost kosina
- ukoliko se u okviru zemljanih radova izvodi miniranje, izabrati optimalnu tehnologiju u smislu vibracija, projektovane konture iskopa i dr.
- predložiti uslove izgradnje na slabonosivim terenima i terenima podložnim poplavama
- definisati kritične zone u odnosu na stabilnost padina i predložiti mjere zaštite (napomena: mjere zaštite se razrađuju posebnim projektom sanacije)
- u odnosu na fizičko – mehaničke parameter tla utvrditi mogućnost zagađenja tla i podzemne vode
- utvrditi dubine do podzemne vode, oscilacije nivoa, pravce i brzine kretanja podzemne vode

- utvrditi kritične zone obzirom na uticaj površinskih i podzemnih voda
- odrediti osjetljivost područja u odnosu na vodonosni sloj, u toku izgradnje i eksploatacije, predložiti mjere zaštite
- definisati optimalan način eksploatacije na pozajmištima uz eliminisanje raubovanja i predložiti mjere rekultivacije nakon eksploatacije
- utvrditi geotehničke uslove deponovanja materijala na trajnim deponijama i uslove uređenja podtla deponije

Činjenica je da su svi navedeni zadaci i problemi koje treba riješiti sadržani u zadacima geotekničkih istraživanja za potrebe projektovanja i izgradnje saobraćajnica. Zbog toga su metodologija i metode istraživanja istovjetne. Razlike su djelimično prisutne u analizi rezultata što je i normalno obzirom da se analiza vrši u odnosu na mogućnosti zagađenja i na zaštitu tla i podzemne vode.

Analiza rezultata geotehničkih istraživanja u svrhu zaštite životne sredine prikazuje se u zasebnom izvještaju koji je sastavni dio rezultata geotehničkih istraživanja za trasu saobraćajnice (faza glavnih geotehničkih istraživanja). Podaci iz izvještaja, mišljenja i prijedlozi predstavljaju osnovne ulazne podatke za izradu Studije uticaja na okolinu. Rezultati dobijeni istražnim radovima u odnosu na stabilnost terena, fizičko – mehaničke karakteristike pojedinih litoloških članova, dubinu do podzemne vode, oscilacije nivoa, pravce i brzine kretanja podzemne vode kao i svi zemljani radovi koji su izvedeni u skladu sa detaljno definisanim geotehničkim uslovima, mogu se smatrati nultim stanjem kompletnog objekta, u fazi formiranja monitoringa saobraćajnica.

## **8. DISKUSIJA**

Značajnije građenje saobraćajnica na prostorima Bosne i Hercegovine započinje krajem XIX i početkom XX vijeka, odnosno dolaska Austrougarske na ove prostore. Počinje modernizacija saobraćajne infrastrukture, posebno izgradnja željezničkih pruga, kojim se odvijao glavni transport roba i prevoz putnika. Kvalitet izgradnje tih objekata i nivo izučenosti karakteristika terena i danas su vrijedni pažnje, a često i polazna osnova za dalja istraživanja u cilju detaljnijeg proučavanja terena, shodno današnjim zahtjevima.

Intenzivnije građenje saobraćajne infrastrukture započinje poslije II svjetskog rata, u početku željeznica, a kasnije i puteva. Vremenom su saobraćajni objekti prolazili sve složenijim terenima, što je zahtijevalo detaljnija istraživanja, koja su Ugovornim dokumentom za izgradnju puteva 1974. godine, propisana i verifikovana kao dokument sa zakonskom snagom.

Noviji period građenja saobraćajne infrastrukture započinje poslije 2000. godine, od kada se stvaraju uslovi za izgradnju autoputeva i brzih pruga. Veći značaj je dat izgradnji autoputeva i usklađivanje svih faza građenja i eksploatacije sa propisima Evropske Unije. Izrađene su Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, kao dokument sa zakonskom snagom u kome su definisane sve faze građenja, a faza inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja prikazana je u knjizi I: Projektovanje, dio 1: Projektovanje puteva, poglavlje 2: Inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja i ispitivanja. Predviđena istraživanja u Smjernicama sadržana su u projektnoj dokumentaciji (programu osnovnih i projektu detaljnih istraživanja) ali se u cjelosti ne provode, zbog novih propisa u Evropskoj

Uniji o građenju puteva, predviđenih u International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) studiji, gdje se jedan dio istraživanja vrši u fazi građenja puteva. U našim uslovima istraživanja predviđena na ovakav način se brzo i loše provode ili potpuno izostaju. Rezultat toga je lošiji kvalitet građenja puteva i njihova stabilnost tokom eksploatacije, što se i fizički zapaža posljednjih godina.

Redosljed istraživanja predviđen u ovom radu uz kvalitetno provođenje istražnih radova, terenskih i laboratorijskih ispitivanja, daje sigurnu osnovu za projektovanje i građenje površinskih saobraćajnih objekata u najsloženijim terenima.

## **9. ZAKLJUČAK**

Inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja predstavljaju značajnu fazu istraživanja kod izgradnje površinske saobraćajne infrastrukture. Sve veći zahtjevi za kvalitetom građenja saobraćajnica, ambijentalnim izgledom i sadržajem objekata različite namjene, posebno kod autoputeva, obuhvataju raznovrsnija istraživanja, prilagođena terenu i objektima na terenu.

U radu je dat pregled potrebnih istraživanja od početne faze do završne izrade dokumentacije koja je podloga za izradu glavnog projekta. Navedene su sve faze geotehničkih istraživanja i njihova pripadnost u odnosu na nivoe tehničke dokumentacije. Takođe je dat i okvirni sadržaj Elaborata o izvršenim istraživanjima i geotehničkim uslovima izgradnje, za sve faze istraživanja. Način izrade elaborata i prikazivanje rezultata istraživanja i ispitivanja definisani su posebnim podzakonskim aktima za svaku vrstu objekata.

Sastavni dio projektne dokumentacije je elaborat o pozajmištu materijala i deponijama za odlaganje viška materijala. Lokacije za pozajmište i deponije trebaju biti što bliže trasi saobraćajnice, a materijal za pozajmište da zadovoljava traženi kvalitet za ugradnju. Istraživanja se provode po istoj metodologiji, samo zavisi od vrste materijala i njegove veličine.

Izgradnjom saobraćajnica nastaju značajne promjene u prostoru, što narušava postojeću ili poboljšava kvalitet buduće životne sredine, posmatrano u širem smislu. Očuvanje životne sredine tokom istraživanja terena, građenja objekata i poboljšanje kvaliteta nakon izgradnje definiše se u studiji procjene uticaja na životnu sredinu, koja je sastavni dio ukupne tehničke dokumentacije.

## **LITERATURA:**

1. Atterberge A. (1912). International Mitting fur Bodenkunde.
2. Barla G. (1974). Rock Anisotropy - Theory and Laboratory Testing, Rock Mechanics - International Centre for Mechanical Science, ed. by L. Muller, Udine.
3. Barton N., Lien R., Lunde J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Vol 6, No. 4. Oslo, pp. 189–236.
4. Barton. N. (1981). Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities. Int. Rock Mech. Min. Sci Vol 15. N<sup>o</sup> 6 Pergamon Press Ltd. Oxford.

5. Barton N. (1983). Application of Q-System and index test to estimate shear strength and deformability of rock masses, Int. Symp. on Engin. Geology and Underground Construction, Lisboa - Portugal.
6. Bieniawski Z.T. (1970). Time-dependent behavior of fractured rock. Rock Mechanics.
7. Bieniawski Z.T. (1983). The Geomechanics Classification (RMR System) in design application to underground excavations, Int. Symp. on Engin. Geology and Underground Construction, Lisboa-Portugal.
8. Casagrande A. (1947). Classification and determination of soil. Proceedings ASCE.
9. Crnković B. (1983). Postojeće klasifikacije stijenskih masa. Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi. Društvo građevinskih inženjera i tehničara, Zagreb i Društvo za mehaniku stijena i podzemne radove Hrvatske. Zagreb, str. 211–233.
10. Cunha A. P. (1990). Scale effects in rock mechanics. Scale Effects in Rock Masses, Balkema, Rotterdam.
11. Čulibrk S. R. (1996). Geotehnički radovi u niskogradnji. Građevinski fakultet Subotica, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Subotica, Beograd.
12. Dearman W.R. (1974). Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in british practice. Bulletin of the international association of engineering geology Krefeld.
13. Deere D.U. (1963). Technical description od rock cores for engineering geology. Rock Mechanics and Engineering Geology, vol. 1, p. 18.
14. Duncan N. (1979). Engineering Geology and Rock Mechanics. Vol. I and II. Leonard Hill, London.
15. Đukić D. (2004). Geotehničke klasifikacije za površinske radove u rudarstvu i građevinarstvu. Rudarski institut Tuzla.
16. Đurić N. (2011). Hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja. Građevinski fakultet, Subotica, Tehnički institut, Bijeljina.
17. Đurić N. (2015). Osnove bušenja i karakteristika stijena. Tehnički institut Bijeljina, Bijeljina.
18. Eurokodu 7: Geotechnical desing. Part 1, 2, 3.
19. Goodman E.R. (1993). Engineering geology. John Wiley & Sons, Inc.
20. Grupa autora: Elaborati o inženjerskogeološkim i geomehaničkim karakteristikama terena na trasi autoputa koridor E 661 Banja Luka – Gradiška. Faze idejnog i glavnog projekta. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 15–A/2006, 2004–2006.
21. Grupa autora: Izvještaj o provedenim geotehničkim terenskim istraživanjima i laboratorijskim ispitivanjima za trasu autoputa Doboj – Laktaši. Faza idejnog projekta. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 23–A/2009, 2009.
22. Grupa autora: Elaborati o inženjerskogeološkim i geomehaničkim karakteristikama terena na trasi autoputa koridor Vc, sekcija Svilaj – Doboj Jug (Karuše), dužine 63 km. Faze idejnog i glavnog projekta. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 35–A/2012, 2006–2012.
23. Grupa autora: Programi, projekti i elaborati snovnih i detaljnih geoloških istraživanja na trasi magistralnog puta M 16, Foča – Hum. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 37–A/2012, 2009–2012.
24. Grupa autora: Izvještaj o geomehaničkim istraživanjima za potrebe Studije izvodljivosti glavne opravke pruge na dionici Doboj – Maglaj i Jelina – Zenica na željezničkom koridoru Vc, Bosna i Hercegovina. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 1–Ž/2012, 2012.

25. Grupa autora: Izvještaj o geomehaničkim istraživanjima za potrebe izrade preliminarnog projekta za obnovu kolosjeka na dionici Maglaj – Jelina i Zenica – Podlugovi na željezničkom koridoru Vc, Bosna i Hercegovina. Fond stručne dokumentacije, Biblioteka Tehničkog instituta Bijeljina, dokument br. 2-Ž/2016, 2016.
26. Hudson J.A., Harrison J.P. (1997). Engineering Rock Mechanics, An introduction of the principles, Pergamon, pp. 444.
27. Hunt R. E. (1984). Geotechnical engineering investigation manual, McGraw-Hill Book Company, New York.
28. Janjić M. (1985). Inženjerska geologija sa osnovama geologije. Naučna knjiga, Beograd.
29. Komatina M. (1995). Hidrogeološka istraživanja, Primjenjena hidrogeologija IV, Geozavog - HIG, Beograd.
30. Lokin P. (1990). Parametri i klasifikacije ispucalosti stenskih masa, Rudarsko-geološki fakultet, Seminar "Metodologija istraživanja ispucalosti stenskih masa u geotehnici", Beograd.
31. Maksimović M. (1995). Mehanika tla. Gros knjiga, Beograd.
32. Mandžić E., Žigić I. (1986). Mobility of Open Pit Unstable Slope and Influential Factors. 6<sup>th</sup> International Symposium of Landslides, Christchurch, New Zeland. Proc. Vol. 2, p. 1002.
33. McLean A.C., Gribble C.D. (1979). Geology for Civil Engineers. George Alen & Unwin. XVIII + 300, London.
34. Mitrović P. (1997). Teren kao radna sredina za građenje - Institut za puteve d.d. Društvo za Srbije, Beograd.
35. Najdanović N., Obradović R. (1979). Mehanika tla u inženjerskoj praksi. Rudarski institut Beograd.
36. Nonvajler E. (1990). Mehanika tla i temeljenje. Školska knjiga, Zagreb.
37. Proctor R.V., White T.L. (1948). Rock Tunneling with Steel Supports, with introduction by K. Terzaghi. Co Youngstown, Ohio.
38. Protodjakonov M.M. (1962). The methods of exploration of rocks used in the USSR. Sb. The rotten and rock mechanics. VI Symposium 1961. SAD. Release SSSR Academy of Sciences, Moscow.
39. Stević M. (1991). Mehanika tla i stijena. Rudarsko-geološki fakultet, Tuzla.
40. Sunari' D. (2000). Klizišta i odroni u Gornjem toku Drine. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
41. Terzaghi K. (1935, 1972). Teorijska mehanika tla. Wien, Naučna knjiga, Beograd.
42. Vrkljan I. (2011). Inženjerska mehanika stijena. Građevinski fakultet, Rijeka.

## **DOKUMENTI SA ZAKONSKOM SNAGOM**

1. Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima u Republici Srpskoj i Federaciji Bosne i Hercegovine. Sarajevo/Banja Luka, 2005.
2. Zakon o geološkim istraživanjima. Službeni glasnik Republike Srpske, br. 110/2013.
3. Zakon o geološkim istraživanjima Federacije Bosne i Hercegovine. Službene novine Federacije BiH, br. XVII-9/2010.
4. Zakono geološkim istraživanjima. Službeni list Republike Crne Gore, br. 28/93, 27/94, 42/94, 26/07).
5. Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata. Službeni list SFRJ, 15/1990.

6. Pravilnik o geotehničkim istraživanjima i ispitivanjima te organizaciji i sadržaju misija geotehničkog inženjerstva. Službene novine Federacije BiH, br. 114/2009.
7. Uputstvo za izradu Osnovne geološke karte Republike Srpske, 1:50000. Republički geološki zavod za geološka istraživanja, Zvornik, 2014.
8. Uputstvo za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Srpske, 1:100000. Republički geološki zavod za geološka istraživanja, Zvornik, 2014.
9. Uputstvo za izradu Osnovne hidrogeološke karte Republike Srpske, 1:100000. Republički geološki zavod za geološka istraživanja, Zvornik, 2014.
10. Uputstvo za izradu Osnovne geološke karte SFRJ, 1:100000. Savezni geološki zavod, Beograd, 1984/1888.
11. Uputstvo za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ, 1:100000. Savezni geološki zavod, Beograd, 1984/1888.
12. Uputstvo za izradu Osnovne hidrogeološke karte SFRJ, 1:100000. Savezni geološki zavod, Beograd, 1984/1888.
13. Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima u Srbiji. Javno preduzeće Putevi Srbije. Beograd, 2012.
14. Projekat rehabilitacije transporta. Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji. 8. Konstruktivni elementi. 8.1. Zemljani radovi. Republika Srbija, Beograd 2012.
15. Projekat rehabilitacije transporta. Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji. 2. Posebni tehnički uslovi. 2.2. Zemljani radovi, Beograd 2012.
16. Projekat rehabilitacije transporta. Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji. 2. Geotehnička i hidrološka istraživanja i ispitivanja. 2.1. Geotehnička istraživanja i ispitivanja. 2.2. Hidrološke analize. Beograd 2012.
17. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa. Narodne novine Hrvatske, br. 110/2001.



# ŽIGIĆ RAD

VASO RAD

## **PREGLED GEOLOŠKO-GEOTEHNIČKIH ISPITIVANJA I ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE PROJEKTOVANJA HE "BABINO SELO"**

### **Sažetak:**

*U radu je predstavljen pregled kompleksnih inženjersko-geoloških i geotehničkih ispitivanja i istraživanja za potrebe projektovanja HE „Babino Selo“. Prema dobivenim parametrima, lijeva obala Vrbasa je u tufovima, a desna u spilitima i keratofirima. Stijenske mase imaju visoke vrijednosti monoaksijalnih čvrstoća. Ispitivanjem VDP-a utvrđeno je da se vodopropusnost smanjuje sa povećanjem dubine. Provedena istraživanja ukazuju da odabrani mikrolokalitet zadovoljava uslove izgradnje brane HE „Babino Selo“*

### **Ključne riječi:**

*tufovi, spiliti i keratofiri, monoaksijalna čvrstoća, vodopropusnost, HE Babino Selo*

## **1. UVOD**

Osnovu za izradu Feasibiliti study za hidreolektranu Babino Selo predstavlja projektni zadatak koji je definisan Ugovorom sklopljenom između JP ELEKTROPRIVREDA BiH D.D. SARAJEVO i Poyry Energy GmbH, Austrija te Podugovorom između Poyry Energy GmbH, Austrija i Građevinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, Institut za geotehniku i geologiju. U okviru tog projektnog zadatka bilo je potrebno uraditi Početni izvještaj, Privremeni izvještaj I i Program geoloških istraživanja za HE Babino Selo kao Privremeni izvještaj II, te Geološko-geotehnički izvještaj kao Privremeni izvještaj III.

Sliv rijeke Vrbas obuhvata centralne dijelove terena Dinarskog planinskog sistema. Srednja nadmorska visina sliva iznosi 1030 m.n.m., najniža (ušće rijeke Vrbas u Savu), 83m.n.m., a najviša predstavlja vrh planine Vranice (Tikva- 1978 m.n.m.).

Vrbas je desna pritoka rijeke Save u zapadnom dijelu BiH dugačka oko 250km, sa površinom sliva oko 62703 km<sup>2</sup>. Vrbas nastaje od dva vrela na Zec-Planini (ogranak Vranice), 1715m.n.m. Rijeka Vrbas usijeca kompozitnu dolinu, prolazeći kroz Skopljansku kotlinu, kotlinu buduće akumulacije HE Babino Selo, Vinačku klisuru, Jajačku kotlinu, kanjonsku dolinu Tijesno, Banjalučku kotlinu, a donjim tokom preko svoje makroplavine Lijeve polje.

---

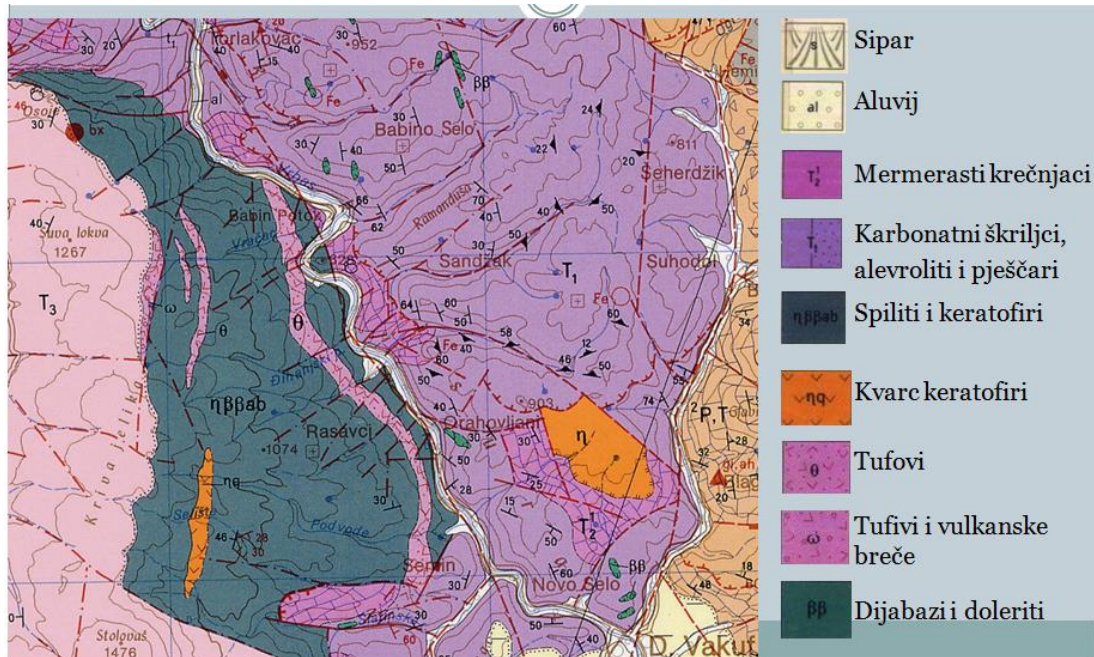
<sup>1</sup> prof. dr. sc. Đenari Čerimagić, dipl. inž.geol., Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet u Sarajevu, Patriotske lige 30, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, djenari.cerimagic@gf.unsa.ba



Slika 1: Prikaz HE „Babino Selo“

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA ŠIREG PODRUČJA

Geološka građa šireg područja, kao što se vidi na slici 2, je izuzetno složena.



Slika 2: Geološka građa šireg područja

U građi šireg prostora učestvuju sedimentne i magmatske stijene stvarane u toku donjeg trijasa ( $T_1$ ), srednjeg trijasa – anizika ( $T_2^1$ ) i ladinika ( $T_2^2$ ) kao i suvremene kvartarne naslage (Q) u vidu površinskih pokrivača različite geneze i materijalnog sastava.

### 3. VRSTE I OBIM IZVEDENIH ISTRAŽNIH RADOVA

U nastavku su navedene vrste istražnih radova koji su sprovedeni za potrebe projektovanja HE „Babino Selo“

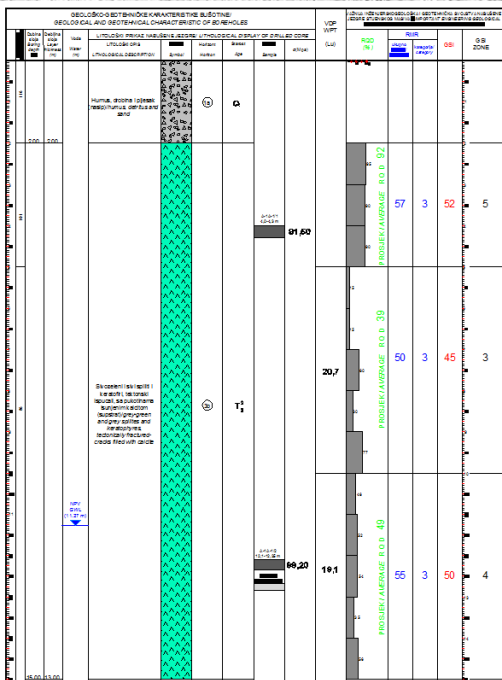
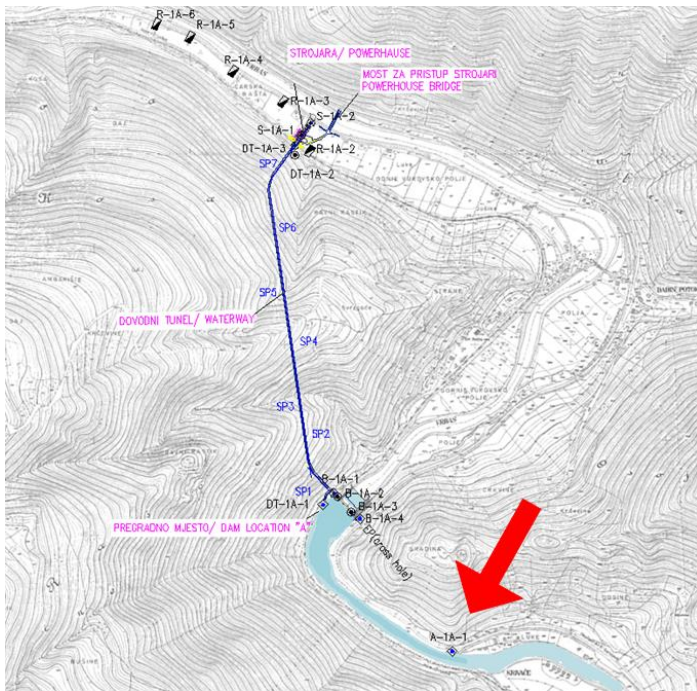
- Detaljno IG i HG kartiranje terena i istražnih radova
- Istražno bušenje i ispitivanje VDP-a
- Izvođenje istražnih raskopa
- Geofizička ispitivanja
- Laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i stijena
- Mineraloško-petrografska ispitivanja uzoraka stijena
- Fizičko-hemijska ispitivanja uzoraka vode
- Geodetsko snimanje istražnih radova

VARIJANTA	NAZIV BUŠOTINE	DUBINA BUŠOTINE	PIJEZOMETAR	Broj VDP opita (etaža 5m)	BROJ UZORAKA
VARIJANTA 1A (visina brane 10.0 m)	B-1A-1	25.00	DA	4	5
	B-1A-2	20.00	NE	3	5
	B-1A-3	20.00	NE	3	4
	B-1A-4	25.00	DA	2	4
	DT-1A-1	20.00	NE	-	2
	DT-1A-2	30.00	NE	-	2
	DT-1A-3	15.00	NE	-	2
	S-1A-1	15.00	NE	-	2
	S-1A-2	15.00	NE	-	2
A-1A-1	15.00	DA	2	2	

*Tabela 1: Pregled vrste i obima izvedenih istražnih radova*

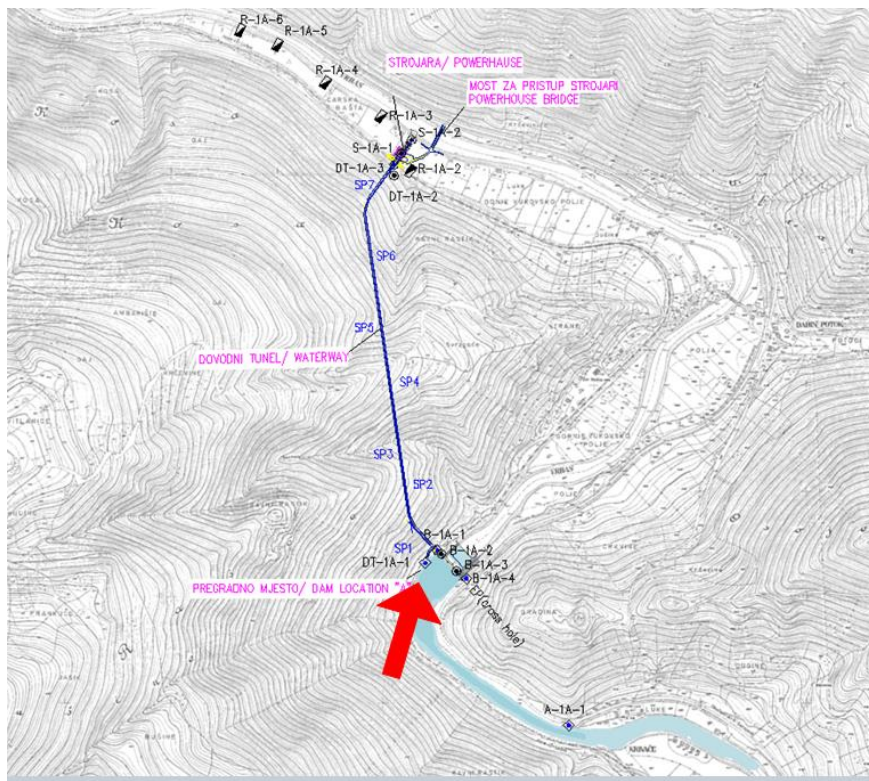
#### 4. Analiza rezultata istražnih radova-istražno bušenje

##### 4.1. Istražna bušotina u akumulaciji A-1A-1

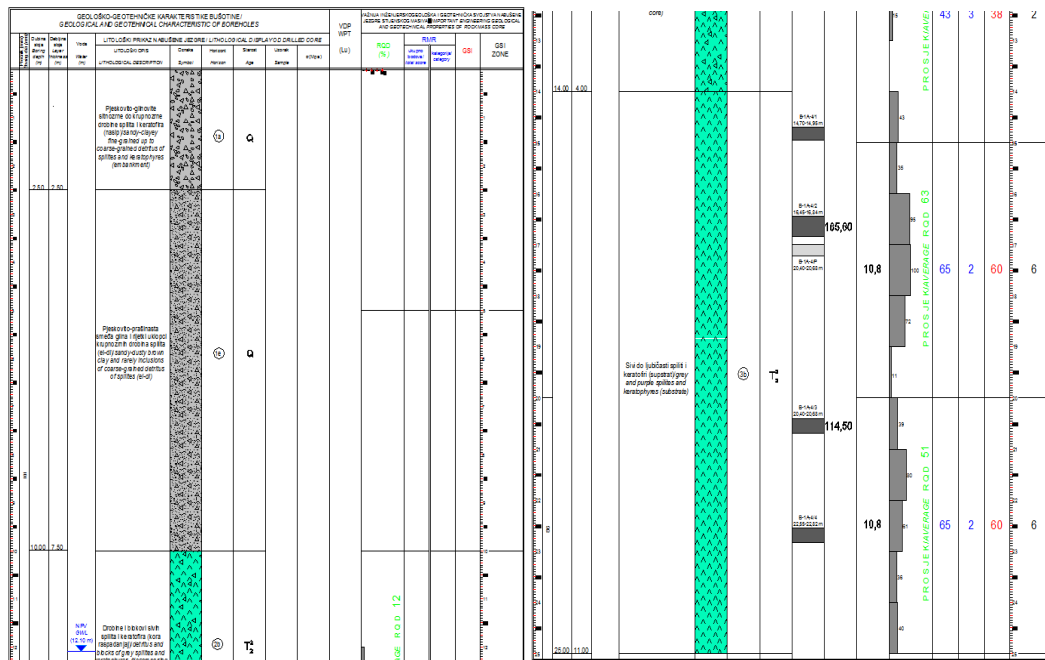


Slika 3. Istražna bušotina u akumulaciji-A-1A-1 a) položaj; b) stub profil [1]

## 4.2. Istražna bušotina na lokaciji pregradnog mjesta B-1A-1



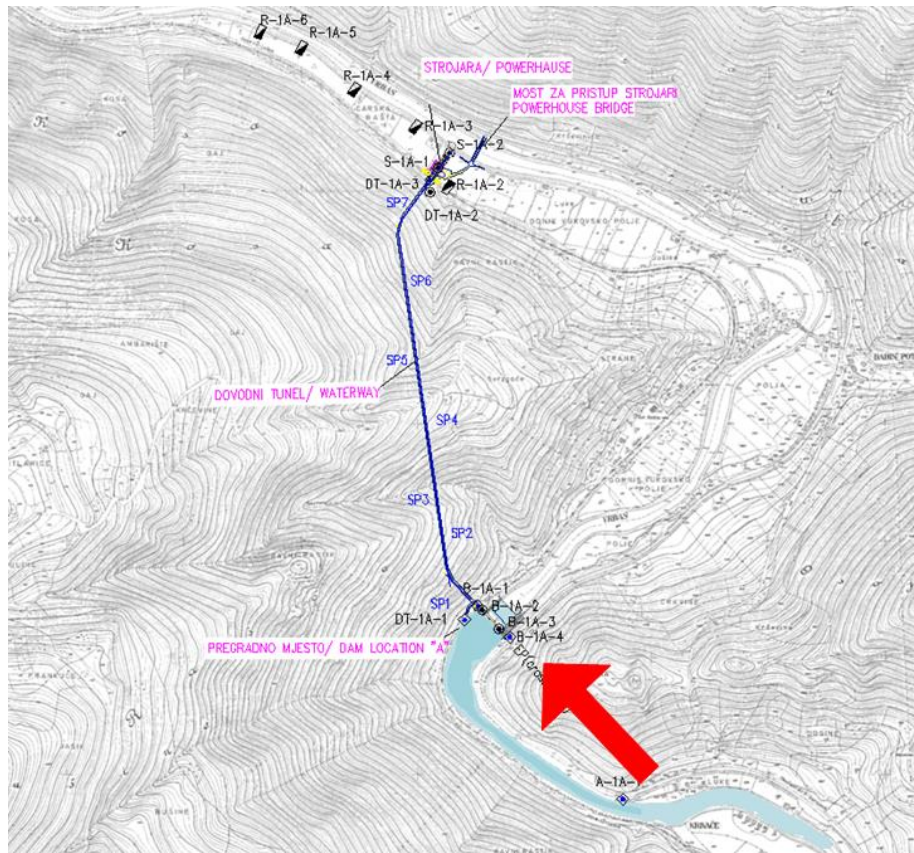
Slika 4. Prikaz lokacije istražne bušotine B-1A-1 [1]



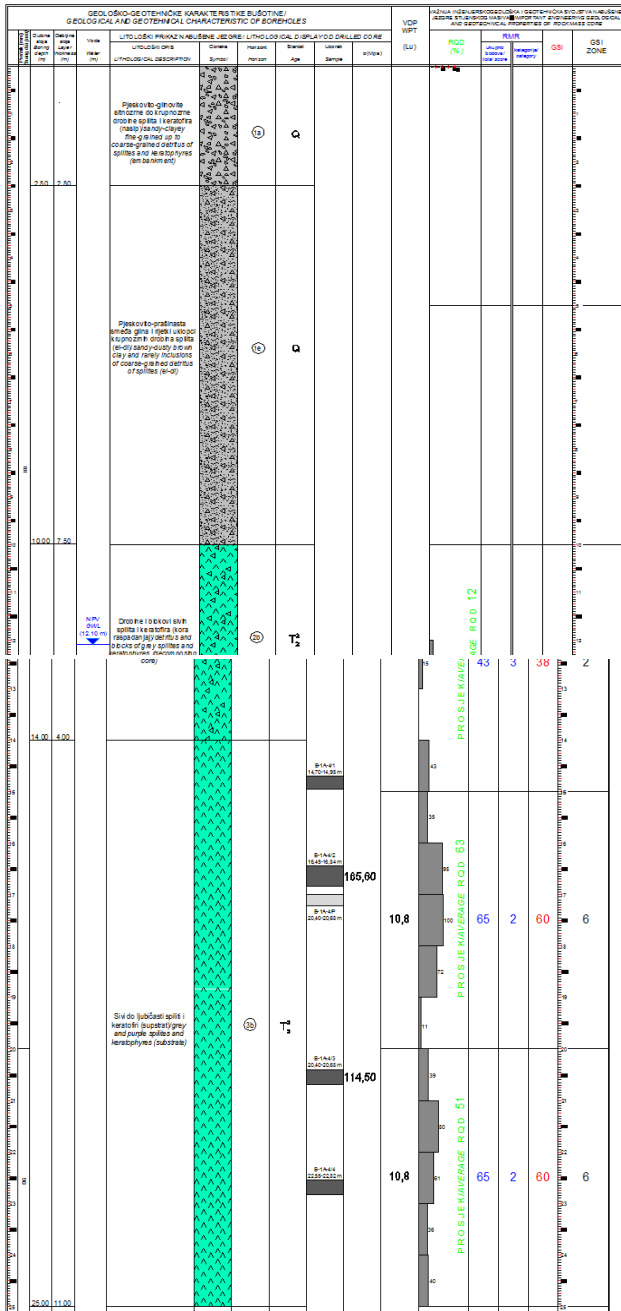
Slika 5. Prikaz stub profila istražne bušotine B-1A-1 [1]



### 4.3. Istražna bušotina na lokaciji pregradnog mjesta B-1A-4

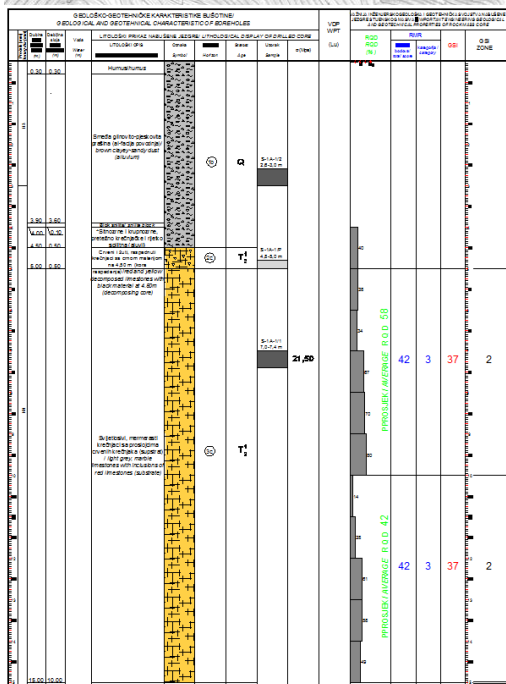
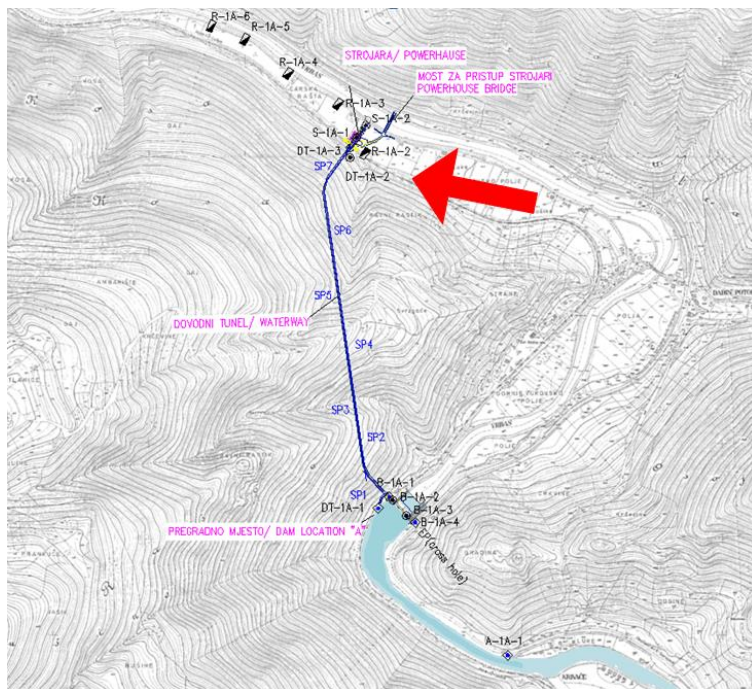


Slika 6. Prikaz lokacije istražne bušotine B-1A-4 [1]



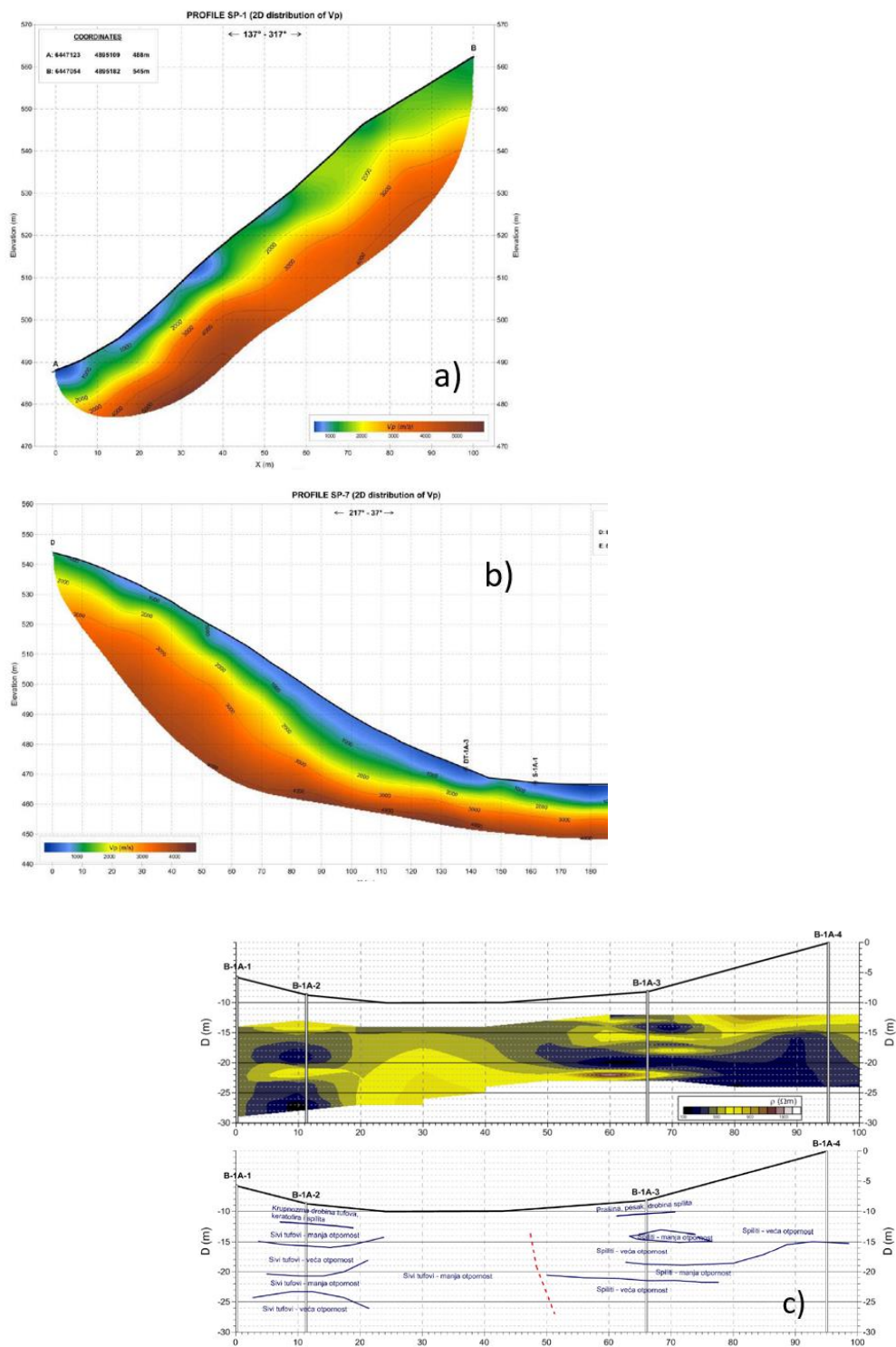
Slika 7. Prikaz stub profila istražne bušotine B-1A-4 [1]

#### 4.4. Istražna bušotina na lokaciji strojare S-1A-1



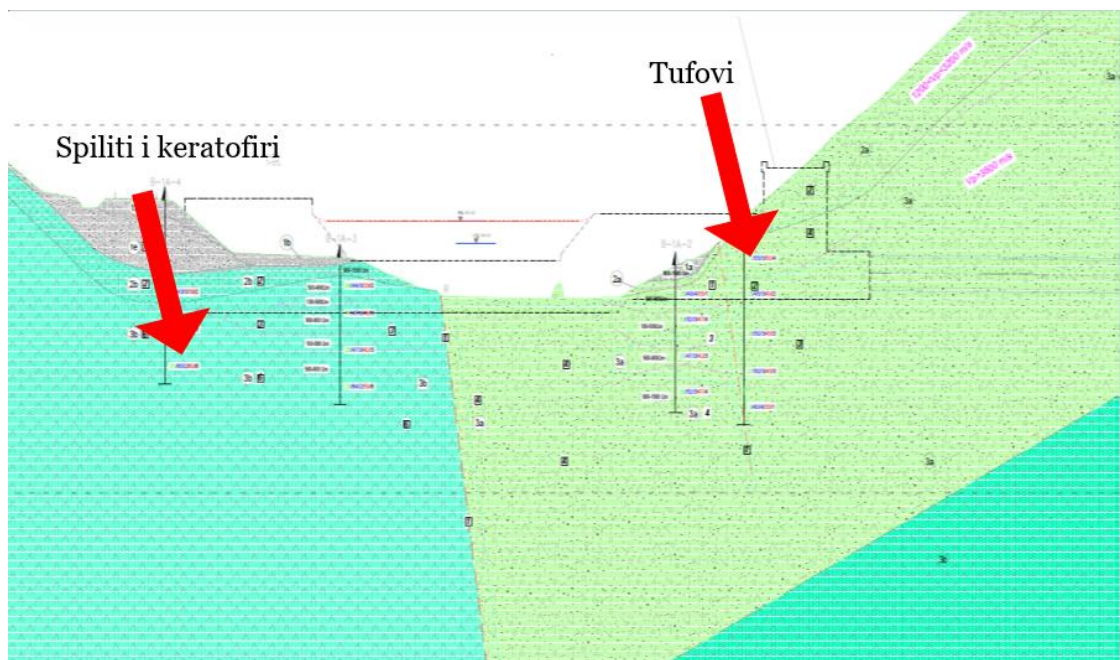
Slika 8. Istražna bušotina na lokaciji strojare - S-1A-1 a) položaj; b) stub profil [1]

## 5. geofizička ispitivanja



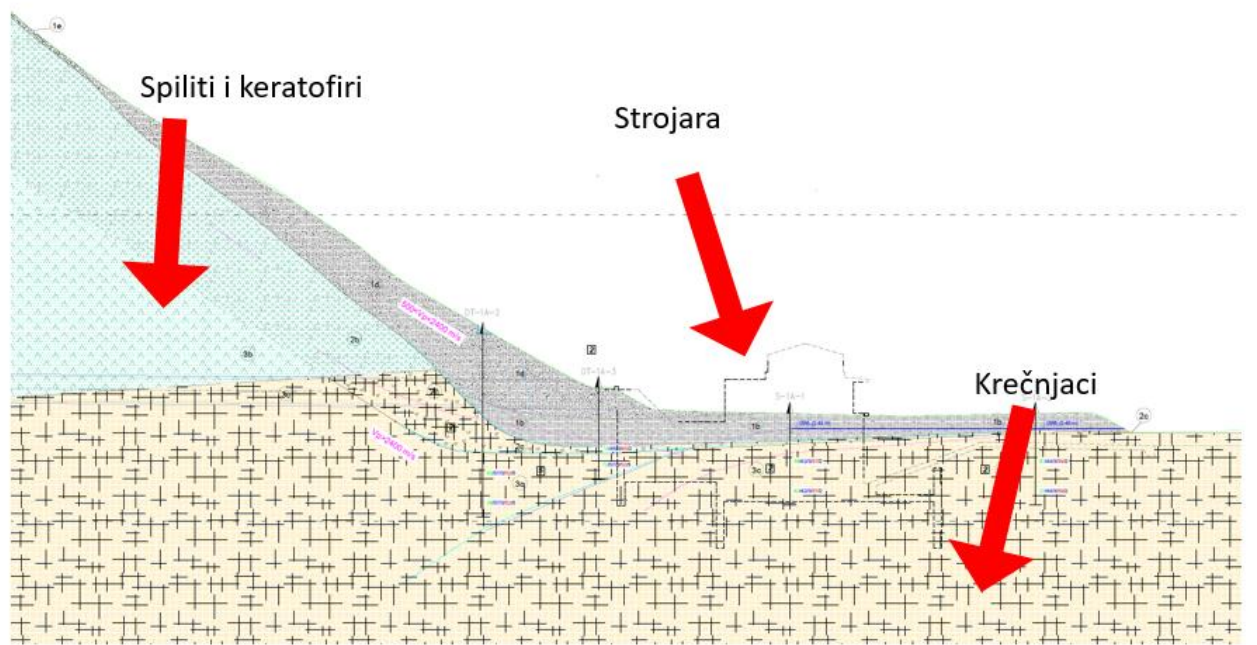
Slika 9. Prikaz geofizičkih ispitivanja a) i b) seizmometrijske metode; c) elektrometrijsko prozračivanje

## 6. Inženjersko geološki profil pregradnog mjesta



Slika 10. Prikaz integralnog inženjerskogeološkog profila pregradnog mjesta [1]

## 7. Inženjersko geološki profil lokacije strojare



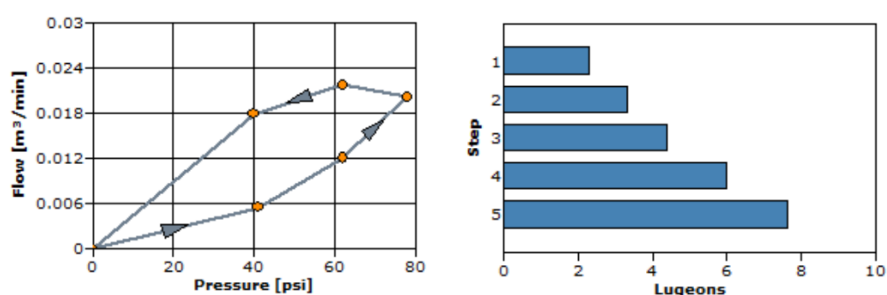
Slika 11. Prikaz integralnog inženjerskogeološkog profila lokacije strojare [1]

## 8. Analiza rezultata ispitivanja vodopropusnosti

Vodopropusnost je ispitana u osovini brane u bušotinama B-1A-1, B-1A-2, B-1A-3 i B-1A-4 kao i bušotini A-1A-1 koja se nalazi u nivou magistralnog puta M5 u uzvodnom dijelu akumulacije. Ispitivanje je izvršeno na uobičajeni način koji se primjenjuje na čvrste stijenske mase, upumpavanjem vode pod pritiskom od 2, 4, 6, 8 i 10 bara i obrnuto u trajanju od 3x po 5 minuta za svaki od spomenutih pritisaka.

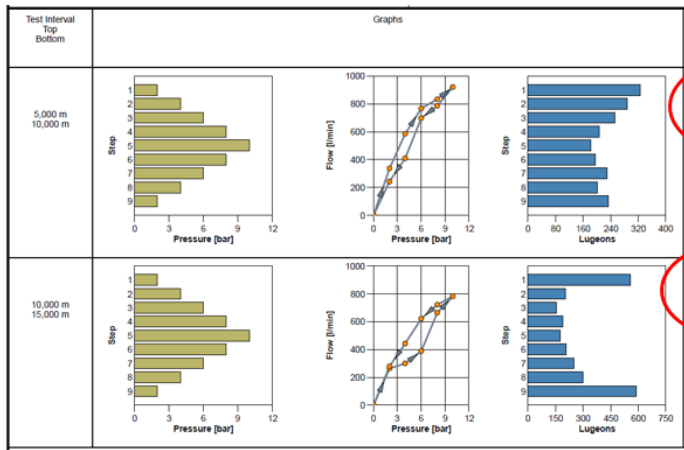
### 8.1.1. Obrade izmjerenih podataka

Na osnovu izračunatih vrijednosti za sve ispitivane pritiske na jednoj etaži formiraju se dijagrami protok-pritisak i korak (pritisak)-Lugeon:



Slika 12: Dijagrami protok-pritisak i korak(pritisak)-Lugeon [1]

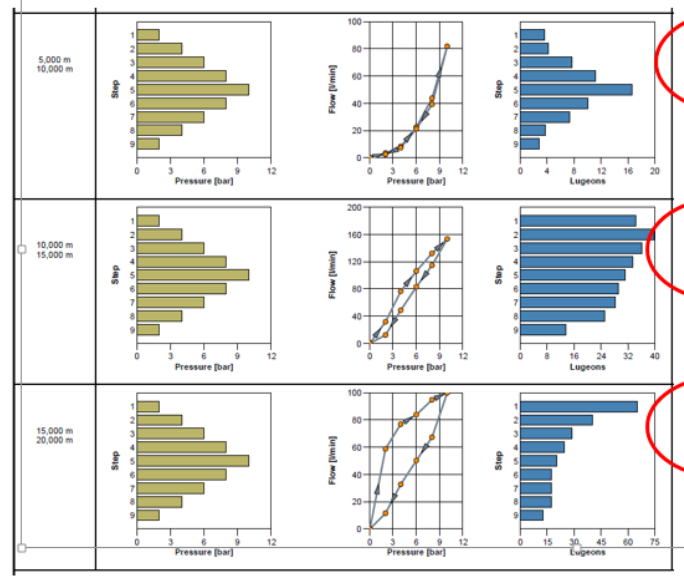
• BUŠOTINA A-1A-1 - AKUMULACIJA



Lugeon: 23,5 **Vrlo velika**

Lugeon: 19,1 **Velika**

• BUŠOTINA B-1A-2 – LIJEVA OBALA

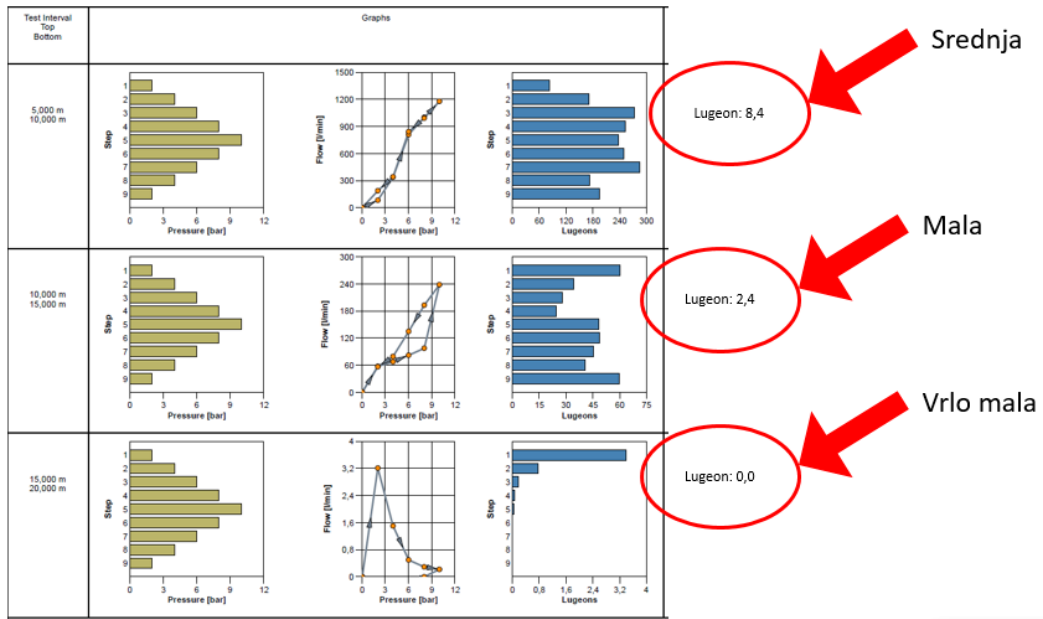


Lugeon: 0,4 **Vrlo mala**

Lugeon: 1,3 **Vrlo mala**

Lugeon: 1,3 **Vrlo mala**

• BUŠOTINA B-1A-3 – DESNA OBALA



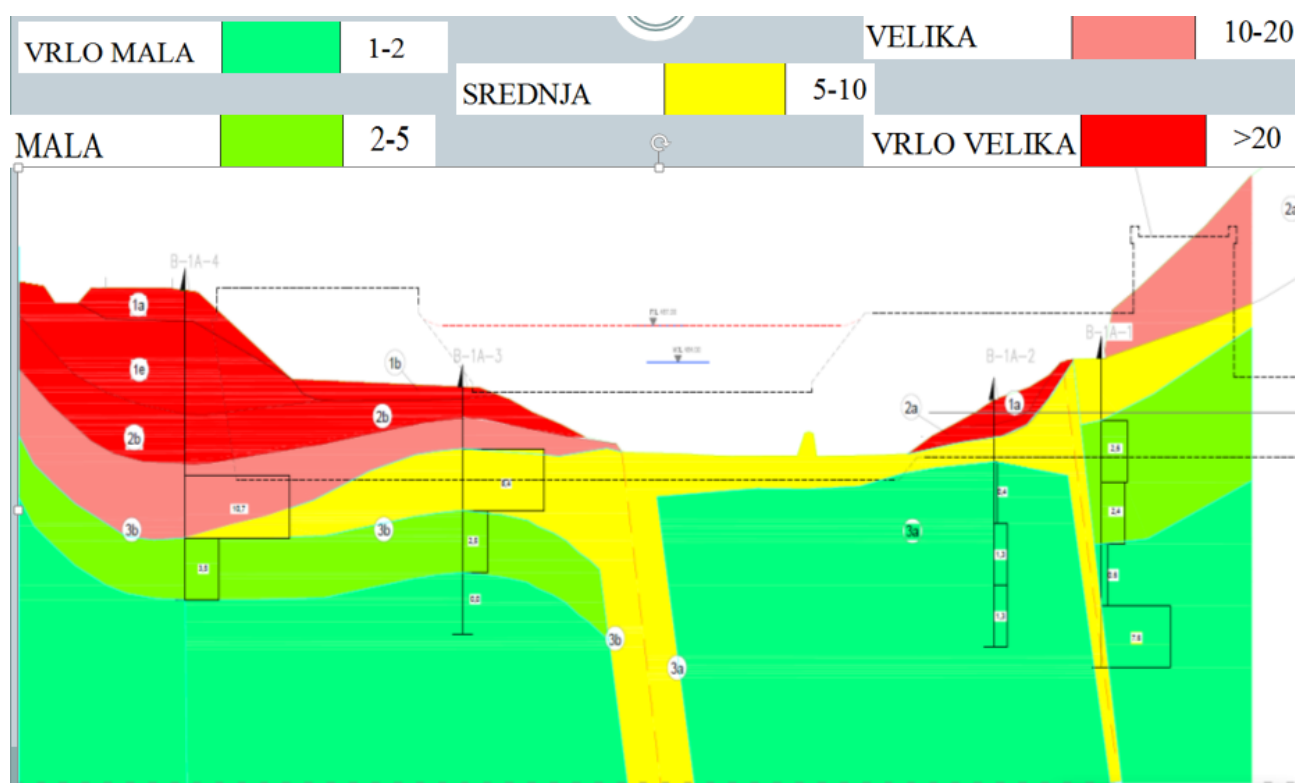
Slika 13: Prikaz obrađenih rezultata testa vodopropusnosti [1]



Na osnovu tako dobivenih vrijednosti Ližona, izvršena je klasifikacija stijenske mase prema vodopropusnosti. a na osnovu slijedeće tablice:

Grupa	Ocjena VDP-a	VDP (Lu) (l/min/m <sup>2</sup> /pri 10 bara
1	Vrlo mala	1 – 2
2	Mala	2 – 5
3	Srednja	5 – 10
4	Velika	10 – 20
5	Vrlo velika	> 20

Tabela 2: Ocjena vodopropusnosti stijenskih masa



Slika 14. IG profil pregradnog mjesta prema parametru vodopropusnosti [1]

U hidrogeološkom pogledu u stijenskim masama supstrata na profilu brane smjenjuju se etaže sa vrlo malom, malom i srednjom vodopropusnošću. Na najvećem broju etaža (9 etaža) utvrđena je vrlo mala i mala vodopropusnost od 1 – 5 Lu. Srednja vodopropusnost konstatovana je samo na dvije etaže i to jedna na lijevoj obali u bušotini B-1A-1 na etaži 20 – 25 m i jedna na desnoj obali, bušotina

B-1A-3 na etaži 5 – 10 m. Na profilu bušotine B-1A-4 na etaži od 15 – 20 m konstatovana je vrlo velika vodopropusnost (10,7 Lu), što se može objasniti ispucalošću pripovršinskog dijela stijenskih masa supstrata.

## 9. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati kompleksnih inženjersko-geoloških i geotehničkih istraživanja za potrebe projektovanja HE „Babino Selo“. Prema dobivenim parametrima, lijeva obala Vrbasa je u tufovima, a desna u splitimima i keratofirima.

Čvrste stijenske mase su stabilne i pogodne za izgradnju predviđenih objekata. Preko stijenskih masa supstrata nalaze se genetski različiti pokrivači predstavljeni materijalima vezanog i nevezanog tla. Debljina površinskog pokrivača na lijevoj obali i koritu rijeke je zanemariva dok je na desnoj obali značajna i iznosi 10,0 m. Naprijed navedeno ukazuje na značajnu debljinu materijala pokrivača u desnom boku brane što će se nepovoljno odraziti na uslove stabilnosti magistralnog puta, fundiranje i vodopropusnost u boku i ispod brane.

U hidrogeološkom pogledu u stijenskim masama supstrata na profilu brane smjenjuju se etaže sa vrlo malom, malom i srednjom vodopropusnošću. Ispitivanjem VDP-a utvrđeno je da se vodopropusnost smanjuje sa povećanjem dubine.

Provedena istraživanja ukazuju da odabrani mikrolokalitet zadovoljava uslove izgradnje brane HE „Babino Selo“.

## 10. referencE

- [1] HE Babino Selo – Feasibility Study – Geološko-geotehnički izvještaj, Pöyry Energy GmbH i Građevinski fakultet u Sarajevu, Institut za geotehniku i geologiju, Sarajevo 2016
- [2] Kujundžić, B., (1974): Građevinski priručnik, Tehnička knjiga – Beograd.
- [3] Lokin, P. & Ostojić, S., (1992): Uputstvo za projektovanje i izvođenje geoloških istraživanja za potrebe projektovanja hidrotehničkih objekata - Elektroprivreda Srbije i ENERGOPROJEKT - Hidroinženjering, Beograd.
- [4] Šibenik-Studen, M. & Trubelja, F., (1967): Novi prilog poznavanju magmatizma doline rijeke Vrbasa, Glasnik Zem. muzeja, MS, sr. VI-Prirodne nauke, Sarajevo.
- [5] Trubelja, F. & Šibenik-Studen, M., (1965): Efuzivne stijene iz doline rijeke Vrbasa i graniti Komara, Glasnik Zem. muzeja BiH 3-4 99-103, Sarajevo.
- [6] HE Babino Selo – Feasibility Study – Program geoloških istraživanja, Pöyry Energy GmbH i Građevinski fakultet u Sarajevu, Institut za geotehniku i geologiju, Sarajevo 2016.
- [7] Osnovna geološka karta SFRJ, list Bugojno 1:100000 sa tumačem. SGZ Beograd 1981.
- [8] Osnovna seizmološka karta SFRJ, Zajednica za seizmologiju SFRJ-Beograd 1987.
- [9] Zbirka Jugoslovenskih pravilnika i standarda za građevinske konstrukcije, Knjiga 1 Dejstva na konstrukcije, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu u saradnji sa Jugoslovenskim društvom građevinskih konstruktera i Saveznim zavodom za standardizaciju, Beograd 1995.
- [10] Japanese National Cornmite of the International Commission on Large Dams, 1978. Standards for Geological Investigations of Dam Foundations - Cape Town.
- [11] Pravilnik o sadržini programa, projekta i elaborata geoloških istraživanja, SL. List RBH br. 16/93.
- [12] Zakon o geološkim istraživanjima FBiH, Sl. Novine FBiH br. 9/10 i 14/10.
- [13] Pravilnik o geotehničkim istraživanjima i ispitivanjima te organizaciji i sadržaju misija geotehničkog inženjerstva, Sl. novine FBiH br. 60/09.
- [14] BASIC GEOTECHNICAL DESCRIPTION OF ROCK MASSES, 1980, DOC. NO. 1, int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 85 to 110, Pergament Press Ltd 1981.

- [15] SUGGESTED METHODS FOR THE QUANTITATIVE DESCRIPTION OF DISCO+  
 [16] NTINUITIES IN ROCKMASSES. Int. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15. pp. 31 9 to 368, Pergament Press Ltd 1978.
- [17] BASEN 1997-1:2008 Eurokod 7 - Projektovanje geotehničkih struktura - Dio 1: Opća pravila (EN 1997-1:2007 IDT).
- [18] BASEN 1997-2:2008 Eurokod 7 - Projektovanje geotehničkih struktura - Dio 2: Ispitivanje tla (EN 1997-22007 IDT).
- [19] BAS CEN ISO/TS 17892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 1 : Određivanje sadržaja vode.
- [20] BAS CEN ISOKS 17892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 2: Određivanje gustoće sitnozrnog tla.
- [21] BAS CEN ISOITS 77892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 3: Određivanje gustoće čvrstih čestica - Metoda piknometra.
- [22] BAS CEN ISOTTS 17892-1 : Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 4: Određivanje granulometrijskog sastava.
- [23] BAS CEN ISOITS 97892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 5: Edometarsko ispitivanje povećanjem opterećenja.
- [24] BAS CEN ISOITS 17892-1 : Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 7: Ispitivanje monoaksijalne čvrstoće na sitnozrnim tlima.
- [25] BAS CEN ISOITS j7892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 10: Opit direktnog smicanja.
- [26] BAS CEN ISOITS 17892-1: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Laboratorijsko ispitivanje tla, dio 12: Određivanje Atterberg-ovih granica.
- [27] BAS ISO 22476-3: Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Terenski opiti - dio 3: Standardni penetracioni test (SPT).
- [28] ISRM preporučene metode za određivanje sadržaja vode, poroznosti, gustoće, upijanja i odgovarajućih osobina i indeksnih osobina bubrenja i trajnosti, 1977.
- [29] ISRM preporučene metode za određivanje čvrstoće na pritisak i deformabilnih osobina, 1979.
- [30] ISRM preporučene metode za određivanje smičuće čvrstoće, dio 1: Preporučena metoda za određivanje smičuće čvrstoće in situ, 1974.
- [31] ISRM preporučene metode za određivanje smičuće čvrstoće, dio 2: Preporučena metoda za određivanje smičuće čvrstoće u laboratoriji, 1974.
- [32] ISRM preporučene metode za određivanje deformabilnih osobina metodom hidrauličkog jastuka, 1986.
- [33] ISRM preporučene metode za određivanje zatežuće čvrstoće stijenskog materijala, 1978.
- [34] ISRM preporučene metode za određivanje brzine zvučnih talasa, 1978.
- [35] BAS ISO 22475-1: Geotehnička istraživanja i i ispitivanja - Metode uzorkovanja i mjerenja nivoa podzemnih voda - Dio I : Tehnički principi izvođenja.
- [36] BAS ISOfrS 22476-1 1: Geotehnička istraživanja i ispitivanja - Terenski opiti - Dio 11: Dilatometar.
- [37] JUS B. B8.003: 1986 - Ispitivanje mineraloško-petrografskog sastava.

**MELZNER PDF UBACITI**

# **Sanacija postojećih nesanitarnih i izgradnja novih sanitarnih deponija sa hidrogeološkog aspekta**

**Dr Milovan Rakijaš, dipl.ing.geologije**

"Hidro-geo rad", Beograd, Srbija

e-mail: smrakijas@yahoo.com

## **APSTRACT:**

U radu je dat prikaz trenutnog stanja i svih problema koji se javljaju kod upravljanja i odlaganja komunalnog čvrstog otpada na ovim prostorima, pogotovu onih država koje nisu u Evropskoj Uniji. Dat je i prikaz mogućnosti sanacije i rekultivacije postojećih nesanitarnih i otvaranje novih komunalnih sanitarnih deponija čvrstog otpada sa hidrogeološkog aspekta. Ovo se postaje veliki aktuelan, ali i vrlo kompleksan problem kod zemalja kojima se između ostalih zahteva, nameće i kao jedan od osnovnih zadataka u sklopu sveopšteg procesa zaštite životne sredine. Neke od država bivše SFRJ su već donele nove zakonske regulative i to u saglasnosti sa važećim zakonima i propisima EU, uvažavajući i zakonske propise ostalih visokorazvijenih zemalja sveta. Po ovim uredbama i zakonima se uveliko vrši kako sanacija postojećih nesanitarnih tako i izgradnja novih sanitarnih deponija komunalnog čvrstog otpada. Hidrogeologija kao naučna disciplina u svojoj primenljivosti ima presudan značaj kod rešavanja zaštite podzemnih, površinskih voda i geosredine. Republika Slovenija i Republika Hrvatska imaju svoje zakone o izgradnji deponija opasnog i neopasnog otpada. Republika Srbija je pored mnoštva zakona o upravljanju otpadom bilo koje vrste je donela i uredbu o odlaganju otpada na deponije (Sl.glasnik RS br.92/2010). Bez obzira na regulative i direktive koje stižu iz EU, na sreću svest i edukacija građana bivše SFRJ sve više raste u cilju zaštite životne sredine.

**Ključne reči: hidrogeologija, komunalne deponije, podzemne vode, geosredina**

## **Rehabilitation of existing non-sanitary and construction of new sanitary landfills, hydrogeological aspect**

Ph.D. Milovan Rakijaš, hydrogeologist

"Hidro-geo rad", Belgrade, Serbia

e-mail: smrakijas@yahoo.com

## **ABSTRACT:**

The paper presents an overview of the current state and all the problems that occur in the management and disposal of municipal solid waste of those countries that are not in the European Union. An overview of the

possibilities of rehabilitation and recultivation of existing non-sanitary facilities and the opening of new municipal sanitary landfills of solid waste from the hydro geological aspect is given. This is an actual and very complex problem in the countries that are imposing its solution. This is one of the basic tasks in the field of environmental protection. Almost in all countries of former Yugoslavia, which are in the process of accession to the EU, arrived regulations and directives of the environmental problems. Some countries have already enacted new legislation in compliance with applicable EU laws and regulations, while respecting the laws of other highly developed countries of the world. Some have already adopted regulations that regulate the rehabilitation of existing non-sanitary facilities and the construction of new sanitary landfills for municipal waste. Hydrogeology as a scientific discipline in its applicability has a decisive importance in solving the protection of underground, surface water and geo-environment. In addition, the task of hydrogeology is to determine the vulnerability zones of the mentioned media. The Republic of Slovenia and the Republic of Croatia have their own laws on the construction of hazardous and non-hazardous waste dumps. In addition to the numerous laws on waste management of any kind, the Republic of Serbia has also adopted the Decree on the Disposal of Wastes to Landfills (Official Gazette RS No. 92/2010). Regardless of the regulations and directives coming from the EU, all of our happiness, awareness and education of the citizens of the former SFRY are growing more and more in order to protect the environment.

**Kay words: hydrogeology, municipal waste, groundwater, geological environment**

## **UVOD**

Zagađivanje životne sredine se odvija globalno i frontalno. Zagađujuće materije se oslobađaju iz velikog broja izvora u vazduh, vodu i zemljište, radijalno se šireći i prenoseći na velike udaljenosti u planu i profilu. Zagađivanje životne sredine antropogenog porekla može biti: organsko, mehaničko, hemijsko i radioaktivno.

Otpad je sastavni deo ljudskog bitisanja, od samog nastanka čoveka. Međutim u periodu ubrzane industrijalizacije, odnosno tehničko tehnološkog razvoja dolazi i do progresivnog rasta ukupne količine svih vrsta čvrstog otpada. Samim tim problem upravljanja otpadom se nameće kao nužno u vremenu u kome živimo i predstavlja jedan od najvećih problema sa aspekta zaštite životne sredine. Problem koji stvara komunalni čvrsti otpad izjednačen je sa zagađenjem koje prozrukuju industrija i saobraćaj. Polovina komunalnog čvrstog otpada na našoj planeti se odlaže na neuređenim prostorima. Količina otpada se stalno povećava, kako sa tehnološkim razvojem tako i sa brojem stanovnika. U razvijenim zemljama sveta se stvara više otpada nego u nerazvijenim. Reciklaža i smanjenje ambalaže su jedan od mogućih načina rešavanja ovog problema sa aspekta zaštite celokupne životne sredine. U mnogim zemljama se vrši inseneracija komunalnog otpada u cilju dobijanja energije. U periodu između 2009. i 2013. godine, inseneracija komunalnog otpada je brže rasla i od reciklaže, dok se odlaganje na deponije konstantno smanjivalo. Međutim najnovija istraživanja su pokazala da je sa aspekta zaštite životne sredine mnogo važnije vršiti reciklažu sa više aspekata. Više od 90% materijala koji se danas odlažu u insineratore i na deponije, moglo bi se ponovo upotrebiti, reciklirati i kompostirati. Ultra fine čestice koje nastaju u insineratorima (uključujući PCBs, dioksine i furane) uzrok su preko 2 miliona smrtnih slučajeva širom sveta svake godine. Ovo su sve problemi koji su u sferi drugih

naučnih disciplina. Sa aspekta geoloških nauka, osnovni problem koji prati deponovanje komunalnog otpada je stvaranje zagađenih procednih voda-filtrata i deponijskih gasova. Ukoliko se procedne zagađene vode-filtrat ne sakupljaju i ne tretiraju na adekvatan način one mogu dopreći do podzemnih i površinskih voda i tako ih zagađiti. Infiltracija filtrata-procednih voda iz tela deponije u obližnje površinske tokove, geosredinu i podzemne vode mogu nastati i kada dođe do deformacije zaštitnog sloja kod sanitarnih deponija. Dekontaminacija ovih zagađenih sredina je tehnički vrlo složena i ograničena. Pravilan odabir mogućeg prostora, kao i organizovan sistem za odlaganje industrijskog, rudničkog, komunalnog i drugog otpada, smanjuje rizik zagađivanja podzemnih voda i geosredine na najmanju moguću meru. U radu su obrađene hidrogeološke zakonomernosti kod davanja podloga koje su od značaja za sanaciju, remedijaciju i zatvaranje postojećih neuređenih komunalnih deponija, smetlišta i izgradnju novih sanitarnih. Komunalne deponije sada možemo podeliti u dve kategorije:

**Nesantitarna komunalna deponija čvrstog otpada (KDČO)** predstavlja neuređen prostor na koji se haotično odlaže komunalni čvrsti otpad ne primenjujući nijedan tehničko-tehnološki proces u smislu zaštite životne sredine sa bilo kog aspekta.

**Sanitarna komunalna deponija čvrstog otpada(SKDCO)** predstavlja prostorno, urbanistički i inženjerski uređen prostor na kome se doslednom primenom propisane tehnologije kontrolisano odlaže komunalni čvrsti otpad(KČO), čime se eliminiše zagađivanje vazduha, podzemnih i površinskih voda i geosredine, što predstavlja maksimalnu zaštitu životne sredine na ovom nivou tehničko-tehnološkog razvoja.

## **KARAKTERISTIKE KOMUNALNOG ČVRSTOG OTPADA SA POSEBNIM OSVRTOM NA NASTANAK OCEDNIH VODA – FILTRATA U DEPOVANOM MATERIJALU**

Ocedne vode koje se stvaraju u telima sanitarnih i nesantitarnih deponija komunalnog otpada nazivamo **FILTRAT**. Neadekvatno deponovanje otpada na nehigijenskim deponijama dovodi do zagađivanja zemljišta i podzemnih voda. Padavine koje se infiltriraju kroz masu deponovanog otpada rastvaraju štetne materije, čime povećavaju količinu filtrata – ocednih voda. Zagađivanje nema isključivo lokalni karakter. Filtrat, infiltrirajući se kroz podinu deponije, zagađuje tlo, podzemne i površinske vode na širem prostoru. Kvalitativni parametri čvrstog otpada određuju se za svaki grad posebno. Ipak, može biti podeljen na veliki broj različitih kategorija i to: a) opštinski otpad koji predstavlja sav otpad pod kontrolom lokalnih vlasti (sav otpad iz domaćinstava, otpad nastao čišćenjem ulica, otpad koji ostane nakon separacije i isporuke na reciklažna mesta, ukoliko ih ima, i sav drugi); komercijalni i industrijski otpad; poljoprivredni otpad; građevinski otpad; otpad iz rudnika i kamenoloma i dr.

Kontrolisani otpad predstavlja onaj otpad koji se odlaže u skladu sa Planovima upravljanja komunalnim otpadom, lokalnim, regionalnim i drugim propisima koji se odnose na ovu problematiku. U njega spada komunalni, komercijalni i industrijski otpad (iz

domaćinstava, škola, radnji, bolnica, kancelarija, fabrika itd.). Deli se na čvrst i tečan. Sav čvrsti otpad u urbanim sredinama može se podeliti i na:

- komunalni otpad;
- inertni otpad;
- opasan otpad.

Komunalni i inertni otpad pripadaju neopasnom otpadu, pa su otuda i donete zakonske odredbe za izolacione sisteme na planetarnom nivou, koje su obavezi da se pridržavaju sve države na planeti. Pa deponije u zavisnosti od svog karaktera odnosno pripadnosti delimo na:

**- deponije za opasan otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/sec; debljine sloja  $\geq 5$  m;**

**- deponije za neopasan otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/sec; debljine sloja  $\geq 1$  m;**

**- deponije za inertan otpad:  $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/sec; debljine sloja  $\geq 1$  m;**

Komunalni i inertni otpad se deponuje na sanitarnim deponijama, a opasni otpad u posebno opremljene kasete ili skladišta industrijskog opasnog otpada.

Kada se na nesanitarnu deponiju čvrstog otpada izlučuju atmosferske padavine, organske i neorganske materije se rastvaraju, formirajući visoko toksične ocedne vode - filtrate koji se skupljaju u bazi deponije. Ocedni filtrati obično imaju visok nivo sadržaja teških metala, amonijaka, otrovnih organskih jedinjenja i patogena. Takođe, imaju visok nivo BOD-BPK (Biological Oxygen Demand – biološka potreba za kiseonikom, merna jedinica koja određuje koliko se brzo kiseonik odvaja od vode). Visok procenat BPK znači da pod dejstvom ocednih filtrata voda brzo gubi kiseonik. U telu deponije se usled hemijsko-bioloških procesa (anaerobno raspadanje organskih materijala u KČO) proizvodi kombinacija gasova, uopšteno nazvana deponijski gas. To su uglavnom metan i ugljen-dioksid (otprilike iste količine ugljendioksida i metana). Pored ocednih filtrata i problema sa biogasom, nesani tarne deponije imaju negativan efekat na stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini (promet vozila, neprijatan miris, buka, ptice, otpad raznesen vetrom, gamad i različite bolesti). U telu deponije dešavaju se hemijski i organski procesi koji, naravno, zavise od sastava deponovanog materijala. Ne ulazeći u detaljniju analizu dešavanja tih procesa, treba napomenuti da oni određuju hemijske i bakteriološke karakteristike filtrata (odnosno voda različitog porekla koje se nalaze u samom telu deponije), što je za rešavanje problematike sa aspekta hidrogeologije od presudne važnosti. U deponovanom komunalnom otpadu na nesanitarnim deponijama se mogu naći i takvi čvrsti otpaci (koji u sebi sadrže opasne materije) kao što su:

- istrošene baterije i akumulatori, istrošeni frižideri (od običnih malih baterija, pa do akumulatora visoke amperaže) koji predstavljaju opasnu komponentu čvrstog otpada, s obzirom na to da u sebi, pored opasnih kiselina, sadrže živu, feromangan, cink, staklastu šljaku, razne gasove itd.
- medicinski ortpad;
- razni otpaci iz zanatske radinosti: ulja, gume itd.
- kućni čvrsti otpad, u kome se nalaze mnogobrojne otrovne materije koje su

sastavni deo različitih boja, lakova, razređivača, pesticida, fungicida, herb-icida, autoulja, ulja za kočnice, antifrizna, baterija za kola, hlora, kućnih sredstava za dezinfekciju,



osveživača vazduha, kozmetike, lekova kojima je istekao rok upotrebe. U njemu se mogu naći još i baterije za satove, razni električni TV i drugi prijemnici, mobilni telefoni i sl. Mnogi od nabrojanih vrsta sadrže teške metale kao nikl, kadmijum i dr.

Sastav čvrstih otpadaka i njihova svojstva je teško odrediti na način koji bi predstavljao uopšteno pravilo. Naime, sastav i svojstva otpadaka zavise od mnogo faktora: veličine samog grada, njegove industrijske strukture, standarda stanovništva i mnogih drugih faktora. (slika 1).



Slika 1 – Nabušeno jezgro iz komunalne deponije „Tancoš“ u Beočinu (foto: M. Rakijaš, 2012)

Sanitarno odlagalište je višeslojno telo koje nastaje odlaganjem čvrstog otpada. Po pravilu, otpad se na kraju svakog dana prekriva inertnim materijalom. Ovakva struktura izuzetno utiče na kretanje svih voda unutar deponije. Voda se ne kreće direktnim vertikalnim pravcem, već prati bočne, vijugave puteve. Inertni materijal, koji služi za prekrivanje, tako neposredno utiče na formiranje prioriternih tokova filtrata-procednih voda u telu deponije. Ukoliko SKDČO nije urađena po pravilima koja zahtevaju njihovo sprečavanje, odnosno infiltraciju kako u podinu deponije, tako i u bočne strane, može se direktno ugroziti postojeći kvalitet podzemnih i površinskih voda i geosredine. Tokom procesa razgradnje unutar deponija, dolazi do formiranja gasova, koji se preko gornje površine deponije i iz njenih bočnih strana oslobađaju uglavnom u atmosferu. Dakle, u komunalnom otpadu dešavaju se različiti vidovi razgradnje otpada i to: fizički, hemijski i biološki. Fizička razgradnja se dešava isparavanjem materijala iz odlaganog otpada. Hemijska razgradnja se odnosi na hemijske reakcije, kao što su adsorpcija, desorpcija i različiti vidovi rastvaranja. Tako formiran filtrat (ocedne vode) u dodiru sa podzemnim i površinskim vodama troši postojeći kiseonik i na taj način ugrožava ekosistem. Biološka razgradnja predstavlja osnovni mehanizam razgradnje komunalnog otpada. Ona, takođe, utiče na fizičku i hemijsku razgradnju menjajući pH faktor i oksido-redukcioni potencijal. Biološka razgradnja se odvija u tri faze: a) aerobna faza traje relativno kratko sve dok postoji zalih kiseonika u komunalnom otpadu. Tokom ove faze oslobađaju se ugljendioksid, voda i toplota (50–70 °C). Takođe, ovu fazu karakteriše visoka hemijska potrošnja kiseonika (HPK), što uslovljava oslobađanje kako organskih jedinjenja tako i prisutnih metala; b) fakultativno-anaerobna faza počinje onog trenutka kada količina kiseonika toliko opadne da prestaje anaerobna faza. Tada i dalje dolazi do stvaranja ugljendioksida i velike količine delimično razgrađenih organskih jedinjenja, posebno organskih kiselina. Tako dolazi do povećanja kiselosti i porasta HPK, što prouzrokuje

oslobođanje velikog broja organskih i neorganskih jedinjenja unutar filtrata; c) metanogena faza je poslednja faza razgradnje. Tada nastaje metan. Ugljendioskid se i dalje stvara, a pH faktor dostiže neutralnu vrednost.

Ako deponiju komunalnog čvrstog otpada predstavimo kao jedan već zagađeni filter sastavljen od različitih vrsta KČO, na koji dospevaju vode na različite načine, onda sve vode bez obzira na njihovo poreklo i način na koji su dospele u ovako formirani prostor (tečnosti nastale u procesu raspadanja deponovanog materijala) možemo nazvati „FILTRATOM“. Tako dolazimo do definicije „FILTRATA“, pa možemo reći da:

FILTRAT predstavlja kompleksan fizičko-hemijski rastvor organskih i neorganskih materija u vodama nastalim kao posledica interakcije fizičkih, hemijskih i bioloških procesa u deponovanom materijalu i vode. Prema tome, filtratom možemo smatrati izlučeni sastav iz komunalnog čvrstog otpada, koji predstavlja koncentraciju rastvorenih produkata raspadanja (degradacije) otpada, u vodama koje na bilo koji način dospevaju u telo deponije (atmosferske, površinske, podzemne i vode nastale iz samog otpada).

To znači da sastav filtrata, pre svega, zavisi od hemijskog, bakteriološkog i fizičko-mehaničkog sastava deponovanog materijala i njegove degradacije u toku vremena. U sastavu filtrata redovno se nalaze bakterije koje su izazivači crevnih infektivnih oboljenja, žutice, tuberkuloze, gangrene, crnog prišta, tetanusa, dizenterije, tifusa i drugih opasnih bolesti.

Organsko zagađenje je dominantan oblik zagađenja procednih voda – filtrata, nezavisno od toga da li se ono odvija u aerobnim ili anaerobnim uslovima. Mikrobiološka razgradnja biorazgradivih organskih materija koje su dispergovane u otpadnoj vodi služe kao hrana mikrobiološkoj populaciji razvijenoj u vodi. Organske materije se svojim najvećim delom transformišu u biomasu. Posebno je značajno što pri tome otpadne organske materije, koje su u sirovoj vodi većim delom prisutne u neseperabilnom obliku, bivaju prevedene u flokulentnu mikrobiološku suspenziju, biomasu koja se često pretvara u mulj. Organske materije u anaerobnim uslovima, u kojima obično dolazi do truljenja, jesu smeša polupreradenih i preradenih materija i stoga su opasnije kada se kao takve nađu u vodama. Osnovne metode za određivanje organskih materija u vodama su:

- metoda  $\text{KMnO}_4$  (kalijum permanganat) – određuje sadržaj organskih materija u vodama;
- BPK (biološka potrošnja kiseonika) – određuju samo biorazgradljive organske materije u vodi;
- HPK (hemijska potrošnja kiseonika) – određuje sve organske i neorganske materije u vodi.

Fizičko-mehaničke i hemijske karakteristike filtrata zavise od karakteristika deponovanog otpada, koji je uslovljen stepenom industrijske razvijenosti gradova. Prisustvo metala u hidrogeološkoj sredini je izuzetno opasno. Metali se transportuju naniže ka izdani. Od opasnih metala koji se mogu naći u filtratu pomenaće se samo neki. To su arsen (As), hrom (Cr), bakar (Cu), olovo (Pb), živa (Hg) i cink (Zn). Kretanje filtrata (pored vertikalne i horizontalne filtracije kroz telo deponije) vrši se uglavnom ka donjim slojevima deponije. O tome da li će filtrat ostati u okvirima tela deponije, ili će posebnim građevinsko-tehnološkim merama biti odstranjivan, ili će doći do njegove infiltracije kroz tamponirajući sloj a tako i do mogućnosti komunikacije sa podzemnim vodama, biće reči u sledećim poglavljima. Kao što je već rečeno, organskim procesima koji se dešavaju u telu deponije stvara se, između ostalog, gas metan ( $\text{CH}_4$ ). Metan je najprostiji i najstabilniji zasićeni ugljovodonik. Zbog

pojavljivanja na ovakvim mestima, često ga nazivaju i jamski ili barski gas. To je neotrovan, u vodi malo rastvoriv gas. Ukoliko je čist, nema miris niti ukus. Skoro dva puta je lakši od vazduha ( $\text{CH}_4$  – 0,717 kg/m<sup>3</sup>; vazduh – 1,293 kg/m<sup>3</sup>), pa se zbog toga brzo podiže i dospeva u atmosferu. Sa povišenjem temperature izdvajanje metana je intenzivnije. Na povišenoj temperaturi sa kiseonikom iz vazduha, metan ima eksplozivna svojstva, uz oslobađanje velike količine toplote. Eksplozivne smeše metana i vazduha sadrže 5–15% zapremine metana, a najjače dejstvo ima smeša koja sadrži 9,5% metana. Temperatura paljenja metana se nalazi u opsegu 600–700 °C.

Organske materije u vodama se tokom vremena uglavnom transformišu kao proizvodi mineralnih oblika ili ostaju polurazgrađene uz zadržavanje organske strukture. Kao što je već rečeno, postoje aerobni i anaerobni uslovi. Aerobni uslovi su oni gde se razgradnja organskih materija vrši u prisustvu kiseonika, kada u vodi deluju aerobne bakterije. Tada dolazi do potpune oksidacije organskih materija. Metan nastaje u anaerobnim uslovima. To su uslovi bez prisustva kiseonika, u kojima deluju anaerobne bakterije. Ove bakterije za realizaciju svojih životnih procesa kiseonik obezbeđuju razlaganjem složenih jedinjenja. Međutim, stvaranje do sada poznatih i očekivanih hemijskih karakteristika filtrata-ocednih voda koje u sebi sadrže teške metale u novim sanitarnim deponijama koje će se u budućnosti izgrađivati na ovim prostorima, neće biti moguće. Zakonskim regulativama koje su u skladu sa direktivama EU na deponijama je zabranjeno odlaganje: 1) tečnog otpada; 2) otpada koji u deponijskim uslovima može eksplodirati, korodirati, oksidirati, koji je zapaljiv i koji ima ostale karakteristike koje ga čine opasnim u skladu sa posebnim propisom kojim se uređuju kategorije, ispitivanje i klasifikacija otpada; 3) bolničkog i drugog kliničkog otpada koji nastaje u medicinskim ili veterinarskim ustanovama a koji ima svojstva infektivnog u skladu sa posebnim propisom; 4) otpadnih baterija i akumulatora; 5) otpadnih ulja; 6) otpadnih guma; 7) otpada od električnih i elektronskih proizvoda; 8) otpadnih fluorescentnih cevi koje sadrže živu; 9) otpada koji sadrži PCB; 10) otpadnih vozila; 11) termički neobrađenih otpadaka koji nastaju u ustanovama u kojima se obavlja zdravstvena zaštita; 12) boca pod pritiskom; 13) odvojenih sakupljenih frakcija otpada; 14) kao i svakog drugog otpada čije odlaganje nije dozvoljeno u skladu sa posebnim propisom i koji ne zadovoljava kriterijume za prihvatanje otpada propisane ovom direktivom.

Ako bi se ispoštovale sve pomenute odredbe i regulative SKDČO bi trebala biti prijemnik samo neopasnog otpada. Međutim, prvo treba očistiti nesanitarne deponije komulanog čvrstog otpada na ovim prostorima koje u sebi imaju sve već pomenute opasne materije.

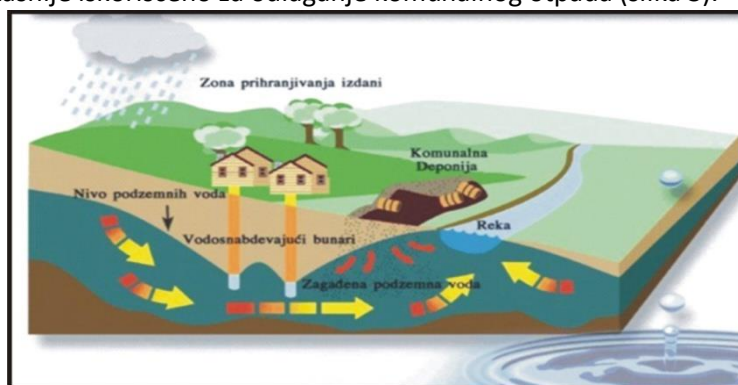
## **ANALIZA STANJA NESANITARNIH KOMUNALNIH DEPONIJAMA, U RAZLIČITIM HIDROGEOLOŠKIM USLOVIMA SREDINE**

Za komunalne deponije nesanitarnog tipa gotovo je bila ustaljena praksa da se otpad odlaže direktno na tlo, a često i u same rečne tokove i to, uglavnom, u neposrednoj blizini naselja i gradova. Ovo je posebno izraženo u ravničarskim terenima, odnosno

gradovima koji se nalaze u blizini rečnih tokova gde su deponije formirane u mrtvajama, napuštenim koritima i na aluvijalnim nanosima reka.

## Komunalne nesantitarne deponije formirane na aluvijalnim naslagama

Prihranjivanje podzemnih voda formiranih u aluvijalnim sredinama vrši se na tri načina: 1. infiltracijom površinskih voda u periodu viših rečnih vodostaja, usled ostvarene hidrauličke veze izdanskih voda formiranih u aluvijalnim nanosima i reka; 2. prihranjivanjem na račun podzemnog dreniranja iz drugih izdani formiranih u zaleđu aluvijalne ravni; 3. prihranjivanjem na račun infiltracije atmosferskih taloga izlučenih na aluvijalnu ravan. Nivo podzemnih voda u ovim sredinama je veoma visok, i podložan je stalnim promenama. Izdani sa slobodnim nivoom su karakteristične za gornje delove aluvijalne ravni rečnog toka, dok je u većini slučajeva u donjim delovima karakterističan nivo izdani koji je pod pritiskom bez obzira na debljinu aluvijalnog nanosa. Većina gradskih naselja je organizovana uz veće reke i na aluvijalnim nanosima tih reka (slika 2). Nekontrolisano odlaganje čvrstog otpada postalo je inicijalni zagađivač površinskih i podzemnih voda i geosredine. Brzine tečenja u podzemnim vodama se kreću i do nekoliko metara na dan, tako da ove komunalne deponije predstavljaju veliki izvor širenja zagađenja podzemnih voda i reka. Neretko, komunalni otpad se odlaže direktno u vodotokove, kao na primer u mnogim gradovima na ovim prostorima. Takođe, površinski kopovi stvoreni eksploatacijom građevinskog materijala (peska, šljunka i gline) otvorili su prvu izdan formiranu u aluvionu, što je kasnije iskorišćeno za odlaganje komunalnog otpada (slika 3).

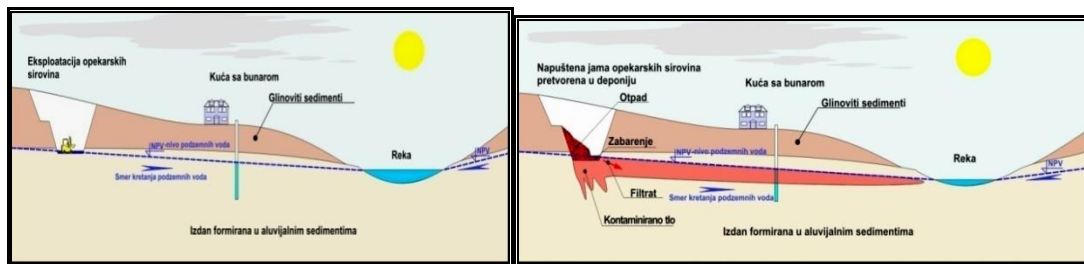


Slika 2 – Šematski izgled zagađivanja podzemnih i površinskih voda filtratom (izmenjeno). Izvor: [http://www.ec.gc.ca/water/en/info/pubs/FS/e\\_FSA5.htm](http://www.ec.gc.ca/water/en/info/pubs/FS/e_FSA5.htm)

## Komunalne nesantitarne deponije formirane na eolskim sedimentima, mrtvajama reka i močvarnim terenima

To su najčešće deponije koje su formirane na peščarama ili ergovima i živim peskovima nataloženih u vidu dina, barhana i piramidalnih kupa. Izdani formirane u eolskim naslagama su zbijenog tipa, sa slobodnim nivoom. Nivoi podzemnih voda su blizu površine terena. Lesni sedimenti imaju vertikalnu poroznost. Proces filtracije predstavlja mehaničko kretanje slobodne vode u poroznom prostoru, pod dejstvom gradijenta pritiska. Kako je

kretanje voda uslovljeno dejstvom gravitacije i kompresionih sila, može se reći da je pravac njihovog kretanja u pravcu prirodnog nagiba terena. Horizontalna filtracija se vrši veoma sporo upravo zbog malog nagiba terena i velike ovodnjenosti celog površinskog, uglavnom eolskog kompleksa. Mnoge nesantitarne deponije su formirane u raznim napuštenim pozajmištima opekarskih sirovina, pozajmištima šljunka ili majdanima za eksploataciju kamena za asfaltne baze, mrtvajama reka, napuštenim koritima itd. (slika 3).



Slika 3 – Šematski prikaz otvaranja izdanske zone usled eksploatacije opekarskih sirovina, u kome kasnije je formirana KDCO i migracija zagivača ka izdani i reci, (M. Rakijaš, 2013)

## Komunalne nesantitarne deponije formirane na neogenim sedimentima

Na neogenim sedimentima su formirane komunalne deponije pored nekih gradova, uglavnom na rečnim terasama većih reka. Neke od njih su formirane na uslovno bezvodnim delovima terena, a neke na sedimentima u kojima je formirana prva izdan. S obzirom na litološki sastav povlatnih, odnosno površinskih sedimentnih naslaga koje čine neogene komplekse, sa hidrogeološkog aspekta, ove komunalne deponije su najekonomičnije za sanaciju, rekultivaciju i proširenja. Međutim, sa inženjerskogeološkog aspekta, može se reći da njihova sanacija i eventualno proširenje zahteva opsežna istraživanja. Naime, ovi sedimenti su najčešće predstavljeni slabo vezanim tvorevinama, laporcima, peskovitim glinama i glinama. Ovakvi tereni uglavnom pripadaju brdskim ili planinsko-brdskim područjima i imaju znatne nagibe. Treba reći da u sadejstvu podzemnih i atmosferskih voda sa nagibom terena, ovi sedimenti mogu biti uzročnici pojave mnogobrojnih klizišta. Ovi procesi kliženja su uglavnom razvijeni na padinama izgrađenim od glinovitih (neogenih) sedimenata. Klizišta su izazvana smenjivanjem različitih litoloških članova neogenog kompleksa, ali i antropogenim uticajima.

## Komunalne deponije formirane na terenima u kojima je razvijen karstni i pukotinski tip izdani

Izdani razbijenog tipa formirane u stenama sa kavernožnom poroznošću, odnosno u stenama rastvorljivim u vodi, nazivaju se karstne izdani. U vodi su najčešće rastvorljive karbonatne, sulfatne i hloridne stene.

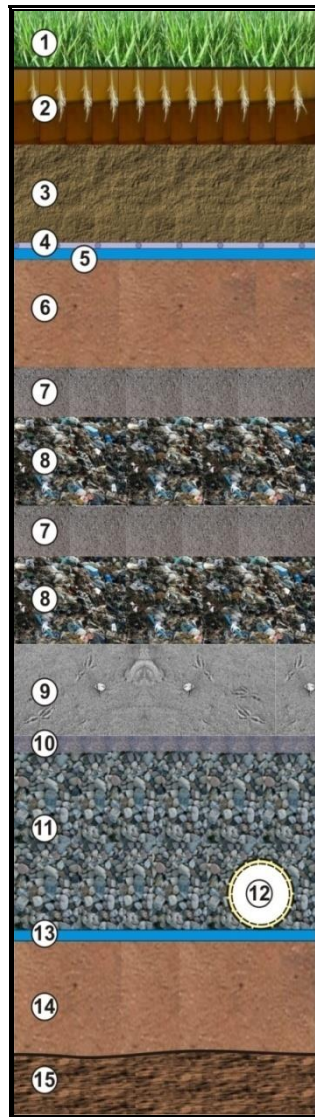
Najintenzivniji karstni procesi dešavaju se u pukotinama zona raspadanja i tektonskim razlomima. Za karbonatne stene vezane su znatne količine malomineralizovanih karstnih izdanskih voda, koje se široko primenjuju u vodosnabdevanju vodom za piće. Za nivoe karstnih izdani se može reći da ih odlikuje veliko kolebanje, što je u neposrednoj vezi sa prihranjivanjem i dinamičnošću brzine kretanja voda u njima. To zavisi od godišnjih doba, odnosno osnovnog vida prihranjivanja – atmosferskih padavina.

Izdani razbijenog tipa formirane u čvrstim stenskim masama, bez obzira na njihovu genezu, nazivaju se pukotinskim izdanima. Ispucalost i vodonosnost metamorfni stena je znatno manja nego u efuzivnim i intruzivnim stenskim masama. Mlađe efuzivne stene, kvartarne i neogene starosti su većeg stepena ispucalosti i znatno vodonosnije od srodnih stena mezozojske i paleozojske starosti. Uzimajući u obzir da se je ne mali broj gradova i formiran na ovakvim terenima na prostorima bivše SFRJ, može se reći da je sa njima i formirano gotovo isto toliko i nesantiranih komunalnih deponija.

## KARAKTERISTIKE I NAČIN RADA SKDČO

Izgradnjom SKDČO uz primenu mera zaštite svih ranjivih medija (zemljišta, vode i vazduha) pridržavanjem svih propisanih odredbi eliminiše se pretnja KČO sveopštoj životnoj sredini. Kada je SKDČO otvorena za prijem atmosferskih taloga (obično na početku eksploatacionog perioda), organske i neorganske materije se rastapaju, rezultirajući visoko toksičnim ocednim filtratima koji se sakupljaju u bazi deponije.

**Podzemne vode i geosredina u slučaju procurivanja filtrata mogu biti zagađene i mnogim organskim jedinjenjima, od kojih su većina otrovna i kancerogena.** Nove metode se baziraju na ideji sprečavanja i ograničavanja ove pojave. Deponije su obložene bentonitskim i savitljivim sintetičkim membranama koje treba da spreče prolazak ocednih filtrata u tlo i do podzemnih voda. Na slikama 4 i 5 prikazani su osnovni elementi preseka SKDČO, slično litološkom profilu bušotine. Na slikama je prikazan detaljniji presek kroz SKDČO, sa opisom funkcija komponenti po završetku njene eksploatacije.

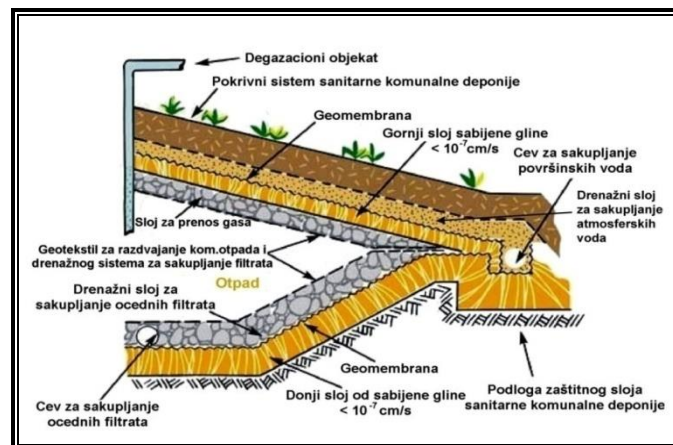


Slika 4 – Šematski prikaz komponenti sanitarne deponije u delu gde se završilo sa eksploatacijom (izmenio i dopunio M. Rakijaš,2017)

**Legenda:**

**1) Vegetacijski pokrivač** ; kako se delovi deponije zatvaraju, tako se sadi trava i drugo posebno rastinje koje ima svojstvo što veće apsorpcije atmosferskih taloga. Vegetacija je vizuelno prijatna i sprečava eroziju tla ispod nje. Sa vegetacijskim pokrivačem se završava svaka SKDČO. **2) Sloj tla za biološku rekultivaciju** **3) površinsko zemljište** predstavlja uglavnom humusni materijal. Svojim svojstvima pomaže održavanje rasta vegetacije, zadržavajući vlagu i obezbeđujući mu hranljive materije. **4) Zaštitno pokrivno tlo ili sloj tla za tehničku rekultivaciju** : štiti sistem pokrivača deponije i obezbeđuje dodatno zadržavanje vlage kako bi pomoglo održavanju vegetacije. **5) Drenažni sloj** : sloj peska ili šljunka ili debela plastična mreža nazvana geomreža, odvodi višak padavina iz sloja zaštitnog pokrivnog zemljišta u cilju poboljšanja stabilnosti i pomaganja sprečavanja infiltracije voda kroz deponijski ispupčeni pokrivač. Geotekstilni materijal, sličan filcu, može biti lociran na vrhu drenažnog sloja da obezbedi razdvajanje čvrstih čestica od tečnosti. Na taj način sprečava se zapušavanje drenažnog sloja. **6) Geomembrana** :plastični sloj sprečava da višak padavina prodre u deponiju i stvori filtrate. Ovaj sloj, takođe, pomaže sprečavanju nekontrolisanog otpuštanja deponijskog gasa i na taj način smanjuje neprijatne mirise. **6) Sabijena glina, sa koeficijentom filtracije  $K < 10^{-7}$  cm/sec**: smeštena je preko otpada da formira pokrivač kada deponija dostigne dozvoljenu projektovanu visinu. Ovaj sloj sprečava da višak padavina prodre u deponiju i stvori nepotrebne količine filtrata. **7) Dnevni pokrivač** :na kraju svakog radnog dana,

otpad se pokriva sa 15–30 cm zemlje ili drugog odabranog materijala, koji se uopšteno naziva inertni materijal. Ovaj materijal može biti i od bituminoznog materijala. Dnevni pokrivač smanjuje neprijatne mirise, sprečava raznošenje otpada i odbija životinje koje kopaju po otpadu. **8) Otpad:** kako otpad pristiže, sabija se u slojevima u okviru malog prostora da smanji volumen korišćen u deponiji. Obično se formiraju ćelije za odlaganje i sabijanje otpada, visine od 2–4,5 m. **9) Sloj za sakupljanje filtrata :** za sakupljanje filtrata obično se koristi sloj peska ili šljunka ili debela plastična mreža nazvana geomreža. Ovaj sistem omogućava oticanje filtrata gravitacijom u sistem drenažnih cevi za njihovo sakupljanje. **10) Geotekstilni filter:** geotekstilni materijal, sličan filcu, može biti lociran na vrhu drenažnog sloja da obezbedi razdvajanje čvrstih čestica od tečnosti. To sprečava zapušavanje sistema drenažnih cevi. **11) Najniži sloj za sakupljanje filtrata:** sloj šljunka sakuplja filtrat i dozvoljava oticanje gravitacijom u sistem cevi za njihovo odvođenje. **12) Sistem cevi za sakupljanje filtrata:** drenažne cevi za sakupljanje i odvođenje filtrata su od PVC (10 bara) ili HDPE, zasute šljunkom. One odvede filtrat do sabirnika u kojem su smeštene pumpe za dalji transport filtrata. Pumpe locirane u sabirnicima automatski odstranjuju filtrat iz deponije i prebacuju ih do postrojenja za tretiranje. **13) Geomembrana :**plastični sloj koji sprečava da filtrat ističe iz deponije i prodre u podtlo deponije. Geomembrane mogu biti različitih vrsta. Do sada se najčešće koristila HDP folija, napravljena od specijalne vrste plastike (polietilen velike gustine). HDP je čvrst, nepropustljiv i izuzetno otporan na jedinjenja koja mogu da budu u filtratu. Takođe, koriste se i polietileni (VFPE) i polivinil hloridi (PVC) kako za izgradnju sastavnog dela zaštitnog dna sanitarnih deponija i njenih bočnih strana, tako i za finalne pokrivače SKDČO. Materijal, isto tako, mora da ima hemijske i fizičke karakteristike na koje štetno ne utiče slaganje otpada ili kontakt sa filtratom. Ovaj sloj sprečava i nekontrolisano isticanje deponijskog gasa. **14) Sabijena glina, sa koeficijentom filtracije  $K < 10^{-7}$  cm/sec, debljine oko 1 m.** Ona je locirana direktno ispod geomembrane i čini dodatnu barijeru koja sprečava eventualno isticanje filtrata iz deponija u prirodno podtlo. **15) Pripremljena podloga,** prirodno tlo ispod deponije se priprema pre početka izgradnje deponije



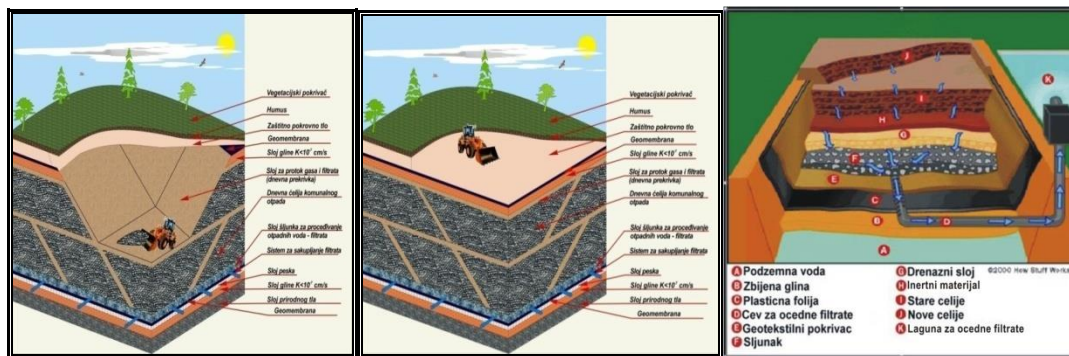
Slika 5– Šematski presek osnovnih komponenti SKDČO pri obodu deponije, izvor:

<http://www.latrobe.vic.gov.au/Landfill/>

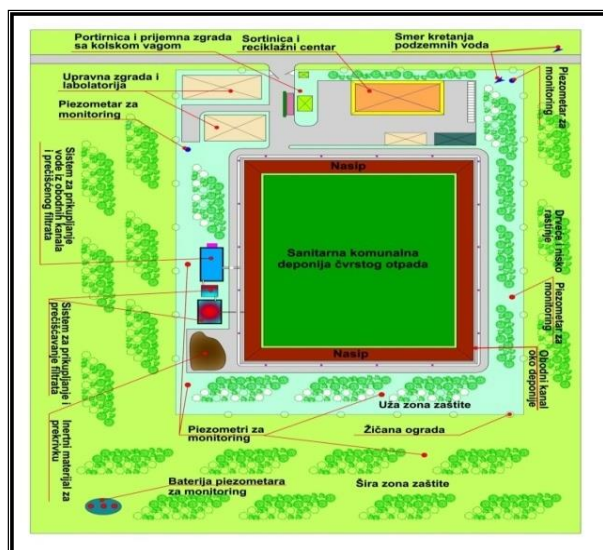
Glavni projekat mora da sadrži plan popunjavanja deponije shodno količini otpadnog materijala, na bazi kojeg se vrši njena eksploatacija. Plansko odlaganje KČO se radi na višegodišnjem, godišnjem, mesečnom, pa i dnevnom vremenskom periodu. Sistem deponovanja zavisi najviše od konfiguracije terena na kome je deponija izgrađena, pa se tehnologija deponovanja na horizontalnim terenima umnogome razlikuje od onih koji su u nagibu. Otpaci se dovoze specijalnim vozilima. Po dovoženju otpadaka vrši se njihovo sabijanje kompaktorima u slojeve. Na svaki sabijeni sloj se dovozi novi sloj. Proces se ponavlja sve dok se ne postigne dnevna visina sabijenog KČO. Nakon nanošenja dnevnih slojeva KČO, preko njih se nanosi prekrivni materijal, koji se dobro zbija i ravna, kako bi se



izbeglo zadržavanje vode i pripremio teren deponije za sledeći dan eksploatacije. Ovakvim sistemom rada smanjuje se zapremina komunalnog otpada, kao i količina filtrata u telu deponije. Za prekrivni materijal obično se koristi glineno-peskoviti materijal, sakupljeni šut i sl., odnosno onaj koji se najlakše sabija, koji se ili dovozi ili uzima sa nekog od bližih pozajmišta. Dnevna prekrivka se kreće od 0,3–0,5 m. Odlaganje otpada se vrši po sekcijama ili ćelijama. Uporedo sa eksploatacijom SKDČO vrši se i njeno sukcesivno zatvaranje prekrivnim zaštitnim slojem u cilju sprečavanja dotoka atmosferskih i svih drugih voda u telo deponije, kao i prikupljanje filtrata (slika 6).



Slika 6 – Šematski prikaz SKDČO u procesu eksploatacije i prikaz SKDČO sa sistemom za sakupljanje filtrata, nesrazmeran prikaz, izvor: <http://www.wasteworks.net/landfills.html> (M. Rakijaš, 2008)



Kod projektovanja SKDČO je, takođe, od velike važnosti i pravilno projektovanje i izgradnja drenažnih sistema. Glavni projekat mora da sadrži plan popunjavanja deponije shodno količini otpadnog materijala, na bazi kojeg se vrši njena eksploatacija. Na slici 7 prikazan je izgled SKDČO u planu sa svim potrebnim objektima koji je čine sanitarnom.

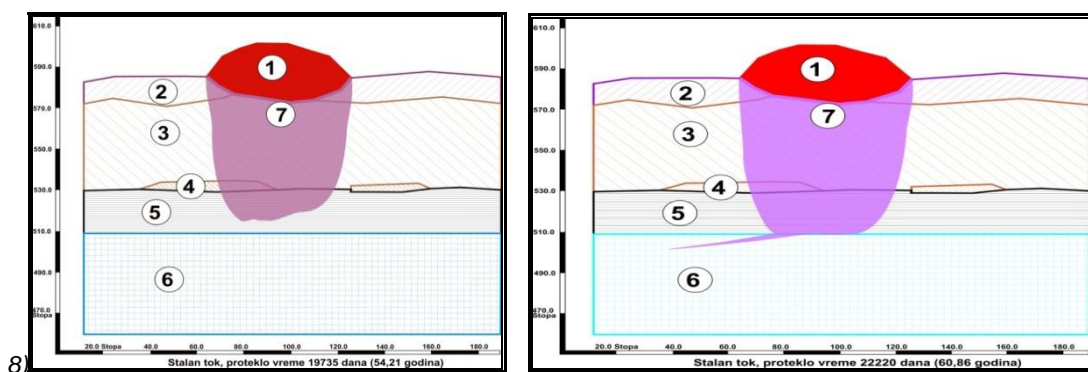
Slika 7 – Šematski prikaz SKDČO u planu (M. Rakijaš, 2015)

## ULOGA I ZNAČAJ HIDROGEOLOGIJE U CILJU DAVANJA OPTIMALNIH PODLOGA VEZANIH ZA KDČO I SKDČO

Osnovna usmerenja u zaštiti podzemnih voda od zagađivanja imaju preventivni karakter, odnosno upućuju na blagovremeno otkrivanje i utvrđivanje mogućih izvora zagađivanja.

Značaj hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja, njihovog projektovanja, izvođenja i interpretacije ima za cilju davanje optimalnih podloga za izradu Glavnih projekata sanacija KDČO i izgradnje SKDČO, kao i kod izbora lokacija za izgradnju novih sanitarnih komunalnih deponija. Glavni cilj i zadatak hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja jeste u tome da se iznađu sva optimalna rešenja koja bi koncentraciju filtrata – ocednih voda iz starih komunalnih deponija i onih novih, sanitarnih, smanjila na najmanju moguću meru. Kako je stvaranje filtrata neizbežno, nameću se problemi i pitanja koja treba rešiti u smislu njegovog bezbednog zadržavanja u telu deponije kako kod izgradnje SKDČO, tako i kod sanacija KDČO. Podjednako su važni i načini njegovog odstranjivanja, kao i sprečavanje njegove komunikacije sa geološkom sredinom.

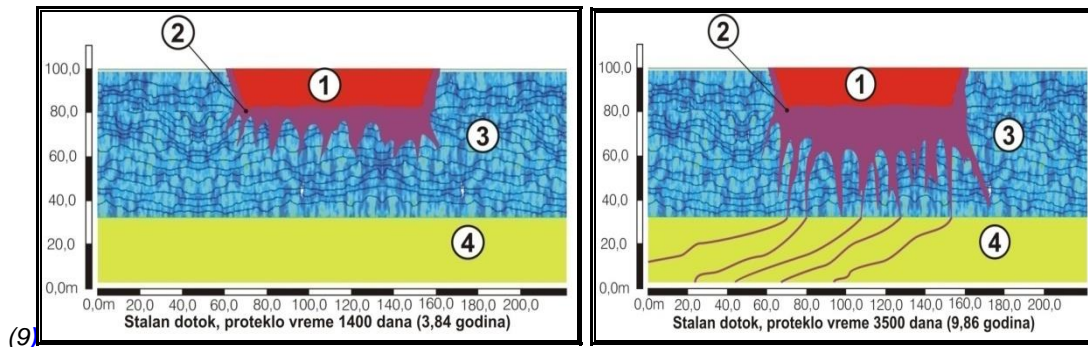
Da bi se jasno sagledalo šta se dešava sa filtratom u toku vremena, uzeće se podaci koji su dobijeni hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima u toku vremena iz dostupne dokumentacije US EPA (inserti modela su uzeti iz dokumentacije Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington, september, 1998). Biće prikazana migracija zagađujućih materija, u ovom slučaju filtrata koji se direktno infiltrira u podzemlje, kroz različite geološke sredine (slika 8).



**Legenda:**

- 1. komunalna deponija čvrstog otpada; 2. jezerska tvorevina; glinoviti sedimenti; 3. slabovodopropusni sedimenti ;4 i 5. sočiva peska i glinoviti sedimenti; 6. izdan; 7. filtrat

Na insertima modela se vidi da vertikalnom infiltracijom zagađujuće materije, odnosno filtrat u određenom vremenskom intervalu, i kroz glinovite sedimente, ipak dospeva do izdanske zone i tako je zagađuje. Sličan slučaj je i kada se komunalna deponija nalazi na geološkim formacijama u kojima je formirana slaba pukotinska izdan. Ako je dno KDČO bez zaštitnog sloja, sigurno će doći do zagađenja podzemnih voda, što će se videti i na sledećoj slici (9). Inserti modela su iz publikacije US EPA, 2002.

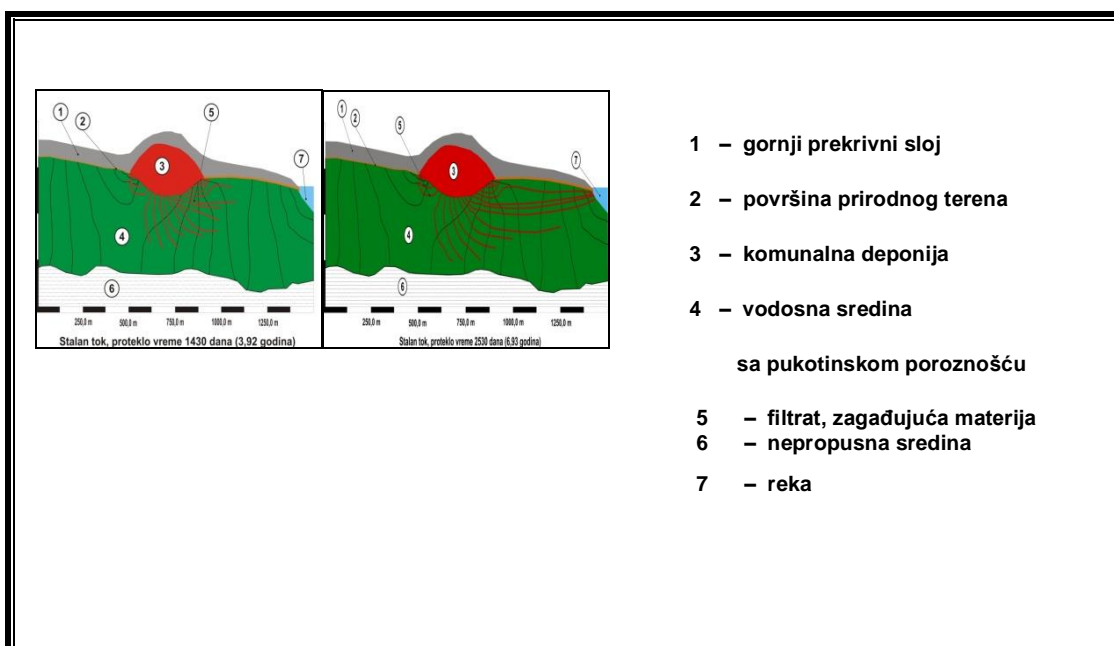


Slika 9 – Šematski prikaz migracije filtrata kroz u funkciji vremena.  
[http://www.egr.msu.edu/igw/Digital%20Library\\_final/16](http://www.egr.msu.edu/igw/Digital%20Library_final/16)

**Legenda:**

1 – komunalna deponija; 2 – zagađujuće materije iz komunalne deponije u tečnom stanju – filtrat; 3 – izdan manje izdašnosti; 4 – vodonosna sredina

Na slici 10, odnosno insertima iz modela, prikazana je horizontalna i vertikalna infiltracija filtrata iz komunalne deponije kroz pukotinski tip izdani u funkciji vremena, prema površinskom toku. Vidi se da je filtratu dovoljno oko 7 godina, na udaljenosti manjoj od jednog kilometra, da dođe do površinskog toka i tako vrši konstantno zagađenje površinskih voda. Ovo je primer kada je komunalna deponija sanitarna samo prekrivena odozgo.



Slika 10 – Prikaz migracije filtrata kroz pukotinski tip izdani prema reci, izvor:  
[http://www.egr.msu.edu/igw/Digital%20Library\\_final/16](http://www.egr.msu.edu/igw/Digital%20Library_final/16)

Za kretanje, odnosno filtraciju ocednih voda – filtrata iz KDČO ili SKDČO kod kojih je došlo do akcidentne situacije u zaštitnom sloju prema podzemnim vodama i geosredini, može se kao relevantna definicija uzeti: „**Migracija podrazumeva zakonitosti premeštanja**

(pomicanja) čestica zagađujućih materija u porama geološke sredine, pri čemu se uzimaju u obzir fizičke, hemijske, biohemijske, bakteriološke, radiološke i druge izmene samih zagađujućih materija, geološke sredine i podzemnih voda, proistekle usled procesa uzajamnog dejstva između tečne i čvrste faze, praćene određenim fenomenima“ (Remedijacija podzemnih voda i geosredine, N. Krešić, S. Vujasinović, I. Matić, Univerzitet u Beogradu, 2006). Filtrat je u toku infiltracije kroz podzemlje uvek u aktivnom i uzajamnom odnosu sa geosredinom i podzemnim vodama u toku vremena i u različitim hidrogeološkim uslovima sredine može migrirati na znatne udaljenosti od same deponije, kako u planu tako i u profilu. U filtratu – ocednim vodama, mogu se naći i štetne materije koje ne podležu fizičko-hemijskim promenama, te kao takve mogu da ostanu u izdani neograničeno vreme. To su tzv. inertne štetne zagađujuće materije. S obzirom na značaj podzemnih voda u ukupnom vodosnabdevanju stanovništva i industrije, njihova zaštita i remedijacija već zagađenih ima gotovo životni značaj. **Dolazi se do zaključka da se sanacija komunalnih deponija čvrstog otpada ne sme zasnivati samo na njoj sanaciji i rekultivaciji „odozgo“ i sa „strane“, već se mora izvršiti remedijacija („lečenje“) geosredine i podzemnih voda ispod KDČO. Naime, hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima se mora odrediti „telo zagađenja“, kako u planu tako i u profilu.**

Hidrogeološka istraživanja i ispitivanja treba da odgovore na pitanja o dubini zaleganja, zoni prihranjivanja i režimu podzemnih voda, uključujući tu i njihove hemijske i bakteriološke karakteristike. Isto tako i pitanje rasprostiranja i položaja vodopropusnih i vodonepropusnih slojeva, koeficijenti filtracije tih slojeva, kao i hidraulička povezanost podzemnih i površinskih voda. Inženjerskogeološka istraživanja su od bitnog značaja s obzirom na to da ove geološke podloge direktno određuju i građevinska projektantska rešenja sanacije i rekultivacije KDČO.

Staru komunalnu deponiju treba prvenstveno urediti tako da se spreči dotok voda, bez obzira na njihovo poreklo, u cilju prestanka stvaranja novih količina filtrata – ocednih voda kao osnovnih zagađujućih materija. Takođe, treba određenim hidrogeološkim i hidrotehničkim rešenjima sprečiti njenu komunikaciju sa podzemnim i površinskim vodama i geosredinom, kako ispod same deponije tako i u njenom širem okruženju.

Stoga je hidrogeologija kao primenjena nauka od veoma velikog značaja za rešavanje ove problematike. Rezultati hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja treba da daju optimalne podloge za građevinsko-tehnološka rešenja sanacije i rekultivacije starih KDČO. Isto tako, njima se određuje i „nulto stanje“ podzemnih i površinskih voda i geosredine, odnosno njihove hemijske i bakteriološke karakteristike pre početka sanacije i rekultivacije KDČO. Ovim istraživanjima i ispitivanjima treba predvideti i monitoring podzemnih i površinskih voda. Ona, pored ostalog, treba da daju odgovore i na pitanja o mogućnostima remedijacije podzemnih voda i geosredine.

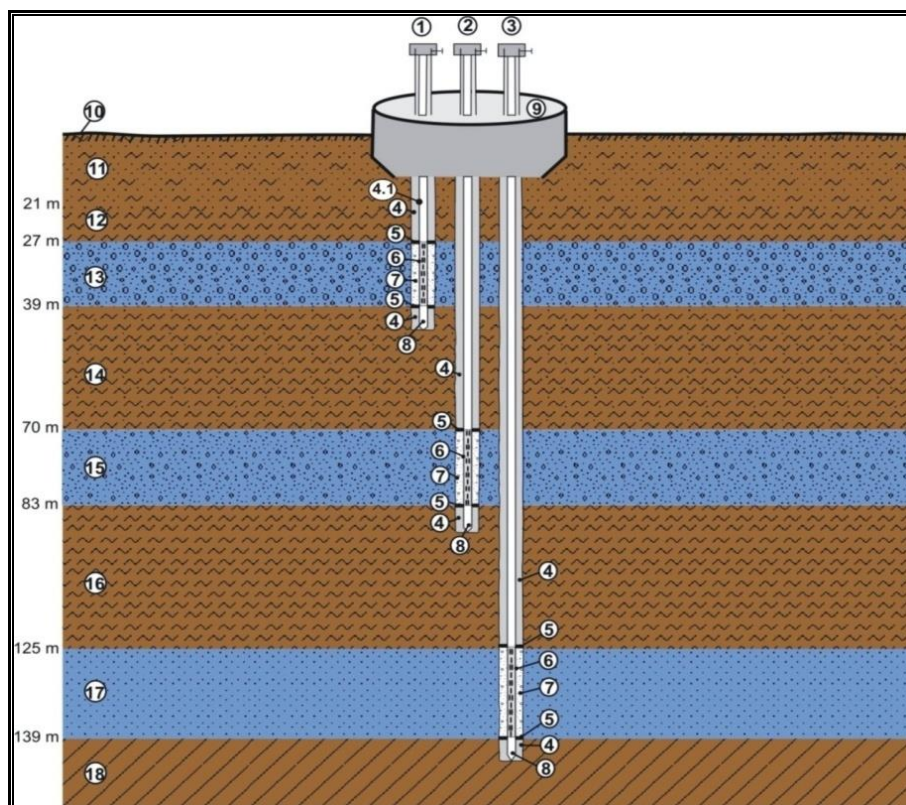
Kod izbora lokacija za izgradnju SKDČO bi kao osnovno pravilo i usmerenje trebalo uzeti da u blizini nema značajnijih resursa podzemnih i površinskih voda. Ukoliko se ne može odabrati povoljna lokacija u širem području za izgradnju SKDČO koja bi zadovoljila sve mere obezbeđenja od zagađivanja podzemnih voda, mora se pristupiti takvim tehničko-tehnološkim rešenjima koja enormno poskupljuju, kako projektovanje tako i izgradnju i održavanje same deponije.

## **Značaj hidrogeologije kod davanja optimalnih podloga za projektovanje SKDČO**

Hidrogeološka istraživanja i ispitivanja kod davanja optimalnih podloga za projektovanje SKDČO imaju presudan značaj sa aspekta zaštite podzemnih voda i geosredine. Takođe, ova istraživanja i ispitivanja treba da odrede načine pravilnog monitoringa kako u fazi eksploatacije tako i po prestanku rada SKDČO. Po odabiru najpovoljnije lokacije na osnovu usaglašavanja stručnjaka iz više naučnih disciplina, pri čemu je poželjno odabrati i rezervnu varijantu, jedna od prvih etapa za izradu Glavnih projekata izgradnje SKDČO je izrada Projekta detaljnih hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja. Pravilnim izvođenjem hidrogeoloških istraživanja dobiće se odgovori o podini deponije, nivoima podzemnih voda i njihovom režimu u hidrodinamičkom i hidrohemijskom smislu, što će kasnije poslužiti kao podloga za određivanje sistema zaštite podzemnih voda i samog načina deponovanja KČO. Detaljna hidrogeološka istraživanja i ispitivanja treba da se rade u koordinaciji sa ostalim geološkim istraživanjima, a na prvom mestu sa inženjerskogeološkim. Svi rezultati dobijeni u okviru ovih istraživanja i ispitivanja treba da posluže kao podloga za izradu Glavnih projekata izgradnje SKDČO.

### **Monitoring rada SDKČO**

Kontrola rada eksploatacije SKDČO mora biti definisana u Glavnom projektu izgradnje i eksploatacije deponije. Od početka rada deponije organizuje se i praćenje odgovarajućih parametara u vezi sa sadržajem filtrata, gasova i monitoringom podzemnih voda, kao i registrovanjem ostalih pokazatelja. Takođe, permanentno se prati stanje zaštitnog sloja sondama – sensorima u cilju dobijanja svakodnevnih saznanja o eventualnim promenama. Pijezometri i osmatrački bunari moraju biti izgrađeni tako da još pre projektovanja deponije definišu pravce kretanja podzemnih voda, hidrogeološke parametre podine na kojoj se izgrađuje deponija itd. U fazi izgradnje deponije neophodno je pratiti kvalitet i obim izvršenih građevinskih i drugih radova. Isto tako, neophodno je snimiti „nulto stanje“ kvaliteta podzemnih i površinskih voda, tla i atmosfere. U ovoj fazi veoma je važno utvrditi kvalitet predviđene podloge u zoni deponovanja, nepropusnost tla, brana, obodnih nasipa, kvalitet postavljene drenaže, kao i kvalitet ostalih izvedenih zemljanih radova predviđenih projektom. Monitoring sistemom treba obuhvatiti sve što se dešava na deponiji. Ukoliko je SKDČO izgrađena u složenim hidrogeološkim uslovima sredine, npr. tako da se ispod nje prostire više izdanskih zona odvojenih slabovodopropusnim ili vodonepropusnim sedimentima, obavezno se izgrađuje baterija piezometara (slika 11). Ovo je veoma važno pogotovu u slučaju da se jedna ili više izdani koristi za vodosnabdevanje.



**Legenda:**

1. piezometar za osmatranje prve izdani; 2. piezometar za osmatranje druge izdani; 3. piezometar za osmatranje treće izdani; 4. glineno-cementni tampon; 4-1. puna cev pijezometarske konstrukcije; 5. vodonepropusni paker; 6. filterski deo pijezometarske konstrukcije; 7. kvarcni granulat; 8. taložnik; 9. betonsko osiguranje sa metalnim obezbeđenjem (svakog piezometra baterije) sa katancem; 10. humus; 11. glina, peskovita, slabo vodopropusni sediment; 12. glina, vodonepropusni sediment; 13. prva izdan, peskovit šljunak; 14. glina, slabo peskovita; 15. druga izdan, srednjezrn pesak; 16. glina, vodonepropusni sedimenti; 17. treća izdan, sitnozrn pesak; 18. vodonepropusni sedimenti

*Slika 11 – Šematski prikaz baterije piezometara (M. Rakijaš, 2009)*

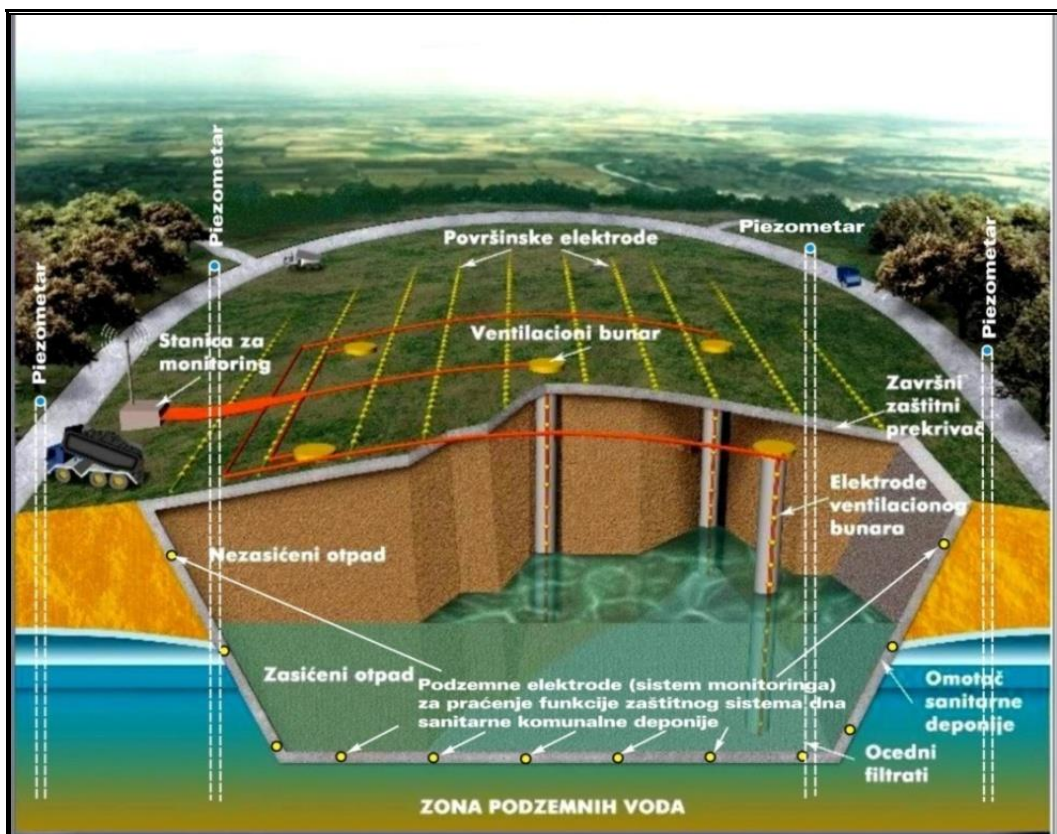
Možemo izdvojiti dve faze kvalitativne kontrole podzemnih i površinskih voda i geosredine.

**Prva faza** bi bila ona koja se vrši pre puštanja u rad predmetne deponije. To je faza u kojoj se određuje „nulto stanje“.

**Druga faza** se deli u dve etape: **etapa** kontrole koja se vrši u samom procesu eksploatacije deponije i **etapa** koja se vrši po prestanku rada SKDČO.

- **Etapa u toku procesa eksploatacije sanitarne deponije.** U procesu eksploatacije SKDČO se u određenim vremenskim razmacima uzimaju uzorci podzemnih i površinskih voda (iz izrađenih pijezometara i osmatračkih bunara) i geosredine za laboratorijska ispitivanja. Rezultate ovih ispitivanja upoređujemo sa „nultim stanjem“.

- **Etapa po prestanku rada sanitarne deponije komunalnog čvrstog otpada.** Na slici 12 je šematski prikazana SKDČO sa sistemom za njen monitoring, kako za vreme eksploatacije tako i posle.



Slika 12 – Šematski prikaz monitoringa zatvorene SKDČO, izmenjeno.

Izvor: [http://www.bgs.ac.uk/science/alert/images/Landfill\\_monitoring\\_v41.jpg](http://www.bgs.ac.uk/science/alert/images/Landfill_monitoring_v41.jpg)

## HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U CILJU DAVANJA OPTIMALNIH PODLOGA ZA IZRADU GLAVNOG PROJEKTA SANACIJE I REKULTIVACIJE, KOD SANACIJE I ZATVARANJA KDČO

Određivanje hidrogeoloških uslova sredine ima izuzetan značaj sa aspekta zaštite podzemnih voda. Rezultati ovih hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja daju direktne podloge koje determinišu sama rešenja za sanaciju, rekultivaciju, remedijaciju i zatvaranje KDČO. U tom smislu, neophodno je izvršiti i hemijsko-bakteriološka ispitivanja svih voda i geosredine oko same deponije. Prema tome, glavni cilj ovih istraživanja i ispitivanja, pored određivanja hidrogeoloških uslova sredine uže i šire zone samog objekta, bilo bi određivanje stepena zagađenosti podzemnih voda i geosredine. Metodologija, odnosno pristup određivanju pravaca istraživanja zavisi od svakog konkretnog slučaja posebno, što je determinisano geološkim i hidrogeološkim uslovima sredine.

Sanacija, rekultivacija i remedijacija geoloških medija ispod KDČO može biti „in-situ“ i „ex-situ“. Ranije se smatralo da je dovoljno sprečiti dodatni nastanak filtrata, odnosno zagađujućih materija koji se stvaraju u deponiji. To se rešavalo građevinsko-tehnološkim

metodama, prekrivanjem starih komunalnih deponija zaštitnim pokrivnim sistemom „odozgo“ i sa „strana“. Međutim, najnovija saznanja pokazuju da se nastali filtrat kreće kako vertikalno tako i horizontalno u dugom vremenskom periodu. Samo sprečavanje dotoka kako atmosferskih, tako i drugih voda sa strane smanjuje količinu filtrata ali ne i već započeti proces migracije.

Detaljna hidrogeološka istraživanja i ispitivanja treba da odgovore na sva pitanja koja se odnose na hidrogeološke uslove sredine za izradu hidrogeološkog modela koji treba da posluži kao osnova za izradu Glavnog projekta sanacije, rekultivacije, proširenja KDČO i eventualne remedijacije podzemnih voda i geosredine

Najvažnije kod ovih istraživanja je utvrđivanje „tela zagađenja“ koje je nastalo u toku eksploatacije KDČO, kako u planu tako i u profilu. To se rešava adekvatnim rasporedom hidrogeoloških objekata (pijezometara i osmatračkih bunara). Otkrivanjem „tela zagađenja“, odnosno dokle su stigle zagađujuće materije (filtrat), daju se osnovne podloge za sanaciju, rekultivaciju KDČO i eventualnu remedijaciju podzemnih voda i geosredine. Nakon definisanja „tela zagađenja“, izrađuje se pijezometarska mreža u cilju utvrđivanja „nultog stanja“ van „tela zagađenja“. **„Nulto stanje“** kvaliteta podzemnih i površinskih voda je merodavan pokazatelj kvaliteta izvršene sanacije, rekultivacije KDČO i eventualne remedijacije podzemnih voda i geosredine.

## **HIDROGEOLOŠKA I DRUGA ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA U CILJU IZBORA LOKACIJA SKDČO**

Hidrogeološka istraživanja i ispitivanja na ovom nivou svodila bi se uglavnom na rekognosciranje terena sa eventualno potrebnim dodatnim hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima u smislu donošenja konačne odluke za izbor lokacije za izradu SKDČO. Rezultati hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja sa prikazom opštih geoloških karakteristika terena bi predstavljali jednu od osnova za izradu studije o izboru lokacije, koja bi bila multidisciplinarnog karaktera. Sam proces odabira lokacije ima nekoliko faza u kojima učestvuju stručnjaci iz više naučnih disciplina. Osnovni pristup hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima bi bio da se njihov obim određuje u svakom konkretnom slučaju posebno, u zavisnosti od geoloških, hidroloških, klimatskih i ostalih uslova šire oblasti izabrane lokacije. Najpogodniji prostori sa hidrogeološkog aspekta su, naravno oblasti koje su okarakterisane kao bezvodni ili uslovno bezvodni tereni. Kako je gotovo nemoguće ostvariti idealne uslove za izgradnju SKDČO, pri čemu se misli na one koji bi zadovoljili sve zakonske norme sa aspekta različitih naučnih disciplina koje se bave ovom problematikom u cilju zaštite životne sredine, a posebno podzemnih i površinskih voda, u ovom poglavlju se razmotra odabir najpovoljnijih lokacija sa aspekta hidrogeoloških uslova sredine. Ono što bi trebalo da predstavlja pravilo je da blizu lokacije izgradnje deponije nema značajnijih resursa podzemnih i površinskih voda, kao i da prostor nije atraktivan za neku drugu svrhu. Ukoliko se ne može odabrati povoljna lokacija u širem području za izgradnju SKDČO koja bi zadovoljila sve hidrogeološke mere obezbeđenja od zagađivanja podzemnih voda, mora se pristupiti takvim tehničko-tehnološkim, sanitarnim i preventivnim rešenjima koja enormno



poskupljuju kako sveopšti geološki istraživački proces, tako i projektovanje i izgradnju same deponije. Dakle, za najpovoljnija mesta sa aspekta hidrogeoloških zahteva pri izboru lokacije za izgradnju SKDČO treba prvo razmotriti one oblasti koje nemaju nikakve veze sa vodnim resursima koji služe za vodosnabdevanje vodom za piće.

Za definisanje hidrogeoloških karakteristika u cilju utvrđivanja pogodnosti terena neophodno je pažljivo programirati istražne radove i to po fazama, kako pri određivanju više mogućih lokacija (najmanje šest) za izgradnju SKDČO, tako i istraživanja za već odabranu lokaciju. Ukoliko se u široj zoni, ne uzimajući u obzir granična opštinska područja, ne mogu naći lokacije koje bi zadovoljile osnovne, već pomenute hidrogeološke uslove, moraju se izvršiti i dodatna hidrogeološka istraživanja (detaljno hidrogeološko kartiranje terena, istražno geološko bušenje itd.). Ona bi trebalo da daju odgovore na pitanja o: dubini rasprostiranja prve izdani od površine terena ili osnovne izdani po značaju sa aspekta eventualnog iskorišćavanja za vodosnabdevanje vodom za piće; njenom rasprostranjenju u planu i profilu; zoni prihranjivanja i dreniranja svih utvrđenih izdani u široj zoni istraživanja; hemijskim i bakteriološkim karakteristikama otkrivenih podzemnih voda; karakteristikama površinskih tokova, njihovoj eventualnoj hidrauličkoj povezanosti sa podzemnim vodama. Kada se napravi sinteza i analiza ovih podataka u kombinaciji sa hidrometeorološkim, inženjerskogeološkim i seizmiološkim karakteristikama, pristupa se analizi koja rezultira izborom tri najpovoljnije lokacije. Sa aspekta zaštite podzemnih voda i geosredine, tu bi hidrogeološke karakteristike trebalo da budu od primarnog značaja.

Naime, pri odabiru pomenute tri lokacije koje se uzimaju u dalje razmatranje hidrogeološka istraživanja bi trebalo da posluže kao osnova za odbacivanje ostalih lokacija sa aspekta značaja podzemnih voda kao jedne od najvažnijih mineralnih sirovina za čoveka.

Inženjerskogeološka istraživanja su od bitnog značaja s obzirom na to da ove geološke podloge direktno određuju i građevinska projektantska rešenja izgradnje i eksploatacije same deponije. Sa inženjerskogeološkog, geomorfološkog i seizmološkog aspekta biraju se topografski lokaliteti koji nisu upotrebljivi za stambenu ili industrijsku gradnju, a takođe ni za poljoprivredne svrhe.

Kada se napravi sinteza svih sakupljenih rezultata pomenutih stručnjaka multidisciplinarnih naučnih disciplina, pristupa se zajedničkoj analizi pri čemu se izdvajaju 3–6 lokacija. Na osnovu dalje i detaljnije analize vrši se odabir 1–3 potencijalne. Analizom se na kraju donosi odluka o najpovoljnijoj lokaciji za izgradnju SKDČO, uz obavezno ostavljanje još jedne lokacije kao rezervne varijante.

## **HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U CILJU DAVANJA OPTIMALNIH PODLOGA ZA PROJEKTOVANJE SKDČO**

Sa današnjim naučnim dostignućima iz ove oblasti gotovo na svakom hidrogeološki složenom terenu se može izgraditi SKDČO, jer postoje takva tehničko-tehnološka rešenja čijom primenom je moguće zaštititi podzemne vode i geosredinu. Ona mogu biti vrlo

nerentabilna sa finansijskog aspekta, tako da se takvoj vrsti rešavanja ovog problema pribegava samo u slučajevima kada ne postoji drugi način. Kako u svetu, tako sve više i kod nas, osnovna usmerenja u zaštiti podzemnih voda od zagađivanja treba da imaju **preventivni karakter**, odnosno blagovremeno otkrivanje i sagledavanje mogućih zagađivača. U tom smislu, preduzimanje preventivnih mera, uloga i značaj hidrogeoloških podloga pri izgradnji predmetnih deponija imaju nesumnjivo presudan značaj za očuvanje kvaliteta podzemnih voda i geosredine.

Od presudne važnosti je da se odredi pravilan raspored mreže pijezometara i osmatračko-opitnih bunara za eventualno praćenje migracije filtrata (ako bi došlo do akcidentnih situacija u toku eksploatacije deponije i po prestanku njenog rada). Osnovni princip kod hidrogeoloških istraživanja je princip doslednog približavanja saznanju ili princip etapnosti. Ovakvim pristupom Elaborat hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja daće optimalne podloge za nivo izrade Glavnog projekta izgradnje SKDČO, sa aspekta zaštite podzemnih voda. Prvi zadatak hidrogeologije kao primenjene nauke je da odgovori na pitanja **o dubini zaleganja podzemnih voda, koeficijentu filtracije i drugim hidrogeološkim parametrima u zavisnosti od hidrogeoloških uslova sredina na koja svojim istraživanjima naiđe. Jedan od osnovnih zadataka je i utvrđivanje režima podzemnih voda, sa posebnim osvrtom na njihove hemijske i bakteriološke karakteristike. Zatim, utvrđivanje rasprostiranja i položaja vodopropusnih i vodonepropusnih slojeva, kao i povezanost podzemnih i površinskih voda, stepen njihove hidrauličke veze i njihov režim u dugogodišnjem periodu.**

Drugi zadatak hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja je da se odredi optimalan broj hidrogeoloških objekata u užoj i široj zoni SKDČO u cilju monitoringa podzemnih voda.

Treći zadatak hidrogeoloških istraživanja i ispitivanja se ogleda u određivanju svih preventivnih mera kada filtrat iz SKDČO, usled raznih akcidentnih dešavanja, može da prođe kroz tamponirajući (zaštitni) sloj i tako eventualno dođe u kontakt kako sa podzemnim, tako i sa površinskim vodama i geosredinom.

Treba napomenuti da ova istraživanja mogu pokazati sasvim „negativne“ rezultate u toku istražnih radova. U tom slučaju, ona se zbog ekonomskog faktora prekidaju i prelazi se na neku od rezervnih lokacija. Hidrohemijska ispitivanja u cilju utvrđivanja „nultog stanja“ su od velikog značaja sa aspekata zaštite podzemnih voda i geosredine ukoliko se utvrđena lokacija projektuje na terenima koji su izgrađeni od takvih geoloških sredina u kojima je utvrđeno postojanje podzemnih voda bilo kog tipa. Treba reći da se hemijski sastav podzemnih voda formira pod uticajem mnogih prirodnih faktora koji utiču na njen raznovrstan sastav, kako u vertikalnoj tako i horizontalnoj zonalnosti.

Ukoliko je utvrđeno postojanje podzemnih i površinskih voda u neposrednoj blizini lokacije, neophodna su ispitivanja kompletnog hemijskog i bakteriološkog sastava podzemnih i površinskih voda iz svih dostupnih objekata (kopanih seoskih bunara, već izrađenih dubokih bunara i pijezometara) uzimanjem uzoraka. Mreža pijezometara se uglavnom projektuje tako da oni kasnije mogu poslužiti za monitoring, kako u toku same eksploatacije deponije tako i po prestanku njenog rada. Dobijeni rezultati mogu ukazati i na neophodnost izrade gušće mreže ovih objekata, kako u toku same eksploatacije tako i po prestanku rada SKDČO. „**Nulto stanje**“ kvaliteta podzemnih i površinskih voda treba uzeti

kao početno stanje za svako upoređivanje rezultata ispitivanja voda kasnije uzimanih iz pomenutih objekata. Raspored pijezometara za ovakvu vrstu kontrole se određuje u svakom slučaju posebno i treba biti takav da u kombinaciji sa već postojećim pomenutim objektima obezbedi u preventivnom smislu maksimalno postavljene uslove za praćenje eksploatacije SKDČO.

## MOGUĆNOSTI SANACIJE, REKULTIVACIJE I PROŠIRENJA POSTOJEĆIH KDČO SA POSEBNIM OSVRTOM NA REMEDIJACIJU PODZEMNIH VODA I GEOSREDINE

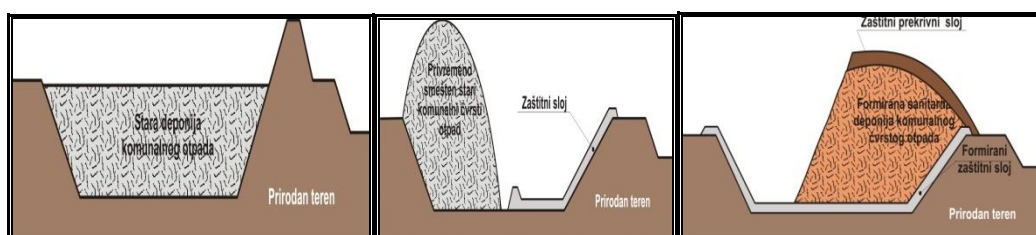
S obzirom na to da KDČO predstavljaju veliki izvor zagađenja, nameće se neophodnost pravilnog pristupa u smislu donošenja konačnih rešenja sa aspekta zaštite životne sredine, pa samim tim i remedijacije zagađenih podzemnih voda i geosredine čiji su oni uzrok. Sama kompleksnost remedijacije podzemnih voda i geosredine zahteva multidisciplinarni pristup rešavanju ove problematike.

U svetu i kod nas se do sada pribegavalo sanaciji i rekultivaciji starih deponija tako što se glavna pažnja poklanjala načinima sprečavanja dotoka kako atmosferskih tako i podzemnih i površinskih voda, sa ciljem smanjivanja koncentracije filtrata u samom telu KDČO. Projekti koji su rađeni uglavnom su bili tipski, pri čemu se nisu uzimali u obzir hidrogeološki uslovi sredine.

Sve postojeće KDČO predstavljaju „zagađivače“, odnosno žarišta ili izvore zagađivanja. Naime, u njima se kako je već rečeno formiraju takve vrste tečnih zagađujućih materija koje su i preko deset puta zagađenije od fekalnih otpadnih voda. **Po svim svetskim normama sve stare nesantitarne deponije komunalnog otpada predstavljaju i deponije opasnog otpada, baš zbog zagađivača koji su se i koji se još uvek odlažu na deponije ovog tipa.**

Sanacija onih sa manjom količinom smeća-otpada se može izvesti samo uklanjanjem celokupne količine komunalnog otpada na najbližu SKDČO. Prilikom njihovog uklanjanja se predlaže i uklanjanje i pripovršinskog sloja u zavisnosti od toga na kakvim terenima je smetlište formirano kao i od stepena zagađenosti sedimenata.

Postoje dve vrste metoda remedijacije podzemnih voda i geosredine. Prva je u stručnoj praksi poznata kao „in-situ“ metoda (slika 13). Ona se može izvoditi u žarištu ili izvoru zagađenja. Druga „ex-situ“ metoda podrazumeva crpljenje podzemnih voda ili ekskavaciju (iskopavanje) geosredine (zemljišta) i njihovo prenošenje na bliža ili udaljenija mesta od samog žarišta zagađivanja.



Slika 13 – Stara komunalna deponija, nesrazmeran prikaz (M. Rakijaš, 2017)

Komunalni otpad bi se prebacivao sa jednog prostora na drugi. Na praznom prostoru bi se postavljali svi elementi koji bi buduću deponiju činili sanitarnom i komunalni otpad bi se vraćao na taj pripremljeni deo sa zaštitnim slojem. Potom bi se i drugi deo pripremio za ugradnju zaštitnih delova sanitarne deponije i takva deponija bi još neko vreme mogla biti u fazi eksploatacije.

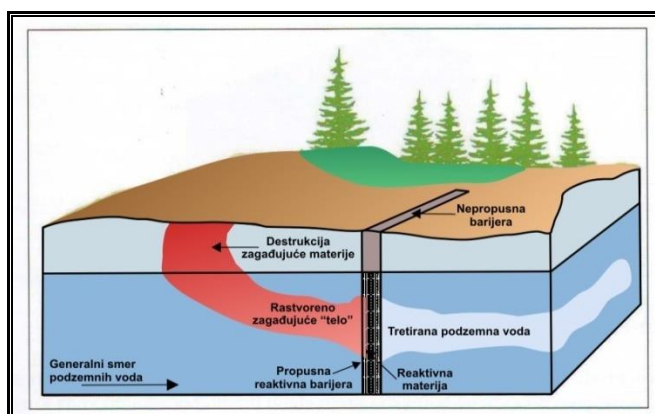
Metode „ex-situ“ podrazumevaju odstranjivanje izvora zagađenja i zagađujućih materija . Komunalni otpad i neposredno zagađena sredina se odvoze na specijalno pripremljen sanitarni prostor koji se nalazi u blizini deponije ili van nje, kao i na neku već pripremljenu sanitarnu deponiju regionalnog tipa. Ovo su najbrže i najskuplje, ali i najefikasnije metode.

Kao prelazno rešenje, dok se ne izgrade SKDČO, uveliko se koristi i baliranje otpada. Ove bale u kojima je presovan komunalni otpad imaju svoj vek trajanja, ali mogu poslužiti i kao prelazno rešenje dok se ne izgrade nove SKDČO, ali i kao sistem za brže sakupljanje otpada (slika 14).

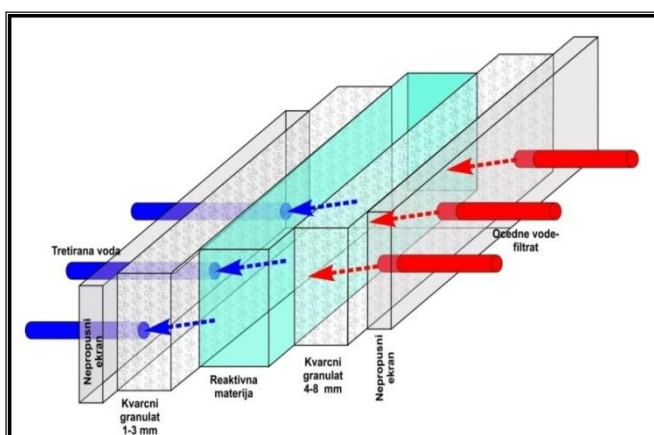


Slika 14 – Balirani KČO (foto: Z. Marinković, 2008)

Remedijacija geosredine i podzemnih voda u zoni komunalnih deponija se može „in-situ“ izvesti i metodom permeabilnih reaktivnih barijera – PRB. Ova barijera predstavlja „zid“ izgrađen ispod površine u podzemlju, sa ciljem da „prečisti“, dekontaminira podzemnu vodu (slika 15 i 16).



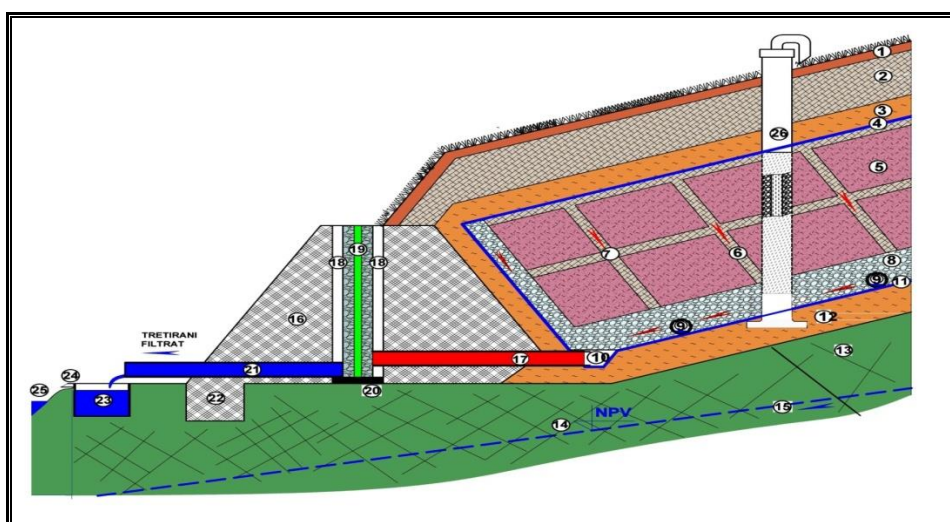
Slika 15 – Šematski prikaz PRB (US EPA)



Slika 16 – Šematski prikaz PRB u preseku (M. Rakijaš, 2015)

Primena PRB-a se može koristiti kod sanacije i rekultivacije starih komunalnih deponija koje su formirane u strmoj jaruzi i to tako što bi se ugrađivala u brane ili nasipe sa odgovarajućim agensima za tretman filtrata. To bi bilo izuzetno rešenje. Na

ovaj način bi se u povoljnim hidrogeološkim uslovima sredine smanjila finansijska opterećenja za izgradnju posebnih objekata za tretman filtrata. Kako bi to izgledalo prikazano je na slici 17. Ovakav način za tretman filtrata bi mogao efikasno da se primeni pri sanaciji i rekultivaciji i proširenju stare komunalne deponije koja je formirana na dnu strme jaruge kada je potrebna izrada barne .



**Legenda:**

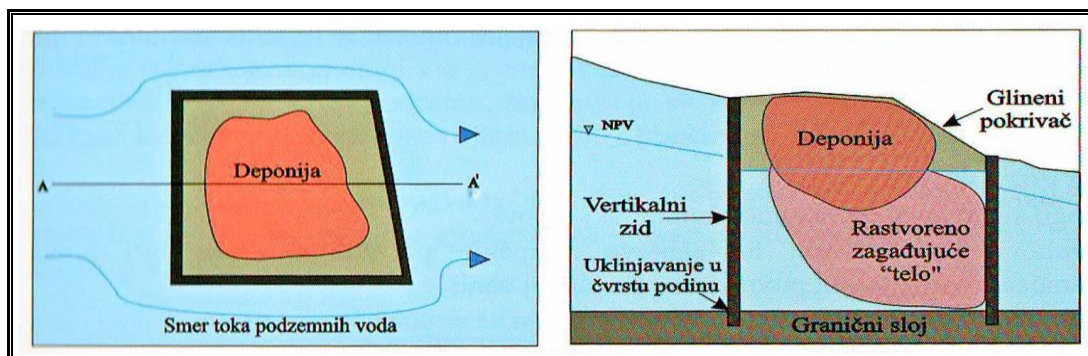
1. Sloj humusa sa rastinjem	14. Nivo podzemnih voda
2. Pokrivni sloj	15. Pravac kretanja podzemnih voda
3. Sloj nabijene gline	16. Betonska brana
4. Geomembrana	17. Odvodna cev za filtrat do PRB-a
5. Čelija komunalnog čvrstog otpada	18. Nepropusni ekran PRB-a
6. Drenažni sistem za protok filtrata	19. PRB
7. Kretanje filtrata	20. Dno PRB-a

8. Donji drenažni sloj	21. Cev za odvod tretiranog filtrata
9. Drenažne cevi za sakupljanje filtrata	22. Nožica brane
10. Rov za sakupljanje filtrata	23. Laguna za sakupljanje prečišćenog filtrata
11. Donja geomembrana	24. Prelivna cev
12. Donji sloj od sabijene gline	25. Vodotok
13. Pukotinska tip izdani	26. Degazacioni objekat

Slika 17 – Mogućnost tretmana filtrata sa PRB sistemom na terenima sa nagibom, sa mogućom primenom kod izgradnje SKDČO (M. Rakijaš, 2008)

Kao jedno od rešenja za sprečavanje širenja zagađujućih materija mogu poslužiti kompozitni – složeni zidovi (slika 18). Zid je uklinjen u nepropusnu podinu. Ovaj način remedijacije koriste Holanđani. Naime, ove barijere se formiraju umetanjem položenih geomembrana u zid. Geomembrane se dodaju da ojačaju integritet zida i povećaju otpornost na hemijski uticaj. Ovaj način remedijacije podzemnih voda i geosredine je u razvijenim zemljama našao veliku primenu. Iako su dubine do kojih se ovakav metod primenjuje i do 70 m, u ovom slučaju proces remedijacije podzemnih voda i geosredine može se obaviti bez bojazni da će se zagađenje dalje širiti. Prednost ove metode je u tome da je konstrukciona tehnika vrlo jednostavna za izvođenje, brzo se izvodi i može biti primenjiva u sprezi s drugim metodama remedijacije.

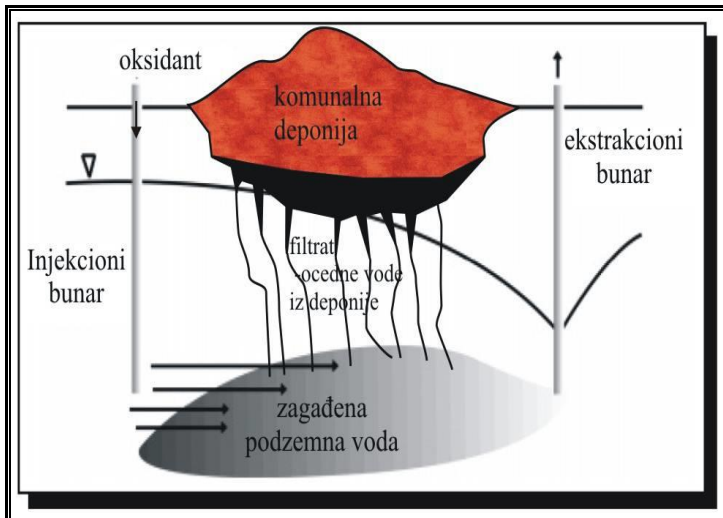
S obzirom na to da su većina država regina u periodu tranzicije, treba se ipak ozbiljno osvrnuti na mogućnosti sanacije starih KDCO bez obzira na finansijske mogućnosti, iz razloga što se na ovaj način može očuvati jedna od najvažnijih mineralnih sirovina u našoj zemlji, podzemna voda.



Slika 18 – Prikaz kotirane projekcije i poprečnog preseka vodonepropusnog zida koji kompaktno okružuje deponiju (po Fetteru, 1993)

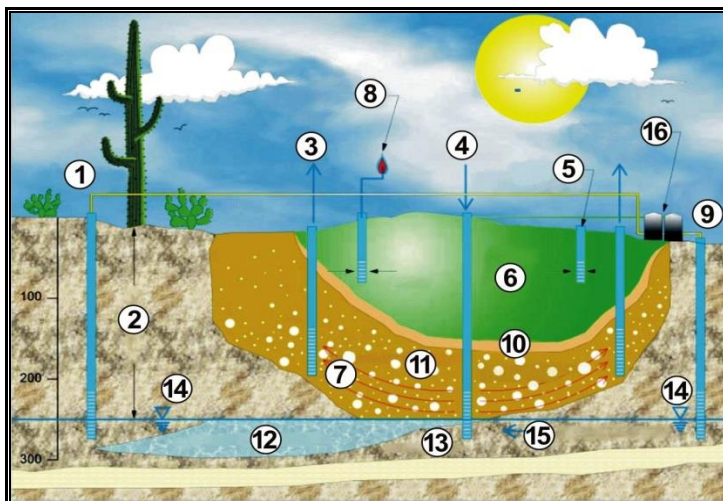
Metod „in situ“ se može efikasno izvesti i utiskivanjem hemijskog oksidanta sa komprimovanim vazduhom u injekcioni bunar (slika 19). Ovaj način remedijacije se naziva i bioventilaciona metoda. Atmosferski vazduh se ubacuje pomoću ubrizgavača vazduha u injekcione bunare. Kiseonik iz vazduha na taj način biva iskorišćen od strane mikroorganizama. Da bi se pospešio proces, sa atmosferskim vazduhom ubacuju se i hranljive materije, azot, fosfor i dr. Na taj način se „osvežava“ zagađena podzemna voda ispod same deponije, izvlači se ekstrakcionim bunarom i odvodi najčešće u neki najbliži

vodotok kao već prečišćena, naravno, ukoliko zadovoljava karakteristike po kojima se može smatrati prečišćenom. Dodavanjem vazdušnog raspršivanja, zagađujuće materije mogu biti odstranjene iz izdanske zone. Pomoću ove metode remedijacije može biti stimulisana i biodegradacija nekih zagađujućih materija.



Slika 19 – Šematski prikaz sistema za remedijaciju podzemnih voda ubacivanjem oksidanta (M. Rakijaš, 2008)

Drugi, sličan metod je **SVE** (ekstrakcija gasnih isparenja iz zemlje). Ova metoda se često koristi u svetu kao inovirani tretman u remedijaciji zagađene nezasićene hidrogeološke sredine. Zagađujuće materije se izvlače u isparljivoj formi (slika 20). Oba pomenuta sistema remedijacije zagađenih podzemnih voda i nezasićene hidrogeološke sredine ne zahtevaju iskopavanje (odstranjivanje) zagađenih medija.



**Legenda:**

1. ekstrakcioni bunar	9. injekcioni bunar
2. vadozna zona	10. ocedni filtrat
3. ekstrakcija gasnih isparenja iz zemlje	11. isparenje koje izlazi na površinu

4. injekcioni bunar za komprimovani vazduh	12. podzemne vode
5. ventilacioni bunar	13. gornja izdan
6. komunalni otpad	14. nivo izdani
7. prijem isparljivih organskih materija	15. smer kretanja podzemnih voda
8. vatra od deponijskog gasa	16. postrojenje za tretiranje filtrata

Slika 20 – Sistem remedijacije nezasićene geosredine podzemnim vodama metodom **SVE** (ekstrakcija gasnih isparenja iz zemlje). Izvor: <http://www.hgcinc.com/cotlf.htm>

Naravno, bez ikakvih nedoumica, najefikasnija metoda za sanaciju i rekultivaciju deponija KČO jeste metoda „ex-situ“, sa remedijacijom podzemnih voda i geosredine.

## POGODNI TERENI SA HIDROGEOLOŠKOG ASPEKTA ZA IZGRADNJU SKDČO

### **- Na bezvodnim delovima terena**

Sa hidrogeološkog aspekta, u širem smislu, ovi tereni predstavljaju idealne prostore za izgradnju SKDČO. Naime, bezvodne stene u prirodnim uslovima slabo ili nikako ne propuštaju, odnosno odaju slobodnu podzemnu vodu. To su gline, glinci, kristalasti škriljci niskog stepena kristaliniteta (filiti, argilošisti...) i sve masivne, neispucale, sedimentne, magmatske i metamorfne stene. U ove terene treba svrstati i one koji su izgrađeni od relativno bezvodnih stena, a to su one koje propuštaju i ispuštaju manje količine slobodnih podzemnih voda (jako zaglinjeni peskovi, peskovite gline i slične stene). Ukoliko odabrana lokacija zadovoljava i sve ostale zahteve sa multidisciplinarnog stručnog aspekta za rešavanje ove problematike, ovi tereni dobijaju značaj i sa ekonomskog aspekta. Naime, u tom slučaju geološke, hidrogeološke, inženjerskogeološke, geofizičke i druge vrste geoloških podloga bi poslužile davanju najekonomičnijih rešenja za nivo izrade Glavnog izvođačkog projekta izgradnje SKDČO.

#### **-Na deluvijalnim naslagama**

Deluvijum predstavlja akumulativne oblike površinske i linijske erozije, a nastaje spiranjem rastresitog materijala na blažim padinama i u njihovom podnožju. Ove naslage se odlikuju neklasiranošću i nezaobljenošću materijala, nastaju spiranjem i transportom materijala usled povremenih površinskih bujičnih tokova. U ovim naslagama dolazi do formiranja izdani siromašne vodom, a često predstavljaju i bezvodne delove terena. Zbog samog litološkog sastava i konfiguracije terena sa sveopšteg geološkog aspekta, ovi tereni se mogu smatrati relativno povoljnim za izgradnju SKDČO kako sa hidrogeološkog tako i sa inženjerskogeološkog aspekta.

#### **-Na eolskim naslagama**

Ove naslage nastaju taloženjem klastičnog materijala, čiji su fragmenti mali, sitnozrni i uglavnom hemijski nerazoreni. Vezuju se pretežno za aridnu klimu. Njihovo taloženje i erozija



nastaju vetrom. Izdani formirane u ovim naslagama su zbijenog tipa, sa slobodnim nivoom, koje se po pravilu nalaze relativno duboko ispod površine terena. Prihranjivanje se uglavnom vrši na račun infiltracije atmosferskog taloga i manjim delom infiltracijom površinskih voda. Poseban tip eolskih sedimenata čine lesne naslage. U našoj literaturi su često nazivane „lesne zaravni“ ili „lesni platoi“. Pored osnovnog, međuzrnskog tipa poroznosti, ove tvorevine imaju cevastu vertikalnu poroznost nastalu truljenjem zatrpanih biljaka. Izdani formirane u njima imaju slobodan nivo, koji se nalazi na relativno velikim dubinama, a rezerve podzemnih voda nisu od većeg značaja sa aspekta vodosnabdevanja. Zbog svih nabrojanih karakteristika, ovi tereni se mogu uzeti u obzir pri izboru lokacije za izgradnju SKDČO ukoliko se ispune hidrogeološki, inženjerskogeološki, geomorfološki, hidrometeorološki, građevinski i ostali zakonom propisani uslovi.

#### -Na močvarnim terenima

Močvarni tereni u određenim oblastima mogu biti interesantni ukoliko nisu predviđeni za agromelioracione zahvate sa aspekta njihovog iskorišćavanja za poljoprivredne svrhe. Ove terene obično čine muljevi, odnosno sedimenti sa ostacima vegetacije. Izdani formirana u njima je zbijenog tipa, a zbog veoma loših hidrohemijskih karakteristika (povećan sadržaj gvožđa i organskih materija sa pH : 3–4, neprijatnim mirisom i ukusom) i slabih filtracionih karakteristika, nemaju praktični značaj sa aspekta vodosnabdevanja. Samim tim, dolazi se do zaključka da su ovi tereni pogodni za izgradnju SKDČO, bez obzira na skupe agromeliorativne i građevinske zahvate koji bi bili potrebni za njihovu pripremu. Kako se svaka deponija po završetku eksploatacije pretvara u agroekonomsko zemljište, ovakav izbor bi imao dvostruki značaj.

## **NEPOGODNI TERENI SA HIDROGEOLOŠKOG I INŽENJERSKOGEOLOŠKOG ASPEKTA ZA IZGRADNJU SKDČO**

### **Uslovi izgradnje SKDČO u pukotinskim i karstnim terenima**

U sedimentima u kojima je formiran karstni i pukotinski tip izdani dolazi do brže vodozamene. Takvi tereni sa hidrogeološkog aspekta su najranjiviji na zagađenje. Sa hidrogeološkog aspekta, remedijacija ovih izdani je gotovo nemoguća. U njima su po pravilu formirane izdani sa visokim kvalitetom podzemnih voda.

Izdani razbijenog tipa formirane u čvrstim stenskim masama, bez obzira na njihovu genezu, nazivaju se pukotinskim izdanima. Ovaj tip izdani je rasprostranjen u različitim intruzivnim i efuzivnim stenama, kristalastim škriljcima i čvrstim sedimentnim stenama (peščari, laporci, konglomerati, breče i karbonatne stene slabije karstifikacije). Ispucalost i vodonosnost metamorfnih stena je znatno manja nego u efuzivnim i intruzivnim stenskim masama. Mlađe efuzivne stene kvartarne i neogene starosti su većeg stepena ispucalosti i znatno vodonosnije od srodnih stena mezozojske i paleozojske starosti. Uslovi rasprostiranja i kretanja podzemnih voda u ispucalim sredinama su različiti i zavise od karaktera, geneze i veličine pukotina. Vodopropusnost čvrstih stenskih masa se menja, tako da se u neposrednoj blizini mogu naći veoma vodonosne i praktično vodonepropusne, odnosno bezvodne. Uslovi formiranja podzemnih voda u ispucalim stenama zavise od širine i dubine

pukotina i njihove zapunjenosti ostalim materijalom transportovanim vodom kroz sisteme pukotina. Pritisci podzemnih voda obično su uslovljeni hidrostatičkim pritiscima u uzajamno presecajućim pukotinama. Ako se te pukotine nalaze u oblasti hranjenja, na višim kotama, u njih se infiltriraju površinske vode i vode od atmosferskih taloga, a ako su pukotine na nižim kotama, ističu vode pod pritiskom.

Karstno-pukotinski tip izdani na osnovu ispucalosti i intenziteta vodonosnosti, vodozamene, uslova kretanja i fizičko-hemijskih karakteristika možemo podeliti na dve zone: a) zonu iznad lokalnog erozionog bazisa i b) zonu ispod lokalnog erozionog bazisa.

U okviru utvrđivanja hidrogeoloških uslova sredine, za rešavanje predmetne problematike posebno je interesantna prva zona, odnosno zona koja se nalazi iznad erozionog bazisa, jer se formira u gornjim delovima masiva čvrstih stenskih masa, u kojima preovlađuju pukotine fizičko-hemijskog raspadanja. Karakteristike podzemnih voda ovoga dela su slobodni nivo i kretanje pod dejstvom gravitacije, prvenstveno descendentno. Bliska veza podzemnih voda koje se infiltriraju sa površine terena može uticati na čestu pojavu zagađenja ove izdani. Ovu zonu izdani karakteriše haotična mreža otkrivenih vodopropusnih pukotina, čija je širina, dubina i zapunjenost potpuno nezakonitna. Takođe, za ovu zonu se može reći da se odlikuje slabom vodonosnošću. Njihovo dreniranje se vrši u rečne tokove, a zatim preko izvora male izdašnosti.

Zona pukotinske izdani koja se nalazi ispod erozionog bazisa obuhvata podzemne vode u krupnim tektonskim pukotinama i razlomima u zemljinoj kori. Prihranjivanje podzemnih voda u ovoj zoni vrši se na račun površinskih i atmosferskih voda i priliva voda iz bočnih izdani.

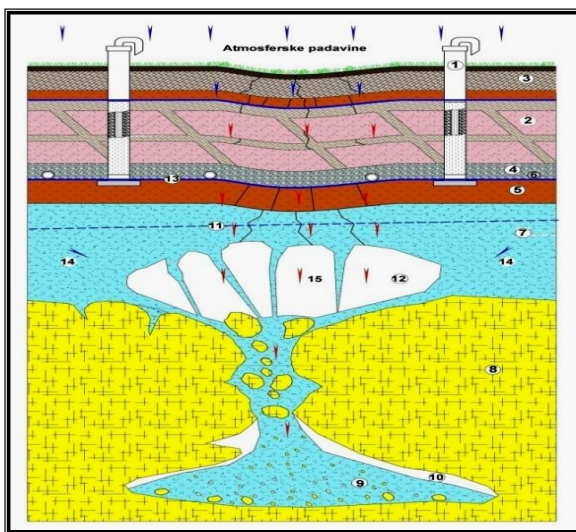
Sa aspekta rešavanja predmetne problematike važno je utvrditi postojanje ove izdani. Ponekad se i u njima mogu naći znatne količine podzemnih malomineralizovanih voda koje se koriste za vodosnabdevanje. Treba još napomenuti da pri većim dubinama zaleganja razloma, vode mogu biti termalne, mineralizovane i rasolne sa mineralizacijom većom i od 300 gr/l. Upravo zbog toga prilikom određivanja lokacije banjskih SKDČO, treba posebnu pažnju obratiti da se lokacije za izgradnju deponija odrede što dalje od zona prihranjivanja termomineralnih voda u cilju očuvanja njihovih postojećih fizičko-hemijskih karakteristika.

Karstno-pukotinski tip izdani, ukoliko za to postoje uslovi, treba odmah izuzeti iz daljih i budućih razmatranja za izbor lokacija za izgradnju SKDČO. Prvenstveno zbog ekonomskog aspekta, kako za apsolutnu zaštitu podzemnih voda, tako i za preduzimanje svih preventivnih mera u slučaju dešavanja akcidenata u smislu oštećenja zaštitnog sloja dna i bočnih strana SKDČO.

Velike dimenzije karstnih kanala, njihova međusobna povezanost, veliki gradijent i velika vodopropusnost površinskih zona omogućavaju brzo punjenje, ali i pražnjenje izdani. Karstne izdani mogu biti sa slobodnim nivoom i sa nivoom pod pritiskom. Za nivoe karstnih izdani se može reći da ih odlikuje veliko kolebanje, što je u neposrednoj vezi sa izdašnošću izdani, (više  $m^3/s$ ), njihovim prihranjivanjem i dinamičnošću brzine kretanja voda u njima, koje su opet u neposrednoj vezi sa godišnjim dobima, odnosno osnovnim vidom prihranjivanja od atmosferskih padavina. Kako su izdani često formirane u karstnim

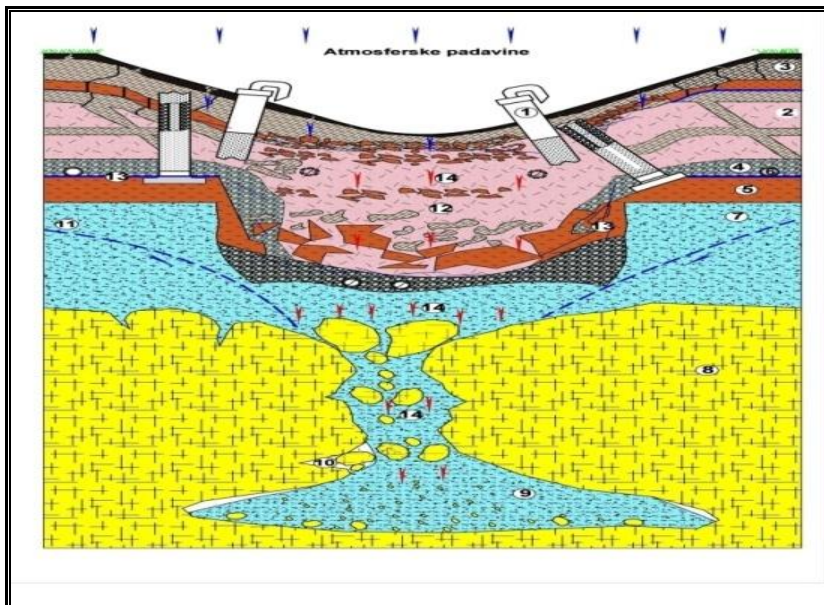
terenima, na površini zamaskirane povlatnim slojevima izgrađenim od glinovito-peskovitih sedimenta, na sledećim slikama sa pratećim tekstom prikazan je proces karstifikacije, koji dovodi do stvaranja vrtača. Vrtalice mogu biti tako zapunjene da ih je nekada teško uočiti. Stoga je posebna pažnja posvećena tome šta bi se sve moglo desiti u smislu mogućih akcidentnih situacija na terenima izgrađenim od ovakvih stenskih masa.

Ukoliko bi se i izgradila SKDČO na ovim terenima, pored akcidentnih situacija koje mogu biti i posledica antropogenih faktora, može doći do akcidentne situacije kao posledice karstifikacije u slučaju da cela ili jedan deo SKDČO bude izgrađen na povlatnom tankom vodopropusnom sloju krečnjaka. Naime, usled karstifikacije i same težine SKDČO u dužem periodu došlo bi do obrušavanja povlatnih sedimenta a samim tim i do pucanja tamponirajućeg zaštitnog sloja dna deponije. Navedena moguća akcidentna situacija u ovakvim terenima imala bi kao posledicu trajno zagađivanje podzemnih voda, što je prikazano na slikama 21 i 22.



1. Degazacioni objekat
2. Čelije komunalnog otpada
3. Pokrivni zaštitni sloj
4. Drenažni sistem za sakupljanje filtrata
5. Donji zaštitni sloj
6. Cevi za odvod filtrata
7. Sabijeni koherentni peskovi
8. Karstifikovani krečnjaci
9. Drobina krečnjaka i koh. peska
10. Kaverna
11. Nivo podzemnih voda
12. Početak stvaranja praznog prostora u povlatnim koherentnim sedimentima usled pojačanog procesa karstifikacije i zapunjavanja kaverne
13. HDPE folija
14. Dotok pod. voda iz gornje izdani
15. Filtrat iz san. kom. deponije

Slika 21– Intenzivna karstifikacija, obrušavanje povlatnih koherentnih peskova i početak mogućeg dešavanja akcidenta (M. Rakijaš, 2008)



Legenda:

1. Degazacioni objekat
2. Čelije komunalnog otpada
3. Pokrivni zaštitni sloj
4. Drenažni sistem za sakupljanje filtrata
5. Donji zaštitni sloj
6. Cevi za odvod filtrata
7. Koherentni peskovi
8. Karstifikovani krečnjaci

9. Drobrina krečnjaka i koherentnog peska
10. Kaverna
11. Depresioni levak
12. Akcident – deformacija san. kom. dep. sa nesagledivim posledicama
13. Geomembrana
14. Dotok filtrata iz gornje izdani

Slika 22– Posledice nakon mogućeg akcidenta u razvijenom karstu (M. Rakijaš, 2009)

Zbog navedenih hidrogeoloških karakteristika karstnih izdani, ovakve terene treba po automatizmu izbaciti iz razmatranja za odabir lokacija za izgradnju predmetnih objekata.

#### -Uslovi izgradnje na aluvijalnim ravninama

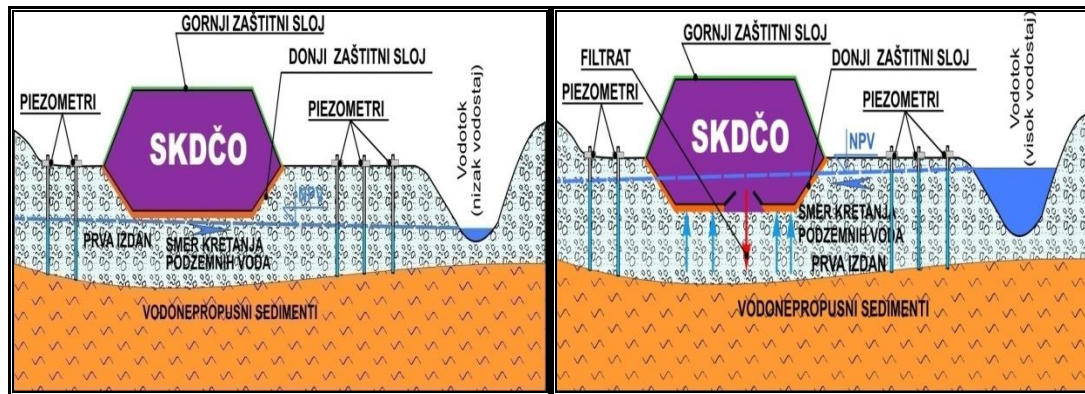
Aluvijalne ravnice i jezerske terase predstavljaju najmlađe zaravni koje su reke stvorile usecanjem u osnovnu podlogu ili taloženjem svog nanosa. Aluvijalni nanos čine sedimenti u rečnim dolinama, a to su obično gline, peskovi, šljunkovi i slični materijali. Sastav ovih sedimenata zavisi od toga u kom se delu toka reke posmatra aluvion. On se razlikuje celom

dužinom toka po svom sastavu, a zavisi od terena kroz koji reka prolazi, njene dužine i kinetičke moći. Litološki sastav (glinovito-peskoviti sedimenti u gornjem i peskovito-šljunkoviti i šljunkoviti materijali u donjem delu) aluvijalne sredine sa svim svojim hidrogeološkim svojstvima predisponiraju zaključak da se ove sredine odlikuju velikim bogatstvom podzemnih voda, koje se u većini slučajeva koriste za vodosnabdevanje.

Prihranjivanje podzemnih voda formiranih u aluvijalnim sredinama vrši se na tri načina:

- infiltracijom površinskih i podzemnih voda bočnih izdani u periodu viših rečnih vodostaja, usled ostvarene hidrauličke veze;
- prihranjivanjem na račun podzemnog dreniranja iz drugih izdani formiranih u zaleđu aluvijalne ravnice;
  - prihranjivanjem na račun infiltracije atmosferskih taloga izlučenih na samu aluvijalnu ravnicu.

Nivo podzemnih voda u ovim sredinama je veoma visok i podložan je stalnim promenama, u zavisnosti od prethodno navedenih činilaca. On može biti sa slobodnim nivoom kada je izdan formirana u vodonosnim sredinama koje leže u vodopropusnim ili relativno vodonepropusnim sredinama, a koje su preko zone aeracije povezane sa atmosferom. Izdani sa slobodnim nivoom su karakteristične za gornje delove aluvijalne ravni rečnog toka, dok je u donjim delovima karakterističan nivo izdani koji je pod pritiskom, bez obzira na debljinu aluvijalnog nanosa. Sa hidrogeološkog aspekta u smislu zaštite podzemnih i površinskih voda, ovi tereni predstavljaju nepovoljna rešenja za izgradnju SKDČO. Na osnovu toga dolazi se do zaključka kako ove terene treba po mogućnosti izbegavati kako zbog dobijanja u vremenu, tako i zbog uštede finansijskih sredstava, već u prvoj fazi istraživanja, odnosno odabira potencijalnih lokacija za izgradnju deponija. S obzirom na veoma kompleksne hidrogeološke uslove u vezi sa ležištima podzemnih voda formiranih u ovim sredinama, ukratko se navode osnovni razlozi za već pomenutu konstataciju o nepovoljnosti ovih terena za izgradnju SKDČO. Kao prvi i najvažniji razlog jeste taj da je u ovakvim terenima gotovo uvek ostvarena hidraulička veza između izdani formiranoj u aluvionu i same reke. Prihranjivanje i pražnjenje ovih izdani je gotovo uvek u vezi sa vodostajem rečnog toka u zavisnosti od doba hidrološke godine. Jedan od primera akcidentne situacije u ovim hidrogeološkim uslovima sredine koji može nastati usled visokog vodostaja rečnog toka je šematski prikazan na slici 23. Naime, u vreme visokih voda, kada dolazi do prihranjivanja na račun reke, može doći do pritisaka odozdo („uzgona“ podzemnih voda naviše), takvih razmera koje mogu dovesti do pucanja donjeg zaštitnog sloja SKDČO, što pak može prouzrokovati procurivanje filtrata – ocednih voda u ovu izdani i izazvati posledice nesagledivih razmera. To je još jedan od razloga, zbog čega su hidrogeološka ali i hidrološka istraživanja i ispitivanja neophodna u smislu određivanja sezonskog kolebanja, kako rečnog toka, tako i izdani koja je u hidrauličkoj vezi sa njim. Na slici 23 dat je šematski prikaz moguće akcidentne situacije u ovom slučaju.

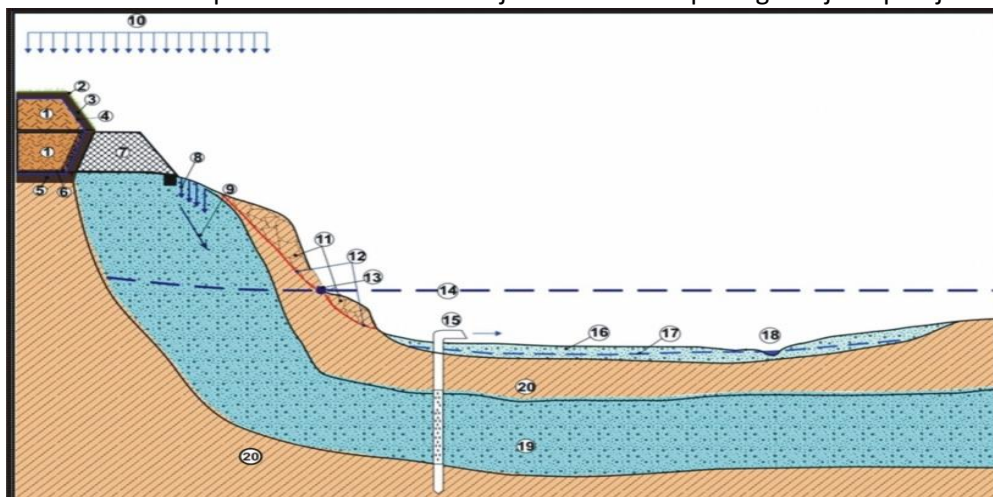


Slika 23 – SKDČO izgrađena na aluvijalnoj ravni kada nije vođeno računa o sezonskim kolebanjima vode (M. Rakijaš, 2009)

Sa geomorfološkog aspekta, ovi tereni se, takođe, mogu okarakterisati kao veoma nepovoljni, jer često bivaju plavljeni, odnosno u donjem toku reke predstavljaju inundacione ravni. Izgradnju SKDČO na aluvijalnim terenima treba razmatrati kao moguće rešenje, samo ako ne postoje druga povoljnija rešenja sa geološkog aspekta za ovu vrstu problematike. Sa aspekta zaštite životne sredine, a posebno podzemnih voda, hidrogeološka istraživanja i ispitivanja bi bila obimna kako u fazi projektovanja, eksploatacije deponije, tako i po prestanku njenog rada.

Zbog ovakvih hidrogeoloških karakteristika, odnosno uslova sredine pomenutih terena, ovakve lokalitete treba po automatizmu izbaciti iz razmatranja za odabir lokacija za izgradnju SKDČO.

Na slici 24 šematski je prikazana SKDČO koja je izgrađena na jezerskoj terasi. Vidi se da lokacija nije dobro određena, odnosno da je izgrađena na potencijalnom klizištu. Izgrađena je na vodonepropusnim sedimentima, a brana koja je drži na vodopropusnim sedimentima u zoni prihranjivanja izdani pod pritiskom formiranoj u peskovitim šljunkovima. Celi kompleks SKDČO je izgrađen iznad aluvijalne ravnice u kojoj je formirana izdani sa slobodnim nivoom. Ovo može poslužiti kao karakterističan primer loše odabrane lokacije za izgradnju predmetnog objekta, recimo na obodu moravskog rova ili sličnim manjim kotlinama koje čine manje reke u Srbiji, kada nisu dovoljno obrađeni hidrogeološki uslovi sredine i inženjersko-geološke karakteristike terena. Aktivna klizišta iznad i ispod izvora u ovom slučaju nisu umirena pre izgradnje deponije.

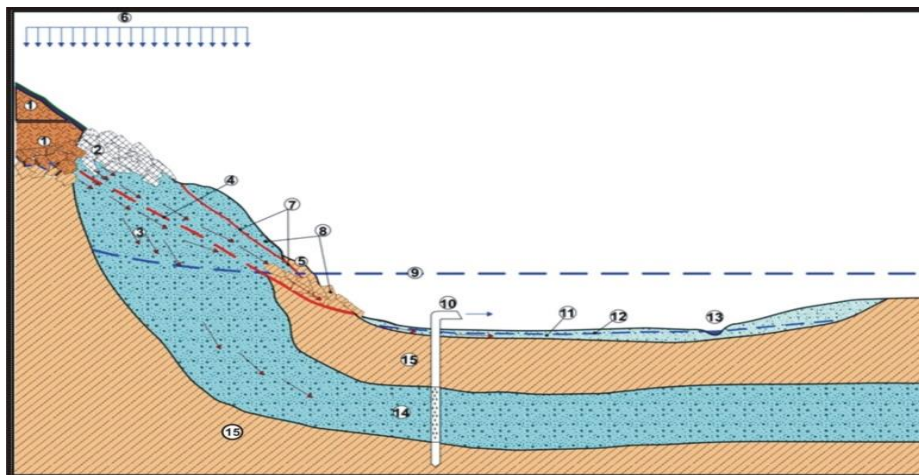


**Legenda:** 1. telo deponije; 2. zaštitni pokrivni sloj sa rastinjem; 3. sabijeni sloj gline; 4. HDPE folija; 5. donji zaštitni sloj od sabijene gline; 6. drenažni sloj za sakupljanje filtrata; 7. telo brane; 8. prihranjivanje izdani pod pritiskom od atmosferskih padavina; 9. kretanje podzemnih voda; 10. atmosferske padavine; 11. aktivna klizišta; 12. klizna ravan; 13. izvor; 14. nivo podzemnih voda u izdani pod pritiskom; 15. bunar sa samoizlivom; 16. aluvijalni

sedimenti; 17. nivo izdani formiranoj u aluvionu; 18. reka; 19. izdan pod pritiskom; 20. bezvodne (vodonepropusne) stene

Slika 24 – SKDČO izgrađena iznad aktivnih klizišta (M. Rakijaš, 2008)

Na slici 25 šematski je prikazana mogućnost dešavanja akcidentne situacije kada je SKDČO izgrađena na opisani način. S obzirom na prikazani položaj SKDČO, može se zaključiti da se pojava klizišta, kako usled težine deponovanog materijala, a tako i zbog težine brane koja je izgrađena na sedimentima intergranularne poroznosti, mogla predvideti valjanim hidrogeološkim i inženjerskogeološkim istraživanjima i ispitivanjima. U ovom slučaju pomenuto klizište je nastalo kao posledica nejasnog definisanja zone prihranjivanja izdani pod pritiskom. Takođe, dešavanju eventualnog akcidenta bi pomogla i aktivna klizišta formirana iznad i ispod izvora. Ovakva situacija imala bi za posledicu uništavanje SKDČO. Aktiviranje novog klizišta koje je prouzrokovalo deformaciju SKDČO i brane, njenog zaštitnog donjeg sloja i svih drugih elemenata, uslovalo bi kretanje celog deformisanog objekta niz padinu ka aluvijalnoj ravnici. Kao posledica svega, došlo bi do procurivanja zagađujućih materija (filtrata-ocednih voda), što bi uslovalo direktno zagađivanje izdani pod pritiskom (u kojoj je izrađen bunar za vodosnabdevanje) i izdani sa slobodnim nivoom formiranoj u aluvionu reke, pa tako i same reke. Havarija ovakvog tipa bi imala nesagledive posledice, a izvođenje sanacionih mera bi bilo vrlo teško. Ukoliko bi se i izvodile, bile bi izuzetno opsežne i skupe, što ponovo ukazuje na značaj pravilnog projektovanja i izvođenja hidrogeoloških i inženjerskogeoloških istraživanja i ispitivanja. Remedijacija zagađenih podzemnih voda u ovom slučaju bila bi gotovo nemoguća ili izuzetno složena i jako skupa.



**Legenda:**

1. telo deponije; 2. deformisana brana; 3. filtrat; 4. pretpostavljena klizna ravan; 5. izdobljeni vodonepropusni sedimenti koji su zatrpali izvor; 6. atmosferske padavine; 7. klizna ravan; 8. aktivno klizište; 9. nivo podzemnih voda izdani pod pritiskom; 10. bunar sa samoizlivom; 11. aluvijalni sedimenti; 12. nivo podzemnih voda formirani u aluvijalnim sedimentima; 13. reka; 14. izdan pod pritiskom; 15. bezvodne (vodonepropusne) stene

Slika 25 – Mogući akcident usled pogrešnog lociranja SKDČO (M. Rakijaš, 2008)

## ZAKLJUČAK

Budući da su podzemne vode u ukupnom vodosnabdevanju stanovništva i industrije zastupljene sa oko 80%, njihova zaštita ima veliki značaj. S obzirom na to da sve KDČO predstavljaju veliki izvor zagađenja, i da je ocedna voda – filtrat i preko deset puta zagađenija od fekalnih voda, nameće se neophodnost pravilnog pristupanja njihovoj sanaciji, rekultivaciji, a samim tim i remedijaciji zagađenih podzemnih voda i geosredine čiji su oni uzrok. Sama kompleksnost remedijacije podzemnih voda i geosredine zahteva multidisciplinarni pristup rešavanju ove problematike. Stoga je jedan od najvažnijih zadataka očuvanje postojećih nezagađenih podzemnih i površinskih voda i geosredine. Takođe, potrebno je suočavanje sa problemima već zagađenih pomenutih medija u smislu njihove remedijacije, a sve u sklopu očuvanja i zaštite sveopšte životne sredine. Zaštita životne sredine, u ovom slučaju podzemnih i površinskih voda i geosredine, ima prvenstveno preventivni karakter.

#### Literatura:

1. Assaad A.F., LaMoreaux E.P., Hughes H.T., 2003: *Field Methods for Geologists and Hydrogeologists*, Springer
2. Association for Sustainable Use and Recovery of Resources in Europe, 1998: *Towards integration management of municipal solid waste*, Belgium
3. Bakoš A., 2004: *Tretman otpadnih voda putem membranskog bioreaktora (MBR)*, Međunarodna konferencija o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Zlatibor
4. Collis J. University of Leeds, 2002: *Incineration of municipal solid waste*, Industrial Short Course, UK
5. Čarapina H., 2002: *Tretman komunalnog otpada u skladu sa Evropskim zahtevima- iskustvo Nemačke*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Tara
6. Čanak N., Lokin P., 1990: *Deponovanje komunalnih otpadaka u području Beograda*, Zbornik radova – Geologija i zaštita životne sredine, Beograd
7. Dimitrievski Lj., 2002: *Criteria for modernizing of the existing landfill in resen*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Tara
8. Dragišić V., 1997: *Opšta hidrogeologija*, RGF – Institut za hidrogeologiju, Beograd
9. Feter C.W., 1999: *Contaminant Hydrogeology*, Second Edition, MacMillan, New York
10. Filipović B., Vujasinović S., 1982: *Zaštita podzemnih voda*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
11. Filipović B., Krunic O., Lazić M., 2005: *Regionalna hidrogeologija Srbije*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
12. Grupa autora, 1976: *Geologija Srbije (VIII-1)*, Beograd
13. Hart S., 2006: *The Permeable Reactive Barrier Company*, Denver, USA
14. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 1996: *Vodoprivredna osnova Republike Srbije*, Beograd
15. Jahić M., 1980: *Deponije i zaštita voda*, Sarajevo
16. Jahić M., 1981: *Tretman filtrata kod sanitarnih deponija*, Drugi kongres o zaštiti voda, Ohrid
17. Janjić M., 1956: *Inženjerskogeološke odlike terena NR Srbije*, Beograd
18. Juračić M., 1997: *Otpad i odlagališta otpada, geologija zaštite okoliša*, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
19. Koerner M.R. and Daniel D.E., 1997: *Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps*, American Society of Civil Engineers, USA
20. Komatina M., 1990: *Hidrogeološki uslovi za deponovanje otpadaka na teritoriji SR Srbije*, Zbornik radova – Geologija i zaštita životne sredine, Beograd
21. Krešić N., Vujasinović S., Matić I., 2006: *Remedijacija podzemnih voda i geosredine*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
22. Ljubisavljević D., Gaburović Z., Borković D., 1998: *Odlaganje čvrstog otpada na sanitarnim deponijama*, Građevinski kalendar, Beograd
23. Marinković Z., Rakijaš M., 2005: *Kontrola i osmatranje rada sanitarne deponije*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Zlatibor
24. Marinković Z., Rakijaš M., 2007: *Neophodnost sanacije komunalne deponije „Srnje“ kod Kruševca sa predlogom rešenja*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Kruševac
25. Matula M., 1990: *Zadaci geologije u racionalnom iskorišćavanju i zaštiti geološke sredine*, Zbornik radova – Geologija i zaštita životne sredine, Beograd



26. Newell, Charles J., Acree S.D., Ross R.R. and Huling S.G., 1995: *Light Nonaqueous Phase Liquids*, EPA/540/S-95/500, Office of Solid waste and Emergency Response, Washington, USA
27. Rakijaš M., 1998: *Uloga hidrogeoloških istraživanja u izboru lokacija, projektovanju, izgradnji i eksploataciji sanitarnih deponija*, Zbornik radova sa 13. Kongresa geologa Jugoslavije, Herceg Novi
28. Rakijaš M., 2002: *Mogućnosti zagađenja podzemnih voda u procesu eksploatacije sanitarne deponije komunalnog čvrstog otpada*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Tara, i u časopisu „Voda i sanitarna tehnika“, broj 3, Beograd
29. Rakijaš M., 2002: *Izgradnja i eksploatacija sanitarnih gradskih deponija komunalnog čvrstog otpada sa osvrtom na zaštitu podzemnih voda*, Zbornik radova sa XIII Simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Herceg Novi
30. Rakijaš M., 2005: *Deponije komunalnog otpada i smetlišta Srbije*, Zbornik radova sa XIV kongresa geologa Srbije i Crne gore, Novi Sad
31. Rakijaš M., 2005: *Komunalne deponije i smetlišta Srbije*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Zlatibor
32. Rakijaš M., 2005: *Hidrogeološki uslovi za izgradnju i eksploataciju sanitarnih gradskih deponija komunalnog čvrstog otpada, sa osvrtom na zaštitu podzemnih voda*, Magistarski rad, Beograd
33. Rakijaš M., 2006: *Uloga i značaj geoloških istraživanja u cilju pravilnog izbora lokacija i davanja optimalnih podloga za projektovanje sanitarnih komunalnih deponija čvrstog otpada*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Subotica
34. Rakijaš M., 2009: *Neki od načina remedijacije podzemnih voda i geosredine zagađenih filtratom–ocednim vodama iz starih komunalnih deponija*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Zlatibor
35. Rakijaš M., 2009: *Neki od primera migracije filtrata – ocednih voda u funkciji vremena iz nesani tarne komunalne deponije čvrstog otpada*, Zbornik radova sa Međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu, Zlatibor
36. Rakijaš M., 2009: *Zagađivanje podzemnih voda i geosredine filtratom-ocednim vodama, u funkciji vremena iz nesani tarne komunalnih deponija čvrstog otpada i neki od načina njihove remedijacije*, časopis Voda i sanitarna tehnika, broj 3, Beograd
37. Rodić – Wiersma Lj., 2002: *Reliability of Landfill Technology*, Eburon
38. Tepper T., 2002: *Geosynthetic clay liners as an improvement to geological barriers in solid waste containment*, Naue Fasertechnik, Germany
39. US EPA, 1998: *Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office*, Washington, USA
40. US EPA, 2005: *Permeable Reactive Barriers, permeable Treatment Zones and Application of Zero-Valent Iron*, Washington, USA
41. US EPA, 1998c: *Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation*, EPA/600/R-98/125, Office of Research and Development, Washington, USA
42. US EPA, 2001c: *A Citizen's Guide to Permeable Reactive Barriers*, EPA 542-F-01-005, Office of Solid waste and Emergency Response, Washington, USA
43. Vujasinović S., Filipović B., 1990: *Zagađivanje i zaštita podzemnih voda*, Zbornik radova – Geologija i zaštita životne sredine, Beograd
44. Vujasinović S., Matić I., 1995: *Ekscesna zagađenja podzemnih deponija naftnim derivatima*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
45. Shoemaker S. DuPont Corporate Remediation, Group John A. Wilkens Corporate Center for Engineering Research, DuPont Central Research and Development RTDF Permeable Reactive Barriers Workgroup, 2002: *Permeable Reactive Barrier as Part of an Integrated Containment Remedy at the Du Pont Newport Site*, Newport, Oklahoma, USA
46. Williams T. Paul, 2006: *Waste Treatment and Disposal*, Great Britain
47. Wilkin T. Richard, Acree D. Steven, Beak G. Douglas, Ross R. Randall, Lee R. Tony, and Paul J. Cindy, 2008: *Ground Water and Ecosystems Restoration Division*, USA
48. Younger L., 2008: *Groundwater in the Environment*, United Kingdom

**Fondovski materijal, pravilnici i zakoni:**

- a. Fondovski materijal "Hidro-geo rad"-a, d.o.o. od 1991–2010, Beograd
- b. Fondovski materijal Instituta "Kirilo Savić", od 1991–2003, Beograd
- c. Foto dokumentacija "Komdel"-a, 2007, Beograd
- d. Grupa autora, 2003: *Plan upravljanja komunalnim otpadom*, REC, Beograd
- e. *Pravilnik o kriterijumima za određivanje lokacija i uređenja deponija otpadnih materija*, Sl. glasnik RS br. 54/92
- f. *Pravilnik o analizi uticaja objekata, odnosno radova na životnu sredinu*, Sl. glasnik RS, br. 61/92
- g. *Pravilnik o sadržini projekata geoloških istraživanja i elaborata o rezultatima geoloških istraživanja*, Sl. glasnik RS br. 51/96
- h. *Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće*, Sl. list br. 42/98

- i. *Zakon o upravljanju odpadom, Sl. glasnik RS 36/2009*
- j. *Zakon o planiranju i izgradnji, Sl. glasnik RS 47/03*
- k. *Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu, Sl. glasnik RS br.135/04*
- l. *Zakon o zaštiti životne sredine, Sl. glasnik RS br. 66/91 i br. 83/92*
- m. *Zakon o vodama, Sl. glasnik RS br. 61/91*
- n. *Zakon o komunalnim delatnostima, Sl. glasnik RS br.16/97*
- o. *Zakon o geološkim istraživanjima, Sl. glasnik RS br. 44/95 i br. 42/98*
- p. *Uredba o programu sistematskog prćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedjacionih programa Sl.glasnik RS br.88/10*
- q. *Uredba o odlaganju otpada na deponije, Sl.glasnik RS br.92/10*

# INŽENJERSKOGEOLOŠKI ISTRAŽNI RADOVI ZA POTREBE SANACIJE ODRONA BLOKOVA STIJENE NA PADINI PODNO SRĐA KOD DUBROVNIKA

Dr.sc. Dražen Navratil, dipl. ing. geol.

Tomislav Novosel, dipl. ing. geol.

Dr.sc. Tihomir Frangen, dipl. ing. geol.

## Ključne riječi

Odroni blokova na Srđu; razdioba volumena odronjenih blokova RBSD (eng. Rockfall Block Size Distribution); razdioba in-situ volumena blokova IBSD (eng. In-Situ Block Size Distribution); ShapeMetriX3D; „power law“ funkcija

## UVOD

Posljednjih godina, nakon obilnijih kiša, dolazi do obrušavanja stijena s južne padine Srđa na magistralnu cestu i kuće neposredno ispod ceste. U lipnju 2016 godine, nakon intenzivnih kiša, dogodio se odron bloka stijene težine približno 2 tone koji se otkotrljao preko magistrale. Nakon što je stijena oštetila samu cestu, strovalila se na kuću neposredno ispod magistrale. Spomenuta kuća bila je već oštećena udarom manjeg bloka 2012 godine. Usljed navedenog Grad Dubrovnik i Hrvatske ceste d.o.o. pokrenuli su izradu projekta sanacije južne padine Srđa. Projekt sanacije izradio je Geotehnički studio d.d., a detaljne inženjerskogeološke radove izveo je Hrvatski geološki institut.

Na istraživanom području provedena je procjena veličine i kategorizacija nestabilnih blokova kako slijedi:

- B – in-situ nestabilni blokovi u zoni izvorišta, vapnenački greben;
- PB – padinski (slobodni) nestabilni blokovi,  $> 0.01\text{m}^3$ ;
- BC - blokovi / zone blokova utvrđene neposredno ispod ceste.

Na temelju prikupljenih podataka određena je razdioba volumena odronjenih blokova RBSD (eng. Rockfall Block Size Distribution) i razdiobe in-situ volumena blokova IBSD (eng. In-Situ Block Size Distribution). Analizom volumena PB i BC blokova izračunata je razdioba volumena odronjenih blokova i utvrđen je volumen maksimalnog bloka. Na temelju izračunatih svih mogućih IBSD za zone izvorišta materijala uprosječne su sve razdiobe i dobivena je maksimalna vrijednost veličine in-situ blokova.

Dobivene vrijednosti predstavljaju ulazne parametre za projektiranje veličina i pozicija konstrukcije zaštitnih barijera kojima će se štititi prometnica i okolne kuće neposredno ispod padine Srđa.

## METODE ISTRAŽIVANJA

U sklopu istraživanja obavljeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje, što podrazumijeva: prikupljanje geoloških značajki (litologija, tektonika), snimanje orijentacija i razmaka diskontinuiteta osnovnog strukturnog sklopa, procjena ostalih značajki diskontinuiteta po sustavima (postojanosti, zijev, ispuna, hrapavost).

Značajke diskontinuiteta osnovnog strukturnog sklopa određivane su i opisane u skladu s preporukama međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1978a) i ISO normi (ISO, 2003). Za izradu konturnih dijagrama i izdvajanje reprezentativnih setova diskontinuiteta osnovnog strukturnog sklopa korišten je programski paket SpheriStat (Pangaea Scientific, 1988, Canada). Također su utvrđene značajke izraženijih pukotinskih i rasjednih zona.

Provedeno je i mjerenje sustavom ShapeMetriX3D koji omogućava izradu 3D modela kosine i beskontaktno, pouzdano i nepristrano mjerenje orijentacija diskontinuiteta (3G Software & Measurement GmbH). Zbog konfiguracije terena navedenom metodom nisu polučeni značajniji rezultati, pa je prikazan samo jedan 3D snimak i njegova interpretacija.

Indeksno ispitivanje Schmidtovim čekićem (N tip, Slilver Schmidt - Proceq) provedeno je prema preporukama međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1978b) s ciljem utvrđivanja čvrstoće i heterogenosti intaktne stijene. Jednoosna tlačna čvrstoća iz Schmidtovih odskoka dobivena je pomoću korelacijske krivulje (Proceq C) predložene od strane proizvođača instrumenta (Proceq, 2008). U Proceqovom čekiću postotak apsorbirane energije izražava se preko odnosa brzine prije i poslije sudara utega u uređaju, što se izražava preko vrijednosti Q.

Cilj gore spomenutih provedenih istražnih radova bio je kvantificiranje fizičkih i mehaničkih svojstava intaktnih uzoraka stijene, odnosno stijenske mase. To je objedinjeno analizom svih relevantnih prikupljenih podataka koji su ulazni parametri za geološki indeks čvrstoće (GSI), koji je određen prema modificiranoj GSI klasifikaciji (Sonmez & Ulusay, 1999).

Istraživano područje je prema stanju stijenske mase podijeljeno u inženjerskogeološke jedinice. Kriteriji za spomenutu podjelu bili su: litostratigrafske značajke stijena, fizičke i mehaničke značajke materijala stijene, stupanj razlomljenosti i trošnosti, značajke osnovnog strukturnog sklopa, veličina i oblik bloka, značajke diskontinuiteta i procesi nestabilnosti.

Na istraživanom području provedena je procjena veličine nestabilnih blokova, odnosno nestabilnih kompleksnih blokova u stijenskoj masi (kompleksnim blokom se smatra nepravilni blok, raspucan unutar glavnih sustava diskontinuiteta, koji će se definitivno razlomiti u manje blokove ukoliko se odroni).

Prilikom utvrđivanja nestabilnih blokova isti su podijeljeni u tri kategorije:

- B – in-situ nestabilni blokovi u zoni izvorišta, vapnenački greben;
- PB – padinski nestabilni blokovi,  $>0.01\text{m}^3$ ;
- BC - blokovi / zone blokova utvrđene neposredno ispod ceste.

Ruiz et. al., 2015, koriste razdiobu volumena odronjenih blokova RBSD (eng. Rockfall Block Size Distribution) i razdiobu in-situ volumena blokova – IBSD (eng. In-Situ Block Size Distribution) kod rješavanja problematike odrona blokova na padinama.

Na temelju prikupljenih podataka određena je razdioba volumena odronjenih blokova – RBSD i razdiobe in-situ volumena blokova – IBSD. Za IBSD određena je razdioba procijenjenih nestabilnih in-situ volumena blokova i razdioba in-situ volumena blokova izračunata na temelju srednjih vrijednosti normalnih razmaka i srednjih vrijednosti orijentacija izdvojenih setova diskontinuiteta.

Za B i PB blokove određeni su njihovi oblici preko faktora oblika bloka  $\beta$  (Palmström 1995).

Kod prikupljanja svih navedenih podataka na terenu korišten je GPS/GNSS prijemnik i CROPOS usluga (visoko precizni servis pozicioniranja, korišten zajedno s laserskim mjeračem udaljenosti) što omogućuje točnost zadanu projektnim zadatkom ( $<1$  m).

## **GEOLOŠKE I INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA**

Šire područje istraživanja tvore najstarije naslage para-autohtona koje izgrađuje paket karbonatnih naslaga gornje krede (mastiht  $4K_2^3$ ). Južna padina podno Srđa, odnosno uže područje istraživanja izgrađeno je od naslaga srednjeg mastrihta ( $2_4K_2^3$ ) koje su predstavljene bankovitim do dobro uslojenim vapnencima i dolomitima u izmjeni. Debljina ovih naslaga iznosi oko 200m. (Marković, 1971, 1975)

Kvartarne naslage predstavljene su nevezanim do slabo vezanim materijalom sastavljenim od mješavine gline crveno smeđe boje, karbonatnog kršja i većih blokova stijene. Ovaj litološki član po genezi možemo svrstati u sipar, odnosno konsolidirani sipar u zonama gdje je uočena veća debljina pokrovnih naslaga.

Područje istraživanja nalazi se u geotektonskoj jedinici para-autohton koju karakteriziraju reversni rasjedi i boranje vezano uz navlačenje, te normalni / smični rasjedi subparalelni reversnim rasjedima i poprečno na njih. Reversni rasjedi imaju tipičan dinarski smjer pružanja SZ-JI, dok su normalni / smični rasjedi pružanja SZ-JI i SI-JZ. Duž glavnih rasjeda unutar para-autohtona i sjeverno od padine Srđa u području navlake visokog krša i danas je prisutna tektonska aktivnost potvrđena čestom pojavom seizmičke aktivnosti u Dubrovačkom području.

Padina podno Srđa izgrađena je od naslaga koje pripadaju litostratigrafskoj jedinici Gornji Humac Formacija (GHFm), (Prtoljan, Lukšić, 2008). Naslage predstavljaju dobro slojeviti do rekristalizirani vapnenci, dolomitizirani vapnenci i/ili dolomiti s ulošcima vapnenaca svijetlo smeđih do sivih nijansi.

Dolomiti se većim dijelom nalaze u donjem jugozapadnom dijelu padine podno Srđa, a izdvojeni su također u vidu proslojaka odnosno paketa slojeva u sjeveroistočnom gornjem dijelu padine. Blago su borani, a na njima je pokrivač (glina i kršje) procijenjene debljine do maksimalno 0.5 m. Općenito konfiguracija terena je blaža i popraćena bujnijom vegetacijom gdje se dolomiti nalaze u podlozi.

Vapnenci izgrađuju većinu područja istraživanja, a u gornjem dijelu padine formiraju greben pružanja SZ-JI. Greben predstavlja glavnu zonu izvorišta materijala odnosno nestabilnih blokova. Neposredno ispod vapnenačkog grebena u području terena koji izgrađuju vapnenci pokrivač se pojavljuje kao izolirani dijelovi između izdanaka vapnenca. Takve terene nazivamo djelomično pokriven teren. Siparišni materijal (kršje i blokovi vapnenca pomiješani s glinom) nalaze se kao lokalne pojave među izdancima. Značajnija površina sipara procijenjene debljine do 3 metra utvrđena je u području rasjeda pružanja SI-JZ i naznačena na IG karti.

Na istraživanom terenu utvrđeno je da se orijentacije značajnijih rasjeda podudaraju s regionalnim tektonskim strukturama. Rasjedi su utvrđeni na temelju morfologije, jače raspucane stijenske mase u zonama rasjeda, nejasnog strukturnog sklopa u samoj zoni rasjeda i na temelju rekristaliziranog materijala stijene. Često je u zonama rasjeda materijal stijene isprekidan žilicama ispunjenim kalcitičnom glinom.

Značajan rasjed duž kojeg je formiran greben (slika 1) ima dinarski pravac pružanja SZ-JI. Često se uz ovaj tip rasjeda neposredno blizu grebena nalaze razlomljene zone širine 5 do 10 m s pukotinama subparalelnim rasjedu na razmacima 10 do 40 cm (slika 2). Uz ove rasjede na terenu su prisutni rasjedi pružanja SI-JZ i rjeđe I-Z. Općenito u ovim zonama rasjeda stijenska masa je jače razlomljena i formiraju se manji nepravilni blokovi. Duž cijele padine ispod zona izvorišnog materijala sporadično su prisutni slobodni blokovi vapnenca, koji također predstavljaju opasnost za prometnicu.

## SLIKA 1; SLIKA 2

Podaci o jednoosnoj čvrstoći intaktne stijene dobiveni su indeksnim testom. Provedena su brojna mjerenja Schmidt-ovim čekićem (N tip, Slilver Schmidt - Proceq) na izdancima vapnenaca u zonama izvorišta materijala. Računom prema proceduri opisanoj u metodama proizvođača, procijenjena čvrstoća materijala stijene vapnenca kreće se u rasponu od 111.8 do 140 MPa.

Primjenom standardnih metoda snimanja orijentacija diskontinuiteta prikupljeno su 633 mjerenja orijentacija na cijeloj padini podno Srđa (u zonama izvorišta materijala). Na temelju tih podataka konstruiran je konturni dijagram polova normala diskontinuiteta u kojem je vidljivo da se podaci statistički grupiraju u šest maksimuma (slika 3):

- maksimum polova normala slojevitosti orijentacije SS 236/57, odnosno orijentacije plohe slojevitosti SS 56/33;
- maksimum polova normala pukotina odnosno klivaža osne ravnine, orijentacije SP1 48/26 ili iskazano preko plohe diskontinuiteta orijentacije SP1 228/64;
- maksimumi polova normala pukotina okomitih na regionalnu strukturnu os „b“ orijentacije SP2 333/14 i SP3 139/18, odnosno orijentacije ploha diskontinuiteta SP2 153/76 i SP3 319/72 i;
- maksimumi polova normala pukotina dijagonalnih na slojevitost, odnosno konjugiranog para pukotina orijentacija SP4 99/21 i SP5 5/13, odnosno orijentacije ploha diskontinuiteta SP4 279/69 i SP5 185/77.

## SLIKA 3

Stijenska masa u području padine podno Srđa (jugozapadna strana) izgrađena je od paketa karbonatnih stijena gornjokredne starosti. To su uglavnom dobro uslojeni dijelom bankoviti, a dijelom pločasti vapnenci i dolomiti u izmjeni. Istaknuti grebeni koji dijagonalno presijecaju padinu Srđa izgrađuju uglavnom vapnenci koji su otporniji na trošenje, pa ostaju istaknuti u odnosu na dolomite koji su podložniji trošenju. Vapnenci su intenzivnije okršeni, pogotovo u zonama rasjeda gdje su i jače razlomljeni. U području grebena izgrađenog od vapnenca izvršena su mjerenja potrebna za procjenu kvalitete stijenske mase.

Također je provedena statistička analiza normalnih razmaka diskontinuiteta iz koje je vidljivo da *svi normalni razmaci izdvojenih setova diskontinuiteta imaju log-normalnu razdiobu.*

Na temelju značajki diskontinuiteta izvršeno je bodovanje po modificiranoj GSI klasifikaciji (Sonmez i Ulusay,1999). Izračunat je SRC (eng. surface conditions) prema formuli:

$$SRC = R_r + R_w + R_f$$

ocjenjujući hrapavost ( $R_r = 3-5$ ), trošnost ( $R_w = 3-5$ ) i ispunu ( $R_f = 6$ ).

Iz terenskih mjerenja normalnih razmaka diskontinuiteta procijenjen je volumni broj pukotina ( $J_v$ ) pomoću kojeg je izračunata ocjena strukture SR (eng structure) prema formuli:

$$SR = -17.5 \ln(J_v) + 79.8$$

koja zajedno sa SRC predstavlja ulazne podatke za modificiranu GSI klasifikaciju.

Terenskim istraživanjima utvrđeno je da formirani blokovi u zonama izvorišta najčešće nastaju kombinacijom 3 odnosno 4 seta diskontinuiteta, stoga je izračunat volumni broj pukotina i ocjena strukture na bazi 3 i 4 seta:

3 seta diskontinuiteta:  $J_{v_{min}} = 3.27$  ;  $J_{v_{max}} = 12.20$  ;  $SR_{max} = 59.04$  ;  $SR_{min} = 36.02$

4 seta diskontinuiteta:  $J_{v_{min}} = 4.83$  ;  $J_{v_{max}} = 15.54$  ;  $SR_{max} = 52.24$  ;  $SR_{min} = 31.79$

Na temelju ovih procjena dobivene vrijednosti GSI za stijensku masu kreću se u rasponu od 44 do 67, odnosno vapnenci u zonama izvorišta najvećim dijelom spadaju u **povoljne** – vrlo blokovite (GSI 41-60) do **dobre** – blokovite (GSI = 61 – 80) stijenske mase.

Navedeni podaci predstavljaju značajke diskontinuiteta i stijenske mase za cijelu padinu podno Srđa u vapnencima (najveći dio podataka snimljen u zonama izvorišta – greben). Slojevitost je generalno iste orijentacije duž cijele padine, nagnuta prema sjeveroistoku, u pojedinim zonama rasjeda ili u područjima masivnih (bankovitih) vapnenaca je teže uočljiva. Ostali setovi diskontinuiteta blago variraju po orijentacijama i nisu svi izdvojeni setovi diskontinuiteta na cijeloj padini prisutni u svim dijelovima izvorišnog materijala (vapnenačkog grebena).

## IN-SITU RAZDIOBA VELIČINE (VOLUMENA) BLOKOVA – IBSD

Za određivanje in-situ razdiobe veličine (volumena) blokova – IBSD koristi se metoda rješavanja jednadžbom koja pretpostavlja da je prisutan jasan uzorak diskontinuiteta u stijenskoj masi, odnosno da postoje jasno uočljivi setovi diskontinuiteta koji tvore blokove (Wang. et al. 1992). U mnogim slučajevima oblici blokova su definirani ili se može pojednostaviti da ih definiraju tri seta diskontinuiteta. Ova pretpostavka značajno pojednostavljuje matematičko modeliranje kod računanja veličine blokova. Pod pretpostavkom da se blokovi u stijenskoj masi formiraju presijecanjem tri postojana i planarna seta diskontinuiteta, veličina bloka u smislu postotka prolaza isto kao kod granulometrijske krivulje u lognormalnom dijagramu i određuje se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$V_p = \frac{C_p \times (PMS1 \times PMS2 \times PMS2)}{\cos(\theta) \times \cos(\phi) \times \cos(\alpha)}$$

$PMS1, PMS2$  i  $PMS3$  srednja vrijednost normalnih razmaka setova diskontinuiteta;

$\theta, \phi$  i  $\alpha$  kutevi između srednjih vrijednosti orijentacija tri seta diskontinuiteta;

$C_p$  empirijski koeficijent (eng. Natural block size coefficient);

$V_p$  Veličina bloka za određeni postotak (p) prolaza.

$C_p$  (eng. Natural block size coefficient) ne ovisi o srednjim vrijednostima normalnih razmaka za tri seta diskontinuiteta, ali je zavisan o statističkim razdiobama normalnih razmaka svakog seta diskontinuiteta zbog čega su i provedene analize razdioba normalnih razmaka diskontinuiteta. Najčešće razdiobe normalnih razmaka setova diskontinuiteta su negativna eksponencijalna, uniformna i lognormalna, a ponekad normalni razmaci imaju fraktalni karakter.

Kako je već prije spomenuto, utvrđeno je da se svi setovi diskontinuiteta ne pojavljuju jednoliko duž cijele padine podno Srđa, a ograničenje metode je da onda koristi samo tri seta diskontinuiteta. Uzimajući ovo u obzir izračunato je nekoliko in-situ razdioba blokova koje formiraju različite kombinacije 3 seta diskontinuiteta koje su utvrđene na terenu. Nakon izračunatih IBSD –a svih mogućih kombinacija po 3 seta diskontinuiteta kod kojih je slojevitost uvijek prisutna uprosječne su sve razdiobe i dobivena je maksimalna vrijednost IBSD-a od  $9,24\text{m}^3$ , a 95% in-situ blokova je manje od približno  $5\text{m}^3$ . Treba također uzeti u obzir i blokove koji su nastali kombinacijom slojevitosti i dva seta diskontinuiteta dijagonalna na slojevitost jer oni tvore najveće blokove, a utvrđeni su takvi blokovi na terenu. Primjer takve zone je snimljen ShapeMetrix sustavom. U tom slučaju dobiven je maksimalni blok od  $53,8\text{m}^3$ , a 95% in-situ blokova je manje od približno  $30\text{m}^3$ . Rezultati ove analize za sve kombinacije setova diskontinuiteta prikazani su na slici 4.

#### SLIKA 4

Regresijskom analizom pomoću „power law“ funkcije analiziran je volumen procijenjenih in-situ nestabilnih blokova (B - oznake blokova na karti nagiba reljefa) koji su procijenjivani i označeni sprejom na terenu. Ovom analizom je dobiven relativno visok faktor korelacije  $R=0.9437$  iz čega proizlazi da na temelju razdiobe volumena za procijenjene in-situ nestabilne blokove koristeći „power law“ funkciju njih 95% je približno manje od  $13.5\text{m}^3$  (slika 5).

#### SLIKA 5

### **RAZDIOBA VELIČINE (VOLUMENA) BLOKOVA NA PADINI - RBSD**

Odronjeni blokovi iz stijenske mase obično se dezintegriraju uslijed udara u površinu terena. Poznavanje razdiobe veličine/volumena odronjenih blokova – prisutnih na padini poslije odrona je korisno kod analize trajektorija blokova stijene, prijedene udaljenosti blokova, energije udara i za kvantitativne procjene hazarda odrona.

Uz izračun IBSD provedena su i mjerenja odlomljenih („slobodnih“) blokova nađenih na padini i neposredno ispod ceste D-8. U obzir su uzeti samo blokovi dimenzija većih od  $0.01\text{m}^3$ . Na temelju izmjerenih slobodnih blokova na padini (PB) i blokova neposredno ispod ceste (BC) određena je njihova razdioba koristeći „power law“ funkciju. Na ovaj način utvrđena je razdioba volumena odronjenih blokova na padini –RBSD. Važno je napomenuti da IBSD i RBSD nisu jednake, što je i razumljivo uzimajući u obzir činjenicu da se svi in-situ blokovi koji se nalaze u izvorištu materijala ne moraju niti ne mogu odlomiti, a ukoliko se odlome prilikom kotrljanja se razlome u manje komade. Stoga je i za očekivati da je RBSD u principu manji od IBSD, što su potvrdila i ova istraživanja.



Regresijskom analizom pomoću „power law“ funkcije podataka o volumenu slobodnih blokova na padini i ispod ceste dobiven je relativno visok faktor korelacije  $R= 0.90779$  iz čega proizlazi da na temelju izmjerenih volumena blokova na padini i ispod ceste koristeći „power law“ funkciju njih 95% je približno manje od  $1.7 \text{ m}^3$  (slika 6).

SLIKA 6

## OBLIK BLOKOVA

Tipovi blokova okontureni diskontinuitetima u literaturi su klasificirani na razne načine. Međutim u većini slučajeva ne postoji pravilan uzorak formiranja diskontinuiteta u stijenskoj masi, stoga je „gruba“ – pojednostavljena kategorizacija blokova često praktična. Jedna od takvih kategorizacija dijeli blokove u četiri osnovne grupe prikazane na slici 7.

SLIKA 7

Jednostavnu metodu za procjenu faktora oblika bloka  $\beta$  razvio je Palmström (1995), kod koje se koriste najduža ( $a_3$ ) i najkraća ( $a_1$ ) dimenzija bloka prema formuli:

$$\beta = 20 + 7 * a_3/a_1$$

Obzirom na izračunati faktor oblika bloka  $\beta$  Palmström je predložio i opise oblika blokova.

Faktor oblika bloka  $\beta$  je izračunat za in-situ procijenjene nestabilne blokove i za padinske slobodne blokove, s time da se kod in-situ nestabilnih blokova nastojalo mjeriti dužinu paralelno sa pružanjem padine, širinu bloka okomito na pružanje padine, a visinu vertikalno (os z). Na taj način se mogu razlučiti blokovi koji ukoliko dođe do odrona imaju veću mogućnost otkotrljati se do ceste. Generalno se može zaključiti da su najkritičniji kubični blokovi i pločasti do izduženi koji imaju dulju os okomitu na pružanje.

Provedenom analizom faktora oblika blokova ( $\beta = 27.6 - 90$ ) možemo zaključiti da formirani blokovi na padini podno Srđa najčešće spadaju u umjereno do blago izdužene i rjeđe kubične.

Potvrda ove analize je i odron koji se dogodio 14.6.2016. godine gdje je odronjeni blok završio u kući neposredno ispod ceste DC8. Težina odronjenog bloka je oko 2 tone i izduženog je oblika. Ovaj blok se vjerojatno rotirao niz padinu oko svoje najkraće osi što je proizvelo najveći moment inercije obzirom na izduženi oblik bloka (slika 7).

SLIKA 8

## BESKONTAKTNA METODA MJERENJA SUSTAVOM SHAPEMETRIX3D

U današnje vrijeme razvijeno je više sustava i metoda za beskontaktno mjerenje diskontinuiteta na otvorenim čelima i u tunelima. Općenito ih možemo podijeliti na metode snimanja 3D laserskim skenerom i fotogrametrijske metode. Beskontaktna metoda mjerenja za koju je razvijen programski paket i oprema pod nazivom ShapeMetriX3D (3G Software & Measurement GmbH; 2007) bazira se na snimanju stereo-parova i tehnologiji 3D vizualizacije (eng. computer vision algoritam). ShapeMetriX3D je inovativan sustav za

mjerjenje i procjenu površina pomoću 3D digitalnih fotografija snimljenih bez stativa (iz ruke). Posebno se to odnosi na površine u stijenama, odnosno njihovu geološku / geotehničku procjenu. ShapeMetriX3D nije osmišljen kao fotogrametrijski računalni program, nego kao sustav za rješavanje problematike iz inženjerske geologije, geotehnike i geometrije općenito.

ShapeMetriX3D sustav korišten je na tri lokacije na području padine podno Srđa, ali zbog negativnih uvjeta na terenu, strmog nagiba padine i vegetacije modeli nisu uspjeli osim dijela jednog modela. U navedenoj zoni blokove formiraju setovi diskontinuiteta orijentacije ploha:

- slojevitost 53/53 i
- dva seta pukotina dijagonalna na slojevitost orijentacije ploha 270/49 i 169/79 (ova dva seta odgovaraju setovima SP4 279/69 i SP5 185/77 prikazani na dijagramu za cijelu padinu podno Srđa).

Volumen maksimalnog bloka u ovoj zoni iznosi  $23.8\text{m}^3$ . Mogućnost pojave većih blokova u zonama koje formiraju navedeni setovi diskontinuiteta utvrđena je izračunom in-situ razdiobe veličine blokova – IBSD, a na ovoj lokaciji je to i potvrđeno.

## SLIKA 9

### **ZAKLJUČAK**

Tijekom obavljanja detaljnih inženjerskogeoloških radova na istraživanom području provedena je procjena veličine nestabilnih blokova, koji su podijeljeni u tri kategorije:

- B – in-situ nestabilni blokovi u zoni izvorišta, vapnenački greben;
- PB – padinski (slobodni) nestabilni blokovi,  $> 0,01\text{m}^3$ ;
- BC - blokovi / zone blokova utvrđene neposredno ispod ceste.

Na temelju prikupljenih podataka određena je razdioba volumena odronjenih blokova RBSD (eng. Rockfall Block Size Distribution) i razdiobe in-situ volumena blokova IBSD (eng. In-Situ Block Size Distribution).

Analizom volumena PB i BC blokova izračunata je razdioba volumena odronjenih blokova i utvrđen je volumen maksimalnog bloka od  $9\text{ m}^3$  (~ 24.3 t). Iz razdiobe RBSD, koristeći „power law“ funkciju, 95% blokova je manje od  $1.7\text{ m}^3$ .

Na temelju izračunatih svih mogućih IBSD za zone izvorišta materijala uprosječene su sve razdiobe i dobivena je maksimalna vrijednost od  $9.24\text{m}^3$  (~ 25 t), s tim da je 95% in-situ blokova manje od  $5\text{ m}^3$ .

Dobivene vrijednosti predstavljaju ulazne parametre za projektiranje veličina i pozicija konstrukcije zaštitnih barijera kojima će se štititi prometnica i okolne kuće neposredno ispod padine Srđa.

U novijoj praksi za procjenu IBSD koristi se metoda modeliranja diskretne mreže pukotina – DFN (eng. Discrete Fracture Network) kod koje su geometrijski parametri o diskontinuitetima potrebnim za definiranje razdiobe blokova definirani probabilistički. DFN metoda pruža pouzdanije definiranje IBSD i samim time pouzdanije kvantificiranje odnosa između IBSD i RBSD, odnosno takvim pristupom bolje se procjenjuje razdioba očekivanog volumena odronjenih blokova.

## SLIKA 10



## LITERATURA:

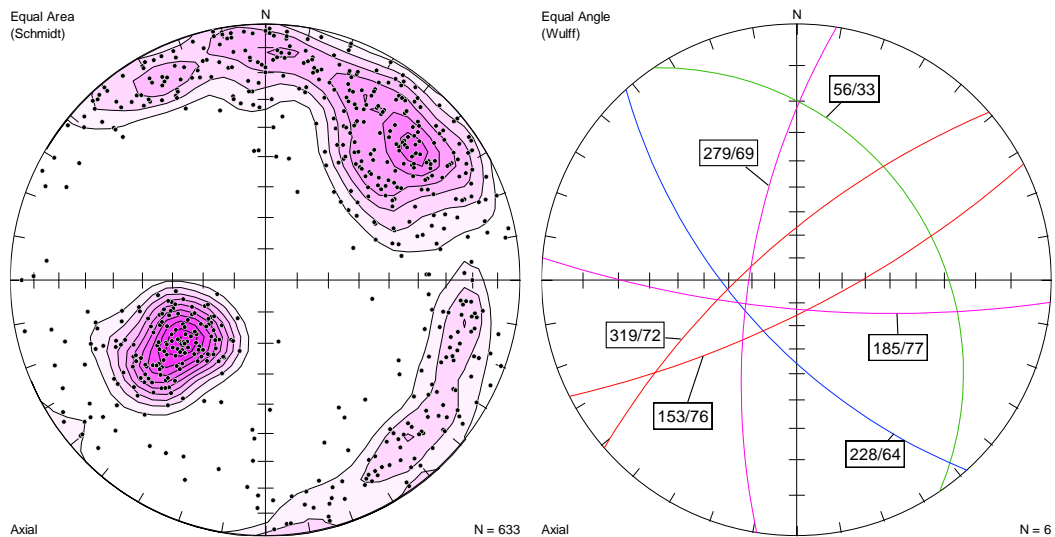
- 3G Software & Measurement GmbH (2007): ShapeMetriX 3D – 3D imaging for measuring and assessing rock and terrain surface. User Manual for Version 2, Graz.
- ISO (2003): Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of Rock. 14689-1:2003 (E). pp. 16.
- ISRM (1978a): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of laboratory and field tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15, 319-368.
- ISRM (1978b): Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15, 89-97.
- Marković, B. (1975): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Dubrovnik, Zavod za geološka i geofizička istraživanja Beograd (1966), Savezni geološki zavod, 35 str., Beograd.
- Marković, B. (1971): Osnovna geološka karta K34-49, List Dubrovnik, M 1:100.000. Zavod za geološka i geofizička istraživanja Beograd (1963-1965), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Palmström A. (1995): RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes, Ph.D. thesis, University of Oslo, Norway, 409 pp.
- Pangaea Scientific (1988): SpheriStat: spherical projection software. Ontario, Canada.
- Proceq (2008): Silver Schmidt, Operating Instructions. [www.proceq.com](http://www.proceq.com). pp.47.
- Prtoljan, B., Lukšić, B. i dr (2008): Rudarsko-geološka osnova/studija Dubrovačko-Neretvanske županije. Hrvatski geološki institut, HGI-CGS, Zagreb.
- Ruiz, R. C., Corominas, J. & Mavrouli, O. (2015): A methodology to obtain the block size distribution of fragmental rockfall deposits. Landslides, Volume 12, Issue 4, pp.815-825.
- Sonmez, H., Ulusay, R.(1999): Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 36, 743-760.
- Wang, H., Latham J.P. & Matheson G.D.(1992): Design of fragmentation blasting in surface rock. Rock Characterization: ISRM Symposium, Eurock '92, Chester, UK, 14-17 September 1992, pp.233-238.



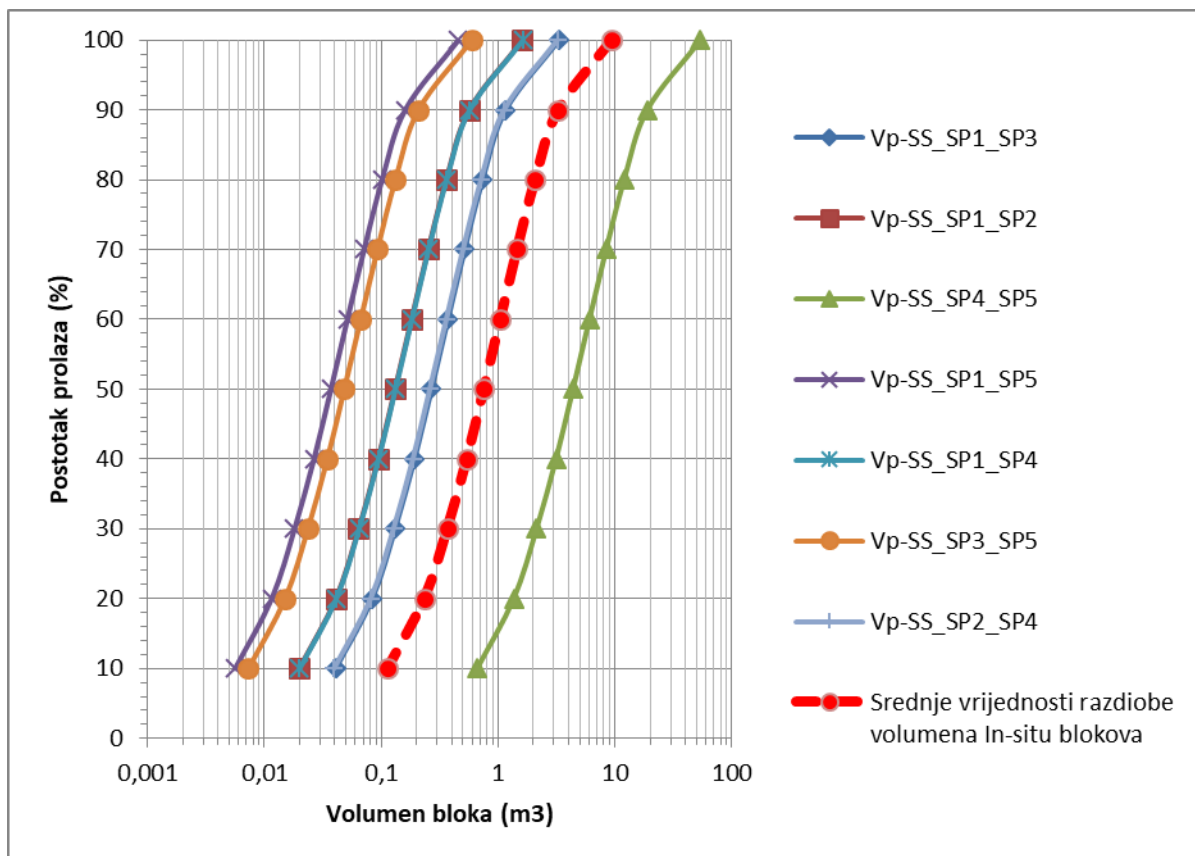
Slika 1 Pogled na dio grebena formiranog rasjedom (zona izvorišta materijala).



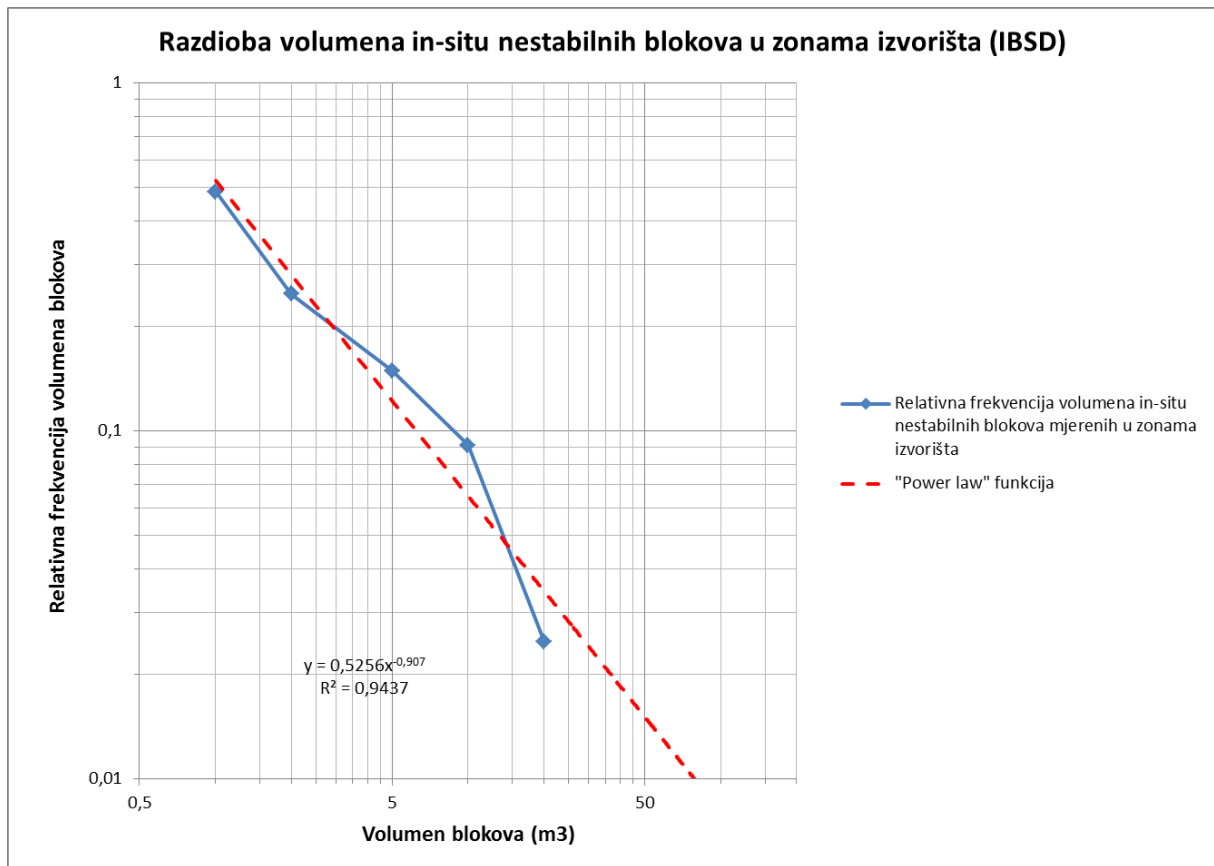
Slika 2 Subparalelne pukotine u području rasjedne zone pružanja SZ-JI



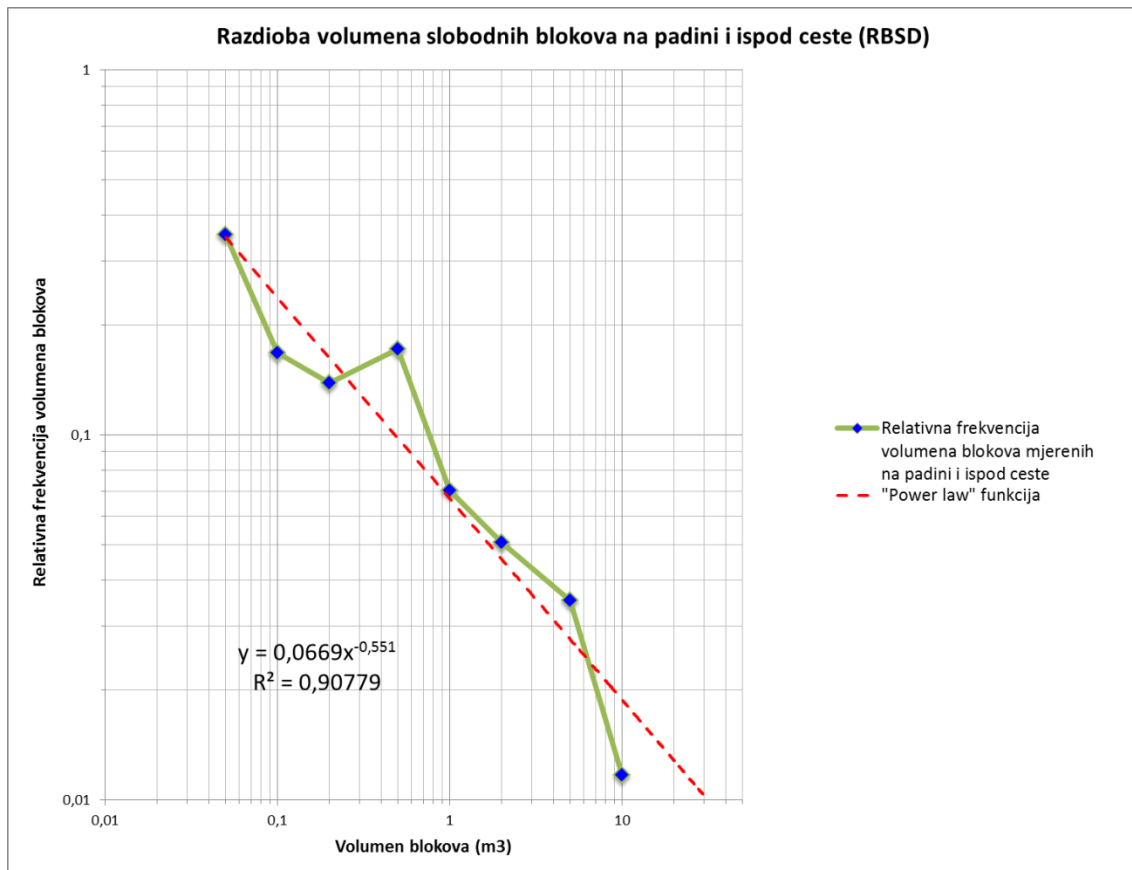
Slika 3 Konturni dijagram polova normala diskontinuiteta na padini podno Srđa, projekcija jednakih površina, donja hemisfera (lijevo) ; dijagram tragova ravnina izdvojenih setova diskontinuiteta, projekcija jednakih kutova, donja hemisfera (izrađeno pomoću programskog paketa SpheriStat - Pangaea Scientific) (desno).



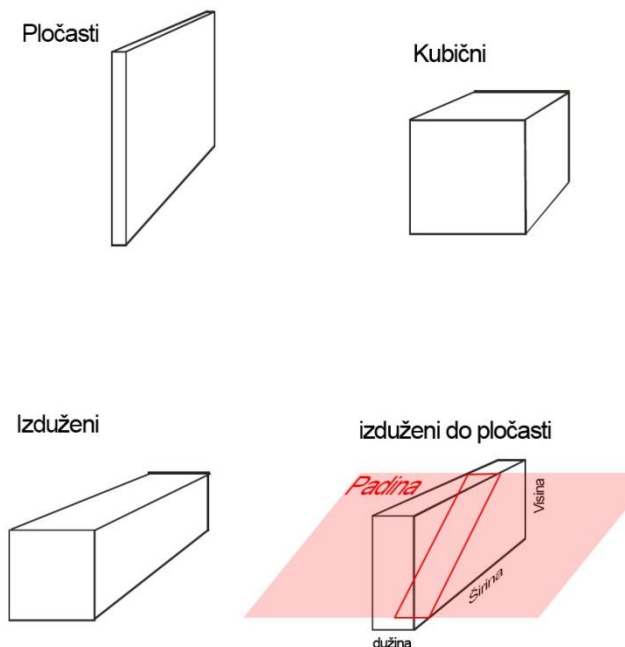
Slika 4 In-situ razdioba volumena blokova Vp na padini podno Srđa -IBSD



Slika 5 Regresijska analiza „power law“ funkcijom In-situ razdiobe volumena nestabilnih blokova u zonama izvorišta



Slika 6 Regresijska analiza „power law“ funkcijom izmjerenih slobodnih blokova na padini (PB) i blokova neposredno ispod ceste (BC)

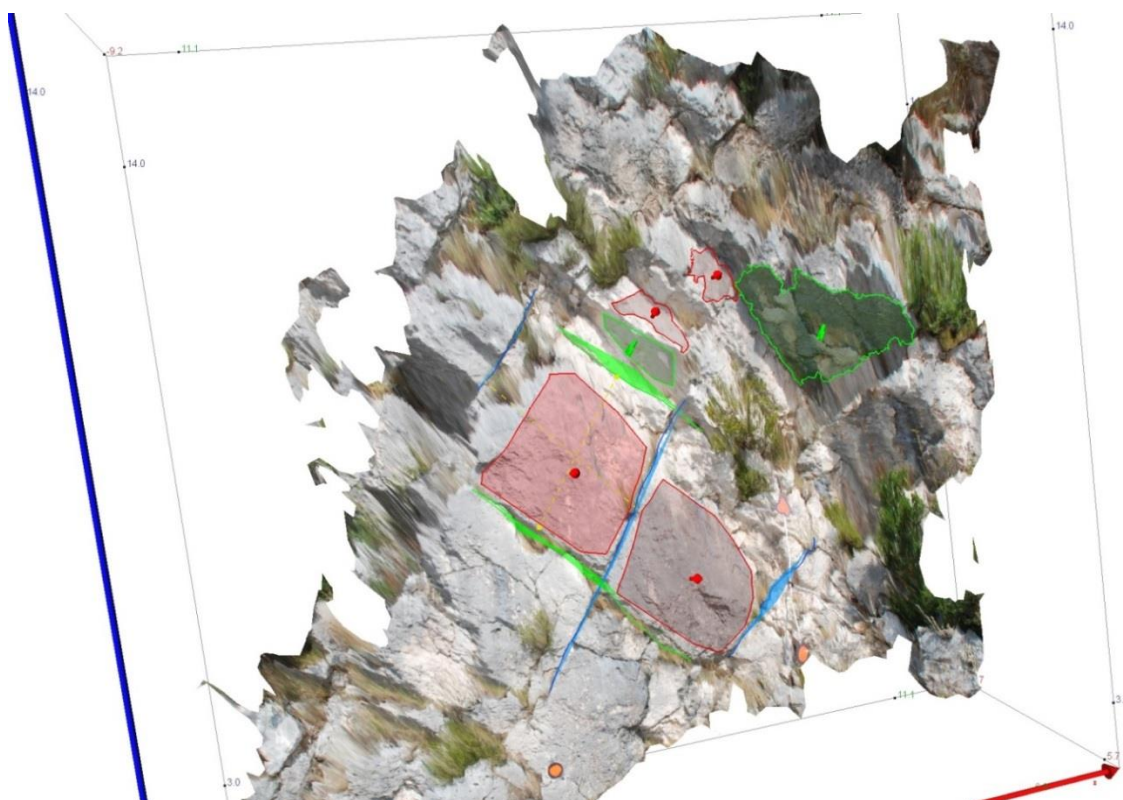


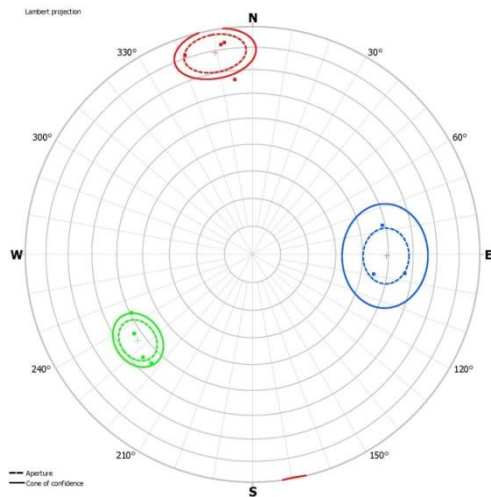
Slika 7 Pojednostavljeni oblici blokova





Slika 8 Odron u Dubrovniku 14.16.2016. (preuzeto od Hrvatskih cesta d.o.o. TEHNIČKA ISPOSTAVA DUBROVNIK)



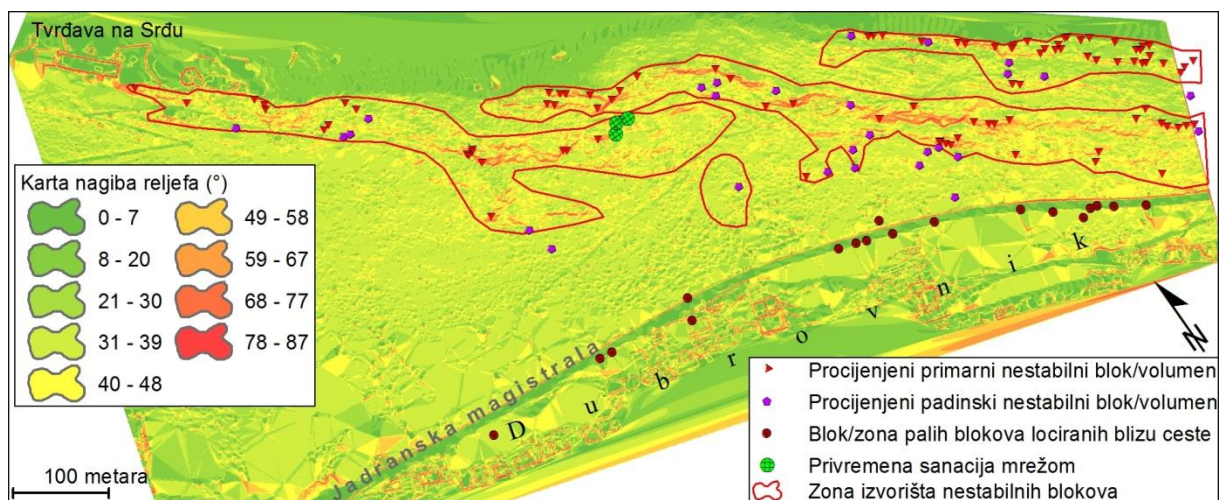


StructureSet 01  
dip direction = 53.18 °, dip angle = 53.03 °, spherical aperture = 7.01 °  
concentration parameter = 100.70, degree of orientation = 98.51 %  
cone of confidence = 9.20 °, confidence = 95 %  
number of orientations = 4

StructureSet 02  
dip direction = 270.71 °, dip angle = 49.26 °, spherical aperture = 9.02 °  
concentration parameter = 54.22, degree of orientation = 97.54 %  
cone of confidence = 16.91 °, confidence = 95 %  
number of orientations = 3

StructureSet 03  
dip direction = 169.38 °, dip angle = 79.05 °, spherical aperture = 8.66 °  
concentration parameter = 66.16, degree of orientation = 97.73 %  
cone of confidence = 11.38 °, confidence = 95 %  
number of orientations = 4

Slika 9 a) 3D model izrađen ShapeMetrix3D sustavom, b) konturni dijagram polova normala mjenjenih diskontinuiteta, c) statistika izdvojenih setova polova normala diskontinuiteta



Slika 10 Karta nagiba reljefa i zona izvorišta nestabilnih blokova

## „UZROCI I POSLJEDICE NASTANKA KLIZIŠTA NA PROSTORU BOSNE I HERCEGOVINE“

Mr.sc.Hamid Begić dipl.ing. geologije  
Federalni Zavod za geologiju

**Abstract:** Klizišta su jedan od najznačajnijih geoloških egzogenih procesa koji dovode do formiranja padina. Uzrok im je narušavanje ravnotežnih uslova koji vladaju u zemljanoj, odnosno stijenskoj masi na padini. Proces klizanja te mase, po mehanizmu, može biti veoma složen i s različitim količinama pokrenute mase. Za klizište se kaže da je ono dio geomorfološke sredine ograničeno površinom i dubinom klizanja, kod koga se gravitaciono premještanje pokrenute mase u niže dijelove padine dešava bez gubitka kontakta stabilne podloge i te pokrenute klizne mase. Ovim radom se nastoji opisati faktori kao uzroci pojave i razvoja klizanja, odrona, tečenja tla i dr.

**Ključne riječi:** Država Bosna i Hercegovina, prostor Bosne i Hercegovine, geološka građa, morfologija, klimatske prilike, seizmološke prilike, vještački faktori nastanka klizišta, razvoj rudarskih radova, izgradnja infrastrukture, temeljenje i izgradnja građevinskih objekata visokogradnje, neadekvatno temeljenje objekata, način istraživanja prostora u gdje su registrovana klizišta, odroni i dr., koncepcija sanacije klizišta, posljedice nastanka klizišta.

**Key words:** State of Bosnia and Herzegovina, territory of Bosnia and Herzegovina, geological structure, morphology, climatic conditions, seismic opportunities, artificial factors of landslide formation, development of mining works, construction of infrastructure, foundation and construction of building structures of building sites, inadequate foundation of facilities, Where landslides, slopes, etc. are registered, the concept of landslide rehabilitation, the consequences of the landslide.

### I UVOD

U 2014.-oj godini u Bosni i Hercegovini u vrijeme djelovanja elementarnih nepogoda, ali i širem regionu Balkana, nedvosmisleno ukazuju na potrebu za poboljšanjem regulative i prakse u upravljanju rizicima od katastrofa. U tom kontekstu, klizišta i druge pojave nestabilnosti su se pokazala naročito problematičnim zbog odsustva jasno definisane nadležnosti raznih institucija koje bi se primarno bave njima, odsustva strategija, odsustva informacija i podataka (katastri), prognoznih karata (hazarda i rizika), te konačno i niskom stepenu svijesti o klizištima i posljedicama od istih u široj javnosti, kao i raznim nivoima vlasti. Decentralizovano upravljanje teritorijalnim cjelinama u Bosni i Hercegovini je dodatna kompleksnost u rješavanju problematike vezane za klizišta u opštem smislu. Pored toga, iskustvo pokazuje da se lokalne samouprave suočavaju sa velikim razlikama u pogledu oprijemljenosti i kompetetnosti u rešavanju iste.

Bosna i Hercegovina se po svom geografskom položaju nalazi u jugoistočnoj Evropi na Balkanskom poluostrvu. (Ukupna površina prostora BiH je 51.209,2 km<sup>2</sup>, dok je dužina državne granice Bosne i Hercegovine sa susjednim državama 1.538 km (Hrvatskom, Srbijom i Crnom Gorom).

U vrijeme elementarne nepogode 2014. godine u Bosni i Hercegovini registrovan je veliki broj klizišta različitog oblika, mehanizma, položaja, veličine, brzine i dr. Prema različitim izvorima podataka registrovano je oko 3 000 novih klizišta, od čega je oko 1.800 u Federaciji Bosne i Hercegovine, a oko 1 000 u Republici Srpskoj i Brčkom Distriktu oko 200.

Nastanak klizišta posljedica je djelovanja uzroka koji dovode do narušavanja primarnih naponskih stanja koji vladaju u padini. Narušavanjem primarne ravnoteže, usljed djelovanja nekog od uticajnih faktora, stvara se sekundarno naponsko stanje, koje se odlikuje neuravnotežnim odnosom sila na

padini. Klizište je ustvari fizička manifestacija pokušaja tla ili stijenske mase da se ponovo vrati u ravnotežno stanje svih sila koje se javljaju na padini.

Na prostorima Bosne i Hercegovine procesi kretanja tla kao mehanizam klizanja, tečenja, odrni i dr. se uglavnom odvijaju u Središnjim Dinaridima u kojima su zastupljeni: Palezojiski klastit, Mezozojski karbonati, Jursko - Kredni fliš, Neogene mase i unutrašnjim Dinaridima koji su zastupljeni Palezojiski i mezozojski klastiti i karbonati dijabaz Rošnjačke formacije sa ofiolitima i melanžom, tercijskim flišom, graniti, amfibioliti i tufovi i tercijske molase.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se konstatovati, da za prostor Bosne i Hercegovine postoje četiri karakteristične zone visokog rizika od klizišta i to: sarajevsko-zenička, dobojsko - banjalučka, tuzlansko - zbornička i bihaćka.

Uzroci nastanka klizišta i dugih mehanizama kretanja tla na prostoru Bosne i Hercegovine se mogu analizirati kao proces pojave i razvoja sa dva aspekta i to: sa aspekta prirodnih i vještačkih faktora kao uzroka nastanka i razvoja procesa.

Prirodni faktori su uglavnom uslovljeni geološkom građom, geomorfologijom prostora, seizmičkim aktivnostima, fizičkim elementima u vidu padavina i topljenja snijega, temperaturnim razlikama i drugim prirodnim faktorima. Drugi segment uzroka nastanka i razvoja inženjerske geološke procesa jesu vještački faktori u vidu ljudske aktivnosti, kao razvoja rudarske industrije eksploatacijom mineralnih sirovina, naročito u ugljarskoj industriji, industriji soli, gipsa i dr.. Poremećaj ravnotežnog stanja u tlu površinskom eksploatacijom m.s. može narušiti i podzemnom eksploatacijom m.s. Takođe, razvojem infrastrukture cestogradnje, vodovodnih sistema, temeljenjem temeljnim jamama i izgradnjom građevinskih objekata visokogradnje, te lošim izborom i načinom temeljenja objekata i dr.

Posljedice prirodnih nesreća i katastrofa na prostoru Bosne i Hercegovine svojim geodinamičkim procesima prouzrokuju značajne materijalne štete, kao npr. Maj. 2014. godine cijeni se da su nastale materijalne štete u vrijednosti oko 2 milijarde EUR, odnosno na 15% bruto nacionalnog dohotka. Srećom nije bilo ljudske tragedije.

Iz navedenog se nameće da je potrebno znatno ozbiljnije i studioznije prići problematici preventivnih aktivnosti nad fosilnim klizištima i ranjenim prostorima, kako bi se rizik od klizišta sveo na najmanju moguću mjeru.

## **II UZROCI NASTANKA KLIZIŠTA**

Bosna i Hercegovina se po svom geografskom položaju nalazi u jugoistočnoj Evropi na Balkanskom poluostrvu (Slika 1). Ukupna površina zemlje je 51.209,2 km<sup>2</sup>, dok je dužina državne granice Bosne i Hercegovine sa susjednim državama 1.538 km (Hrvatskom, Srbijom i Crnom Gorom). Bosnu i Hercegovina se sastoji od dva entiteta (Republika Srpska i Federacija Bosne i Hercegovine) i Brčko Distrikt-a. Federacija BiH ima 10 kantona i ukupno 79 opština, dok Republika Srpska ima 64 opštine. Prijema popisu stanovništva iz 2013. godine Bosna i Hercegovina ima 3.791.662 stanovnika<sup>2</sup>.

U pogledu geološke i geotektonske građe u Bosni i Hercegovini dominiraju dvije cjeline - Dinaridi i Savsko-Vardarska zona, nastale kao rezultat tektonskog sažimanja prostora između Afričke i Evroazijske ploče u različitim tektonskim fazama, sve do danas. Najmarkantniji je svakako Dinarski

---

<sup>2</sup> Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine [www.bhas.ba](http://www.bhas.ba)

sistem koji se prostire regionalnim pravcem SSZ-JJI i koji se može podijeliti na spoljašnje Dinaride predstavljeni karbonatnom platformom i unutrašnje Dinaride veoma kompleksne građe. Izdvoja se flišni pojas duž pasivne margine unutrašnjih Dinarida, zatim široki paleozojski pojas, trijaski kompleks, a čitav prostor prožima i pojas ofiolita, koji je mjestimično navučen i na aktivnu marginu, predstavljenu Savsko-Vardarskom zonom. Ova se zona duž Savskog rova naslanjana na Tisijsku platformu na sjeveru, a karakterišu je različite formacije, od mlađeg fliša do intruzivnih i vulkanskih kompleksa. U skladu sa dominantnim pružanjem regionalnih struktura leže i najmlađe tvorevine predstavljene Neogenim i Kvarternim basenima: Južno-Panonskim, Sarajevsko-Zeničkim i Tuzlanskim. Sa stanovišta pojave nestabilnosti, najosjetljiviji su upravo ovi najmlađi baseni, ali i tektonizirane zone poput Paleozoika unutrašnjih Dinarida i flišne formacije Dinarida i Savsko-Vardarske zone (Hrvatović 2006).

Analiza prostorne zastupljenosti procesa kliženja, tj. regionalna distribucija, učestalost i karakteristike

Zakovitosti pojavljivanja procesa kliženja i klizišta kao pojave su u velikoj mjeri predodređeni morfološkim svojstvima i složenom geološkom građom terena (litološkim sastavom prije svega, kao i tektonskim sklopom) Bosne i Hercegovine, klimatskim karakteristikama.

Najčešći uzroci klizanja tla su usljed povećanaj prosječnog nagiba kosine, promjena nivoa podzemne vode, smanjenje čvrstoće materijala u kosini, porast aktivnih sila dodatim opterećenjem i nad opterećenjem padine.

Prosječni nagib kosine se može povećati zbog; podlokavanja stope kosine dinamačkim radom rijeke u njenom koritu, nasipanjem materijala na višim dijelovima kosine, usjecanjem duljuh zasjeka ili usjeka na donjem dijelu kosine.

Nivo podzemne vode se može povećati iz razloga: porasta nivoa vode uz stopu padine, npr. Usporavanjem brzine protoka vode u rijeci uz stopu padine, promjene vegetacije na površini terena ( krčenjem šume, pretvorbom šumskog zemljišta u poljoprivredno i građevinsko zemljište, većim klimatskim promjenama ( dugotrajne padavine nakon dugog sušnog perioda), sniženje novoa vode ispred kosine, što u materijalu male propusnosti izaziva povećanje hidrodinamičkih sila.

Čvrstoća materijala na smicanje može se smaniti zbog; smanjenje efektivnih napona pri porastu pornog pritiska stišljiva materijala, dugotrajnog deformisanja puženjem ili pri faktoru približne veličine  $F_s = 1,0$  u materijalu koji je dilataciona zavjesa ili se omekšava s povećanjem pomaka, infiltracijom hemijskih komponenti u tlo koji snizuju granicu tečenja i izluživanjem iona iz porne vode.

### **2.1. Geološki faktor kao uzrok pojave i razvoja klizišta.**

Međutim, jedan od najuticajnih prirodnih faktora, prijesudan kako u pogledu litološkog sastava, strukturnih karakteristika, podložnosti procesima površinskog raspadanja, a time i izmjenjenim fizičko-mehaničkim svojstvima stjenske mase, je svakako složena geološka građa terena na većem dijelu Bosne i Hercegovine.

Regionalno posmatrano, klizišta se Bosni i Hercegovini javljaju najčešće na terenima izgrađenim od vulkanogeno-sedimentnih formacija (dijabaz-rožnačka serija, ofiolitski jurski melanz), zatim neogenih

klastičnih sedimenata, sedimenata donjeg trijasa u klastičnom razvoju, klastičnih sedimenata gornje krede, flišnih sedimenata (od jure do eocena) i paleozojskih škriljaca.

U vulkanogeno sedimentnoj formaciji najveći broj klizišta registrovano je na području severno i južno od Višegrada, zatim u širem prostoru oko Banovića, Zavidovića, Maglaja, Žepča, Kladnja i Olova. Prijema morfometrijskim karakteristikama može se zaključiti da su najčešće znatnih dimenzija, da zahvataju pored produkata raspadanja i dio struktura osnovnih stijena i da su složenog mehanizma kretanja.

Jedan parktičan primjer klizišta u vulkanogeno sedimentnoj formaciji je klizište „Mjestova Ravan“, Željezno Polje, Žepče. Dimenzije predmetnog klizišta su: dužine oko 500 m, širina u čeonom dijelu oko 300 m, u središnjem dijelu oko 250 m i u nožičnom dijelu oko 350 m. U čeonom dijelu klizišta locirano je petnaest stambenih objekata i više desetina pšomoćnih objekata. Inženjersko geološkim kartiranjem šireg područja može se ustanoviti da je čitava padina na kojem se nalazi i predmetno klizište je ranije bila zahvaćena klizanjem i erozionim procesima. Usljed visokog inteziteta padavina maja 2017. godine sa oko 70 l/m<sup>2</sup>/dan pokrenute su velike zemljane mase, ne samo na predmetnom klizištu nego i na većem broju klizišta u okruženju predmetnog klizišta.

Matičnu stijenu čine dijabazi i rožnjaci po kojoj su kretane zemljane mase melanžiranog navučenog materijala vulkanogene sedimentne formacije kao pokrivača.

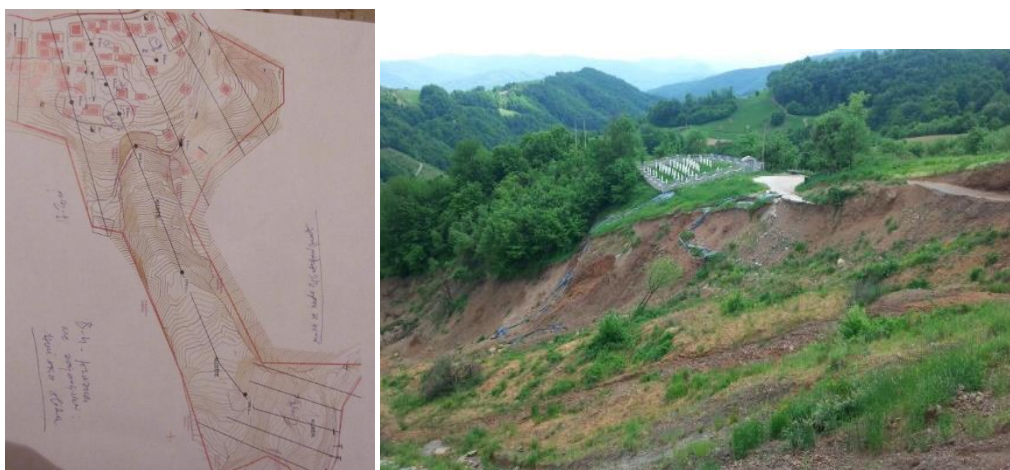
U 2015. godini izvršena su inženjersko geološka, istraživanja na osnovu Programa istraživanja, čime je vršeno bušenje pokrivača sa ulaskom u supstrat radi određivanja geološke građe pokrivača, supstrata i njihovih geomehaničkih karakteristika.

Izradom projektne dokumentacije i odabira koncepcije sanacije predmetnog klizišta bilo je potrebno obezbjediti oko 3 milina KM. Zbog nedostatka sredstava za sanciju nije izvršena sancija predmetnog klizišta. Takvo ranjena sredina predstavlja visokog rizika i opasnost za ljudske živote i njihova materijalna dobra.

U koncepciji sancije predlagano je da se izvrši dreniranje oborinske i podzemne vode drenažnim sistemom i površinskih prihvatnih kanala za vodu do odvođenja u recipijent koji se nalazi u nožici klizišta. Predložen je kao prioritet ugradnja dva prstenasta obuhvata AB šipovima na kojima bi se gradile nosive AB grede sa drenažnom zavjesom i uključenja u kolektorski sistem. Navedenim obuhvatom bi se obezbijedila sigurnost i smanjio rizik od novih pokretanja zemljane mase u čeonom dijelu klizišta. Rasterećenje i preraspodjela masa bi se radilo, kao i AB nosiva konstrukcija sa drenažnom zavjesom u nožičnom dijelu klizišta, tako bi se onemogućio i erozioni proces vodotoka u nožici klizišta. Utvrđeno je da je klizna ravan se nalazi na dubini oko 8 m. To je tip klizišta „Kore raspadanja stijena“.

Fotografija broj: 1. Topografska karta klizišta „Mjesova Ravan“ Žepče

Fotografija broj:2. Izgled i položaj čeonog dijela klizišta



Izvor: Preuzeto od „WINER PROJECT“ d.o.o. Sarajevo izvor: Fotografisao:mr.sc.Hamid Begić juni 2015. godine.

Klizišta u klastičnim naslagama neogena su nešto manjih razmera, nastaju najčešće na kontaktima raspadnutih neogenih naslaga i svježije stjenke mase, ili na kontaktima sredina različitih hidrogeoloških karakteristika i često su uslovljena antropogenom aktivnosti. Registrovana su u gotovo svim neogenim besenima. Najviše pojava registrovano je u sarajevsko-zeničkom basenu, oko Jajca, Mrkonjić Grada, Tuzle, Doboja, Zvornika, Gračanice i dr.

Klizišta u sedimentima donjeg trijasa su takođe česta, a mogu biti i značajnih dimenzija i složenog mehanizma kretanja. Obrazovanje klizišta u njima je posljedica specifičnih strukturnih odnosa u geološkom stubu trijaskih naslaga, gdje prijeko klastičnog donjeg trijasa leže karstifikovani krečnjaci. Podzemne vode iz krečnjaka dreniraju se po kontaktu i raskvašavaju donjo-trijasku verfensku podlogu sa relativno debelom korom raspadanja. Klizišta ovog tipa sreću se na dolinskim stranama rijeke Prače, Drine, gornjem toku Une, oko Sarajeva i dr.

Klizišta u donjem trijasu i permotrijasu često su u vezi sa pojavama gipsa (Popov most, okolina Prozora, dolina Une i Sane itd.). Određeni broj klizišta je vezano i za klastični razvoj srednjeg trijasa (ladinski kat) između Podrašnice i Ključa.

U laporovito-glinovitom razvoju krede (Gosavske facije) takođe su registrovane pojave većih klizišta u prostoru Kladnja, Vlasenice i Višegrada. Flišni razvoji mezozoika i tercijara sa čestim glinovito-laporovitim sekvencama (jursko-kredni), a naročito eocenski fliš obiluju pojavama klizišta. Najznačajnije pojave registrovane su u prostoru Čemernog, Majevice i široj okolini Doboja. U terenima izgrađenim od paleozojskih škriljaca niskog kristaliniteta česta su klizišta, ali su po veličini znatno manje rasprostranjena od prijetodnih. Obrazuju se uglavnom u zoni površinskog raspadanja škriljaca, te zavisno od debljine zone raspadanja mogu biti različitih dimenzija, ali i mehanizama kretanja. Najviše ovakvih pojava izdvojeno je u prostoru Bosanskih škriljavih planina i dr.

Fotografija broj.3. Geotektonski skica Dinarida BiH



Izvor: Preuzeto sa OGK BiH R 1:300 000, Građevinski Fakultet Sarajevo, Instiut za geologiju,

Prirodan ravnoteža u silama tla u određenim mometima se poremeti usljed različitih faktora, a uzroci poremećaja ravnotežnog stanja se mogu posmatrati sa dva aspekta i to: prirodni faktori koji prouzrokuju mehanizam kretanja- klizanja tla i vještački, uglavnom antropogeni, ljudskom aktivnošću, najčešće nedostatkom urbanističkog prostora, razvojem rudarske industrije, prije svega u industriji uglja, soli, gipsa, vode mineralne, termalne i termomineralne i drugih mineralnih sirovina.

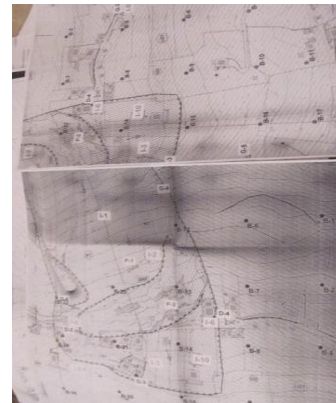
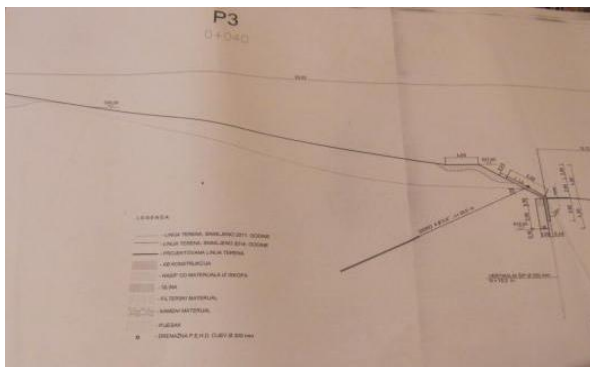
Od prirodnih faktora čest je i presudan slučaj geološka građa tla. U ovisnosti kakva je geološka građa tla, tj. da li tlo se može zadržati u ravnotežnom stanju tokom i nakon provociranja nekih faktora koji pokušavaju tlo izvesti iz ravnotežnog stanja u stanje pokreta. Kombinacijom ostalih faktora koji su svrstani u kategoriju prirodnih faktora česte su pojave klizanje tla. Bitan i često presudan faktor stabilnosti padine jeste geološka građa, položaj i način uslojenosti supstrata po kojem se kreće zemljana masa pokrivača. Ukoliko su slojevi pravca pada paralelni pružanju padine sa većim stepenom nagiba u određenom vremenskom periodu, ovisnosti od inteziteta padavina na tom prostoru, sile koje tlu obezbjeđuju ravnotežno stanje tla mogu biti savladane usljed jakog inteziteta padavina, naprezanja, povećanja zapreminske težine pokrivača, deformisanost supstrata. Logično je očekivati mehanizam klizanja tla pokrivača u kontaktu sa supstartom. Ukoliko je i supstrat deformisan površinski dio supstrata je takođe u pokretu zajedno sa zemljanom masom pokrivača. Jedno od mnogobrojnih primjera je klizište „Svrake“, Vogošća.

Predmetno klizište se nalazi na padini dužine oko 1.500 m , širine oko 300 m. Navedena padina je bila labilna i djelimično sanirana i prije mehanizma kretanja tla predmetnog klizišta. Čelo klizišta je locirano ispod same vodojelnice slivnog područja navedenog prostora. U središnjem dijelu padine izgrađena je infrastruktura za naselje i značajni broj stambenih ( više od 100) i pomoćnih objekata. Maja 2014. godine sa visokim intezitetom padavina i do 100 l/m<sup>2</sup>/dan. Predmetna padina je naglo prihranjivana oborinama, pri čemu melanžirani pokrivač pjeskovito glinovitih supstanci je povećao svoju zapreminsku težinu , a oticaj oborinske vode je bio manji u odnosu na priliv, time je u vrlo kratkom vremenskom periodu poremećena ravnoteža tla pokrivača i supstrata pri čemu je mehanizam kretanja tla pokrivača niz uslojeni pješčar kao kontaktna sredina, praktično bio trenutan.



Mehanizmom kretanja tla niz padinu je bio brz. Oblik i širina fronta kretanja tla niz padinu je bila uslovljena inženjersko geološkim uslovima tla na granicama klizišta. Kretanje tla od čela klizišta je bio šireg fronta (80- 100 m), a niz padinu taj front je bio smanjen čak i na širinu od 20 m, dok u nožici klizišta se širio (250-300 m. Brzinom kretanja tla niz padinu (koridorom) isto tlo je deponovano u nožici čime je sav pokrenuti materijal i lagerovan u nožičnom dijelu u obliku kupe. Posljedice su značajne velike materijalne štete. Izvršena je sanacija klizišta, nad kojim je uspostavljen povremeni monitoring.

Fotografij broj:3 Prikaz načina sanacije u nožici klizišta „Svrake“ Vogošća Fotografija broj 4. Prikaz granica klizišta „Svrake“, Vogošća



Izvor: Elaborat o inženjerskogeološkim istraživanjima klizišta „Svrake“, Vogošća, „WINER PROJECT“ Sarajevo, 2015, godine.

Geologija: supstata je detirminisan uslojen i raspucan pješčar sa proslojcima lapora, glinaca kao dilataciona zavjesa.

Klizište je translacionog tipa , značajno razvijenom brzinom tokom kretanja tla.

Uzrok po mom mišljenju vjerovatno usljed porasta pornog pritiska u slojevima između slojeva pješčara i povećanja zapreminske mase pokrivača kao pokrenuze mase koja je dodatno umanjila čvrstoću na smicanje međuslojeva pješčara.

Dosadašnje preduzete mjere su rezultat djelimično saniranog klizišta.

Fotografija broj: 5. Način sanacije klizišta „Svrake“; Vogošća Fotografija br.6. Prikaz radova sancije klizišta



Izvor: fotografisao mr.sc.Hamid Begić dipl.ing.geologije

## 2.2. Morfologija prostora kao uticajni faktor na mehanizam pojave i razvoja klizišta na površini Zemljine kore

**Geomorfologija**, je nauka o reljefnim oblicima odnosno, naučna disciplina koja proučava genezu, evoluciju i savremenu dinamiku oblika Zemljine površine. Proučava nastanak reljefa, njegovo mijenjanje kroz vrijeme te intenzitet kojim se danas događaju te promjene.<sup>3</sup>

**Reljef** možemo definisati kao ukupnost svih ravnina i neravnina na površini Zemlje. Genetski tipovi reljefa su endogeni i egzogeni reljef koji su u stalnoj interakciji. U tom pogledu reljef predstavlja kompleks oblika odgovarajuće geološke strukture koji su podvrgnuti djelovanju vanjskih i unutrašnjih faktora. Ti različiti reljefni oblici stvarani kroz dugu geološku prošlost nazivaju se morfostrukture. Unutrašnji faktori u oblikovanju reljefa su endogene sile i osobine kore.

**Endogene sile**, predstavljaju; pritisak, temperatura, osobine kore struktura i sastav kore. Vanjske faktore predstavljaju egzogene sile i procesi te udari izvanzemaljskih tijela kao što su meteoriti.

**Egzogene sile**, su Sunčeva energija i gravitacija, a procesi su mehaničke i kemijske promjene. U procese spadaju padinski, fluvijalni, abrazijski, ledenjački, periglacialni, krški, pseudokrški i eolski procesi.

**Padine** su nagnuti dijelovi površine Zemlje s nagibom većim od 2° i osnovni su element reljefa. Morfogenetski elementi padina su čeon dio, padinske strane ili podine i podnožje ili padina. Proces koji će se javiti na padinama ovisi prvenstveno o nagibu padina kao što o njemu ovisi i stabilnost terena. Što je padina strmija, procesi koji se odvijaju na njoj su brži. Tako se na padinama s nagibom manjim od 32° odvijaju tečenje i klišenje zemljišta, a na padinama s nagibom većim od 32° odroni i osipanje. Oblik padine ovisi o gravitaciji te vanjskim i unutrašnjim silama i procesima.

Morfologija površine prostora može takođe kao prirodni faktor uticati na stabilnost površinskog pokrivača tla, ali je veoma rijedak slučaj da se može posmatrati i analizirati kao izolovan, uglavnom njemu su pridodati i drugi prirodni faktori, kao što su geološka građa, fizički obim padavina na posmatranom lokalitetu u određenom vremenskom periodu, seizmoliški uticaji i dr.

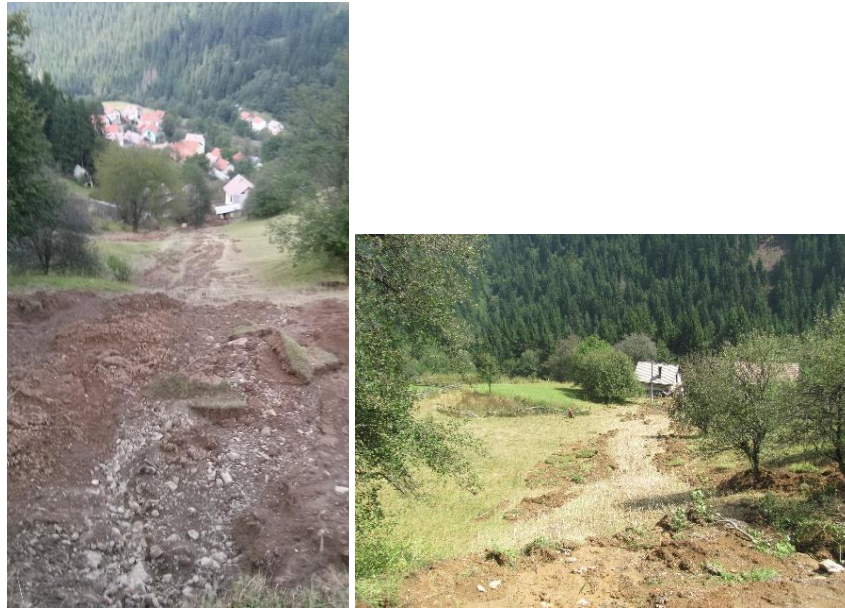
U orografskom pogledu teritorija BiH većim dijelom je strmo planinsko područje (Fotografija 1). Dinarske planine prostiru se od zapadne granice sa Hrvatskom do jugoistočne granice sa Srbijom i Crnom Gorom. Najviši vrh u BiH je Maglić (2 386m). Najduža rijeka je Sava (331km na teritoriji BiH), koja protiče duž sjeverne granice zemlje, sa svojim najvećim pritokama-Drinom, Bosnom, Unom i Vrbasom (Crnomorski sliv). Jadranskom slivu pripada Neretva (218km) i njene pritoke. Rijeka Sava sa svojom prostranom aluvijalnom ravni, najpodložnija je poplavama, dok su bujične poplave rezervisane za više terene i i manje vodotoke, koji se pritokama Crnomorskog sliva meridijalnog pružanja slijevaju u Savu.

Na prostoru Bosne i Hercegovine na površini reljefa je poznat veći broj kretanja zemljane ili stijenske mase niz padinu uglavnom pruzrokovan usljed morfostrukture površine terena i njegove geološke građe. Mnogobrojano je primjera navedenog mehanizama kretanja tla, jedno od takvih je blatni tok na padini sa uglom pada većim od 30 ° Stupni Do, Vareš.

Fotografija broj:7.,8. i 9. Prikaz blatnog toka na izrazito strmim padinama „Stupnog Dola“, Vareš



<sup>3</sup> Nevena Tandarić, Opšta Geomorfologija, Zagreb 20



Izvor: fotografisao, mr.sc.Hamid Begić dipl.ing. geologije

Pojedine padine naselja „Stupni Do“ Vareš dosežu ekstremni pad čak veći od ugla  $30^\circ$ , pri čemu usljed visokog inteziteta padavina u određenom vremenskom periodu razvijaju erozioni procesi pokrivača zemljine kore, formiraju se blatni tokovi. Slivno područje prostora je veliko i dijeli se u dva pravca (vododjelnica). Jedan pravac je prema naselju Stupni Do, pri čemu se tlo pokrivača prihranjuje oborinama, kontakt supstrat je vodonepropusan, te se pri tome akumulira voda u tlu pokrivaču, sa manjim intezitetom odticanja u odnosu prihranjivanja, fluid voda se ponaša po principu i zakonu Paskala, tj. djeluje na sve strane podjednako, na taj način navedeni pritisci vode u pojedinim tačkama pokrivača savladaju sile tla pokrivača, te pri tome nastaju „**vodne eksplozije**“ pri čemu se velike količine vode sa muljem izbacuju van površine terena. Kako se radi o izrazito strmim padinama takav materijal usljed gravitacione sile brzo se kreće niz padinu koridorom u formi blatnog toka. Udar blatnog toka u građevinske objekte je često izuzetno opasan, pa i u ovom konkretnom primjeru pri čemu su nastala značajnija oštećenja na stambenim objektima sa visokom materijalnom šteteom, a srećom nije bilo ljudskih žrtava.

### **2.3. Fizički faktori koji uzrokuju inženjersko geološke procese tla**

Klimatski uslovi utječu na prirodu i udio geomorfoloških procesa. Količina Sunčeve energije na Zemlji je različita i prostorno i vremenski. Prostori između  $40^\circ\text{S}$  i  $40^\circ\text{N}$  primaju mnogo energije dok sjeverniji i južniji prostori prema polovima primaju manje energije. Posljedica takvog diferenciranog primanja energije je adveksijska cirkulacija atmosfere koja zajedno s morskim strujama distribuira toplinu od ekvatora prema polovima pa imamo klimatske zone na Zemlji. U regionalnom mjerilu, razlike u temperaturi su generirane kontrastom temperature oceana i kontinenata gdje oceani modificiraju temperaturu smanjujući ekstremne vrijednosti koje se javljaju na kontinentima. U lokalnom pak mjerilu, temperatura ovisi o nadmorskoj visini.

Različiti klimatski uticaji koji se osjećaju na prostoru Bosne i Hercegovine su rezultat prirodnih elementa i zakonitosti opšte cirkulacije vazdušnih masa na širem prostoru. Sjeverni peripanonski dio pripada umjereno kontinentalnom klimatskom pojasu. Planinska i planinsko-kotlinska

(prijetplaninska) varijanta klimatskog uticaja osjeća se na najvećem dielu Bosne i Hercegovine. Južni dio BiH, odnosno prostor Hercegovine ima izmjenjenu varijantu jadranske klime.

Generalno, padavine su uglavnom ravnomijerno raspoređene i količina padavina po pravilu opada idući od zapada (1500 mm<sup>2</sup>/god) prijema istoku (700 mm<sup>2</sup>/god) zbog uticaja zapadnih vazdušnih strujanja, osim u Hercegovini, gdje je količina padavina i do 2500 mm<sup>2</sup>/god.

Prilike u maju, 2014. godine ekstrem koji bi doveo u pitanje organizovanost i pripravnost i razvijenijih zemalja. Podsjetimo se da su u pitanju rekordni maksimumi padavina, rekordni nivoi vodostaja i masovnost aktiviranih klizišta koja je bez presedana, a da su pojedini tipovi pojava bili krajnje neuobičajeni za region (tecišta, bočna širenja).

Maja, 2014.godine usljed ekstremno velikih padavina u prirodi na prostoru Bosne i Hercegovine aktivirani su inženjerskogeološki procesi koji su manifestovani procesima klizanja tla, odrona stijena i tecišta tzv"blatnih tokova".

Uglavnom prostor zahvaćen navedenim procesima je bio izražen i ujednačen na cijeloj teritoriji Bosne i Hercegovine, ali je u pojedinim zonama u ovisnosti od geološke građe, morfoloških i hidrogeoloških prilika bio posebno istaknut.

Najzanačajnije zone su: Sarajevska zona, naročito Općine: Vogošća sa oko (150 klizišta) Hadžići sa oko 40 i Ilijaš sa oko 50 klizišta.

Zeničko Dobojska zona, naročito izražen na prostoru općina Zenica oko 70 klizišta, Kakanj oko 80 klizišta, Žepče oko 40, Maglaj oko 120 klizišta, Doboj oko 87 klizišta, Općina Busovača oko 28 klizišta.

Tuzlanske zone naročito izraženo na prostoru općina: Gradačac 75 klizišta, Gračanica 85, Tuzla 130, Srebrenik 70, Kalesija 100, Sapna 95, Kladanj 50. Živinice oko 30., Lukavac 65 klizišta, Banovići 75, Čelić 30, Teočak 67 i dr.

Zvornička zona sa izraženim općinama: Zvornik 30, Ugljevik 40, Banja Luka 35, Šekovići 26, kao i goraždanska zona na prostoru općine Goražde oko 15 klizišta.

Unsko Sanski kanton. Općina Ključ oko 25 klizišta. Bihaćki kanton, Općina Cazin oko 20 klizišta. Općina Bihać oko 24 klizišta.

Srednje bosanski kantopn Općina Travnik oko 35 klizišta, Vitez 20 klizišta, Kreševo oko 10 klizišta, Kiseljak oko 25 klizišta i dr.

### **III VJEŠTAČKI FAKTORI KAO UZROK KLIZANJA TLA**

Čovjek utječe na reljef s dva aspekta - direktno i indirektno. Direktno čovjek djeluje kroz promjenu reljefnog oblika konstrukcijom brana, miniranjem, zasijecanjem padina...i taj je utjecaj lokalni.

Mnogo je konstantnije i značajnije djelovanje indirektno kroz promjene intenziteta geomorfoloških procesa. Primjer, deforestacija ili poljoprivredna aktivnost mogu dovesti do promjena u korištenju zemljišta što povećava rizik od snažne denudacije tla. Isto tako gradnja može utjecati na povećanje nestabilnosti padina što je značajan inženjerski problem.

Od vještačkih faktora koji utječu na proces pojave i razvoja klizišta na padinama neophodno je istaći sljedeće faktore: brzina odvijanja procesa, otvaranje i razvoj površinskih kopova na rudnicima i podzemne eksploatacije mineralnih sirovina, Izgradnja temeljnih jama kod gradnje objekata, Devastacija terena ( krčenje, ogoljavanje zemljišta, neadekvatno zasjecanje, usjecanje i nasipanje prirodnih padina, dinamičko opterećenje saobraćajnica uz padinu i kosinu, izgradnja AC i njene infrastrukture, vibracije tokom radova teških mašina, miniranje stijenskih masa na kamenolomima i rudnicima, loša i neadekvatna gradnja stambenih objekata visokogradnje i dr.

Utvrđivanje stabilnosti kosina je važna i izazovna aktivnost u građevinarstvu. Utvrđivanje uzroka klizanja jedan je od najvažnijih pokretača napretka u razumijevanju složenosti mehaničkog ponašanja tla.

### **3.1. Brzina kretanja tla, kao faktor uzroka sa posljedicama klizanja tla**

Svako klizanje tla u prirodi prolazi kroz nekoliko faza: narušavanje ravnoteže i početne deformacije, klizanje uz maksimalno mobilisanje čvrstoće na čitavoj kliznoj ravni, to je faza sloma i postepen porast otpora i smirivanje kretanje tla. Procesi deformacije klizanja tla mogu biti u izraženi u većij ili manjoj dimenziji, a što zavisi od više uslova , brzina kretanja tla u fazi sloma može biti veoma mala sa milimetarskim kretanjem na dan do nekada više od 300 km/sat. Prema Terzhagiu, kretanje tla sa znatno manjim brzinama u granicama 1 mm/dan se kategorizira kao puženje zemljane masa niz padinu.<sup>4</sup>

Brzina kretanja zemljane mase u okviru granica klizišta niz strmu kosu ravan (padinu) ovisi od nekoliko faktora; stepen prekonsolidacije materijala i karakter razvoja čvrstoće sa pomakom, odnos između mobilisanog otpora i vršne rezidualne čvrstoće, homogenost materijala u padini, promjene nivoa podzemne vode, morfološke kerakteristike padine i dužinu transportnog puta nestabilne mase.

U ovisnosti kako će se deformisano tlo kretati niz strmu kosu ravan prije svega ovisi o odnosu između zbroja sila otpora i aktivnosti sila uzduž klizne ravni sloma. Nestabilna masa se može kretati: stalnom brzinom ukoliko su naveden veličine jednake, ubrzano ako su aktivne sile veće od sila otpora i usporeno ako su one manje od sila otpora.

Analiziranjem stabilnosti određenog prostora, prilikom izrade mape rizika od klizanja tla neophodno je analizirati sve bitne faktore, nekom od metoda odrediti stabilnost prostora. Potrebno je evidentirati postojanost fosilnih klizišta, te njihov stepen stabilnosti i mogućnosti ponovog aktiviranja. Na taj način će se preduprijeti mogućnost brzog razvoja klizanja tla. Ukoliko se tome ozbiljno ne posveti, često puta bude kasno i kobno za urbanu sredinu tog prostora.

Brzina kojom se masa zahvaćena klizanjem kreće niz padinu ovisi o nekoliko faktora: - stepena prekonsolidacije materijala i karakter razvoja čvrstoće s pomakom - odnos između mobiliziranog otpora i vršne i rezidualne čvrstoće - homogenost materijala u padini - promjenljivošću podzemne vode - morfološka obilježja padine doline u kojoj se ona nalazi i duljina moguće putanje nestabilne mase. Brzina kretanja klizišta ( Cruden and Vernes, 1996.), izražava se u mm/s, a obuhvaća sedam kategorija u kojima su definisane granice brzine kretanja zemljane mase. Brzina klizanja opisuje se terminima: izuzetno sporo (15 mm/godišnje), veoma sporo sporo, srednje brzo, brzo (1,8 m na sat), vrlo brzo ( 3 m u minuti) i izuzetno brzo ( 5 m u sekundi) .<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> E. Nonvelilir, „Klizanje i stabilizacija kosina“ Školska knjiga Zagreb, str.82.

<sup>5</sup> Maja Baličević, Sveučilište Josipa Jurja Štossmayera u Osijeku Građevinski fakultet Osijek, strana 17.

Pored navedenog izvora postoje i mnogi drugi izvori koji markiraju veličine brzine kretanja tla na padinama kao što je prikaz u navedenoj tabeli broj: 1.

Tabela broj:1. Tabela prikaz prema aktovnosti klizanja tla na padini.

	NAZIV KLIZIŠTA	BRZINA KLIZIŠTA
1	IZVANREDNO SPORA	<0.06 m/god
2	VRLO SPORA	0.06 m/god - 1.5 m/god
3	SPORA	1.5 m/god - 1.5 m/mjes.
4	UMJERENO BRZA	1.5 m/mjes - 1.5 m/dan

Izvor: Jasminka Škiljo, Skripta, Sanacija klizišta., 2013. godine strana, 8.

### 3.2. Uticaj razvoja rudarske industrije na stabilnost padina

Da bi čovjek obezbjedio opće ljudske potrebe, potrebno je da razvija industriju, a posebno industriju koja obezbjeđuje energente kao inpute za razvoj opće industrije. Razvoj Rudarske industrije kao spečifnog segmenta industrije na prostoru Bosne i Hercegovine je poznat još iz davnih drevnih vremena, a intenzivniji razvoj počinje od 1950. godine. Istaržni i eksploatacioni prostor rudarskih privrednih subjekata nije statičan, on je promjenljiv, ovisno od razvojnih kapaciteta prerađivačke industrije, te iz tog razloga je potrebno proširivati istaržno i eksploataciono polje mineralne sirovine, čime se često prinuđeno iseljavati čitava naselja da bi se obezbijedio novi prostor za eksploataciju mineralnih sirovina.

U Bosni i Hercegovini su poznati rudnici uglja, soli, gipsa, boksita i dr. na kojima su razvijeni površinski kopovi. Najpoznatiji rudnici uglja su RMU „Breza“, RMU „Kakanj“, RMU „Zenica“, RMU „Kreka“, RMU „Stanari“, RMU „Džurđevik“, RMU „Banovići“, RMU „Ugljevik“ RMU „Dubrave“ i dr. U Tuzli je poznat rudnik soli „Tetima“. Razvojem površinske eksploatacije uglja na navedenim rudnicima premještaju se velike količine zemljane mase kao otkrivke i deponuju na odlagališta. Iskopom i zasjecanje etaža na površinskim kopovima se vrši poremećaj prirodnog ravnotežnog stanja u tlu pri čemu se omogućuje kretanje tla u kontaktu sa čvrstom stijenom, na taj način se omogućuje kretanje zemljane mase niz padinu, odnosno etžu kad se ugrožavaju ljudski životi i materijalna dobra.

Poznato je da na skoro svim navedenim rudnicima se pojavljuju značajne materijalne štete nad privatnim stambenim objektima i infrastrukturi u granicama eksploatacionog polja i van granica uzrokovane površinskom eksploatacijom mineralne sirovine, kao i korištenja eksploziva kao razarajućeg energenta stijenskih masiva radi obazbjeđenja rastersitosti otkrivke, pri čemu se učestalom frekventnošću pobuđuju čestice tla i pri tome prevode iz prirodnog, ravnotežnog stanja u neravnotežno, te formiraju deformacije u tlu i na objektima takvog tla.

Odlaganjem otkrivke nije dopušteno na svakoj lokaciji, jako je bitno odrediti lokaciju na kojoj je tlo stabilno, i koje usljed opterećenja neće preći graničnu čvrstoću nosivog tla kako ne bi nastale deformacije u takvim odlagalištima. Svjedoci smo posljednjih događanja u Kanju na odlagalištu „Ribnica“ P.K. „Vrtlište“ da je odlagalište formirano na uslovno stabilnom tlu, te usljed opterećenja i prihranjivanje mase odlagališta usljed padavina povećava se zapreminska težina tla odlagališta pri čemu je savladana granična nosivost tla, te kao takvo formiralo klizno tijelo koje je infiltracijom oborinskih i podzemnih voda pretvoreno u blatni tok, pri čemu su nastale ne poželjne posljedice na infrastrukturu tj. AC koridora na potezu Tičići - Zenica. Dakle, veliko klizište na površinskom kopu kod Kakanja ugrozilo je naselje Ribnicu i Mramor, Pet miliona kubika jalove mase kretalo se u pravcu sela Ribnica, a put prema Mramoru je bio ztvoren jalovinskom masom.

Fotografija broj: 10. Prikaz pokrenute zemljane mase sa deponije jalovišta PK „Vrtlište“ RMU „Kakanj“, Kakanj



Izvor: Preuzeto ,<https://www.radiosarajevo.ba/vijesti/bosna-i-hercegovina/kakanj/254683>

Drugi primjer, takođe se odnosi na staro odlagalište naselje „Bare“ Kakanj koje je usljed prezasićenosti tla vodom i njegove specifičnog mineralnog sastava, kao i temperaturnih razlika (smrzavanje, i odmrzavanja tla u odlagalištu ) i nedovoljnog monitoringa, izazvan je proces kretanje tla sa značajnim posljedicama, ljudskom žrtvom i materijalnim posljedicama. Takođe, poznato je da je 1987. godina takođe, nastalo klizanje cjelokupne etaže na rudniku Boksita Milići, Vlasenica kada je kliznula etaža pri čemu je zatrpana cjelokupna mehanizacija, na sreću bez ljudskih žrtava.

Fotografija broj: 11. Prikaz pokrenute zemljane mase sa deponije starog jalovišta u naselju Bare, Kakanj



Izvor: <http://novovrijeme.ba/teta-u-kakanjskom-naselju-bare>

Podzemna eksploatacija uglja takođe može biti uzrok nastanka deformacija na površini terena pri čemu se pokreću zemljane mase. Primjer takvog slučaja jeste i RMU Zenica, lokacija Jagodići, gdje je usljed podzemne eksploatacije i odlagališta zemljanih masa kao i drugih faktora nastao proces degradacije površine terena.

Eksploatacija soli u rudniku „Tušanj“ i „Teteima“ je uticala na tlo iznad eksploatacionog polja, pa čak i šire pri čemu je nastao proces slijeganja, tonjenja tla, sa značajnim materijalnim štetama na području grada Tuzla.

### **3.3. Degradacija biljne zajednice i pokrivača tla, kao faktor uzroka nastanka klizanja tla.**

Na smanjenje erozionog procesa površinskih dijelova terena važnu ulogu ima biljna zajednica. Površine terena obraslo šumskom i drugom vegetacijom. Usljed intenzivnih padavina dendriti stabala čine međusobnu vezu i sprječavaju spiranje tla.

Emigracije stanovništva kako na globalnom nivou tako i na lokalnom nivou iziskuje novi prostor za gradnju kao osnovnu ljudsku potrebu za životom. Novo vrednovanje prostora za gradnju ga definiše kao robu. Pored toga postoji i ljudska „pohlepa“ za nekontrolisanim pretvaranjem šumskog zemljišta u građevinsko zemljište.

Svjedoci smo naseljavanje stanovništva naročito na prostorima sarajevskog kantona čime se prekoračuju zakonske granice pretvorbe šumskog prostora u građevinski prostor. Često u takvim slučajevima se prilazi neselektivnoj totalnoj sječi stabala drveća, degradacijom površinskog pokrivača čime se prostor ostavlja kao ranjeni prostor, te usljed velikog inteziteta padavina nastaje proces erozije tla. Takvo tlo u ovisnosti inteziteta padavina se transportuje niz padine u ranije izgrađena naselja pri čemu čine značajne materijalne štete. Ukoliko se želi pretvorba zemljišta iz šumskog u građevinsko zemljište prije toga je potrebno izvršiti sva geološka i inženjersko geološka i druga istraživanja, te osigurati tlo od klizanja, pa tek na tako pripremljenog tla za gradnju graditi stambene objekte kako definišu urbanistički uslovi.

Fotografija broj.12. Prikaz degradiranog tla



Izvor: Fotografisao: mr.sc.Hamid Begić, juni 2016. godine

### **3.4. Uzrok klizanja tla razvojem infrastrukture na prostoru Bosne i Hercegovine**

Razvoj infrastrukture ne samo u Bosni i Hercegovini, nego svugdje u Svijetu ima zanačajan uticaj na zasjecanje padina pri čemu se dijelovi zemljanih masa izvode iz ravnotežnog stanja u stanje pokreta i ponovo vraća u stanje mirovanja. Tokom pomjeranja zemljanih masa nastaju određene posljedice kako na ljudske tako i na materijalna dobra. Naročit je slučaj kod izgradnje autocesta, vodovoda, plinovoda, i druge izgradnje instalacione mreže.

Izgradnjom koridora „5 C“ na teritoriju Bosne i Hercegovine nije bio lahak izbor pri projektovanju tarse jer je ista locirana u pojedinim segmentima u jako složenim i komplikovanim geološkim i geomehaničkim sredinama . Prema tome jasno je da pri dubokim zasjecanjem tla do nivelete trase koridora formirati pokretanje zemljanih masa, pri čemu su bili nužni novi zahvati na sancijama istih, Primjer takvih zasjeka jeste dio trase na potezu „Butile - Tarčin“.

Temelejnem građevinskih objekata visokogradnje čese su prilike zasjecanje padine pri čemu se iskopom temeljnih jama omogućuje pomjeranje, klizanje tla u padini, te pri tome imaju direktne uticaje na susjedne stambene i druge objekte. Takvi slučajevi su naročito prisutni u velikim gradovima gdje je nedostatak građevinskog zemljišta.

U praksi imamo slučajeve kada se izgradnjom čitavih naselja vrši stabilizacija padine, kao što je to slučaj naselja „Ciglane“ Sarajevo.

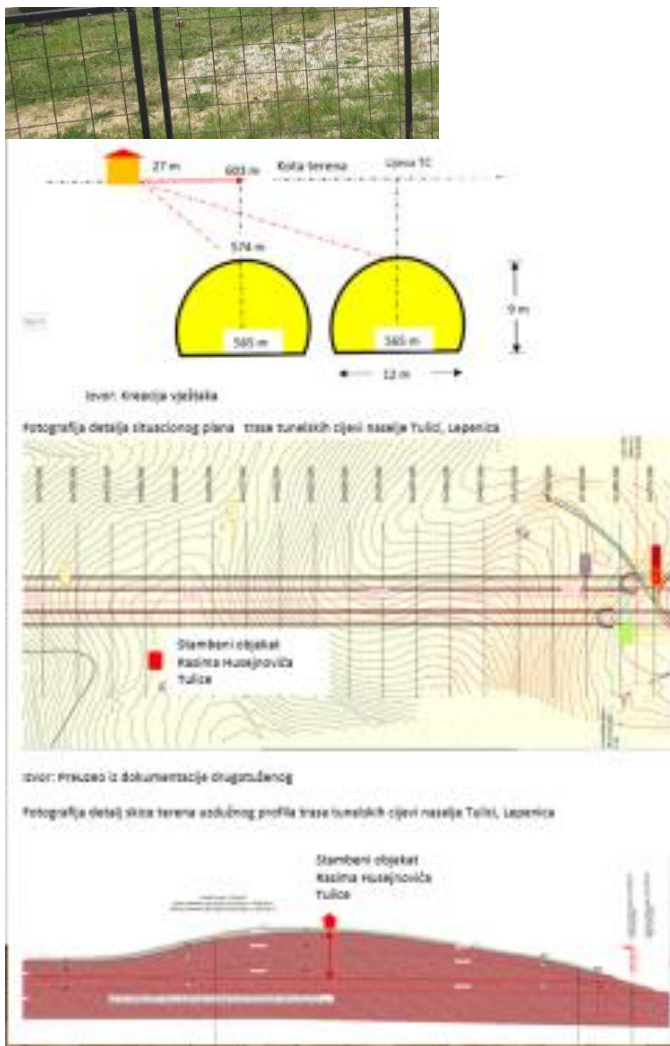


Ovim radom nije moguće obuhvatiti i navesti sve faktore kao uzroke klizanja tla, a naročito sa praktične primjere na prostoru Bosne i Hercegovine.

Fotografija broj 14. Prikaz položaja stambenog objekata iznad izgradnje tunelskih cijevi AC - Lepenica



Fotografija broj 13. Prikaz položaja stambenih objekata iznad izgradnje tunelskih cijevi AC potez Butila - Lepenica



Izvor: Fotografisao mr.sc.Hamid Begić, juli 2017. god. BiH,

Izvor: preuzeto iz dokumentacije JP AC Federacije Mostar.2017.god.

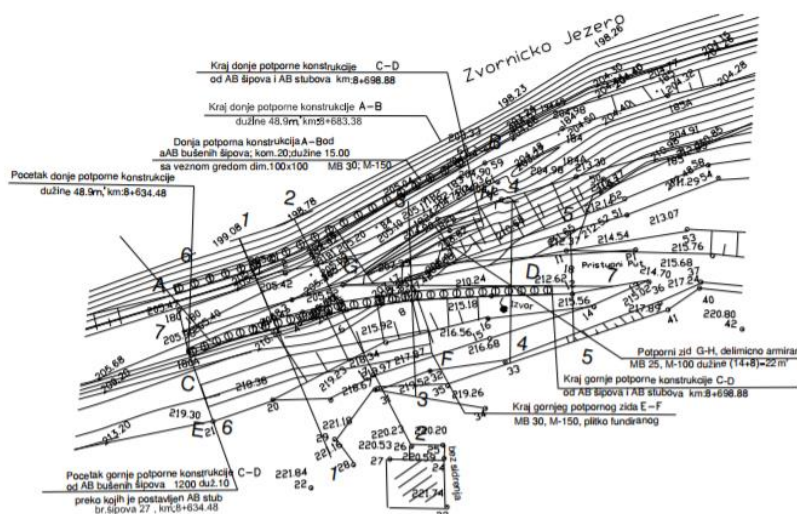
Praktičan primjer klizišta usljed zasjecanja padine kroz koju je trasirana saobraćajnica na potezu „Drinjača - Bratunac“ klizište „Polom – II“.

Na putu Drinjača – Bratunac, pored rijeke Drine u naselju Polom II, bilo je aktivirano klizište tokom rekonstrukcije saobraćajnice za njeno asfaltiranje. Put je izgrađen početkom dvadesetog vijeka duž lijeve obale rijeke Drine, koja je dosta strma. Izvođenjem radova bez prethodnih istraživanja i izrade projektne dokumentacije, došlo je do narušavanja stabilnosti padine, pri čemu se javio veći broj klizišta, a jedno od najznačajnijih je Polom II.

Za sanaciju klizišta neophodno je bilo prethodno uraditu geotehnička istraživanja. Njihova svrha je da se definišu geotehnički uslovi terena, odnosno uzroci i uslovi nastanka klizišta sa aspekta prirodne konstrukcije terena i inženjerskih radova na izgradnji puta. Veličina klizišta je oko 0,6 ha, sa dužom stranom pored puta oko 50,0 m, gdje pokrenuta stijenska masa oko 1.000 m<sup>3</sup>. Sa donje strane klizište je svojom dužinom dospjelo do korita rijeke Drine, odnosno do vodenog ogledala Zvorničkog jezera. Sa gornje strane zahvaćena je trasa puta, na pojedinim mjestima u cjelosti. Stanje klizišta je bilo takvo da se stalno širilo, što je zahtijevalo hitne mjere, obzirom na intenzitet saobraćaja i prisustva objekata na kosini sa desne strane puta. Visina kosine je oko 15,0 m i veoma je strma, slika 12., što je ostavljalo mogućnost proširenja klizišta, a time potpunog ugrožavanja saobraćaja i susjednih objekata. U geološkoj građi teren je predstavljen sedimentima karbona (C) i kvartara (Q). Najstariji sedimenti pripadaju Drinskom paleozoiku, a izgrađeni su glinenih škriljaca, metapješčara, kvarcnih breča podređeno pjeskoviti prekrystalisani karbonata. U zoni lokacije klizišta konstatovani su kao supstrat terena.

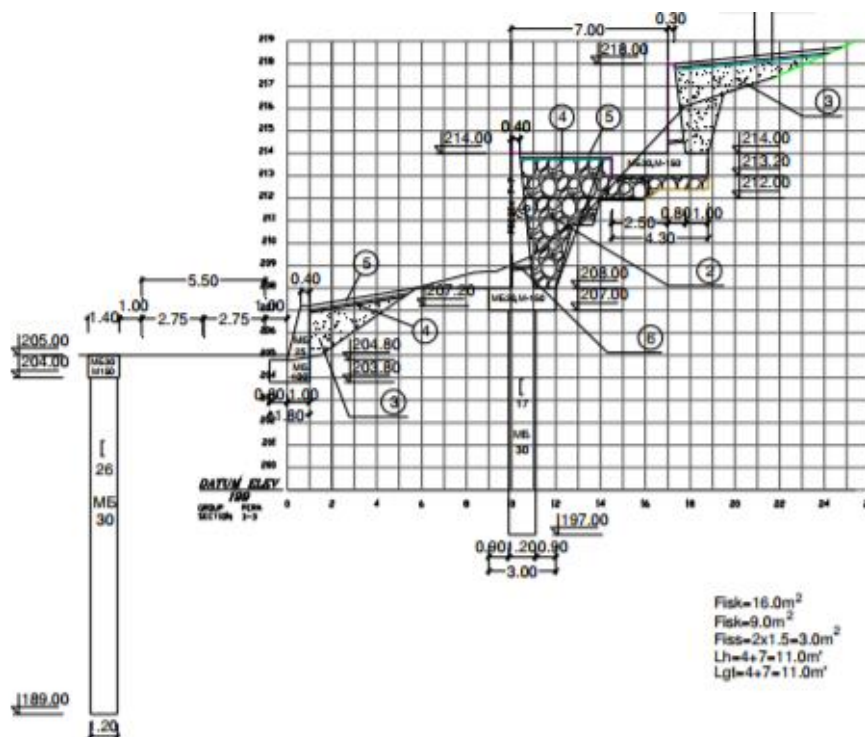
Klizište se razvilo u proluvijalnim sedimentima koji su veoma heterogenog sastava, gdje klizna ravan formirana u sloju jako zaglinjene drobine. Pripada tipu delapsionih klizišta, a kontakti prostor istraživane lokacije ocijenjen je kao fosilno klizište.

Slika broj 14. Prikaz geodetske situacije dijela trase saobraćajnice na potezu „Drinjača - Bratunac“



Izvor: Preuzeto iz stručnog rada, N. Đurić „Nekoliko primjera istraživanja i sanacije karakterističnih klizišta u Republici Srpskoj“ str.55 - 57., Tehnički institut, Bijeljina.

Fotografija broj 15. Prikaz poprečnog profila sanacionih zahvata na klizištu „Polom II“, Zvornik



Izvor: Preuzeto iz stručnog rada, N. Đurić „Nekoliko primjera istraživanja i sanacije karakterističnih klizišta u Republici Srpskoj“ str.55-57. , Tehnički institut, Bijeljina

Prema navodima autora stručnog rada, N. Đurića, sanacija klizišta imala je dva zadatka. Prvi da sanira teren koji je pokrenut lijevo od puta ka rijeci Drini, kao i sam put koji je jako deformisan. Drugi zadatak sanacije je da se zaštiti vrlo visoka i strma kosina sa desne strane puta, koja u fazi istraživanja nije bila pokrenuta. Potencijalno je mogla da bude pokrenuta i ugrozi kako regionalni put, tako i objekte koji se nalaze u gornjem dijelu padine.

Sanacija klizišta za oba zadatka, vezana je za AB potpurnu konstrukciju od bušenih šipova, slika 5. Prva potporna konstrukcija sa lijeve strane puta postavljena je tako da sanira pokrenute stijenske mase i predstavlja donju potpurnu konstrukciju, čija je dužina oko 50,0 m. Sastavljena je od 20 AB bušenih šipova, dužine 15 m, prečnika 1,2 m, raspoređenih na međusobnom rastojanju od 2,5 m. Šipovi su urađeni od betona MB 30 sa rebrastom armaturom (RA 400/500-2), povezani gredom koja im daje monolitnost, dimenzija 140/100 cm. Greda kao i šipovi urađeni su od iste armature i marke betona koja je otporna na dejstvo mraza M-150. Šipovi su uklješteni u neketani dio terena na dubini ispod 7,0 – 8,0 m od površine terena, odnosno kolovoza.

Druga potporna konstrukcija nalazi se sa desne strane puta i štiti strmu kosinu, koja još nije pokrenuta. Obezbeđenjem njene stabilnosti, zaštićena je stabilnost puta, kao i objekti iznad kosine. Potporna konstrukcija sastavljena je od 29 AB bušenih šipova, dužine 10,0 m, prečnika 1,2 m, raspoređenih na međusobnom rastojanju 2,0 m. Šipovi su armirani istom rebrastom armaturom, gdje vezna greda dimenzija 300/100 cm, a marka betona MB 30, otpornog na dejstvo mraza M-150. Vezna greda je nešto šira i na nju je postavljen AB stub visine 9,0 m. U statičkom smislu proširena vezna greda stabilizuje cijelu potpurnu konstrukciju proširenjem pritiska na tlo sa spoljne strane, a sa unutrašnje prima dio vertikalne sile od kamene ispune i izaziva suprotan momenat od momenta

pritiska tla. Površina terena na kojoj je postavljena potporna konstrukcija je u stabilnom stanju, te se smatra mjestom uklještenja šipova.

Obzirom da je kosina sa lijeve strane brda vema visoka od 15,0 – 19,0 m, te da bi ona ostala u ravnoteži, pored izrade AB stuba potporne konstrukcije sa veznom gredom, urađen je i gornji potporni zid, dužine 46,0 m. Sačinjen je od deset kampada dužine 4,0 m i dvije kampade dužine 3,0 m. Potporni zid je ugaonog tipa, fundiran plitko u ispuni od kamena, koja je postavljena iza AB stuba. Zid je urađen od materijala istih karakteristika kao prethodne konstrukcije. Za novo rekonstruisani put koji obezbjeđuje prilaz grupi kuća iznad puta, urađen je donji potporni zid, dužine 22,0 m, od kampada dužine 4,0 m i 3,0 m. Potporni zid ima zadnju stabilizirajuću konzolu, koja je potrebna radi stabilnosti potpornog zida. Zid je temeljen plitko, na dubini 1,3 m od površine kolovoza puta u samoniklom tlu od glinovite drobine.<sup>6</sup>

#### **IV POSLJEDICE KLIZANJEM TLA**

Oblast zaštite i spašavanja je na nivou Bosne i Hercegovine uređena Okvirnim zakonom o zaštiti i spašavanju ljudi i materijalnih dobara od prirodnih ili drugih nesreća („Službeni glasnik BiH“ broj 50/08). Članom 13. tačka c) i d) navedenog zakona definisano je da Vijeće ministara Bosne i Hercegovine donosi Procjenu ugroženosti Bosne i Hercegovine od prirodnih ili drugih nesreća, a članom 14. tačka c) istog zakona je utvrđeno da Procjenu ugroženosti BiH izrađuje i predlaže Ministarstvo sigurnosti BiH.

Na entitetskom nivou postoje institucije koje su nadležne za obavljanje geoloških djelatnosti Geozavod - Zvornik i Federalni zavod za geologiju - Sarajevo. Postoji stalna potreba za kadrovskom i tehničkom jačanju ovih institucija, boljoj koordinaciji i obezbjeđivanju razmjene podataka. Jedna od glavnih projekata je izrada katastra klizišta i mapa rizika od klizišta, te karatu stabilnosti tla na entitetskim nivoima i njihovo usaglašavanje.

U praksi je potvrđeno da je najjeftinije i najracionalnije preventivno djelovati nego što proces klizanja tla bude pokrenut, jer su preventivne mjere jeftinije i često puta spreče velike ljudske i materijalne štete.. Glavna mjera prevencije je eliminisanje faktora nastanka klizišta. Pošto je voda jedan od glavnih faktora klizišta, treba posvetiti posebnu pažnju odvodnjavanju terena sklonih ovoj pojavi.

Nedovoljn nivo izgradnje infrastrukture u skoro svim gradovima Bosne i Hercegovine, gdje su učestale pojave i razvoj klizanja tla, nameće se intezivno dodatno ulaganje na izgradnji nove ili rekonstrukciji postojeće instalacione infrastrukture ( naročito: vodovodnih sistema - sekundarne mreže, kolektora otpadnih, kolektora oborinskih voda), zahtijeva značajna sredstva za lokalnu zajednicu i viših nivoe. To su nužni zahtjevi, čime bi se smanjio nivo uzroka nastanka klizanja tla na padinama koai i materijalnih šteta na stambenim i drugim građevinskim objektima.

Kada mehanizam klizanja tla bude aktiva često je problematično vršiti bilo kave sanacione mjere dok se klizište ne umiri. Takav je slučaj sa velikim brojem klizišta koja su razmjere veličine od izuzetno velikih do srednjih., kao npr. Klizište Talami - Zenica, Bopkovići - Zvornik, Svrake - Vogošća, Jablaničko Jezero - Konjic, Topčić Polje - Žepče, Mjestova Ravan - Željezno Polje, Žepče i dr.

Istražni radovi u tlu granica istražnog prostora gdje je nastao proces klizanja tla iziskuje potrebe za značajnim sredstvima kako bi se adekvatno izradila tehnička dokumentacija za sanacije klizišta, kao i

---

<sup>6</sup> Izvor: Preuzeto iz stručnog rada, N. Đurić „Nekoliko primjera istraživanja i sanacije karakterističnih klizišta Republici Srpskoj“ str.55-57. , Tehnički Institut, Bijeljina

samo građevinsko izvođenje sanacionih mjera datim rješenjima. Prema tome, posljedice tokom i nakon razvoja klizanja tla su često iskazane velikim troškovima, pri čemu sama država, pa i Bosna i Hercegovina nije u mogućnosti isfinasirati iz vlastitih sredstava, pa su neophodni zahtjevi države prema donatorskim organizacijama radi obezbjeđenja novčanih i materijalnih sredstva. Za Bosnu i Hercegovinu vrijedno je spomenuti mnoge donatore, među kojima prednjače vlade država: Turske, Japana, Njemačke, Amerike.

Ovim radom se želi preporučiti da je potrebno ojačati kako kadrovske tako i tehnološke kapacitete institucija u Bosni i Hercegovini koje su zadužene na izradi dokumenata procjene rizika od klizišta i poplava.

Procenjeno je da je čak milion stanovnika Bosne i Hercegovine na neki način osjetilo posljedice poplava i klizišta, pri čemu je 90 000 evakuisano, dok je ukupna materijalna šteta procenjena na oko 2 milijarde EUR, odnosno na 15% bruto nacionalnog dohotka. Cijeni se da je zbog padavina u aprilu i maju 2014. godine aktivirano preko 3 000 klizišta, koja su oštetila ili uništila preko 2 000 stambenih objekata, do prekida saobraćaja na osnovnoj putnoj mreži je došlo na preko 150 lokacija, dok je 51 klizište pokrenuto u zonama sa minama zaostalim iz rata 90-tih godina prošlog vijeka.

## **V ZAKLJUČAK**

Bosna i Hercegovina se po svom geografskom položaju nalazi u jugoistočnoj Evropi na Balkanskom poluostrvu (Ukupna površina zemlje je 51.209,2 km<sup>2</sup>, dok je dužina državne granice Bosne i Hercegovine sa susjednim državama 1.538 km (Hrvatskom, Srbijom i Crnom Gorom).

U vrijeme elementarne nepogode 2014. godine u Bosni i Hercegovini registrovan je veliki broj klizišta različitog oblika, mehanizma, položaja, veličine, brzine i dr. Prema različitim izvorima podataka registrovano je oko 3 000 novih klizišta, od čega je oko 2 000 u Federaciji Bosne i Hercegovine, a oko 1 000 u Republici Srpskoj.

Nastanak velikog broja klizišta u Bosni i Hercegovini se uglavnom pojavljuje i razvija u središnjim i spoljašnjim Dinaridima, zbog složene geološke i geomorfološke strukture tla i površine terena. Uzroci koji obezbjeđuju nastanak procesa klizanja tla se može podijeliti u dva nivoa; prirodni i vještački. Od prirodnih faktora najznačajniji su: geološka građa prostora, geomorfologija površine terena – reljefa, klimatski faktori- fizički i seimološki. Od vještačkih faktora su najznačajniji: brzina odvijanja procesa klizanja tla, razvoj rudarske industrije sa potrebama proširenja granica eksploatacionog polja rudnika, naročito površinskih kopova kod rudnika uglja, a i podzemne eksploatacije uglja, soli, gipsa, boksita i drugih ležišta mineralnih sirovina. Proširenjem eksploatacionog šolja površinske eksploatacije zasjecaju se padine koje usljed prihranjivanja obrinskim i podzemnom vodama gube mehanička svojstva, ovisnosti od građe tla obezbjeđuje proces klizanja tla.

Degradacija šumskog prostora, neplanska, neselektivna sječa stabala drveta, otkrivanje pokrivača terena, a sve radi obezbjeđenja novog građevinskog prostora omogućuje se da erozini proces rani tlo terena, pri čemu se transportuju čestice tla i komadi stijena niz padinu, formiraju blatne tokove i ugrožavaju ljudski životi i materijalna dobra.

Frontalnim širokočelnim iskopom tla jama za temeljenje građevinskih objekata često se zasjecaju padine koje nakon određenog vremenskog perioda i klimatskih uslova formiraju kliznu ravan po kojoj se kreće tlo, te pri tome nanose određene posljedice po okolinu.

Izgradnjom saobraćajnica zasjecaju se padine, u ovisnosti od geološke građe tla padine može nastati kretanje tla pri čemu isizkuje nova ulaganja za sanaciju i poskupljuje investicioni projekat. Tokom izgradnje koridora „5 C“ na prostoru Bosne i Hercegovine česta je pojava novih ulaganja na sancijama padina koje su zasječene u nožici, te izvođenjem iz ravnotežnog stanja nastaje kretanje tla. Uticaj prirodnih faktora na pojavu i razvoj klizišta se može iskazati sa oko 70%, vještački oko 10% i 20% ostali faktori.

Posljedice koje su nastale usljed klizanja tla na prostoru Bosne i Hercegovine tokom posljednje proglašene elementarne nepogode od klizanja tla i poplava iskazane su štete sa više do 2 milijarde eura, sa uništenim više od 2 000 stambenih objekata.

Preporučujemo, institucionalno jačanje kapaciteta, radi izrade potrebnih dokumenata kojima će biti izvršena analiza ocjene rizika od klizišta i poplava na području Bosne i Hercegovine, pomoću kojih bi se blagovremeno pružila pomoć stanovništvu prije pojave i razvoja klizišta, naročito velikih razmjera.

## VI LITERATURA :

1. A. Bishop, A. W. (1955). Te use of the slip circle in stability analysis of slopes. Geotechnique, Vol. 5, No. 1, 7-17.
2. B. Abamasov (2016). Studija rizika od klizišta i poplava na prostoru Bosne i Hercegovine, UNDP Sarajevo.
3. Č. Vujičić (1989). „Fundiranje“, Beograd.
4. E.Nonveiller, (1984).“ Mehanika tla i temeljenje građevina“, Zagreb.
5. E.Nonveiller, (1984). „ Klizanje i stabilnost kosina“, Naftni fakultet Zagreb.
6. E. Mandžić, ( 1985.) „Mehanika tla“, Rudarsko geološki fakultet u Tuzli, Univerzitet u Tuzli.
7. F.Skopljak (2006.): Odnosi podzemnih voda područja Ilidže kod Sarajeva, doktorska disertacija, Pos.izdanje Geol.glasnika knj.XXIX., Federalni zavod za geologiju, Sarajevo.
8. Građevinska Knjiga (1980). „Tehničar“ Građevinski priručnik od 1-5.
9. H. Begić H (2015). „Karakteristične zone klizišta u Bosni i Hercegovini“. Zavod za geologiju Federacije BiH, Sarajevo.
10. H. Hrvatović (2017). „Geološko kartiranje“. Rudarsko geološki fakultet., Univerzitet u Tuzli.
11. Lj. Rokić (1977). „Inženjersko geološke odlike terena Srednje Bosne“
12. M. M. Komatina,(1984). Hidrogeološka istarživanja I“ Beograd.
13. M. Stević M. /1991). Mehanika tla i stijena., Rudarsko geološki fakultet Tuzla, Univerzitet Tuzla.
14. N. Đurić, (2010). „Hidrogeološka i Inženjerskogeološka istarživanja“, Univerzitet Novi Sad, Građevinski fakultet Subotica.
15. N.W. Maslov, ( 1969).„Složeno fundiranje“ Beograd.
16. N.Grubić (2006). Satbilnost kosina i sanacija klizišta, Građevinski fakultet u Sarajevu.
17. Tandarić N.,(2010). „Opšta Geomorfologija“, Zagreb.
18. T.B. Roje (2003). „Mehanika tla“, Drugo izdanje. Građevinski fakultet, Split.
19. Obradović R. α Najdanović N. (1999) „Mehanika tla u inženjerskoj praksi“, Tereće prošireno i dopunjeno izdanje. Zemun Rudarski institut, Beograd - Zemun.

20. S. Stevanović, (1999). „Fundiranje građevinskih projekata“, Beograd.
21. S. Šandor (1996). „Inženejrska geologija“, Beograd.
22. S.Mihalić (2007). „Osnove inženjerske geologije“ , „Sveučilište u Zagrebu“, Rudarsko-Geološko- naftni fakultet.
23. Z. Langof, (2002). „Problematika klizišta u sarajevskom kantonu“. Građevinski fakultet Sarajevo

# NEKI ASPEKTI GEOTEHNIČKIH USLOVA FUNDIRANJA I IZGRADNJE OBJEKATA

Cvjetko Sandić, master inž. geol.<sup>7</sup>

## APSTRAKT

U ovom radu prikazani su neki osnovni principi i uticajni faktori od kojih zavisi izbor i način temeljenja budućih građevinskih objekata. Pored teorijskog dijela, kroz nekoliko primjera prikazane su različite situacije sa kojima se inženjeri susreću u praksi i preporuke u smislu pravilnog rješavanja istih prije svega u fazi istraživanja terena. Jedino će se istraživanjima obezbijediti svi potrebni ulazni parametri koji će poslužiti za pravilno dimenzionisanje, a na kraju i izvođenje temelja.

**Ključne riječi:** fundiranje, temelji, šip, nosivost, opterećenje

## SOME ASPECTS OF GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR FOUNDATION AND CONSTRUCTION OF FACILITIES

### ABSTRACT

This paper presents some basic principles and influence factors for the selection and manner of foundation facilities in future. In addition to the theoretical part, several examples show the different situations which engineers have in practice and recommendations in terms of correct resolving of them, primarily in the exploration phase. Only the exploration will provide all the necessary input parameters that will serve for proper dimensioning, and ultimately the performing of the foundations.

**Key words:** foundations, pile, bearing capacity, load

### 1. UVOD

Prije početka bilo kakvih idejnih rješenja u smislu projektovanja temelja, potrebno je sprovesti adekvatna geotehnička istraživanja. Brojni su primjeri gdje su se kobne greške u fundiranju dešavale usljed nedovoljno istraženih područja. Svjedoci smo nastajanja velikog broja klizišta i urušavanja objekata usljed obilnih padavina, poplava i uopšte usljed promjene režima podzemnih voda. Sve to bi u mnogome bilo umanjeno da su sprovedene pravilne geotehničke mjere i preporuke prije i tokom izgradnje objekata. Geotehnička istraživanja u smislu ekonomičnosti, ne predstavljaju velika ulaganja u odnosu na cjelokupne objekte, ali je njihov značaj nemjerljiv.

---

<sup>7</sup> Republički zavod za geološka istraživanja Republike Srpske, 75 400 Zvornik, Vuka Karadžića 148 b,  
tel: +387 56 210 413, e-mails: c.sandic@geozavodrs.com



Prilikom projektovanja temelja, treba nastojati da konstruktivno rješenje temelja bude ekonomično u pogledu utroška materijala, obima radova i troškova građenja, ali i da bude dimenzionisano prema graničnim i dozvoljenim stanjima konstrukcije i tla ispod objekta.

## **2. TEORIJSKE POSTAVKE**

Projektovanje temelja je veoma kompleksan problem koji se može uspješno riješiti samo ako se pri projektovanju vodi računa o uzajamnom djelovanju tla, temelja i konstrukcije iznad temelja.

Prema Stevanoviću (1989; 2009), od projektovanja do izvođenja temelja predviđeno je nekoliko sljedećih operacija:

- prikupljanje podloga (što se prije svega odnosi na geodetske i inženjersko-geološke-geotehničke podloge);
- proračun nosivosti temeljnog tla;
- izbor dubine fundiranja;
- izbor tipa temelja;
- određivanje dozvoljenih pritisaka na tlo;
- određivanje napona na kontaktnoj površini temelja;
- kontrola stabilnosti temelja;
- proračun slijeganja temelja;
- izbor načina izvršenja radova.

Ogroman broj podataka i informacija za gore navedene radove obezbjeđuje se na osnovu prethodno sprovedenih geotehničkih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja. Proračuni nosivost i slijeganja kao i na osnovu toga predložene geotehničke preporuke za temeljenje neizostavan su dio Geotehničkih elaborata.

Takođe, od velikog značaja za fundiranje objekta, tj. za izbor dubine fundiranja jeste analiza svih uticajnih faktora kao što su geotehničke karakteristike tla, hidrogeološki uslovi i nivo podzemne vode, opasnost od mraza, osjetljivost na promjenu vlažnosti, vrsta i nivo opterećenja od objekta, njegova namjena, ali i dubina fundiranja susjednih objekata.

Temelji se u najširem smislu mogu podijeliti na plitke i duboke temelje. Ukoliko neposredno prenose opterećenje preko površine kojom se temelj oslanja na tlo nazivaju se plitki temelji, no ukoliko se opterećenje prenosi i preko bočnih strana i preko kontaktne površine, onda su to duboki temelji. Pod dubokim temeljima podrazumijevaju se oni temelji čija je dubina četiri puta veća od njegove širine.

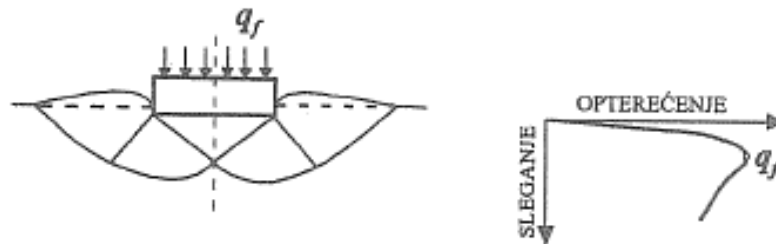
Minimalna dubina fundiranja za naše klimatske uslove (moguć uticaj mraza), uz uslov dobro nosivog tla je 0,80 -1,00 m.

### **2.1. Plitki temelji**

U zavisnosti od vrste konstrukcije, veličine opterećenja ali i geotehničkih svojstava tla, u praksi se najčešće primjenjuju sljedeće vrste plitkih temelja: masivni temelji, trakasti temelji, temelji samci, temeljni nosači (kontragrede), temeljni roštilji i temeljne ploče.

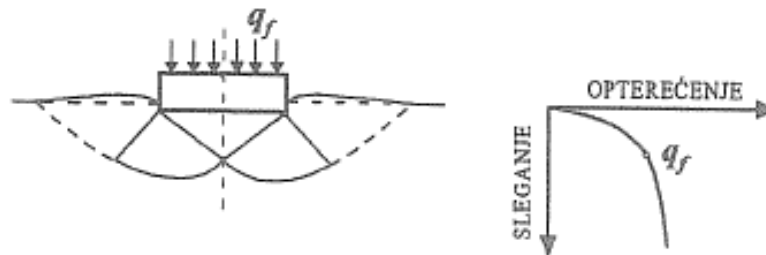
Kada je temelj oslonjen na dobro zbijeno tlo, onda su deformacije prije loma relativno male (slika 1). Pri dostizanju graničnog opterećenja formiraju se kontinuirane klizne površine koje polaze od ivica temelja i prostiru se do površine terena, sa obaveznom izdizanjem tla sa obje strane temelja.

Ovakav tip loma naziva se opšti lom smicanjem i karakterističan je za nevezana tla ili vezana tla čvrste konsistencije (Ćorić, 2008).



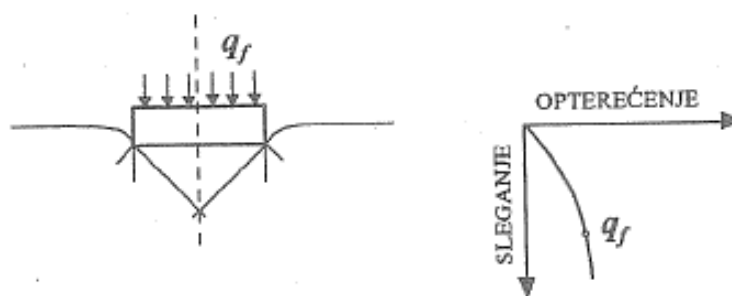
Slika 1: Opšti lom smicanjem (prema Ćorić, 2008).

Ukoliko je temelj oslonjen na rastresito tlo, lošijih geotehničkih svojstava, deformacije su relativno velike, i odmah ispod temelja se javljaju jasno definisane klizne ravni, s tim što one završavaju u masi tla, tj. ne dopiru do površine terena (slika 2). Takođe i ovdje je kao i kod opšteg loma tla, tendencija ka izdizanju tla sa obje strane temelja. Tačka loma nije jasno definisana, pa se uglavnom usvaja da lom nastaje onda kada kriva „opterećenje – slijeganje“ postane relativno strma-pravolinijska. Ovakav tip loma javlja se kod rastesitog pijeska i vezanog tla meke konsistencije.



Slika 2: Lokalni lom smicanjem (prema Ćorić, 2008).

Do loma takođe može da dođe i bez vidljivih ravni loma (slika 3), kao što je npr. makroporozno lesno tlo. To znači da tlo izvan opterećenje površine ostaje praktično neporemećeno.



Slika 3: Lom probojem tla (prema Ćorić, 2008).

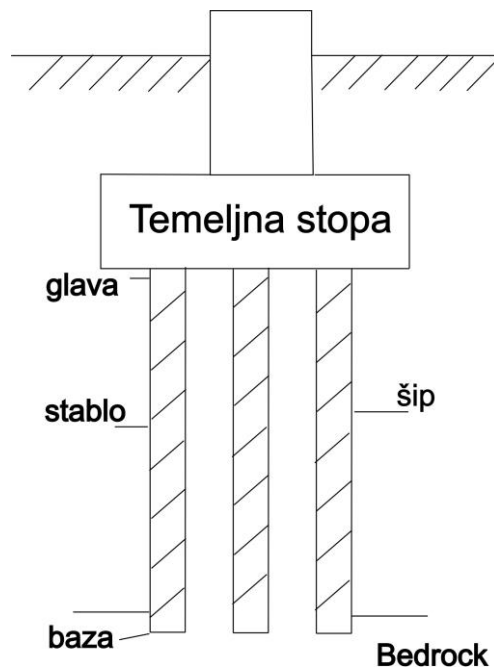
## 2.2. Duboki temelji

Česta je pojava da površinski dijelovi tla imaju loša geotehnička svojstva te nisu povoljni za temeljenje objekata (meka glina, muljevi, treset...), te je potrebno pristupiti dubokom fundiranju.

Princip dubokog fundiranja je da se temeljnom konstrukcijom prođe kroz nepovoljne dijelove terena i da se objekat osloni na dublje, manje stišljive slojeve.

Najčešći tip dubokih temelja jesu šipovi, ali tu su i temelji na betonskim dijafragmama, temelji na bunarima i temelji na kesonima.

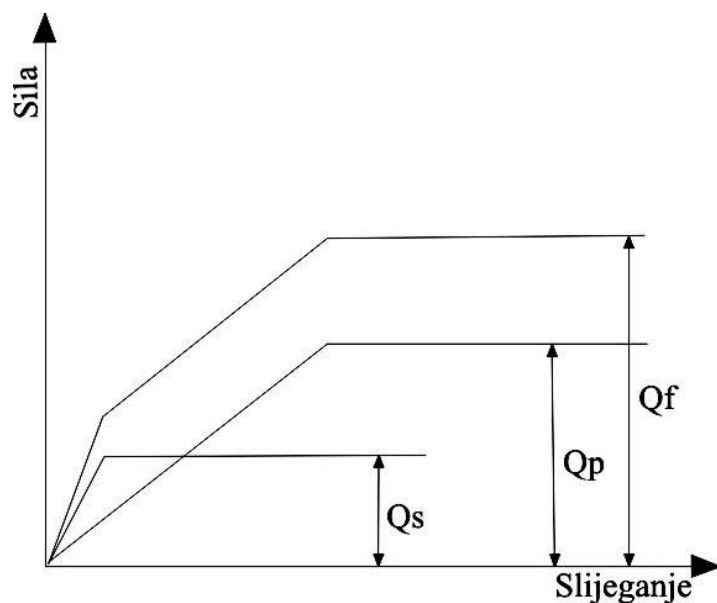
Šipovi predstavljaju posebnu vrstu dubokih temelja koji se sastoje iz tri elementa: glave, omotača i baze šipa (Tomlinson, 1994; Ćorić, 2008). Mogu biti izrađeni od drveta, betona i čelika sa kružnim ili kvadratnim poprečnim presjekom. Jedan duboki temelj na šipovima se sastoji od grupe šipova i betonske temeljne stope koja povezuje šipove u jednu konstruktivnu cjelinu (slika 4).



Slika 4: Osnovni elementi šipa

Prema načinu prenošenja opterećenja sa šipa na okolno tlo, šipovi se dijele na stojeće i lebdeće. Lebdeći šipovi se fundiraju u stišljivom tlu, tako da se opterećenje sa šipa  $Q_f$  prenosi na tlo, kako preko baze šipa  $Q_p$ , tako i preko omotača šipa  $Q_s$ , pri čemu dolazi do slijeganja šipova. Stojeći šipovi se oslanjaju na čvrstu stijensku masu, tako da su njihova slijeganja minimalna, a opterećenje sa šipa  $Q_f$  se prenosi na stijensku masu samo preko baze šipa  $Q_p$ .

Za dostizanje graničnog opterećenja omotača šipa  $Q_s$  potrebno je relativno malo slijeganje (1-2% prečnika), dok je za dostizanje graničnog opterećenja baze šipa  $Q_p$  potrebno znatno veće slijeganje (10% prečnika), (slika 5).



Slika 5: Zavisnost između graničnog opterećenja komponenata šipa i slijeganja

### 3. NEKI PRIMJERI IZ PRAKSE

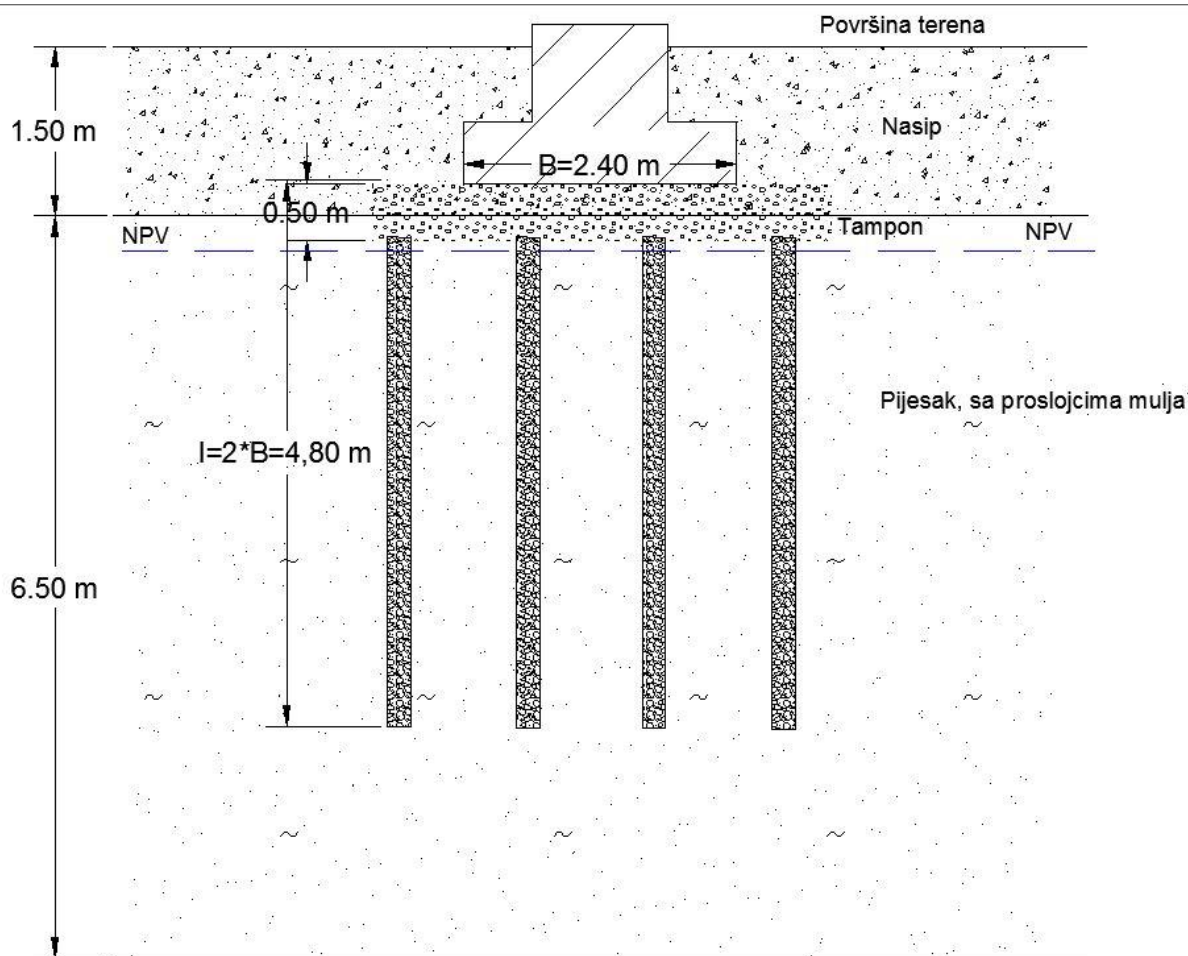
#### 3.1. Fundiranje na slabo nosivom tlu

Veoma čest slučaj u geotehničkoj praksi jeste da u površinskim dijelovima terena nailazimo na litološke članove koji imaju loša geotehnička svojstva te se ne preporučuju za temeljenje objekata. Tu se uglavnom misli na muljevita tla, ilovače, gline meke konsistencije, nekonsolidovane nasipe i sl.. Prva ideja u tom slučaju jeste klasična zamjena materijala koja je u praksi i najčešća ili duboko fundiranje. Duboko fundiranje ili temeljenje na šipovima često je neekonomično, jer cijena takvog temeljenja često prevazilazi i vrijednosti objekta, posebno ukoliko su to skladišta, silosi, hale itd.

Plitko fundiranje u slabo nosivom tlu vrlo često se izbjegava jer su i istraživanja prije izgradnje objekata dosta ograničena.

Poštujući ekonomičnost, i uz dosta precizno određen geotehnički model terena i fizičko-mehaničke parametre itekako je moguće sa dosta velikom pouzdanošću predložiti plitko temeljenje na relativno slabo nosivom tlu. Jedan od izuzetno racionalnih, ali i pouzdanih varijanti temeljenja u tom slučaju jeste temeljenje na šljunčanim šipovima (Simović i Jović, 1971; Najdanović, 1971; Isaković, 1971). Takav način temeljenja izveden je prema preporukama iz Geotehničkog elaborata za fundiranje poslovnog objekta-hale u Istočnoj Ilidži, pored puta Sarajevo - Foča.

Istraživanjima je na cijelom lokalitetu konstatovan sloj nasipa prosječne dubine do 1,50 m, a zatim do dubine od 8 m sloj veoma zaglinjenog pijeska, meke konsistencije sa dosta muljevitih proslojaka. Geostatičkim proračunima dobijene su veoma loše vrijednosti dozvoljenih nosivosti te se moralo razmatrati poboljšanje geotehničkih uslova. Geotehnički model terena prikazan je na slici 6.



Slika 6. Geotehnički model terena sa predloženim šljunčanim šipovima kao metod poboljšanja tla

Poboljšanje temeljnog tla rađeno je utiskivanjem dobro granulisanog šljunkovitog i drobinskog materijala veličine zna do 5 cm u bušotinu sa obložnom cijevi prečnika  $\varphi=20$  cm. Zbijanje materijala vršeno je slobodnim padom malja. Prilikom izvlačenja cijevi prečnik šipa se povećava do  $\varphi=30$  cm usljed utiskivanja šljunka u oslobođene bokove obložne cijevi. Dubina šljunčanih šipova obično se uzima kao dvije širine temelja ( $I=2xB$ ), uzimajući u obzir i tamponski sloj na kome se radi temeljna stopa (Gunaratne, 2006).

Pored poboljšanja geotehničkih karakteristika tla, izradom šljunčanih šipova se pod dejstvom hidrostatičkog pritiska, usljed pritiska porne vode, višak vode penje u tamponski sloj, nakon čega je moguća odvodnja (Najdanović, 1971). Zbog toga se u ovakvim slučajevima uvijek i preporučuje izrada tamponskog sloja, prvenstveno radi dreniranja vode, ali svakako i radi poboljšanja temeljnog podla, gdje su vertikalni naponi od objekta najveći.

### 3.2. Fundiranje susjednih objekata

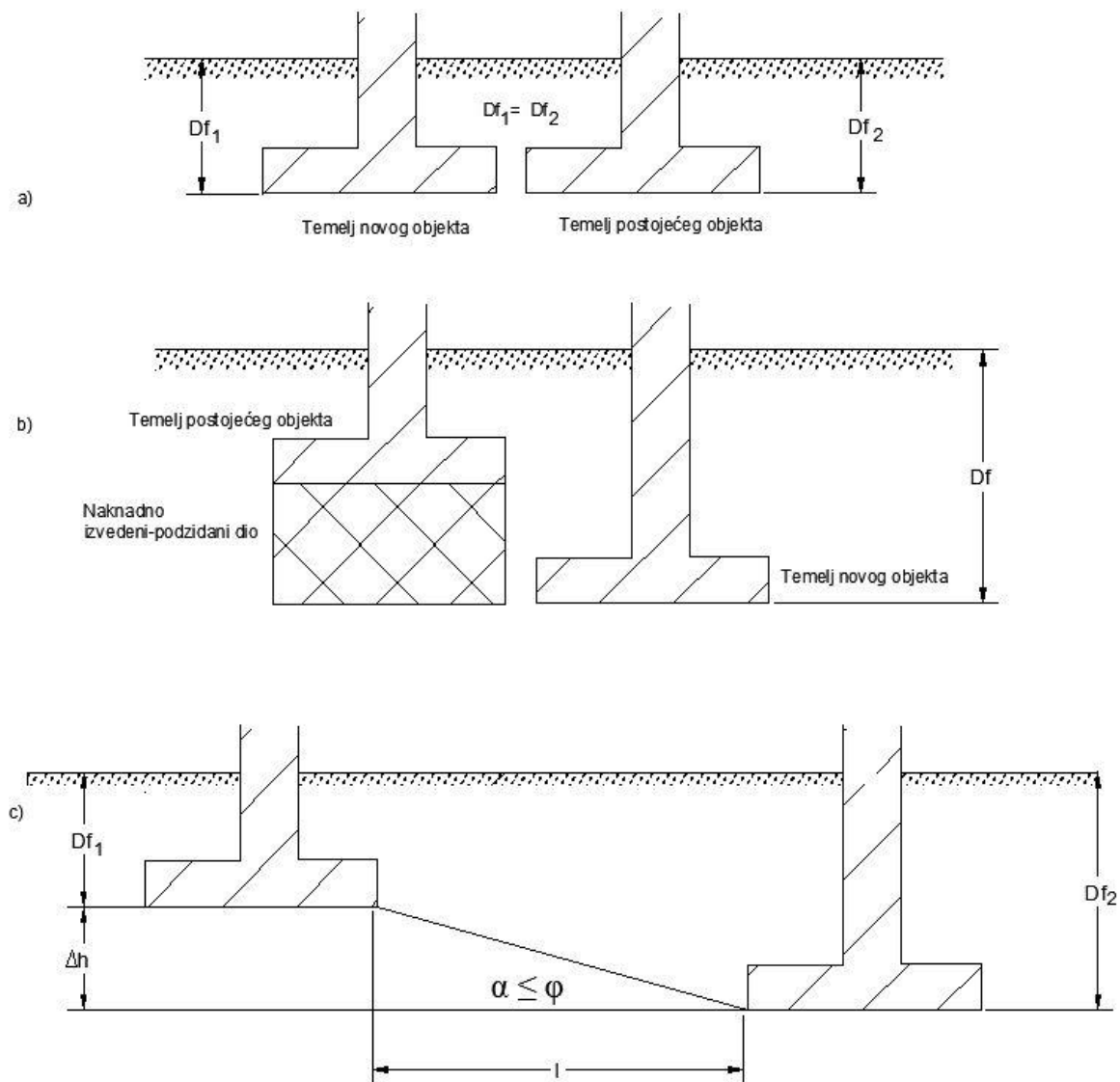
Ukoliko se objekat fundira u blizini ili pored već postojećeg objekta, podaci o dubini fundiranja kako već postojećeg, tako i novog objekta su od izuzetne važnosti. Podaci o temelju objekta moraju biti definisani istraživanjem jer su vrlo važni za kasniji geostatički proračun koji treba biti dio Geotehničkog elaborata. O tome se često ne vodi računa prilikom sprovođenja istraživanja

iako se vrlo jednostavno može odrediti (slika 7), već se to ostavlja građevincima na volju prilikom izvođenja radova.



Slika 7. Određivanje  $D_f$  već postojećeg objekta (lijevo) i temeljna jama pored izgrađenog objekta (desno)

Ako se temelj novog objekta nalazi neposredno pored temelja postojećeg objekta tada temelji moraju biti na istoj dubini (Stevanović, 1989; 2009) (slika 8a). Ukoliko novi objekat zahtijeva veću dubinu fundiranja, postojeći objekat je potrebno spustiti na istu dubinu, što znači da ga treba adekvatno „podzidati“ (slika 8b). Međutim, ako se temelj novog i postojećeg objekta nalaze na izvjesnom međusobnom rastojanju visinska razlika njihovih dubina fundiranja mora da ispuni uslov  $\Delta h \leq l \operatorname{tg} \varphi$  (slika 8c), gdje je  $\Delta h$  – visinska razlika susjednih temelja,  $l$  – horizontalno rastojanje između ivica susjednih temelja,  $\varphi$  – ugao unutrašnjeg trenja tla.



Slika 8. Uslovi prilikom fundiranja susjednih objekata

### 3.3. Fundiranje na šipovima

Kada tlo ispod temelja ima loša geotehnička svojstva i veliku stišljivost, kao metod temeljenja obično se primjenjuje fundiranje na šipovima. Treba istaći, da izvođenje ovih radova zahtijeva i primjenu specijalne opreme, što ovaj način temeljenja čini relativno skupim. Primjena ovakvog temeljenja u tom slučaju mora biti ekonomski isplativa i uglavnom se primjenjuje kod značajnih industrijskih, infrastrukturnih i velikih stambenih objekata.

Prilikom fundiranja građevinskih objekata na šipovima, jedan od najznačajnijih problema predstavlja određivanje veličine graničnog i dozvoljenog opterećenja šipa.

Postoji veliki broj rješenja, predloženih od raznih autora, na osnovu kojih se određuje granična nosivost vertikalno opterećenog šipa. U zavisnosti od toga, na koju vrstu istraživanja i ispitivanja se oslanjaju razlikuju se: statičke metode (koriste parametre čvrstoće tla), dinamičke metode, metode zasnovane na terenskim opitima statičke i standardne penetracije, metode zasnovane na rezultatima presiometarskih ispitivanja kao i metode terenskog opita probnog opterećenja šipa.

Većina savremenih standarda (ASTM D 1143-81, DIN 1054-100) i tehničkih normativa, uključujući i EC 7 standarde, u svojim odredbama za proračun nosivosti šipova zahtjeva primjenu probnog opterećenja šipa (slika 9).



Slika 9. Probno opterećenje šipa hidrauličkom presom

Svi probni šipovi trebaju biti opterećeni do maksimalne sile ( $Q_m$ ) koja je za 50% veća od maksimalnog radnog opterećenja šipa ( $Q_r$ ). Prilikom ispitivanja šipova uglavnom se mjere vrijednost sile koja deluje na šip, slijeganje glave šipa, slijeganje referentnih greda i vrijeme konsolidacije šipa pod apliciranom silom.

Česta je preporuka da se vrši poređenje vrijednosti dobijenih statičkim proračunima i vrijednosti dobijenih na osnovu opita probnog opterećenja radi provjere i pouzdanosti dobijenih vrijednosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

Stabilnost i funkcionalnost cjelokupnog objekta prevashodno zavisi i od kvaliteta temeljne konstrukcije.

Njeno ponašanje prije svega zavisi od kvaliteta podloge – temeljnog podtla, režima podzemnih voda, ali i od načina i dubine fundiranja i načina izvođenja radova. Na primjerima u ovom radu pokazano je koliko je važno imati dobre i kvalitetne ulazne parametra tla, na osnovu kojih je moguće donijeti pravilne zaključke i preporuke za fundiranje objekata. Sve to u cilju pravilnog i ekonomičnog fundiranja koje ima za cilj obezbijedivanje prvgenstveno bezbjednosti objekta i njegove funkcionalnosti.



## 5. LITERATURA

1. Gunaratne, M. (2006). The foundation engineering handbook, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
2. Ćorić, S. (2008). Geostatički proračuni, Rudarsko-geološki fakultet, Časopis Izgradnja, Beograd.
3. Isaković, O. (1971). Primeri fundiranja betonskih silosa na slabo nosivom tlu, Časopis Izgradnja, Beograd.
4. Najdanović, N. (1971). Razvoj mehanike tla u savremenom građevinarstvu, Časopis Izgradnja, Beograd.
5. Simović, M., Jović, S. (1971). Dom sportova u Novom Beogradu, Časopis Izgradnja, Beograd.
6. Stevanović, S. (1989): Fundiranje I, Naučna knjiga, Beograd.
7. Stevanović, S. (2009): Fundiranje građevinskih objekata, Časopis Izgradnja, Beograd.
8. Tomlinson, M.J. (1994). Pile design and construction practice, E & FN SPON, London.



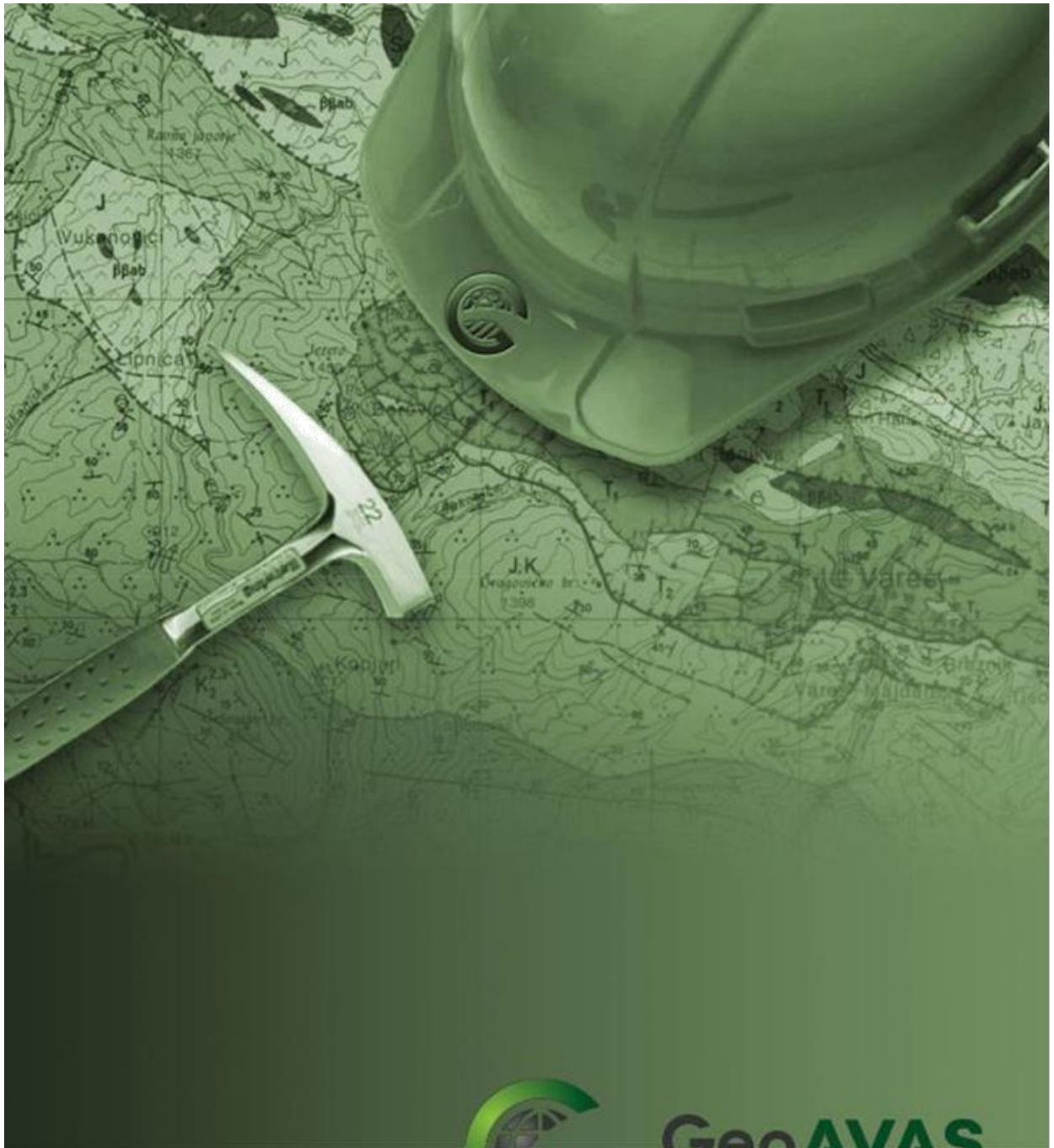
[www.ipininstitut.com](http://www.ipininstitut.com)





„IRM-Bor“ d.o.o. Zvornik





**GeoAVAS**

Društvo za geologiju, geotehniku i građevinarstvo

