

**projekti**

---

Pero MARIJANOVIĆ

Berislav CRNJAC

Danijela ZOVKO

Vinko BILOPAVLOVIĆ

## **GEOLOŠKA PROBLEMATIKA I GEOMEHANIČKO- GEOTEHNIČKA OSNOVA ZA NAČIN GRADNJE TUNELA 1 NA KORIDORU Vc – DIONICA LEPENICA – TARČIN**

### **Uvod**

Za potrebe izrade glavnog projekta koridora Vc – dionica Lepenica – Tarčin izvršena su inženjersko-geološka, geomehanička, hidrogeološka i geofizička istraživanja na lokaciji tunela 1 (Zakunjača). Ova istraživanja sa izradom geotehničkog elaborata za trasu i objekte (3 mosta, 4 tunela i više prolaza) na navedenoj dionici, povjerena su tvrtci “Integra” d.o.o. Mostar. “Integra” je formirala stručni tim, kojeg su sačinjavali prof. dr. sc. Pero Marijanović, dipl. inž. rud. (voditelj projekta); mr. Ivan Antunović, dipl. inž. geol.; Vinko Bilopavlović, dipl. inž. geol.; Berislav Crnjac, dipl. inž. građ.; Danijela Zovko, dipl. inž. građ. i Alija Suljagić dipl. inž. geol. Navedeni tim predvođen profesorom Marijanovićem uspješno je vodio geotehnička istraživanja na geološki vrlo složenom terenu i predložio način gradnje tunela.

Geološka građa terena u području tunela 1 je na Osnovnoj geološkoj karti M= 1:100.000, kao i na Geološkoj karti 1:25.000, prikazana dosta pojednostavljeno. Na navedenim kartama površinski pokrivač je zastupljen s “riječnim terasama”, koje su predstavljene čistim šljuncima i pijescima.

Geološkim kartiranjem i istražnim bušenjem za potrebe projektiranja objekata na koridoru Vc, ustanovljena je značajna zastupljenost glinovite

komponente i fragmenata okolnih stijena u površinskom pokrivaču, što upućuje na to da ove naslage imaju aluvijalno-deluvijalno porijeklo.

Zbog značajne zastupljenosti glinovite komponente povećano je prisustvo podzemne i površinske vode, što je usložnjavalo hidrogeološko i geomehaničko stanje terena, kao i način izrade tunela.

U ovom radu dan je kratki prikaz geoloških i hidro-geoloških značajki terena u području tunela 1 i geomehaničko-geotehničkih uvjeta (osnove) načina gradnje tunela.

## 1. Osnovno

Zemljopisni položaj tunela 1 (Zakunjača) definiran je stacionažama u okviru dionice Lepenica – Tarčin na koridoru Vc. Lokacija tunela je na početku dionice Lepenica – Tarčin između stacionaže km 18+710 i stacionaže km 19+010. To je brežuljkast teren, koji istočno postupno prelazi u brdski predio, a zapadno se spušta u dolinu rijeke Lepenice, koja je udaljena od tunela približno 300 m. U blizini tunela nalaze se sela Kuliješ i Bojakovići. Najbliža veća naselja su Kreševo i Hadžići, koja se nalaze na udaljenosti oko 10 km zračne linije.

Idejnim rješenjem bilo je predviđeno da se tunel 1 projektira sa 2 cijevi (2 trake autoceste): lijeva (od brdske strane) i desna (prema rijeci Lepenici). Dužine tunelskih cijevi su po 300 m. Visinska lociranost tunelskih cijevi nije dobro prilagođena inženjersko-geološkim prilikama, (nije bilo prethodnih istraživanja) te su s malim nadslojem, locirane u klastičnim materijalima heterogenog sastava. Kao cjelina, izrazito je padinski tunel malog nadsloja (max. 15 m lijeva i 9 m desna cijev).

Izvedeni istražni radovi sa prikazom rezultata su sadržavali:

- inženjersko-geološko i hidrogeološko kartiranje terena na detaljnim kartama,
- tri sonde s kompletnim prikazom (profili, foto-dokumentacija, dnevni bušenja, analiza SPP i matematički model tla),
- laboratorijska ispitivanja,
- primijenjene geofizičke metode sa proračunom dinamičkih parametara i
- izrada strukturnog profila (tri sonde) nedaleko tunela za geotehničke analize stabilnosti kosina.

Zbog složenosti geološke i hidrogeološke građe terena tunel 1 u cijelosti pripada kategoriji *teških tunela*.

## 2. Inženjersko-geološke i hidrogeološke značajke terena

### 2.1. Kvartarni aluvijalno-deluvijalni pokrivač

Aluvijalno-deluvijalni pokrivač (sl. 1) zastupljen je na cijeloj površini u području tunela. U njemu su izdvojena dva litološka člana, koja se razlikuju po geološkim, a posebno po hidrogeološkim i geomehaničkim svojstvima.

Na površini terena nalaze se *prašinasto pjeskovite gline u mješavini s kamenom drobinom*. Kamena drobina je od stijena s okolnih brdskih padina, a najčešće su to pločasti komadi škriljaca pješčenjaka, vapnenaca i dolomita. Gline su umjereno plastične i stišljive. U istražnim radovima sadržaj pjeskovite frakcije varira.

*Zaglinjeni šljunak i pijesak sa fragmentima stijene* utvrđen je neposredno iznad geološkog supstrata, odnosno iznad njegove zone intenzivnije degradacije. Kamena drobina je također od pločastih komada škriljaca pješčenjaka, vapnenaca i dolomita. Dobro provode podzemnu vodu. Razvijeni su prirodni drenovi, jer je isprana glinovito prašinasta komponenta i formirani su privilegirani pravci tečenja podzemnih voda (sl. 2).

Ovi sedimenti s podzemnom vodom su veoma značajni za stabilnost cijele padine. Na izlazu tunela od ST km 19+030 do km 19+100 kartiran je zamočvaren teren sa pištelinama. Podzemne vode se cijede iz brežuljka gdje se nalazi izlazni portal tunela. Cijeli teren oko lokacije tunela svrstan je u uvjetno stabilan teren. Tijekom iskopa za tunel teren može postati nestabilan, ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere. Problem je u remećenju režima filtracije i promjene hidrostatskog tlaka, što dovodi do nestabilnosti terena i pojave klizišta.



Sl. 1. Aluvijalno-deluvijalni pokrivač.





Sl. 2. Kaptirani izvor u blizini ulaznog portala tunela.

## **2.2. Naslage donjeg trijasa ( $T_1$ ) – geološki supstrat**

### **2.2.1. Degradirani geološki supstrat ( $T_1$ )**

Sastav geološkog supstrata sačinjavaju: škriljci, pješčenjaci, glinci i laporci u nižim horizontima i vapnenci u višim horizontima. Ove stijene pripadaju kompleksu stijena donjeg trijasa. Naslage su veoma ubrane, škriljave, listaste, trošne i podložne raspadanju – degradaciji.

Prelazak klastičnog sedimenta u geološki supstrat – osnovnu stijenu – je postupan, budući da je formirana deblja *degradacijska zona* u supstratu (tvrdo tlo – meka stijena) u vidu kore raspadanja. Debljina degradacijske zone u području tunela 1 kreće se približno od 3 do 6 m.

Kontakt je izrazito erozijski oblikovan (erozijska diskordancija), te postoje džepovi klastičnog materijala unutar supstrata s umirenom filtracijom vode. Suprotno ovim formama, na terenu postoje antiforme ili tzv. “piramide”, gdje je geološki supstrat manje raspadnut i erodiran.

### **2.2.2. Neporemećeni geološki supstrat – donji trijas ( $T_1$ )**

Kompleks trijaskih stijena, koje pripadaju geološkom supstratu, prepoznatljive su po karakterističnim bojama i strukturi. To su sivo-plavičasti, sivo-crvenkasti i ljubičasti pješčenjaci, laporci i glinci tankoslojevite i škriljave strukture (“ljubičasti sedimenti”). Laporci i glinci su također različitih boja.

Kompleks trijaskih stijena predstavlja vrlo heterogenu sredinu u kojoj se zbog loših geomehaničkih svojstva i čestih izmjena u vertikalnom i horizontalnom pravcu nisu mogli izdvojiti litološki tipovi.

U ovom kompleksu prevladava glinovita i vapnovita komponenta, a u inženjersko-geološkom i geomehničkom pogledu ove naslage svrstavaju se u vrlo slabe stijene. Zbog loših geomehaničkih svojstava, RQD na jezgru sonde nije se mogao mjeriti.

Naslage trijasa su dosta naborane i padovi slojeva kreću se 10-30°.

### **3. Geomehničke i geotehničke osnove za način gradnje tunela 1 (Zakunjača)**

Zbog složene geološko-hidrogeološke građe terena način gradnje tunela je specifičan, pa se u ovom radu daje kao primjer i to samo za tunelske cijevi, bez ulaznog i izlaznog portala.

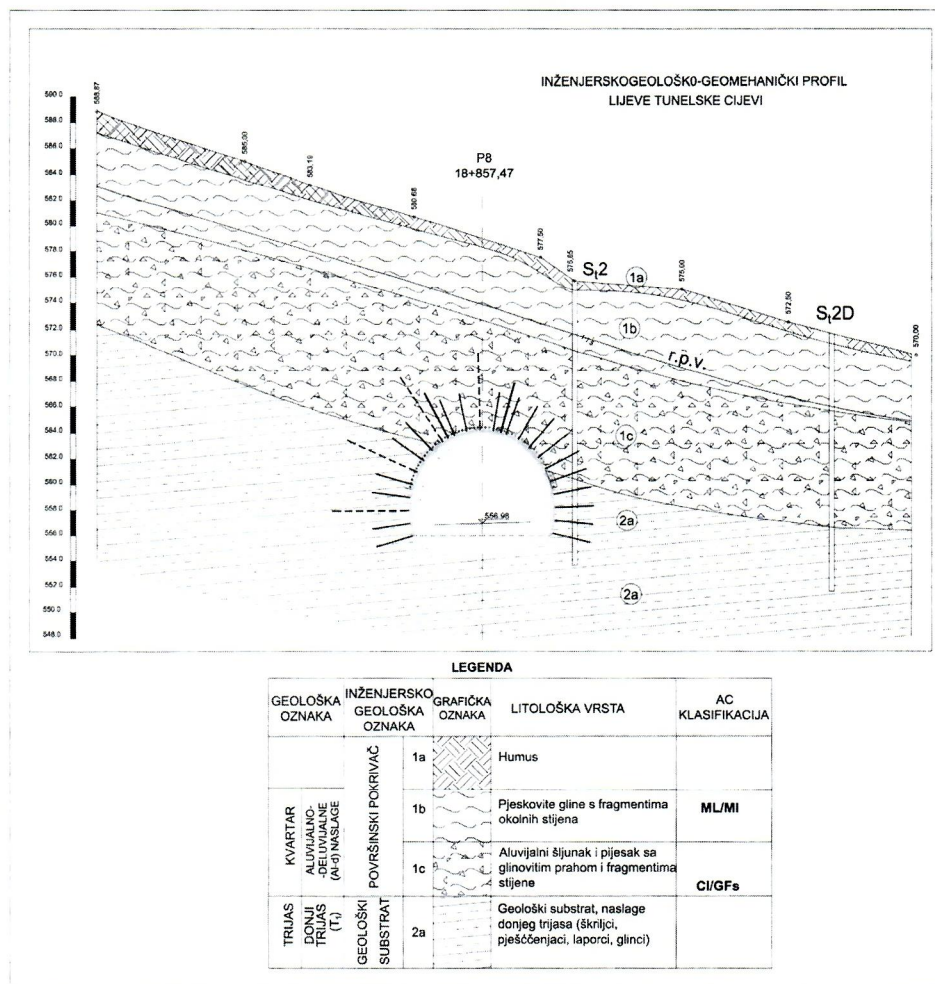
#### **3.1. Lijeve tunelske cijevi**

Lijevu tunelsku cijev tunela 1 moguće je graditi samo klasičnim podzemnim tunelskim postupcima ili je pretvoriti u otvorenu dionicu, bez naknadnog zatrpavanja. Kako je inženjersko-geološka, hidrogeološka i geomehnička situacija na trasi tunela složena, završne kosine bile bi visoke, pa se otvaranje ove dionice isključuje.

*Izbor načina gradnje lijeve tunelske cijevi tunela 1 se svodi na klasičan podzemni iskop sa razradom profila te korištenjem "kišobrana" za zaštitu kalotnog dijela tunelske cijevi i produljenjem izlaznog portala na dionici malog nadsloja.*

Metoda gradnje lijeve tunelske cijevi "na otvorenom" uz naknadno zatrpavanje ne može se primijeniti.

Inženjersko-geološke, hidrogeološke i geomehničke prilike na trasi lijeve cijevi tunela 1 su složenije nego se to na prvi pogled čini. Teren je prekriven prašinama s pijeskom a u nešto dubljim dijelovima ovaj sloj prelazi u varijantu CL (prašinate gline sa pijeskom). Dublje od ovoga sloja, približno po projektiranoj trasi lijeve tunelske cijevi, razvijen je sloj GFs (šljunkovito-pjeskovito-prašinate-glinovite mješavine) u različitim varijantama, najčešće kao GFs/GFc ili GFs/CL (netipični intervali). Ovaj sloj ima temeljnu hidrogeološku funkciju terena od koje zavisi njegova stabilnost (sl. 3).



Sl. 3. Poprečni profil lijeve tunelske cijevi.

Ove strukture su nositelji stabilnosti cijele padine: dok oni normalno funkcioniraju padina je stabilna. Čim se ta funkcija poremeti, pojavljuju se klizišta. *Kod iskopa terena u ovom sedimentu može doći do smanjenja filtracije i pojave hidrostatskog tlaka koji gura slojeve naniže ili do povećanja filtracije kada to isto čini povećani filtracijski tlak.*

Tijekom istraživanja proučavan je način podzemne filtracije vode u ovom sloju. Prioritetni pravci tečenja su povezani za dijelove sloja bogatijim šljunkovitim materijalima te s ispranom prašinastom i pjeskovitom komponentom. Tako su formirani podzemni drenovi s vrlo osjetljivim



režimom tečenja vode. Mjerenjem razine podzemne vode na ugrađenim piezometrima, utvrđena je korelacija s prostornim položajem sloja GFs.

Ako bi se tunelska cijev radila na otvorenom uz naknadno zatrpavanje, hidrogeološka funkcija sloja GFs bi se potpuno poremetila. Došlo bi do ometanja prirodne filtracije te razvoja hidrostatskog tlaka i do pojave klizišta iznad kalote tunela. Zbog toga se ovaj postupak, kao mogućnost gradnje lijeve tunelske cijevi, odbacuje.

### **3.2. Desna tunelska cijev**

Sve izrečeno za lijevu tunelsku cijev vrijedi i za desnu. Zbog vrlo malog nadsloja ovu cijev treba u cijelosti pretvoriti *u otvorenu dionicu* ceste.

Mogućnost naknadnog zatrpavanja ove tunelske cijevi se odbacuje iz istog razloga navedenog u obrazloženju za lijevu tunelsku cijev.

Cijela dužina desne tunelske cijevi se može smatrati jedinstvenom dionicom.

## **4. Geomehaničke podloge projektu primarne podgrade**

**Tunel 1, lijeva tunelska cijev**, se može napraviti metodom NATM (Nova austrijska tunelska metoda) uz dodatnu zaštitu kalote "*cijevnim kišobranom*". Zadaća primarne podloge je postići samonosivost tla–stijene uz rub iskopa te osigurati potpunu stabilizaciju iskopa prije polaganje sekundarne betonske obloge (vidi poprečni profil lijeve cijevi).

Analizom uzdužnog inženjersko-geološkog i geomehaničkog profila tunelske cijevi te pripadnih poprečnih profila, izdvojene su tri homogene cjeline (3 dionice), te ulazni i izlazni portalni usjeci. Dionice tunela 1 i 3 pripadaju V. kategoriji iskopa a tunelska dionica 2 je na granici IV. i V. kategorije iskopa, iskazano u geomehničkoj skali RMR.

Budući da tunelska cijev pripada kategoriji teških tunela, određuje se jedinstvena primarna podgrada za sve dionice uz popis alternativnih postupaka ako bi se tijekom iskopa naišlo na još teže uvjete gradnje. Valja uzeti u obzir kako je NATM postupak polu-empirijski te kako projekt tunela traje praktično koliko i iskop. U svakoj fazi iskopa podaci se moraju prikupljati i analizirati te donositi ključne odluke o načinu podgrađivanja. Neprestanim mjerenjem konvergencije točaka na mjernim profilima odluke se moraju provjeravati i, ako je potrebno, donositi korekcije.



**Desna tunelska cijev** se prevodi u otvorenu trasu bez naknadne izrade tunelske cijevi i zatrpavanja.

*Mjerodavni podaci za projekt primarne podgrade* su: inženjersko-geološki i geomehanički uzdužni profil, matematički modeli tla kao podloga tehničkom projektu, vrijednosti primarnog geostatskog tlaka po izdvojenim dionicama lijeve tunelske cijevi i sekundarni vertikalni tlak na podgradu tunela, računat po postupku Bierbaumer.

Način iskopa (tehnološki dio projekta) je strojni s napredovanjem u jednom ciklusu od 1 m, u najtežim dionicama napredovanje se može smanjiti i do 0.5 m. U drugoj dionici se eventualno može koristiti eksploziv za rastresanje stijene u količini najviše 250 g/m<sup>3</sup> iskopa.

Prije iskopa ugraditi "tunelski cijevni kišobran". Dužina kišobrana je 15 m s preklapom od 3 m, efektivna duljina kišobrana od 12 m. Cijevi injektirane pod tlakom od 20 bara. Kišobran bušen pod nagibom od 5 stupnjeva kako bi se, na kraju, osiguralo nadvišenje za bušenje nove sekcije.

Napredovanje iskopa pod kišobranom je 1 m. Primijeniti primarnu podgradu od rešetkastih čeličnih lukova na rastojanju najviše od 0.5 m. Po potrebi rastojanje smanjiti. Mlazni beton prskan u slojevima debljine  $d = 30$  cm, s dvije do tri armaturne mreže.

Kroz formirani sloj mlaznog betona radijalno ugraditi samobušeca sidra,  $l = 3$  m, u mreži šahovskog rasporeda  $1 \times 1$  m. Samobušeca sidra se injektiraju pod tlakom.

Budući da je riječ o padinskoj tunelskoj cijevi, svako treće samobušeeće sidro zamijeniti adhezijskim duljine  $l = 6$  m i to samo na lijevoj strani kalote, "od brda" (bušotina sa šipkom rebrastog čelika, distancerima i injektiranom masom).

U fazi izgradnje tunela za potrebe otjecanja i sakupljanja vode niveleta tunela treba imati najmanji uzdužni nagib od 4 promila. Ako takav nagib nije osiguran kopati vodosabirnike na svakih 50 do 100 m dužine tunelske cijevi te vodu crpkama izbacivati vani.

Prilikom iskopa lijevog oporca tunelske cijevi rješavati probleme s podzemnom vodom. Sve otkrivene podzemne drenove, bili oni suhi ili s vodom u tom trenutku, treba efikasno povezati s odvodnjom tunela. Takva se voda ne smije zatvarati već omogućiti da otječe kao u prirodnim uvjetima. Preporuča se pri tom koristiti iskustva s drenažnim betonom u oporcima primarne podgrade.

## Literatura

JOVANOVIĆ R., at all. (1978): Osnovna geološka karta, list "Sarajevo", Zavod za inženjersku geologiju i hidrogeologiju Građevinskog fakulteta, Sarajevo i Institut za geološka istraživanja, Sarajevo

JOVANOVIĆ R., at all. (1978): Tumač za Osnovnu geološku kartu, list "Sarajevo", Zavod za inženjersku geologiju i hidrogeologiju Građevinskog Fakulteta, Sarajevo i Institut za geološka istraživanja, Sarajevo

TAJDER M. & M. HERAK (1972): Petrologija i geologija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

WALTER HUANG T. (1967:) Petrologija, Savremena administracija, Beograd

KARAMATA S. (1967): Petrogeneza, Izdavačko preduzeće Građevinska knjiga, Beograd

MIŠČEVIĆ P. (2004): "Uvod u inženjersku mehaniku stijena", Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

SELIMOVIĆ M. (2003): Mehanika stijena I i II dio, Univerzitet Džemal Bijedić Mostar, Građevinski fakultet.