

Zlatko LANGOF

prof. dr., dipl. inž. građ., Građevinski Fakultet Univerziteta u Sarajevu, Katedra za geotehniku

Zlatan TALIC

dipl. inž. građ., Građevinski Fakultet Univerziteta u Sarajevu, Katedra za geotehniku

ISTRAŽIVANJA I PROJEKT SANACIONIH RADOVA U ŽELJEZNIČKOM TUNELU “JEDRINJE” NA PRUZI SARAJEVO- PLOČE

SAŽETAK: U ovom radu su opisana inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja u tunelu “Jedrinje”, kao i predložene mjere sanacije. Tunel "Jedrinje" nalazi se 15 km sjeverno od Mostara, na desnoj obali rijeke Neretve, na trasi željezničke pruge Sarajevo – Ploče, na lokalitetu Jedrinje, po kojem je tunel i dobio naziv. Dužina tunela je 3 239,50 m. U tunelu je utvrđeno vlaženje, kapanje, te tragovi isticanja podzemnih voda pod pritiskom. Povremeno se u tunelu pojavi vodni talas, visine do 0,80 m, koji u potpunosti prekine saobraćaj. Pored toga, dolazi i do erozije kolosiječnog kamenog materijala, što zahtijeva stalne sanacije. U okviru inženjerskih istraživanja, izvršeno je detaljno snimanje ispugalosti i oštećenosti stijenskih masa. Podaci vezani za pojavu rasjeda, kaverni, pukotina, prslina i ostalih diskontinuiteta, statistički su obrađeni i prikazani u vidu sinoptičkog konturnog dijagrama. Geotehničkim opservacijama tunela ustanovljena je različita građa stijenske mase, tako da su izdvojena četiri tipa betonske obloge i jedan tip bez pune obloge (torkret u kaloti). Rezultati geotehničkih mjerenja upućuju na potrebu sanacionih zahvata koji se predlažu u nastavku ovog rada.

INVESTIGATIONS AND PROJECT OF REMEDIAL MEASURES IN THE TUNNEL “JEDRINJE” ON THE RAILROAD SARAJEVO – PLOČE

SUMMARY: In this paper we have shown engineering geological and geotechnical investigations in the tunnel “Jedrinje”, as well as, proposed remedial measures. The tunnel “Jedrinje” is placed approximately 15 km in the north of Mostar, at the right bank of Neretva River, on the railroad Sarajevo – Ploče. The tunnel axis is placed along the rugged section of Jedrinje, after the tunnel was named. Tunnel’s length is 3,239.5 m. The moisturizing, dripping, leaking, water outflow, as well as, the traces of underground water outflow under pressure are recognized in the tunnel. Appearance of the water waves in the tunnel is possibly periodically with wave's height of 0,80 m, which cut off the traffic completely. Beside that, erosion of the top-ballast is a consequence of acting of the water waves what is related with necessity of application of the sanitation measures. Within the geological engineering research, detailed recording of cracks and damages of stone masses is performed. Facts regarding the genesis of faults, caverns, cracks, fissures and other discontinuities are calculated and presented statistically in the form of synoptic contour diagram. Geotechnical observations and recording of lining damages were determined different rock masses composition and four types of concrete lining and one type without full lining (sprayed concrete in the roof). Results of such measures indicate the need for rehabilitation action, which have been presented in this paper.

1. UVOD

Tunel "Jedrinje" nalazi se 15 km sjeverno od Mostara, na desnoj obali rijeke Neretve, na trasi željezničke pruge Sarajevo – Ploče, na lokalitetu Jedrinje, po kojem je tunel i dobio naziv. Dužina tunela je 3 239,5 m.

Tunel se pruža duž akumulacije hidroelektrane Salakovac. Maksimalna kota uspora akumulacije je 123,00 m n. m. Tračnice su položene na koti 128,00 m n. m. Presjek tunela je u obliku potkovice, visine 6,00 m i širine 4,80 m u nivou tračnica.

Zadatak istraživanja je bio odrediti uzroke poplave, količine vode koja utiče u tunel, da bi se na kraju mogao dati prijedlog projekta sanacije.

2. PRIRODNE KARAKTERISTIKE PROSTORA

U orografskom pogledu, teren u užem prostoru pripada platou Pometenika, visoko izdignutom iznad kanjona rijeke Neretve.

U geomorfološkom pogledu, uže i šire područje istraživanog terena ima tipična kraška obilježja. Od kraških oblika dominiraju vrtače, jame, škrape i kraška, uglavnom povremena vrela, tanjirastog oblika. Zbog tektonske poremećenosti i neujednačenog nagiba terena, prisutan je veliki broj vrtača manjih dimenzija. Dno vrtača pokriveno je "terra-rossom". Jame su većih dimenzija, a u pravilu se nalaze na mjestima ukrštanja rasjeda, u dnu urušnih vrtača.

Intenzivna karstifikacija nije dozvolila formiranje stalnih površinskih tokova, tako da sve oborinske vode, koje padnu na ovakav teren vrlo brzo poniru ka tunelu, koji ima ulogu drena.

3. GEOLOŠKI ISTRAŽNI RADovi

U okviru istražnih radova i ispitivanja u cilju utvrđivanja postojećeg stanja i uslova oko tunela i u tunelu, izvedena su slijedeća geološka istraživanja i ispitivanja:

- geološko kartiranje terena u užem i širem području tunela Jedrinje;
- hidrogeološko kartiranje terena u slivnom području tunela Jedrinje;
- inženjerskogeološko kartiranje tunela i predusjeka;
- speleološka istraživanja pećine i najveće kaverne u tunelu;
- od mehaničkih ispitivanja u tunelu, izvedene su tri istražne bušotine-pijezometra, ukupne dužine 30,10 m.

4. GEOTEHNIČKA SNIMANJA, ISPITIVANJA I MJERENJA

U okviru geotehničkih istraživanja izvedeni su slijedeći radovi:

- geotehničke opservacije tunela;
- kategorizacija tunelske obloge po kvalitetu;
- registriranje oštećenja obloge;
- tunelska kategorizacija stijenske mase (RMR klasifikacija);
- registriranje glavnih prodora voda u tunel i upoređenje sa pojavama u toku građenja;
- efekti prodora voda, erozije zastora i taloženje nanosa na željeznički kolosjek, sa registracijom mikrolokacija;
- istražne sonde u kolosječnom zastoru, 10 sondi;
- uzimanje i laboratorijsko ispitivanje uzoraka kolosječnog zastora i stijenske mase;
- uzimanje i laboratorijsko ispitivanje uzoraka betonske tunelske obloge;
- uspostavljanje i realizacija monitoringa na reprezentativnim oštećenjima tunelske obloge i na nestabilnoj stijenskoj masi, 21 mjerna baza i
- geotehnički proračuni.

5. REZULTATI GEOLOŠKIH ISPITIVANJA

Teren šireg područja tunela "Jedrinje" izgrađuju naslage trijasa, jure, krede, paleogena, neogena i kvartara. Predstavljene su, u najvećoj mjeri, krečnjacima i dolomitima, kao i njihovim izmjenama u geološkom stub-profilu.

Osa tunela položena je cijelom svojom dužinom u svijetlosivim bankovitim i masivnim krečnjacima gornje krede (K_2^{2+3}).

Tektonsku građu odlikuje navlačenje gornjokrednih na donjokredne naslage u rejonu Jedrinja, te veliki broj rasjeda pravca jugozapad - sjeveroistok. Zavisno od litološkog sastava i tektonske aktivnosti, teren je u najvećoj mjeri intenzivno karstificiran sa pojavom raznovrsnih kraških oblika.

Slivno područje tunela određeno je na osnovu orografskih, geomorfoloških, geoloških i hidrogeoloških karakteristika šireg područja. Površina sliva, unutar površinske vododijelnice, iznosi 13,7 km².

Podzemne vode dreniraju se ka tunelu "Jedrinje" duž privilegiranih pravaca, sistemom pukotina i poprečnih rasjeda, kao i duž navlake koja se pruža od Pometenika i Prikojaca u pravcu "Katine", odnosno "Božine" drage. Najznačajniji izvori na tom terenu su "Brutak" i "Pišteti". Prije izgradnje akumulacije HE Salakovac, pražnjenje akvifera u slivnom području tunela se vršilo na nekoliko izvora uz rijeku Neretvu, nakon čega je došlo do stvaranja uspora kretanju podzemnih voda i njihovom isticanju u tunelu "Jedrinje", zbog formiranja akumulacije.

Na osnovu litološkog sastava i stepena karstifikacije terena, određena je hidrogeološka kategorizacija stijenskih masa. Izdvojene su slijedeće grupe stijena: stijene međuzrnske, prslinsko - pukotinske, pukotinske i pukotinsko - kavernozone poroznosti. Stijene u zoni tunela imaju dominantnu funkciju kraškog akvifera.

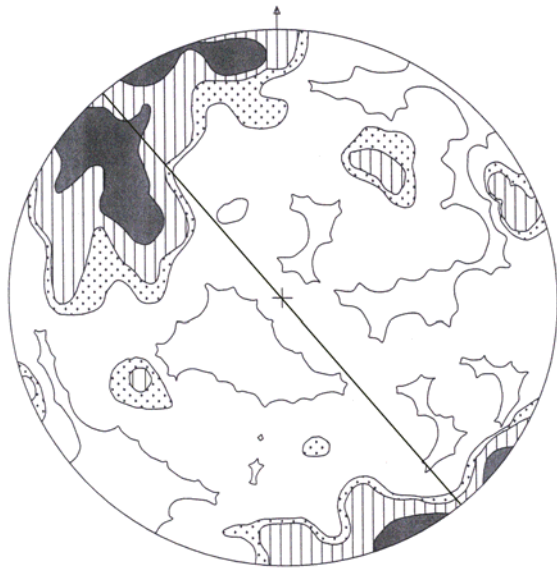
U tunelu je utvrđeno vlaženje, kapanje i isticanje, te tragovi erozije, poplave visine 0,80 m, isticanja podzemnih voda pod pritiskom.

6. INŽENJERSKO-GEOLOŠKI KARAKTERISTIKE TERENA

U inženjerskogeološkom pogledu, stijene u kojima je izveden tunnel, pripadaju grupi vezanih čvrstih sedimentnih karbonatnih stijena. Znatna karstificiranost i ispucalost uslovlila je veliku vodopropusnost, kao i vodoobilnost. To u tunelu predstavlja i najveći problem, s obzirom na pojavu velikih i naglih prodora podzemnih voda. U zonama većih rasjeda i intenzivne tektonske oštećenosti, postaju i nestabilni, te ih je potrebno podgrađivati. Nestabilnost dijelova stijenske mase, naročito je izražena u vrijeme povodnja kada dolazi do povećanja isticanja voda u tunel i hidrostatičkih pritisaka, te ispiranja i iznošenja zdrobljenog materijala i ispuna iz pukotina, rasjeda i kaverni.

7. ISPUCALOST I OŠTEĆENOST STIJENSKIH MASA

U okviru inženjerskih istraživanja, izvršeno je detaljno snimanje ispucalosti i oštećenosti stijenskih masa. Podaci vezani za pojavu rasjeda, kaverni, pukotina, prslina i ostalih diskontinuiteta, statistički su obrađeni i prikazani u vidu sinoptičkog konturnog dijagrama, datog na slici 1.



LEGENDA:

Klase	Oznaka	Zastupljenost (%)
IV		9,42
III		10,59
II		28,17
I		51,82
Σ 189 - ukupno mjerenih elemenata rupturnog sklopa		

— osa tunela

Slika 1. Sinoptički konturni dijagram pukotina

Na konturnom dijagramu se jasno izdvaja pet dominantnih familija pukotina u okviru pukotinskog sistema stijenske mase tunela. Navedene familije pukotina imaju slijedeće elemente:

Tabela 1. Elementi položaja i karakter pukotina

Familija pukotina	Elementi položaja	Karakter pukotina
1.	130 / 64°	najčešće zapunjene i djelomično kavernozne pukotine
2.	160 / 90°	najčešće otvorene i kavernozne
3.	60 / 52°	zapunjene ili zatvorene
4.	248 / 83°	najčešće djelomično otvorene
5.	216 / 52°	pretežno zatvorene

Familije pukotina sa elementima pada 130/64° i 160/90° procentualno imaju najveću zastupljenost koja iznosi 51.82 %, dok su ostale familije, manje zastupljene.

Analizirajući pružanje dominantnih pukotina i upoređujući ga sa pružanjem ose tunela, može se zaključiti da dominantni diskontinuiteti gotovo upravno ili dijagonalno, odnosno pod određenim uglom presijecaju tunel. Ovakvo pružanje pukotinskih diskontinuiteta, kao i ustrmljeni, subvertikalni nagibi, u otvorenim pukotinama omogućavaju brzu cirkulaciju podzemnih voda i dreniranje ka tunelu i rijeci Neretvi.

U tunelu su registrirane i potpuno zdrobljene zone metarskih veličina, a koje, u osnovi, predstavljaju rasjede koji presijecaju tunel.

8. REZULTATI GEOTEHNIČKIH ISPITIVANJA I MJERENJA

Geotehničkim opservacijama tunela ustanovljena je različita građa stijenske mase, uslijed čega su primijenjena četiri tipa betonske obloge i jedan tip bez obloge (torkret u kaloti).

Na temelju opservacija, zaključeno je slijedeće:

- Tunelska obloga u većem dijelu ima dovoljan koeficijent sigurnosti i pored određenih oštećenja i velikih segregacija betona u oblozi;

- Najveća oštećenja nalaze se na ulazu i izlazu tunela, što je redovna pojava kod ovakvih tunela (na tim dijelovima potrebna je sanacija);
- Dionice kod kojih je zaštita izvedena samo sa torkret betonom u kaloti, imaju nizak stepen sigurnosti, a ima i pojava većih odlamanja stijenskih blokova, te je potrebno izvesti sanacione mjere u vidu dopunskih stabilizacionih elemenata;
- U betonskoj oblozi postoji i određeni broj oštećenja u vidu pukotina, koje su i dalje aktivne, ali za sada ne dovode u pitanje generalnu stabilnost tunelske obloge, već samo lokalnu.

Kategorizacija tunelske obloge po kvalitetu

Na osnovu snimanja izvršena je kategorizacija tunelske obloge, sa stanovišta oštećenosti, odnosno, stabilnosti tunelskog otvora.

Sa ovog stanovišta, izdvojene su tri kategorije sa dvije podkategorije tunelske obloge:

- Dobar kvalitet betonske obloge ... tunelska obloga bez oštećenja i segregacije betona (tip IVa i IIIa);
- Srednje dobar kvalitet betonske obloge ... obloga bez oštećenja, ali sa većim segregacijama betona (tip III), i
- Loš kvalitet betonske obloge ... obloga deformirana, sa većim pukotinama, jačim segregacijama i mjestimičnim ispadanjem slomljenih fragmenata betona (tip II).

Tunelska kategorizacija stijenskih masa

Duž tunela je izvršena klasifikacija stijenske mase prema tzv. "RMR" sistemu (Rock Mass Rating), koja je ustaljena u savremenoj tunelskoj praksi, kao i zoniranje dionica prema kvazihomogenosti stijenskih masa.

Prema ovoj klasifikaciji, veći dio tunela se nalazi u kategoriji III i IV (povoljna i slaba stijenska masa), i tu je izvedena tunelska betonska obloga (kvazihomogene zone B i C).

Na dionicama tunela kategorije II (dobra stijenska masa) izvršena je stabilizacija samo kalote sa jednim slojem torkreta, što se pokazalo nedovoljnom zaštitom, te je potrebno izvršiti ojačanje podgradnog sistema (kvazihomogena zona A).

Registriranje i efekti glavnih prodora voda u tunel

Usljed ulaska podzemnih voda u tunel, na mnogim mjestima ugrožen je gornji stroj pruge, odnosno, željezničke šine, pragovi i kameni zastor.

Ovi štetni efekti izražavaju se na sljedeće osnovne načine:

- Uspostavljanje površinskog toka kroz tunel dubine i preko 0,60 m iznad GIŠ-a, koji potpuno blokira željeznički saobraćaj;
- Erozijsko odnošenje kamenog zastora usljed direktnog isticanja voda na kolosijek;
- Površinsko oticanje voda, što je naročito izraženo na ulazi i izlazu tunela, jer su tu dubine velikih voda oko 0,60 m iznad GIŠ-a;
- Prodori voda ispod željezničke pruge, usljed čega dolazi do izdizanja kolosijeka od oko 25 – 30 cm;
- Taloženje nanosa na kolosijek iz stijenskog masiva ili uslijed erozije zastora;
- Blokiranje saobraćaja, nakon završenih poplava, zbog velikog deformiranja kolosijeka i erodiranja nanosa, zbog čega su potrebni duži periodi da bi se izvršile sanacije i ponovo uspostavio saobraćaj.

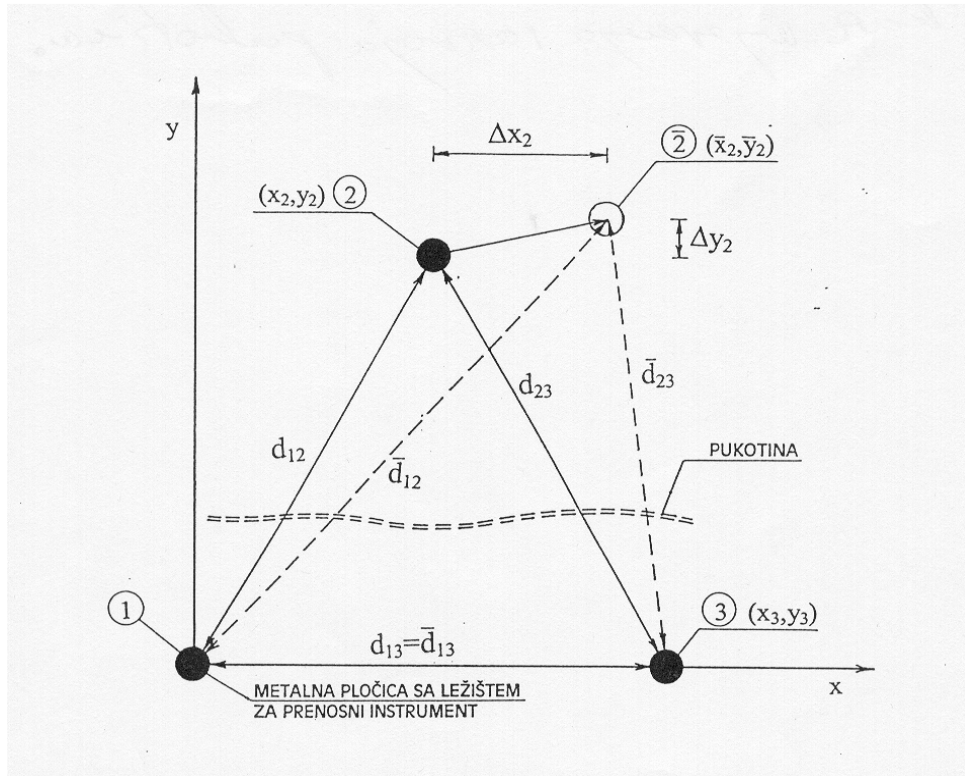
Istražne sonde u kolosiječnom zastoru

Ova istraživanja pokazala su sljedeće:

- Odvodni kanal nije u funkciji, jer je zatrpan ugljenom prašinom i kamenim materijalima iz zastora.
- Kolosječni zastor je ispunjen ugljenom prašinom, te je tako postao slabo vodopropustan.

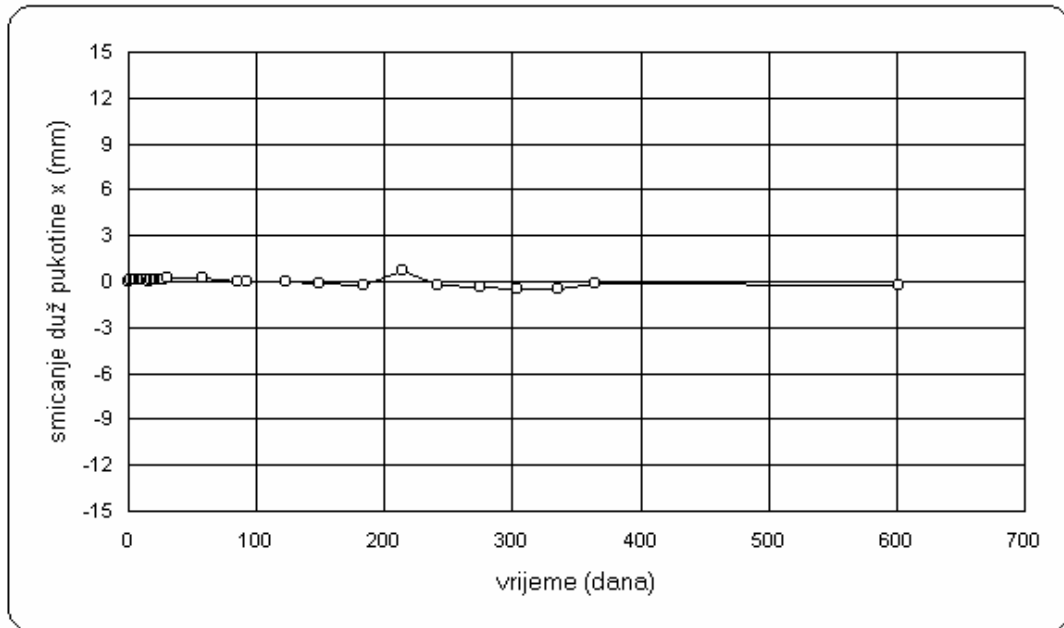
Monitoring na reprezentativnim oštećenjima tunelske obloge i na nestabilnoj stijenskoj masi

Na osnovu rezultata osmatranja, zaključilo se da postoje pomjeranja stijenske mase duž diskontinuiteta i otvaranje i smicanje duž pukotina u betonskoj oblozi.



Slika 2. Shema razvoja pukotina na mjernim bazama

Registrirane vrijednosti su od 0,03 do 0,19 mm, što se može smatrati relativno velikim vrijednostima za period od svega 75 dana. Pored toga, konstantan je prirast pomjeranja.



Slika 3. Dijagram razvoja pukotina

Rezultati ovih mjerenja upućuju na potrebu sanacionih zahvata koja se predlažu u nastavku.

9. TEHNIČKA RJEŠENJA SANACIJE TUNELA

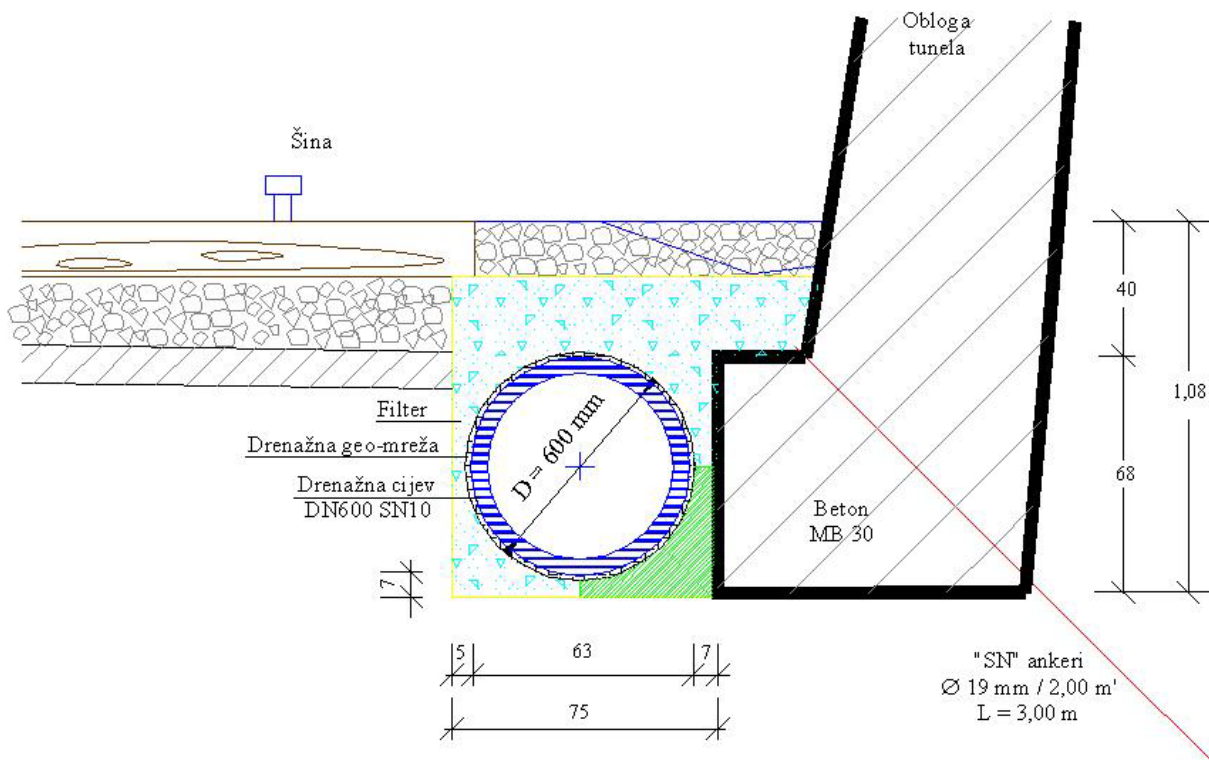
Kao tehnička rješenja za sanaciju tunela predlažu se sljedeće opcije:

- Umjesto postojećeg zatvorenog kanala, predlažu se drenažni sistemi za prihvat i evakuaciju voda.
- Poprečne drenaže su neophodan element ukupnog drenažnog sistema.
- Obilazni drenažni tunel koji bi bio izgrađen pored postojećeg u dužini od cca 160 m na ulaznoj strani (gledano iz pravca Sarajeva), jer se tu formira najveći poplavni talas.
- U sklopu ovog tunela treba da se nalaze ulazna i izlazna građevina, koje imaju zadatak da usmjere vode ka tunelu, te da ih na kraju usmjere ka postojećoj bujičnoj uvali na izlazu iz tunela.
- Sa tehničkim rješenjem se ne spriječava prodor voda u tunel, nego se one prihvataju i kontrolisano i brzo odvođe iz tunela.
- Veoma složeno je rješenje podužnih drenova $\varnothing 400$ mm i $\varnothing 500$ mm, kod kojih se postavlja uslov visokog stepena sigurnosti u slučaju začepjenja.

Potrebno je zadovoljiti osnovni princip:

- *sitne čestice se propuštaju kroz filter, dok se krupne zadržavaju na filteru.*

Ovo se postiže oblaganjem drenažne cijevi drenažnim mrežama koje se zasipaju mješovitim filterom propisane granulacije (slika 4.).



Slika 4. Detalj drenažne cijevi

Ograničenja za predložena tehnička rješenja

Kod izbora projektnih rješenja odvođenja voda iz tunela potrebno je ispoštovati slijedeće geotehničke uslove:

- Zbog potrebe određenih radova i iskopa oko temelja betonske obloge, neophodno je temelje osigurati pomoću ankera.
- Na dionicama gdje se pojavljuju prodori voda u kolosiječnom zastoru i izdizanja kolosijeka, rješenja se predlažu u postavljanju drenažnih tepiha, drenažnih bušotina, te prosijecanjima odvodnih kanala.
- Na dionicama gdje su veća oštećenja obloge, predložene su sanacije u vidu postavljanja stijenskih ankera, a na mjestima gdje nema betonske obloge, dodaje se novi sloj torkret-betona i stijenski ankeri.

10. LITERATURA

- (1) Šestanović, S. (1993). Osnove inženjerske geologije – primjena u graditeljstvu, Split.
- (2) Dokumentacija Građevinskog fakulteta u Sarajevu. (2003). Istraživanja u tunelu Jedrinje.
- (3) Dokumentacija ŽFBiH. (2003). Opažanja vodnih pojava u tunelu Jedrinje, Mostar.
- (4) Mojićević, M., Laušević, M. (1973). Osnovna geološka karta i tumač za list Mostar. Savezni geološki zavod, Beograd.