

**PROCENA STANJA I SANACIJA TUNELA „LIPE“ NA ŽELEZNIČKOJ PRUZI
BEOGRAD - NIŠ****ASSESSMENT OF THE CONDITION AND REPAIR OF THE TUNNEL „LIPE“ ON THE
RAILWAY BELGRADE - NIS**Miroslav Novaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – Rad se sastoji od dve celine. Prvi deo rada predstavlja teorijsko-istraživački deo sa temom Tuneli i materijali i oprema za izgradnju tunela. Drugi deo rada je stručni rad u kome su prikazani vizuelni pregled tunela, čiji su rezultati poslužili za analizu i procenu stanja objekta, i predlog mera za sanaciju tunela.

Ključne reči: tuneli, kamena obloga, procena stanja, prodor vode, sanacione mere,

Abstract – This paper consists of two units. The first part of the paper is a theoretical and research part related to tunnels and materials and tunnel construction equipment. The second part of the paper is an expert part which covers the visual inspection of tunnel, analysis and assessment of the condition of this facility, as well as a proposal for its rehabilitation.

Keywords: tunnels, stone cladding, condition assessment, water penetration, repair measures,

1. UVOD

Tuneli su podzemni objekti koje, od praistorije do danas, ljudi koriste za razne potrebe. U praistoriji za skrovišta a danas za transport ljudi i dobara, skladišta i dr.

Tunel „Lipe“ se nalazi na pruzi Beograd – Niš i u funkciji je od 1925. Tunel ima problem sa prodorom vode iz okolnog tla ka unutrašnjosti tunela i odvodom te vode van tunela. Posmatrajući izveštaje o sanacijama koje su se obavljale u toku eksploatacije može se zaključiti na kojim delovima je problem prodora vode izraženiji.

U prvom delu rada su opisani tunelski objekti, tehnike izgradnje podzemnih objekata, materijali i oprema za izgradnju tunelskih objekata, materijali i oprema za injektiranje, tehnologija injektiranja.

Drugi deo rada odnosi se na analizu i procenu stanja objekta, sanaciono rešenje tunela, šemu izvođenja predloženog sanacionog rešenja.

2. TUNELI

Tuneli predstavljaju podzemne objekte različitih namena.

U praistoriji koristili su se kao skloništa i staništa, a u današnjim vremenima, od polovine 19-oga veka, grade se kao delovi puteva, železnica, hidrotehničkih objekata,

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

rudnika, skloništa i dr. Grade se novim metodama i materijalima, uz stalno usavršavanje, posebno u proizvodnji novih materijala koji se koriste u tunelogradnji.

Prvi železnički tunel izgrađen je u Francuskoj početkom 19-oga veka, 1826-1833, dužine 1500m i dimenzija u poprečnom preseku $\text{Š} \times \text{V} = 3 \times 5 \text{m}$. Kao vuča u to vreme su se koristili konji. Poslednjih nekoliko decenija primetan je rast izgradnje tunelskih objekata, posebno u velikim gradovima, gde se tuneli koriste kako bi se saobraćaj ali i razne instalacije izmestili u podzemni prostor.

Tako se u gradskim zonama tuneli koriste za putnički, železnički saobraćaj i, najvažnije, za razvoj što većeg broja linija podzemnog metroa. Takođe tuneli se koriste i za izmeštanje kanalizacione, vodovodne, telekomunikacione i elektro mreže.

2.1. Metode i tehnike izgradnje

U radu je izvršena podela na staru i novu tehniku izgradnje tunela.

Stare tunelske metode podrazumevale su upotrebu drvne pograde kao primarne konstrukcije, nakon čega se počinjalo sa obziđivanjem, odnosno izradom sekundarne obloge tunela obično od kamena, ređe od opeke. Zidalo se odozdo na gore, klesanim ili lomljenim kamenom.

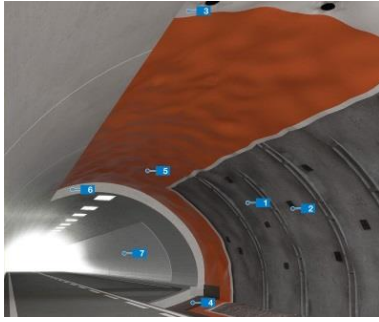
Osnovni koncepti Nove austrijske tunelske metode (NATM) se razmatraju za svaki projekat tunela ponaosob, usled različitosti i posebnosti inženjersko-geoloških i geotehničkih osobina tla u kom se tunel gradi.

Kod ove metode, opšte posmatrano, postoje tri elementa koji čine poprečni presek tunelske konstrukcije. To su, primarna obloga (noseća), hidroizolacioni materijali i sekundarna obloga (AB konstrukcija) koja daje finalni oblik tunelskog/podzemnog prostora (slika 1).

2.3. Materijali i oprema za injektiranje

U zavisnosti od vrste konstrukcije, materijala u kom se konstrukcija gradi i tehnologije kojom se izvode radovi, generalno se razlikuju tri vremenski definisane vrste injektiranja:

- injektiranje neposredno pre iskopa,
- injektiranje paralelno, ili neposredno nakon iskopa i
- injektiranje nakon što je iskop završen, tj. sanaciono injektiranje.



Slika 1: Presek tunela

Kod NATM tehnologije izvođenja tunelskih radova, u slučajevima kada se koristi zaštitni „kišobran“ od čeličnih cevi, ubušnim po kontruri iskopa kalotnog dela, injektiranje se izvodi neposredno pre iskopa. Injektiranje u ovom slučaju obezbeđuje ojačanje tla u delu planiranog za iskop tunela, poboljšanje karkteristika tla, njegove stabilnosti i koherentnosti.

Kod izgradnje tunela posebnu ulogu igraju savremeni materijali za injektiranje koji reaguju sa vodom, odnosno, u dodiru sa vodom menjaju svoju strukturu. Poliuretanske smole su najpupularniji tip injekcionih rešenja, i koriste se više od 35 godina. Poliuretanske smole obuhvataju veliku familiju injekcionih rešenja. Generalno, mogu se podeliti u tri grupe, prepoznate u industriji:

1. Poliuretani koji reaguju u dodiru sa vodom;
2. Dvokomponentne smole (poli-isocijanid kombinacije) i
3. Dvokomponentni poliuretani - elastomeri.

Poliuretani koji reaguju u dodiru sa vodom se dalje mogu podeliti u dve grupe:

1. Hidrofobni poliuretani prepolimeri i
2. Hidrofilne poliuretani prepolimere.

U ponudi nekih od proizvođača mogu se pronaći rešenja prema grupama proizvoda:

1. Poliuretanski sistemi;
2. Epoksindi sistemi i
3. Cementni i PMMA sistemi.

Oprema za injektiranje zavisi od materijala kojim se injektira kao i od vrste injektiranja. U slučaju konsolidovanog injektiranja, kojim se stenska masa pre iskopa ojačava i konsoliduje, proizvođači, kao što je Atlas Copco ili BASF, nude pumpe za injektiranje sa agitatorima, mešalicama za cementnu injekcionu masu.

Za injektiranje pukotina, prslina kao i za rešavanje problema prodora vode kroz tunelsku oblugu tu je širi izbor proizvođača, ali i rešenja i opreme (sslika 2). Neki od proizvođača su SIKA, TKK, BASF, MAPEI, MC i drugi.

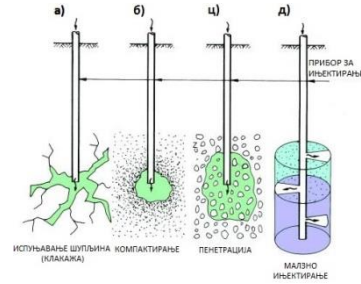


Slika 2: Injecione baterije

2.4. Tehnologija injektiranja u tunelima

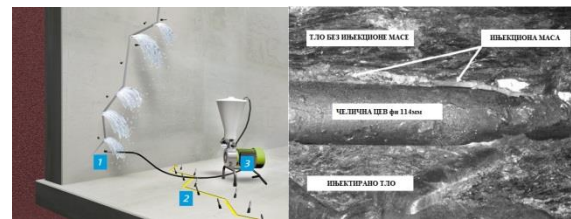
Injektiranja se mogu podeliti u četiri grupe, prema B.Popoviću, i to (slike 3 i 4):

- kontaktno injektiranje - ispunja šupljina na kontaktu betona i stenske mase;
- vezano injektiranje - povezivanje u konstruktivnu celinu obloge i stenske mase;
- konsolidovano injektiranje - poboljšanje mehaničkih karakteristika stena i
- naponsko injektiranje.



Slika 3: Šematski prikaz mogućih vrsta injektiranja

Injektiranje se obavlja upotrebom pumpi koje injekcionu masu ubrizgavaju pod pritiskom.

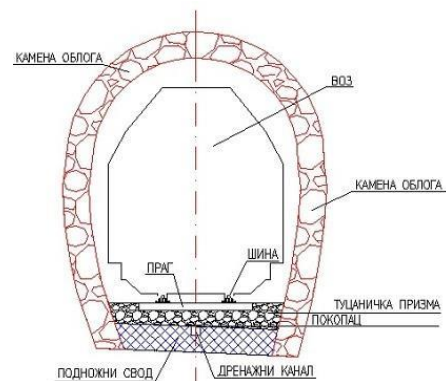


Slika 4: Sanaciono i konsolidovano injektiranje

3. PROCENA STANJA TUNELA

3.1 Tehnički opis

Tunel Lipe je građen od 1923. do 1925. godine starim metodama gradnje tunela. Prvobitno tunel je građen za železnicu sa parnom vučom, da bi bio elektrifikovan 1968. godine. Tunel je dužine 935,60m. Celom dužinom tunel je obzidan kamenom, a ima AB podnožni svod, koji je izgrađen naknadno, u skolpu sanacija, koje su se izvodile u prethodnim godinama (slika 5). Tunel je izgrađen od kamenih blokova od pločasto doteranog i bunjasto lomljenog kamena, u oporcu nepravilne konture 30*60cm i pravilnije kontrure 30*50cm u kalotnom delu, debljine 20-30cm. Podnožni svod je izgrađen od betona, armiran čeličnim mrežama.



Slika 5: Poprečni presek tunela

3.2 Pregled dostupne tehničke dokumentacije

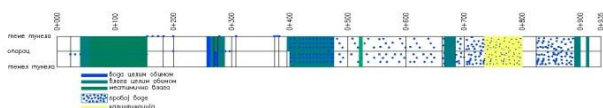
Dokumentacija dostupna prilikom izrade ovog Master rada predstavlja veliku pomoć u osnovi i početku pregleda konstrukcije tunela. Dostupna je sledeća dokumentacija:

1. **GLAVNI PROJEKAT** za obnovu glavnom opravkom deonice pruge tunel Straževica (ulaz) – Jajinci – Mala Krsna – Velika Plana od km 9+896 do km 67+800;
2. **GLAVNI PROJEKAT** sanacije tunela „Lipe“ od km 33+280,70 do km 34+216,30;
3. **TEHNIČKI IZVEŠTAJ** uz Glavni projekat sanacije tunela „Lipe“

3.3 „Istorija“ procene stanja tunela „Lipe“

U ovom delu je dat prikaz lokacija registrovanih oštećenja tokom proteklih godina eksploatacije. Podaci su preuzeti iz prethodnih Elaborata o proceni stanja ovog tunela, sa idejom da se lociraju najoštećenije zone.

Na slici 6 je dat grafički pregled lokacija vlage, vode i kalcifikacije u podužnom preseku tunela, koje su uočene u toku prethodnih sanacija,.



Slika 6: Istorija oštećenja tunela stanja

3.4 Vizuelni pregled objekta i uočena oštećenja

Detaljnim vizuelnim pregledom utvrđeno je jako prisustvo vode, vlage, pojave kalcifikacije i staltkita, ispranih malteriskih spojnica, kao i oštećenja na podnožnom svodu i drenažnim odvodnim kanalima. Na mestima ranijih sanacija postoje „zakrpe“ od betona, koje su nastale usled sanacija na mestima gde se tunel obrušio lokalno, odnosno na mestima gde je došlo do ispiranja spojnica između kamenih blokova.

Barbakane u kalotnom delu tunela su u funkciji. Drenažni odvodni kanal na većini mesta je van funkcije, zatvoren i blokiran odvod, usled nagomilanog materijala u njemu, koji dovodi do pojave stajaće vode u kanalu i sabiranje vode na jednom mestu. Na početku i na kraju tunela, ulazni i izlazni portal, uočena je pojava mahovine i lišajeva. Jako procurivanje vode prisutno je na gotovo svim dilatacionim spojnica između kampada, usled čega je došlo je do ispiranja maltera i do stvaranja naslaga kao posledica procesa kalcifikacije na nekim mestima (slika 7).

3.5 Procena stanja objekta

Na objektu je primetno prisustvo vode, vlage i kalcifikovanih naslaga - stalaktita. Sistem barbakana je usled starosti i slabog održavanja delimično funkcionalan.

Malterske spojnice između pojedinačnih kamenih blokova su u jako lošem stanju, malter je trošan ili je ispran.

Jako podiranje vode kroz tunelsku oblogu sa rastvaranjem, ispiranjem i taloženjem rastvorenog i ispranog materijala je registrovano na nekoliko stacionaža (KM 0+400 - KM 0+900), a posebno je naglašeno u delu KM

0+730 do KM 0+800, pa je na tim mestima pod znakom pitanja i nosivost i stabilnost tunelske obloge.

Zone bez prodora vode i vlage se nalaze na ulazu i izlazu iz tunela i na deonicama KM 0+200 do KM 0+260 i od KM 0+300 do KM 0+370

Kvalitet kamene obloge je proveren udarcima čekića, i time utvrđeno da nema odvaljivanja kamena i da je kamen dobrog kvaliteta.



Slika 7: Karakteristična oštećenja kamene obloge i podnožnog svoda

Na osnovu analize svih prikupljenih podataka zaključeno je:

- **Nosivost** konstrukcije je delimično redukovana zbog ispranih i trošnih malterskih spojnica;
- **Stabilnost** je ugrožena na pojedinim deonicama, a naročito na deonici KM 0+630 do KM 0+750;
- **Funcionalnost** objekta je smanjena trenutnim stanjem objekta;
- **Trajnost** objekta je značajno smanjena.

4. SANACIONO REŠENJE

Sanacija je podeljena na četiri celine, prema delovima konstrukcije tunela na:

1. sanacija kalotnog dela;
2. sanacija u oporcima;
3. sanacija u podnožnom svodu;
4. sanacija drenažnog sistema.

Sanacija se sastoji u sprečavanju prodora vode i obezbeđenju vodonepropustljivosti kalote i vraćanju potrebne nosivosti kamene obloge.

Vodonepropustljivost će se obezbediti na dva načina:

- u zonama sa jakim prodorom vode vodonepropustljivost se obezbeđuje stvaranjem membrane od poliakrilnog gela injektiranjem hidrostrukturnih smola u prostor iza kamenog obzida tunela i
- u vlažnim zonama kalote injektiranjem poluretanske smole.

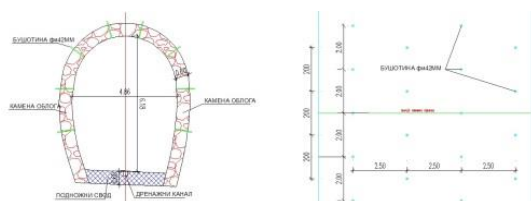
4.1 Sanacija - obezbeđenje vdonepropustljivosti

Predviđeni su materijali proizvođača SIKA (*Sika*®). Za sanaciju predviđena je upotreba sledećih materijala:

- u delovima gde je jak priliv vode, Sika® Injection-304, elastični poliakrilni gel,
- u delovima vlažne ili suve kamenene obloge Sika® Injection-203, elastična PUR (poliuretanska) injekciona smola.

U delovima gde je evidentiran jak priliv vode neophodna je upotreba materijala koji u kontaktu sa vodom reaguju i pretvaraju se u gel ili penu, kako bi se u kratkom vremenskom intervalu sprečilo ispiranje ugrađenog materijala i, u isto vreme, zatvorili svi prodori vode.

Injektiranje će se obaviti prema šemi prikazanoj na slici 8.



Slika 8: Šeme izrade bušotina za injektiranje

U radijalnom pravcu bušotine se raspoređuju na razmaku od 2m, dok u podužnom pravcu, razmak iznosi 2.5m. Ovakav raspored bušotina može biti redukovan, u zavisnosti od mikro-geoloških uslova, što se dokazuje istražnim radovima na pojedinim lokacijama na samom gradilištu u toku izvođenja radova. Bušotina mora biti 10tak cm duža od debljine kamene obloge, zbog potrebe da injekciona masa prodre neposredno iza kamene obloge tunela, ali ne previše „daleko“ od obolge kako trošak materijala, ali i učinkovitost, ne bi bili smanjeni.

Za injektiranje vlažnih i suvih delova koristiće se Sika® Injection-203, elastična PUR (poliuretanska) injekciona smola.

Za zaptivanje dilatacionih spojnica između kampada tunela odabrani su SikaSwell®-P Profiles, bubreći profili.

4.2 Sanacija – vraćanje nosivosti

Ovim radovima je predviđena reprofilacija malterskih spojnica između kamenih blokova. Za reprofilaciju je predviđena tehnika „repointing“ koja obuhvata čišćenje spojnica do dubine od max 10cm pomoću odgovarajućeg ručnog alata (dleta, špicevi i čekići) i popunjavanje cementnim malterom pomoću „pištolja“ za ubrizgavanje. Klasu maltera je potrebno uskladiti sa čvrstoćom kamena. Klasa maltera mora biti niža od čvrstoće kamena pri pritisku. Konzistenciju maltera treba prilagoditi opremi i popunjavanju spojnica „iznad glave“ (malter mora biti tiksotropan).

4.3. Sanacija – podnožni svod

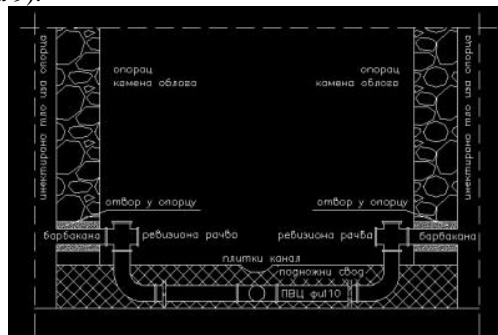
Sanacioni radovi na podnožnom svodu se mogu podeliti u dve grupe, i to:

1. sanacija pukotina i prslina i
2. sanacija oštećenih delova.

Kod sanacije pukotina i prslina koristiće se reparaturni malteri i metode rada usecanja i zapunjavanja prslina ili pukotina. U ovom slučaju koristiće se Sikadur®-31 CF Normal. Kod sanacije oštećenih delova biće premenjena reprofilacija oštećenog delova betona novim betonom odgovarajuće klase.

4.4 Sanacija – dranažni sistem

Sanacija dranažnog sistema podrazumeva saniranje postojećeg kanala u podnožnom svodu i izradu novog sistema koji će povezati barbakane i kontrolisano izvesti vodu, prikupljenu barbakanama, van tunela. Ovaj sistem se postavlja na sredini svake kampade, pa je međusobni razmak dva otvora u oporcima i kompletnog sistema 6m (slika 9).

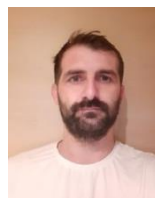


Slika 9: Drenažni sistem u preseku tunela

5. LITERATURA

- [1] Malešev M., Radonjanin V.: Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] V. Radnjanin, M. Malešev, T. Kočetov-Mišulić, R. Lekić: Materijal sa predavanja iz predmeta Oštećenja i sanacije drvenih, čeličnih i zidanih konstrukcija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] J.Ковачевић, Основне концепције Нове аустијске тунелске методе
- [4] Alex Naudts, Irreversible Changes in the Grouting Industry Caused by Polyurethane Grouting: An overview of 30 years of polyurethane grouting
- [5] Д.Лукић, А.Панчић, М.Војиновић-Пурчар, Напонско ињектирање стенских маса – Анализа напонског стања
- [6] <https://srb.sika.com/>- Tehnički podaci o materijalima
- [7] М.Власинић, ЦИП, Технички извештај уз Главни пројекат санације тунела „Луна“

Kratka biografija:



Miroslav Novaković je rođen u Priboju, 1983. godine. Osnovne akademske studije građevinarstva- konstruktivni smer, završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine. Diplomski rad je radio iz predmeta Tehnologija betona na temu "Projekat betona mosta leve saobraćajne trake na Koridoru 11, na deonici Auto-puta Lajkovac – Ljig". Master akademske studije građevinarstva, smer – konstrukcije, upisao je iste godine. Master rad iz oblasti Sanacija zidanih, drvenih i čeličnih konstrukcija uradio je i odbranio u 2020. godini.