

IZGRADNJA PUTNIH TUNELA NA KORIDORU AUTOPUTA VC SA POSEBNIM OSVRTOM NA TUNEL KOBILJA GLAVA/CONSTRUCTION OF ROAD TUNNELS ON THE VC HIGHWAY CORRIDOR WITH SPECIAL REFERENCE TO THE KOBILJA GLAVA TUNNEL

¹Nadir Halilbegović, ² Ermedin Halilbegović

²Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku, Aleja Konzula – Meljanac bb, 72270, Bosna i Hercegovina

email: n.halilbegovic@ppg.ba, halilbegovic.ermedin@iu-travnik.com

UDK / UDC 625.73:625.8(497.6)
Stručni članak

Sažetak

Na cestama u Bosni i Hercegovini trenutno je u upotrebi preko 80 tunela. To su većinom jednocijevni tuneli, s tim što se posljednjih godina uz tunele koji su duži od 500 m izvodi i servisna cijev. Na Koridoru Vc kroz Bosnu i Hercegovinu izgradnja tunela je započela 2008. godine i to na Sarajevskoj obilaznici. Na Koridoru Vc kroz Bosnu i Hercegovinu je bila planirana izgradnja 57 tunela. Izmjenama trase, broj tunela je smanjen na trenutnih 51. Dužina izgrađenih tunelskih cijevi iznosi oko 26,5 km, trenutno je u izgradnji oko 22 km tunelskih cijevi, a ukupna dužina tunelskih cijevi planirana za izgradnju iznosi oko 120 km. U radu se daju neke specifičnosti izgradnje tunela Kobilja Glava koji se gradi u sklopu I transferzale. Zbog loših karakteristika stijenske mase – lapora, prilikom iskopa u desnoj tunelskoj cijevi u tunelu Kobilja Glava izmjerena su velika slijeganja kako u tunelu tako i na površini terena. Iz navedenih razloga došlo je do preprojektovanja tunela, odnosno usvojen je manji poprečni profil.

Ključne riječi: tunel, koridor, izgradnja, zaobilaznica, sidra, cijevni štit,

Summary

Over 80 tunnels are currently in use on the roads in Bosnia and Herzegovina. These are mostly single-tube tunnels, with the fact that in recent years, along with tunnels that are longer than 500 m, a service tube has also been constructed. On Corridor Vc through Bosnia and Herzegovina, the construction of the tunnel began in 2008, on the Sarajevo bypass. The construction of 57 tunnels was planned on Corridor Vc through Bosnia and Herzegovina. With route changes, the number of tunnels has been reduced to the current 51. The length of the constructed tunnel tubes is about 26.5 km, currently about 22 km of tunnel tubes are under construction, and the total length of the tunnel tubes planned for construction is about 120 km. The paper presents some specifics of the construction of the Kobilja Glava tunnel, which is being built as part of the 1st transfer hall. Due to the poor characteristics of the rock mass - marl, during the excavation in the right tunnel tube in the Kobilja Glava tunnel, large settlements were measured both in the tunnel and on the ground surface. For the aforementioned reasons, the tunnel was redesigned, i.e. a smaller cross-section profile was adopted.

Keywords: *tunnel, corridor, construction, bypass, anchors, piperroof*
JEL classification of work: L Industrial Organization

1. UVOD

Na cestama u Bosni i Hercegovini trenutno je u upotrebi preko 80 tunela. To su većinom jednocijevni tuneli, s tim što se posljednjih godina uz tunele koji su duži od 500 m izvodi i servisna cijev, kao što su tuneli Karaula (902 m) na dionici Olovo – Kladanj i tunel Žaba (975 m) na dionici Neum – Stolac.

U toku je izgradnja tunela Novi (899 m) na južnoj zaobilaznici Mostara. Uporedo sa izgradnjom novih tunela vrši se i sanacija postojećih cestovnih tunela: Ormanica, Barevo III, Ivan, Karaula, Užljebić, itd.

U sklopu Prve transverzale u Sarajevu započeta je izgradnja dvocijevnog tunela Kobilja Glava dužine 640m. Izgradnjom ovog tunela očekuje se smanjenje gužvi na sjevernom ulazu u Sarajevo. U posljednjih 20 godina, tuneli se grade prema smjernicama koje se temelje na austrijskim smjernicama za projektovanje i građenje tunela.

Svi novi tuneli su projektovani poštujući najviše standarde za sigurnost i u skladu sa Direktivom 2004/54/EZ Evropskog parlamenta o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele u transevropskoj cestovnoj mreži. Prvi tuneli na autocestama u Bosni i Hercegovini izgrađeni i pušteni u promet su tuneli Klačnice (477 m) i Laktaši (391 m) na dionici autoceste Banja Luka – Gradiška.

Na Koridoru Vc kroz Bosnu i Hercegovinu izgradnja tunela je započela 2008. godine i to na Sarajevskoj obilaznici izgradnjom tunela Oštrik i Vukov Gaj. Nedugo zatim, započinju radovi na izgradnji tunela 1. mart (prethodno Vijenac), koji je probijen 2013. godine. Tunel 1. mart je pušten u promet 2014. godine i trenutno je najduži tunel u upotrebi na autocestama u Bosni i Hercegovini (2 949 m).

Iste godine završava se izgradnja i puštanje u promet tunela na dionici Vlakovo – Tarčin: Gaj, Igman, Vis, 25. Novembar i Grab. Pored ovih tunela, izgrađeni su i u upotrebi i tuneli na Zeničkoj zaobilaznici: Hum, Pečuj, Ričice i Klopče, tunel Ivan na dionici Tarčin – Konjic i tunel Bijela Vlaka na dionici Počitelj – Bijača.

Trenutno se izvode radovi na izgradnji tunela Golubinja, Zenica, Putnikovo Brdo 1 i Hrastik. Generacijski projekat izgradnje tunela na Koridoru Vc predstavlja izgradnja tunela Prenj dužine veće od 10 km, koji će, kada bude izgrađen, biti deseti najduži cestovni tunel u Evropi. Trenutno se nalazi u fazi tenderisanja, a izgradnju finansiraju EBRD, EIB i EU-WBIF.

Dužina izgrađenih tunelskih cijevi iznosi oko 26,5 km, trenutno je u izgradnji oko 22 km tunelskih cijevi, a ukupna dužina tunelskih cijevi planirana za izgradnju iznosi oko 120 km, što projekat izgradnje Koridora Vc u Bosni i Hercegovini sasvim sigurno čini jednim od najvećih infrastrukturnih projekata na ovim prostorima. Na slici 1. daje se pregled tunela: izgrađenih, u izgradnji, tenderi u toku te projektovanje u toku.



Gradnja objekata niskogradnje, zbog složene geološke građe i konfiguracije terena, nerijetko je praćena izgradnjom kompleksnih potpornih konstrukcija. Optimalna projektna rješenja za prethodno navedene probleme, koji se gotovo svakodnevno susreću u građevinskoj praksi, zahtijevaju kombinaciju znanja i iskustva inženjera geotehničara.

Ovde je važno napomenuti da su tuneli veoma specifični i zahtjevni objekti. Kod tunela se obično istražni radovi - bušotine izvode na ulaznom i izlaznom portalu, a geofizika se radi po osi tunela. Neracionalno je izvoditi istražne bušotine po cijeloj trasi tunela zbog velikog nadsloja. U praksi se pokazalo da skoro kod svih tunela mi stvarne geološke karakteristike terena dobijemo tek prilikom iskopa tunelskih cijevi.

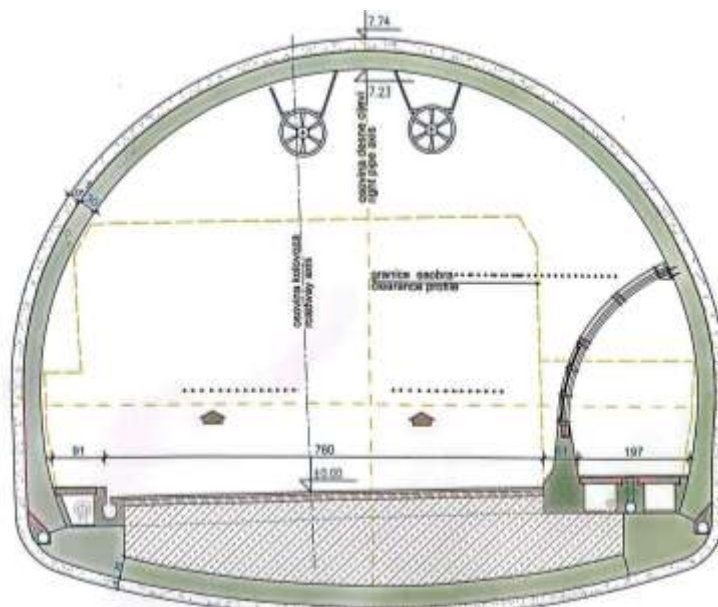
Naime, ovde se nakon svakog koraka iskopa vrši geološko kartiranje čela iskopa, odnosno klasifikacija stijenske mase, najčešće po RMR-u. Na osnovu ovog kartiranja se određuje tip podgrade. U heterogenim flišnim sredinama se vrši predbušenje u čelu iskopa u dužini cca 10m, u cilju dobijanja informacija o kvalitetu stijenske mase u narednim koracima iskopa.

2. TUNEL KOBILJA GLAVA

Tunel "Kobilja Glava" je urbani tunel i gradi se u sklopu projekta povezivanja Vogošće sa Sarajevom, dionica Vogošća-Sarajevo: I. Transferzala. Gradnja ovog tunela je počela u junu 2022.godine. Tunel „Kobilja glava“ se izvodi sa dvije tunelske cijevi, na međusobnom razmaku osi cijevi od minimalno 25,0 m. Predviđene ukupne dužine tunelskih cijevi, koje uključuju podzemni iskop i portalne građevine, su:

- Desna tunelska cijev $L = 635,10$ m (24,00m portalne građevine)
- Lijeva tunelska cijev $L = 638,85$ m (24,00m portalne građevine)

U Glavnom projektu je bilo predviđeno da ovaj tunel ima biciklističku i stazu za pješake. Dimenzije ovog tunela prema projektu su iznosili 13x9m. Ovo je trebao biti prvi tunel izgrađen u ovim gabaritima. Poznato je da su svi tuneli na autoputu koridora Vc izvode u gabaritima 11x8m. Na slici 2 daje se poprečni presjek tunela prema Glavnom projektu.



Slika 2: Poprečni presjek tunela dimenzija 13x9 m (2)

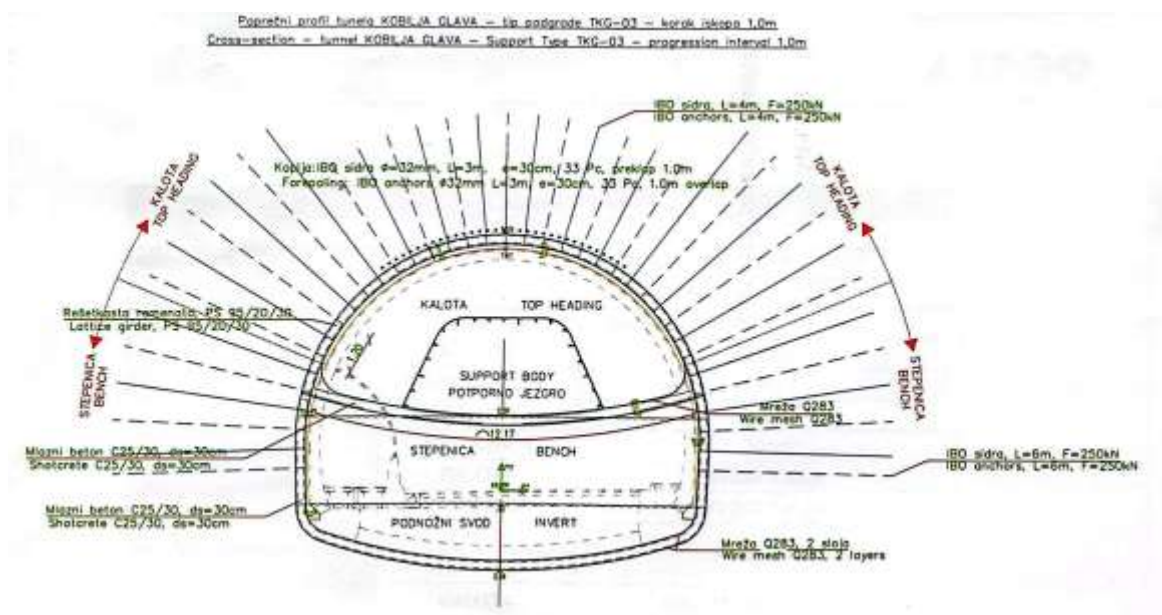
Nakon iskopanih cca 200m u desnoj tunelskoj cijevi (DTC), zbog velikih deformacija i slijeganja terena došlo je do preprojektovanja tunela te je ukinuta biciklistička staza, te su sada dimenzije tunela 11x8m. Sada se trenutno izvodi iskop u obje cijevi. U desnoj tunelskoj cijevi (DTC) do sada je iskopano cca 320m, a u lijevoj tunelskoj cijevi (LTC) cca 30m.

Predviđena metoda izgradnje tunela je po načelima nove austrijske tunelske metode NATM. Poprečni presjek tunela svijetlog je otvora 55.29m² te zadovoljava zahtjeve za slobodni profil definisan „Pravilnikom o osnovnim uvjetima koje javne ceste, njihovi elementi i objekti na njima moraju ispunjavati sa aspekta sigurnosti saobraćaja“.

Također, navedeni poprečni presjek omogućava smještaj svih potrebnih uređaja i opreme, te omogućava provjetravanje uzdužnom ventilacijom. Širine voznih i ivičnih traka u tunelu odabrane su u skladu s Pravilnikom te iznose:

- vozne trake širine 3,50 m
- ivične trake širine 2 x 0,25 m
- ukupna širina kolovoza 7,5 m
- Slobodni profil, visina iznad revizije staze 2,5 m.
- Slobodni profil, visina iznad kolovoza 4,70 m.

Na slici 3. daje se poprečni presjek tunela Kobilja Glava koji se trenutno izvodi.



Slika 3: Poprečni presjek tunela Kobilja Glava po koje se vrši iskop (3)

Iskop tunela se izvodi samo sa ulazne - istočne strane. Iskopni profil je podijeljen na kalotu, stepenicu i podnožni svod. Iskop tunela se vrši mehančki sa upotrebom udarnog čekića. U stijenskoj masi slabije kategorije je moguć iskop materijala sa tunelskim bagerom ili bagerskim pneumatskim čekićem.

Podnožni svod je zbog loših fizičko-mehaničkih karakteristika lapora predviđen za cijeli tunel. Kao dio primarne podgradnje podnožni svod treba obavezno izgraditi u času iskopa tunela i to na predviđenom odstojanju od čela iskopa.

U skladu sa osnovnim principima NATM, koji zahtijevaju tekuće “in situ” geološko praćenje uslova iskopa kao i program geomehaničkih mjerenja, je predviđeno da se u okviru geotehničke misije G32 provjerava pretpostavljena stijenska klasifikacija i tekuće mjerenje na taj način, do odgovara stvarnom stanju u tunelu. Na slici 4. Se lijepo vidi kalota, stepenica te armiranje inverta u desnoj tunelskoj cijevi.



Slika 4: Radovi u tunelu: kalota, stepenica te armiranje inverta (foto N. Halilbegović, 2023)

Potporni elementi primarne podgrade tunela

Osnovni potporni elementi primarne podgrade tunela su sljedeći: mlazni beton, armaturne mreže, sidra te čelični segmenti – remenate.

Mlazni cementni beton se upotrebljava kao osnovni materijal koji gradi primarnu oblogu tunela. Takođe služi za zaštitu stijenske mase od raspadanja na površini iskopa. Primarna obloga tunela je jedan od ključnih elementa potpornog sistema koji ima za cilj da omogući interakciju stijenske mase i sidara.

Održavanje početne tvrdoće stijenske mase je značajno da bi se uspostavio rasteretni svod, koji se formira u stijenskoj masi neposredno oko otvora tunela. Sa vremenom mlazni beton dobije na čvrstoći i preuzima ulogu potpornog elementa. Mlazni beton se armira sa armaturnim mrežama.

Armaturne mreže - obloga od mlaznog betona je armirana u jednoj ili dvije zone sa armaturnim mrežama koje: a) daju oblozi potrebnu duktilnost da izdrži pomjeranja b) povećava kapacitet presjeka na savijanje i c) povećava nosivost obloge na smicanje i zatezanje.

Sidra su ključni potporni elementi za stabilnost predusjeka. Sidra omogućavaju interakciju između stijenske mase i obloge od mlaznog betona. U procesu interakcije sidra povećavaju samu nosivost stijenske mase i ojačavaju (armiraju) stijensku masu. Za sidra se koriste SN ili IBO šipke od visokovrijednih čeličnih materijala RA400/500 minimalnog prečnika 28mm (32mm IBO) nominalne nosivosti $F_y=280$ kN.

Broj sidara, njihova dužina, nosivost i raspored su određeni za svaku kategoriju stijene odnosno za svaki tip podgrade.

Čelični segmenti (remenate) služe kao privremeni potporni elementi koji omogućavaju uslove sigurnosti za radnu snagu pri radu na bokovima i u blizini čela iskopa tunela. Čelični remenati imaju najveću ulogu u času pred ugradnjom mlaznog cementnog betona odnosno u času dok mlazni cementni beton ne dostigne odgovarajuću čvrstoću.

Privremeni potporni elementi

Prethodno pobijanje kopalja je element osiguranja koji je potreban za dostizanje bezbjednosti radova na iskopu tunela i sprječavanja nadprofila pri iskopu tunela. Pobijanje kopalja se primjenjuje u stijeni, gdje postoji tendencija prekopa, kolapsa ili znatnih dotoka vode na čelu iskopa odmah nakon iskopavanja. Načelno, pobijanje kopalja se primjenjuje sa sljedećim ciljevima: a) dostizanja zahtijevanog nivoa bezbjednosti radnih uslova u odnosu na tekuće geološke i hidrogeološke uslove iskopa tunela, b) sprječavanja prekopa profila tunela.

Za koplja se koriste šipke od čeličnih materijala RA400/500 minimalnog prečnika 28mm. Dužine kopalja se kreću od 3 do 4m, što zavisi od geoloških uslova i dužine koraka iskopa i primarnog podgrađivanja tunela.

Čelični cijevni štít (piperoof) - u zonama gdje se javljaju stijene niske nosivosti sa izraženim diskontinuitetima je predviđeno ugrađivanje čeličnog cijevnog štita, koji je sastavljen iz čeličnih cijevi, spoljašnjeg prečnika 110mm.



Slika 5: Ugradnja cijevnog štita - piperoof-a (foto N. Halilbegović, 2024)

Cijevi su duge 12m i izvođe se sa preklapom od 3,0m. Cijevi su perforirane i nakon ugradnje injektirane sa odgovarajućim cementnim vezivom tako da injektirana masa zapuni sve prostore između cijevi i okolne stijenske mase.

Upotreba cijevnog štita je obavezna u zonama niskog nadsloja, kada sidra u stropu imaju veoma malu nosivost zbog blizine površine, kao i u slabim stijenskim masama gdje se javljaju problemi sa stabilnošću čela iskopa.

3. ZAKLJUČAK

Na Koridoru Vc kroz Bosnu i Hercegovinu izgradnja tunela je započela 2008. godine i to na Sarajevskoj obilaznici. Planirana je bila izgradnja 57 tunela na cijelom koridoru. Izmjenama trase broj tunela je smanjen na trenutnih 51.

Tuneli su veoma specifični i zahtjevni objekti. Kod tunela se obično istražni radovi - bušotine izvođe na ulaznom i izlaznom portalu, a geofizika se radi po osi tunela. Neracionalno je izvoditi istražne bušotine po cijeloj trasi tunela zbog velikog nadsloja. U praksi se pokazalo da skoro kod svih tunela mi stvarne geološke karakteristike terena dobijemo tek prilikom iskopa samih tunelskih cijevi.

Naime, ovde se nakon svakog koraka iskopa vrši geološko kartiranje čela iskopa, odnosno klasifikacija stijenske mase, najčešće po RMR-u. Na osnovu ovog kartiranja se određuje tip

podgrade. U heterogenim stijenskim sredinama - flišnim sredinama se vrši predbušenje u čelu iskopa u dužini cca 10m, u cilju dobijanja informacija o kvalitetu stijenske mase u narednim koracima iskopa.

U radu su date neki specifičnosti izgradnje tunela Kobilja Glava. Usled deformacija i slijeganja terena zbog loših karakteristika stijenske mase – lapora došlo je do preprojektovanja tunela. Novoprojektovanim rješenjem tunela Kobilja Glava vrši se izgradnja dvocijevnog tunela, pri čemu su dvije cijevi namijenjene samo za motorni saobraćaj, dok se pješački saobraćaj odvija izvan tunela. U odnosu na osnovni projekat, glavne tunnelske cijevi su manjeg poprečnog presjeka. Također, u odnosu na prethodno izrađeni Glavni projekat, novoprojektovanim rješenjem je predviđeno skraćenje ulaznog i izlaznog portala, kao i optimizacija primarne podgrade.

Literatura:

1. Tunelogradnja u Bosni I Hercegovini – Koridor Vc, Udruženje inženjera geotehničara u BiH, 2023. god.
2. Misija G21 – Geotehnički projekat, FM Inženjering d.o.o. Sarajevo, 2021. god.
3. Technical Report, Tunnel Kobilja Glava, Euroasfalt, 2023. god.