

GRAĐENJE PUTNIH TUNELA S POSEBNIM OSVRTOM NA IZGRADNJU TUNELA ZENICA NA AUTOPUTU KORIDORA VC

Prof.dr. Ermedin Halilbegović, e- mail: ehalilbegovic@yahoo.com

BA Sabahudin Petak, e-mail: sabahudin.petak@iu-travnik.com

BA Tarik Zahirović, e-mail: tarik.zahirovic@iu-travnik.com

Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku

Dr. Adis Šabotić, e- mail :sabotic_111@hotmail.com

Prethodno priopćenje

Sažetak: U ovom radu se daju osnove građenja putnih tunela s posebnim osvrtom pri izgradnji tunela Zenica na autoputu koridora Vc. Tehnologija građenja tunela obuhvata sledeće tri osnovne grupe podzemnih radova: iskop tunela, radovi na podgrađivanju (primarna podgrada) te izvedbi sekundarne obloge tunela. Najvažnije obilježje za odabir tehnologije građenja je geologija stijenske mase kroz koju tunel prolazi. Zbog promjenjivih fizičko-mehaničkih svojstava terena, kao optimalna tehnologija iskopa putnih tunela odabrana je tehnologija iskopa miniranjem („drill and blast technique“) bazirana na NATM (Nova austrijska tunelska metoda). Kod malih visina nadsloja iznad tunelske cijevi te kod izgradnje portalnih građevina ili tunelskih galerija, koristi se „cut and cover“ metoda izgradnje tunela. U radu se daje poseban osvrt na izgradnju tunela Zenica koji prolazi veoma složene geološko-tektonske uslove.

Ključne riječi: tunel, cut and cover, kalota, RMR klasifikacija, NATM metoda

CONSTRUCTION OF ROAD TUNNELS WITH SPECIAL REFERENCE TO THE CONSTRUCTION OF ZENICA TUNNELS ON THE HIGHWAY CORRIDOR VC

Summary: This paper presents the basics of building road tunnels with special reference to the construction of the Zenica tunnel on the highway of Corridor Vc. Tunnel construction technology includes the following three basic groups of underground works: tunnel excavation, substructure works (primary support) and construction of secondary tunnel lining. The most important feature for the selection of construction technology is the geology of the rock mass through which the tunnel passes. Due to the changing physical and mechanical properties of the terrain, NATM (New Austrian Tunneling Method) mining technology was chosen as the optimal technology for excavating road tunnels. At low overhead heights above the tunnel pipe and when building portal buildings or tunnel galleries, the "cut and cover" method of tunnel construction is used. The paper gives a special review of the construction of the Zenica tunnel, which undergoes very complex geological and tectonic conditions.

Keywords: tunnel, cut and cover, top heading, RMR classification, NATM method

1. UVOD

U ovom radu se daju osnove građenja putnih tunela. U početnom teoretskom dijelu navode se zajednička obilježja gradnje putnih tunela uopšteno, a potom se na primjeru tunela Zenica opisuju određene posebnosti praktične gradnje tunela.



Slika 1: Predusjek tunela Zenica – foto E. Halilbegović

Na troškove, rok i kvalitet gradnje tunela u najvećoj mjeri utječe način (tehnologija) izvođenja građevinskih radova, posebno tehnologija iskopa. Pored toga značajan utjecaj imaju i geologija stijenske mase, opremljenost izvođača radova i organizacija rada, eventualna faznost gradnje te karakteristike samog tunela.

Izgradnja tunela obuhvaća relativno mali broj vrsta građevinskih radova. Tehnologija građenja tunela obuhvaća slijedeće tri osnovne grupe podzemnih radova:

- radovi na iskopu profila tunela (zemljani radovi u širem smislu), odnosno iskop tunela,
- radovi na podgrađivanju (osiguranju, te odvodnji) iskopanog profila tunela, odnosno primarna podgrada tunela,
- radovi na izvedbi stalne obloge podgrađenog profila tunela odnosno sekundarna obloga tunela

Radovi na probijanju tunela imaju dominantnu ulogu u tehnoeekonomskom smislu, a kao njihov sastavni dio podrazumijevaju se još i odvodnja iskopanog profila, odvoz i odlaganje iskopanog materijala, kao i svi ostali pomoćni radovi u tehnološkom procesu probijanja tunela.

Već navedena specifična obilježja tunela (njihov oblik, položaj i dužina, te geologija stijenske mase) određuju tehnologiju njihova građenja, posebice tehnologiju iskopa. **Najvažnije obilježje za odabir tehnologije građenja, odnosno iskopa tunela je geologija stijenske mase kroz koju tunel prolazi.**

Kod nas je kao optimalna tehnologija iskopa putnih tunela odabrana tzv. klasična ili konvencionalna tehnologija iskopa miniranjem pod određenim uslovima (drill and blast technique) bazirana na NATM (Nova austrijska tunelska metoda).

Izvedba primarne podgrade

Stijensku masu oko izbijenog profila tunela nužno je stabilizirati efikasnom primjenom primarnog podgradnog sklopa. Osnovu primarnog podgradnog sklopa (posebice u okviru Nove

austrijske tunelske metode - NATM) prvenstveno čini sloj mlaznog betona koji zajedno sa sidrima odgovarajućeg rasporeda onemogućava popuštanje stijene pretvarajući je u samonosivi luk. Mlazni beton nanosi se na površinu stijene mašinskim nabacivanjem pod pritiskom, odnosno njegova ugradnja se obavlja bez oplata.

Osnovni dijelovi primarnog podgradnog sklopa, uz mlazni beton i sidra (SN, PG, IBO, Swellex), su još i čelične mreže, čelični lukovi, čelične platice (talpe), piloti, mikropiloti, cijevni „kišobran“ („pipe-roof“) te drenažne cijevi i polucije. Tunelska podgrada koja se postavlja odmah nakon iskopa izravno je vezana za utvrđenu kategorizaciju stijenske mase.

Osnovu za kategoriziranje stijenskih masa čine rezultati inženjerskogeološkog kartiranja tunela koje je potrebno obaviti nakon svakog izvršenog koraka napredovanja iskopa tunela.

Ugradnju elemenata primarne podgrade nužno je izvoditi takvim slijedom i na takav način da ne dođe do ispadanja i popuštanja stijenske mase ispred i oko iskopa tunela. Osim iskopanog profila tunelske cijevi i radno čelo iskopa također mora biti osigurano. Tehnologija izvedbe primarnog podgradnog sklopa, obzirom na angažman značajnih sredstava za rad, predstavlja poslije samog iskopa jednu od najvažnijih aktivnosti kod izgradnje tunela. Nakon dovršetka radova na izboju tunela slijedi posljednja od 3 osnovne grupe podzemnih radova u tunelogradnji, a to je izvedba hidroizolacije i betonske sekundarne obloge tunela.

Izvedba hidroizolacije

Hidroizolacija tunela predviđena je na cijeloj dužini tunela i to po cijeloj kaloti i bokovima tunela, a izvodi se nakon dovršenog iskopa i izvedenog primarnog osiguranja tunela, te nakon smirivanja eventualnih pomaka u primarnoj oblozi tunelske cijevi.

Postavlja se između sekundarne obloge tunela i primarne podgrade a sastoji se od izolacijskog sloja od PVC folije sa signalnim slojem, izrađene u jednom komadu, debljine 2 mm, koji je zaštićen zaštitnim slojem geotekstila minimalne težine 500 g/m².

Podložni sloj hidroizolacije je od mlaznog betona optimalne debljine i čvrstoće, čija površina mora biti suha i ravna te na kojoj ne smije biti ostataka armature, sidara, čeličnih lukova, žice i sl. Vodnepropusno spajanje dviju susjednih traka folije izvodi se tehnikom termičkog zavarivanja, specijalnim strojem koji u jednom prijelazu uzduž spoja pravi dva paralelna vara ukupne širine približno 5 cm.



Slika 2: Hidroizolacija i oplata za sekundarnu oblogu tunela Zenica (foto E. Halilbegović)

Izvedba sekundarne obloge

Sekundarna obloga cestovnih tunela se izvodi od betona klase tlačne čvrstoće C 25/30 minimalne debljine 30 cm i u pravilu je nearmirana, osim na mjestima niša i mjestima ovješnja ventilatora te područja tunela s lošijim karaktristikama stijenske mase.

Nakon iskopa tunelske cijevi i izvršene kategorizacije stijenske mase podzemnog iskopa ustanovljuju se zone tunela u kojima je zbog slabijih karakteristika stijenske mase (V i Va kategorija) potrebno sekundarnu tunelsku oblogu izvesti od betona klase tlačne čvrstoće C 30/37 i koju je potrebno armirati (konstruktivno ili statički), te zone gdje je nužno izvesti podnožni svod.

Osim tih zona, armiraju se i dijelovi tunela s nadslojem manjim od 10m (tzv. portalne kampade) te dijelovi dvocijevnih tunela u zoni spojeva sa poprečnim prolazom, kao i zone tunela u kojima su se prilikom iskopa pojave veće odvale, špilje, dimnjaci ili slični speleološki objekti.

Za izvedbu sekundarne tunelske obloge, zbog ekonomskih razloga i vremena izgradnje, koristi se mehanička ili/ i hidraulična pomična oplata. Sekundarna obloga se betonira u blokovima (kampadama) duljine do 12,0 m. Između blokova betoniranja nužne su dilatacijske spojnice s brtvenim trakama minimalne širine 300 mm.

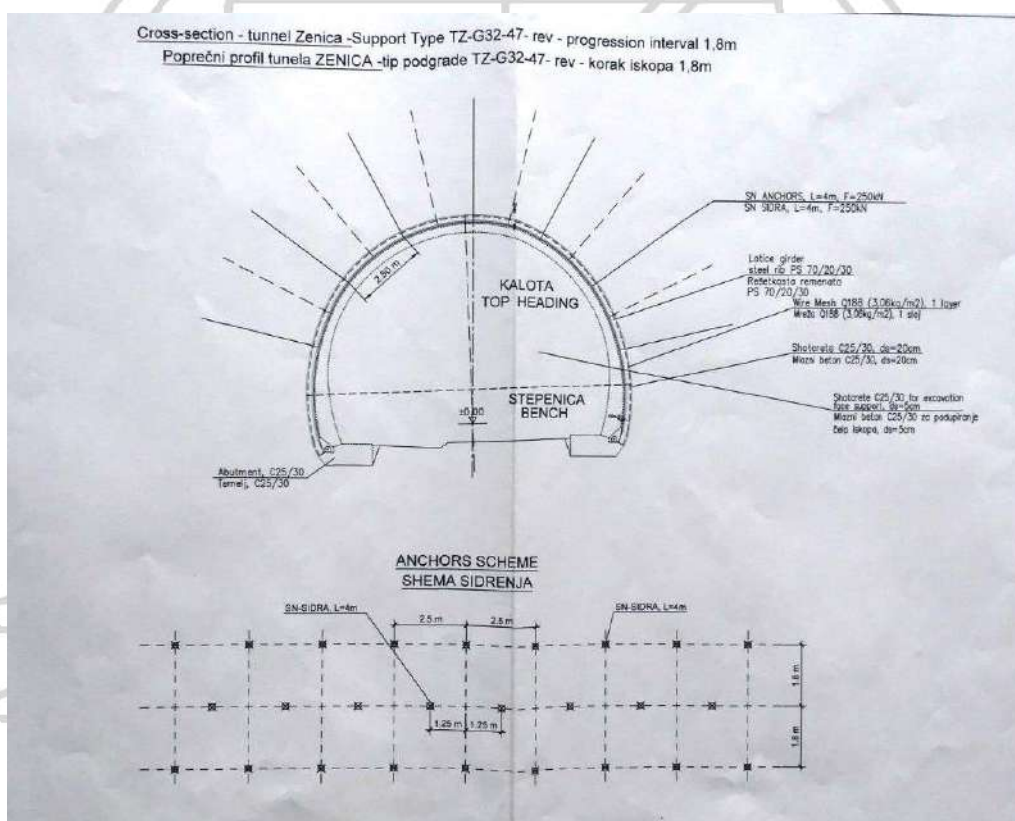
Iako se tuneli izvide prema glavnom projektu i temeljen na prognoznim geološkim podacima, tek nakon proboja većeg dijela tunelske cijevi može se utvrditi stvarno stanje stijenske mase, te onda izraditi izvedbeni projekat građevinskih radova koji može odstupati od glavnog projekta.

Metoda izgradnje tunela u otvorenom iskopu (tzv. „cut and cover“ metoda)

Kod malih visina nadsloja iznad tunelske cijevi te kod izgradnje portalnih građevina ili tunelskih galerija, koristi se tzv. “cut and cover” metoda izgradnje tunela, gdje se armiranobetonska tunelska cijev radi u otvorenom iskopu te se potom zatrpava iskopanim materijalom. Kod ove metode izgradnje tunela dopušteni su nešto strmiji nagibi privremenih bočnih kosina usjeka, koji će nakon izgradnje betonske obloge tunelske cijevi ili portalne građevine biti zatrpan, ali se ipak mora voditi računa o stabilnosti tih privremenih kosina tokom odvijanja radova zbog mogućeg zarušavanja ili erodiranja kosina te mogućeg pada blokova na mjesto izvođenja radova.

2. POSEBNOSTI PRI GRADNJI TUNELA ZENICA

Na dionici autoceste Poprikuše – Donja Gračanica u sklopu buduće autoceste vrši se gradnja tunela Zenica. Tunnel Zenica čine dvije cijevi osoviniskog razmaka 25m. Lijeva tunelska cijev je dužine 3.281,99m dok je desna tunelska cijev dužine 3.329,85m. Iskop tunela se izvodi sa dvije strane: sjeverne i južne. Iskop tunela se obavlja po principima NATM-a u više faza ovisno o kvaliteti stijenske mase, uz istovremeno osiguranje iskopa primarnom podgradom. Za klasificiranje stijenske mase na tunelu Zenica primjenjena je RMR klasifikacija (Bienavski 1989). Iskopni profil je podijeljen na kalotu, stepenicu i podnožni svod (slika 3).



Slika 3: Poprečni presjek tunela Zenica (Yuksel Proje)

Iskop tunela se vrši po sistemu „drill and blast“, tj. po principu bušenja i miniranja ili mehanički, sa upotrebom udarnog čekića. U stijenskoj masi slabije kategorije je moguć iskop materijala sa tunelskim bagerom ili bagerski pneumatskim čekićem. U skladu sa osnovnim principima NATM, koji zahtijeva tekuće „in situ“ geološko praćenje uslova iskopa kao i geomehaničkih mjerenja,

predviđeno je da se u okviru geotehničke misije G32 provjerava pretpostavljena stijenska klasifikacija i tekuća mjerenja na taj način, da odgovara stvarnom stanju u tunelu.



Slika 4: Radovi na iskopu tunela (foto E. Halilbegović)

GEOTEHNIČKO PRAĆENJE TUNELA TOKOM RADNJE TUNELA

Osnovni strukturni materijal kod geotehničkih konstrukcija u tunelogradnji je stijenska masa u kojoj se izvodi tunel. Tuneli su linijske građevine te je neracionalno i uglavnom nemoguće provesti takav obim geotehničkih istražnih radova koji bi omogućio pouzdano definiranje karakteristika i stanja stijenske koji može značajno varirati duž trase tunela u zavisnosti od složenosti geoloških formacija.

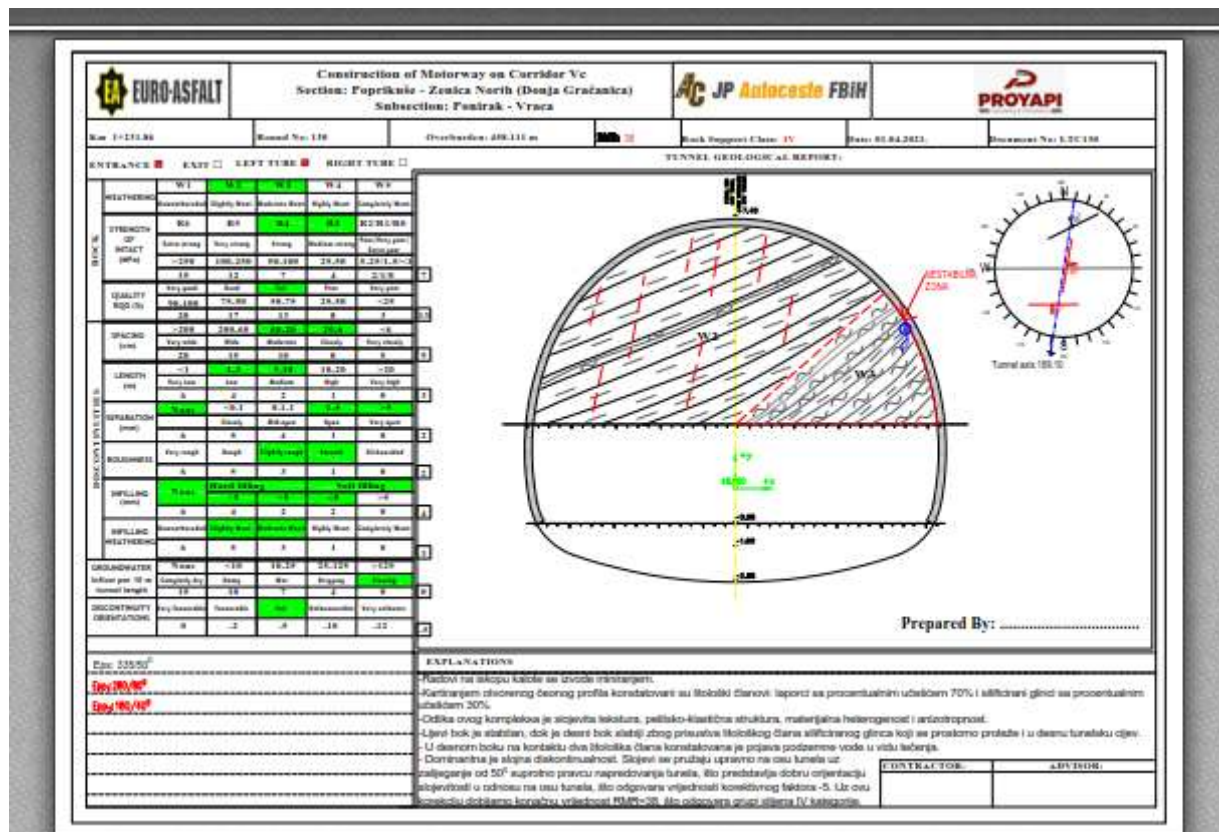
Osnovni ciljevi geotehničkog praćenja tunela tokom izvedbe su:

- ustanovljavanje stvarne kvalitete stijenske mase duž trase tunela
- optimalizacija svih mjera na stabilizaciji podzemnog iskopa
- verifikacija podzemnog iskopa.

Stvarni kvalitet stijenske mase se određuje inženjerskogeološkim kartiranjem koji se obavlja svakodnevno paralelno sa iskopom tunela. U cilju jednostavnog i uniformnog klasificiranja, te jasnog prezentiranja rezultata izrađeni su obrasci o kvalitetu stijenske mase. Na slici 5. daje se obrazac koji se koristi na tunelu Zenica.

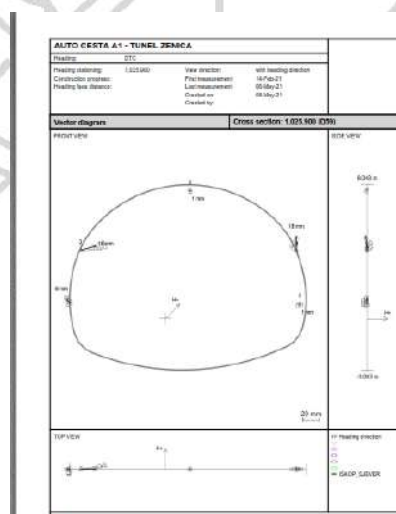
22. INTERNATIONAL CONSULATATION

TECHNICAL - TECHNOLOGICAL ADAPTIONS TO THE CHALLENGES OF TRAFFIC, ECOLOGY, INFORMATION TECHNOLOGIES AND LOGISTICS IN THE CIRCUMSTANCES OF THE COVID – 19



Slika 5. Obrazac RMR-a za određivanje kvaliteta stijenske mase (Euroasfalt, Sarajevo)

Na osnovu stvarne kvalitete stijenske mase vrši se izbor tehnologije izvedbe i podgradni sistemi. Stoga je potrebno neposredno nakon iskopa tokom kavanja registrovati ispadanja materijala, potencijalno nestabilne blokove te za stabilnost kritične diskontinuitete. Geotehničkim „in situ“ mjerenjima se ne provjerava samo stabilnost nego i verificira osnovni koncept reakcije masiva na izvedbu podzemnog iskopa.



Slika 6: Rezultati mjerenja u tunelu (AMG Visoko)

Kontrolni mjerni profil sadrži 5 mjernih tačaka pozicioniranih na rubu podzemnog iskopa. Uobičajeni položaj mjernih tačaka kod kontrolnih profila je u sredini svoda, na spojevima svoda i zidova te u sredini zidova. Mjerna tačka se sastoji od nosača koji se ugrađuje u mlazni beton ili stijensku masu. Mjerenja se provode elektronskim teodolitom.

3. ZAKLJUČAK

Iz ovog rada se može vidjeti koliko je zapravo tunelogradnja specifično i kompleksno područje građevinarstva, ali samim time i izazovno za svakog učesnika u gradnji tunela; bilo kao investitora, projektanta, revidenta, izvođača ili nadzora. Izgradnji putnih tunela nužno je pristupiti s određenom dozom respekta prema tunelu kao složenoj i „živoj“ građevini, strogo poštujući pravila struke i uvažavajući sve značajne čimbenike koji utječu na sam proces gradnje tunela i njegovu konačnu funkcionalnost kao prometne građevine.

Odgovarajuća metoda iskopa se odabire s obzirom na utjecaj okoline na tunel i utjecaj izgradnje tunela na okolinu. Svaka konstrukcija tunela je jedinstvena i ima svoje kriterije koji se ne smiju nekritički prenijeti na drugi tunel.

Vrlo važna stavka kod tunelogradnje su opterećenja koja se pri tome javljaju, a glavno načelo teorija opterećenja na tunelsku podgradu je da se definira zona stijenske mase, oko i iznad tunela, koja pod utjecajem vlastite težine opterećuje podgradnu konstrukciju, dok stijenska masa izvan ove zone nema utjecaj na podgradnu konstrukciju.

Postoje razne metode iskopa tunela koje se i danas koriste, ali preko različitih klasičnih (tradicionalnih) i savremenih metoda iskopa tunela, najjednostavnijom i najčešće korištenom pokazala se Nova Austrijska Tunelska Metoda (NATM), kojoj se danas i u budućnosti pripisuje najveća važnost.

Nova austrijska tunelska metoda nije metoda građenja koja se može prikazati shemom iskopa i nacrtima podgrade već je ona generalni koncept odnosno filozofija tunelogradnje. Nije vezana za bilo koju proceduru iskopa i podgrađivanja već se temelji na principima opažanja. Glavni cilj ove metode je postići to da stijenska masa, osim što prenosi opterećenje na tunelsku podgradu, nosi sama sebe, odnosno preuzima dio naprezanja, te na taj način osigurava brže, jeftinije i jednostavnije projektiranje i iskop samog tunela.

LITERATURA

- [1] A.D.Parker, Planning and estimating underground construction, McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
- [2] Mustapić I.: Analiza različitih modela etapne gradnje dvocijevnih tunela na autocestama, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [3] Vrkljan I., Podzemne građevine i tuneli, udžbenik, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.
- [4] Heraković D., Tehnika i tehnologija građenja tunela velikih profila, Savremena tehnika i tehnologija izvođenja podzemnih radova, Biro za građevinarstvo, Beograd, 1974.

- [5] Aćimović M., Tehnika i tehnologija građenja tunela srednjih profila, Savremena tehnika i tehnologija izvodjenja podzemnih radova, Biro za gradjevinarstvo, Beograd, 1974.
- [6] Glavni građevinski projekt tunela Zenica, Yuksel Proje, Sarajevo, 2018.

