

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stjenjskoj masi

Ekrem Bektašević

„PPG“ d.o.o. Sarajevo, dr. sc., bektasevic.ekrem@gmail.com

Satko Filipović

Direkcija za puteve Kantona Sarajevo, dipl. ing. građ., satko.filipovic@gmail.com

Kemal Gutić

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, red. prof., kemal.gutic@untz.ba

Namik Musa

„PPG“ d.o.o. Sarajevo, bacc. ing. rud., namikmusa18@gmail.com

Sažetak: Deformacije su vrlo izražene kod iskopa tunela u urbanim dijelovima s malim nadslojem u lošijoj stijenskoj masi što za posljedicu može imati ozbiljne potencijalne opasnosti na sigurnost, troškove i vrijeme izgradnje tunela. Na tunelu Kobilja Glava koji će predstavljati dio projekta povezivanja Vogošće sa Sarajevom i ujedno vezu najužeg gradskog centra grada Sarajeva sa autocestom A1 na koridoru Vc, izvršena su praćenja pomaka u tunelu na određenoj sekciji lijeve tunnelske cijevi u dužini 80 m' u odnosu na različite razmaka između iskopa kalote i trajnog podnožnog svoda u lošijoj stijenskoj masi sa definiranim RMR od 27 bodova do 32 boda. Dobiveni rezultati pokazuju kako se pomaci mogu efikasno kontrolirati definiranjem optimalnog razmaka između faza iskopavanja kalote i trajnog podnožnog svoda. Detaljnom analizom prikupljenih podataka dobivena je matematička funkcija ovisnosti pomaka u odnosu na razmak između iskopavanja kalote i trajnog podnožnog svoda i ista se može koristiti kao alat za brzu i jednostavnu korelaciju pomaka prilikom iskopa tunela u odnosu na geološke uvjete kakvi vladaju u tunelu Kobilja Glava.

Ključne riječi: tunel, iskop, deformacija, kalota, trajni podnožni svod

Defining the optimal distance between technological sequences during tunnel excavation in poor rock mass

Abstract: When excavating tunnels in urban areas with shallow overburden in poor rock mass, the deformations are very pronounced, which can result in serious potential risks to the safety, costs and time of tunnel construction. In the Kobilja Glava tunnel, which will be part of the project connecting Vogošća with Sarajevo and connecting the city center of Sarajevo with the A1 motorway on Corridor Vc, monitoring of displacements was conducted in a specific section of the left tunnel tube over a length of 80 m, in terms of various distances between the top heading excavation and the primary invert in poorer rock mass with a defined RMR ranging from 27 to 32. The results indicate that displacements can be effectively controlled by defining the optimal distance between the excavation phases of the top heading and the primary invert. A detailed analysis of the collected data yielded a mathematical function relating displacement to the distance between the excavation of the top heading and the primary invert, which can serve as a tool for quick and straightforward correlation of displacements during tunnel excavation, considering the geological conditions present in the Kobilja Glava tunnel.

Key words: tunnel, excavation, deformation, top heading, primary invert

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi

1. UVOD

Nagli razvoj urbanih područja posljednjih desetljeća pridonosi sve većoj potrebi za korištenjem podzemnog prostora. Tuneli se smatraju efikasnim izborom za svladavanje problema zagušenja i smanjenje prometnog pritiska [1]. Iskop tunela predstavlja izuzetno zahtjevan i sveobuhvatan rad razmatranja, prvenstveno temeljen na geotehničkim i geofizičkim istraživanjima, koja su neodvojivo povezana sa planiranim metodama iskopavanja i potpornim sustavom te neizostavna geotehnička mjerenja unutar tunela, permanentna terenska opažanja površine okolnog terena, koja daju stvarnu sliku potencijalnog utjecaja iskopa na objekte u urbanim sredinama [2]. Odabir prikladnog postupka za iskop tunela velikog raspona u mekom tlu ključni je faktor za uspješnu izgradnju istog [3].

Promatrajući tunel Kobilja Glava koji će predstavljati dio glavnog projekta povezivanja Vogošće sa Sarajevom i ujedno vezu najužeg gradskog centra grada Sarajeva sa autocestom A1 na koridoru Vc, vršena su praćenja ukupnih pomaka u odnosu na različite razmake pri iskopu kalota - trajni podnožni svod na određenoj sekciji tunela lijeve tunelske cijevi u stijenskoj masi sa definiranim RMR od 27 bodova do 32 boda. Tunel Kobilja Glava je dvocijevni tunel kod kojeg je svaka pojedinačna cijev rezervirana za jedan smjer prometa. Osovinski razmak tunelskih cijevi iznosi 25 m. Tunel prolazi kroz istoimeno brdo na kojem se nalazi cca 500 stambenih jedinica. Ukupna dužina desne tunelske cijevi je 635,10 m od čega 587,10 m iznosi dužina podzemnog iskopa. Privremeni ulazni portal desne tunelske cijevi se nalazi na stacionaži 3+550,15, dok se privremeni izlazni portal nalazi na stacionaži 4+137,15 (stac. po osi desne tunelske cijevi). Ukupna dužina lijeve tunelske cijevi je 638,885 m, dok je iskopna dužina 590,885 m. Privremeni ulazni portal lijeve tunelske cijevi se nalazi na stacionaži 3+546,952, dok se privremeni izlazni portal nalazi na stacionaži 4+128,09 (stac. po osi lijeve tunelske cijevi). Zbog velikog uzdužnog nagiba u tunelu glavnim projektom su definirane dvije poprečne veze između lijeve i desne tunelske cijevi [4].



Slika 1. Geografski položaj tunela Kobilja Glava na trasi prometnice Sarajevo-Vogošća

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

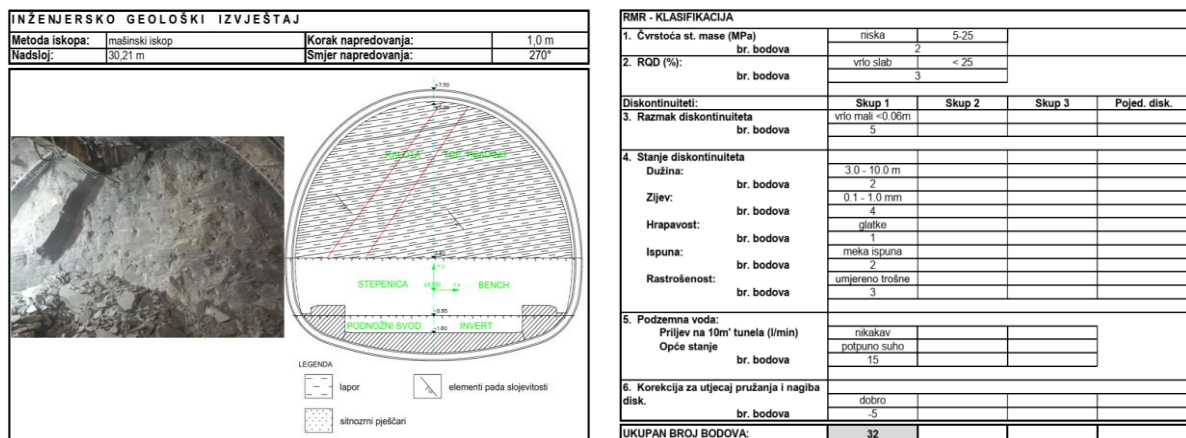
Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi

2. INŽENJERSKO GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENSKE MASE U ZONI ISKOPA TUNELA KOBILJA GLAVA

Geološka građa terena uzduž trase tunela Kobilja Glava ocjenjuje se jednostavnom budući da su uzduž projektirane trase tunela, kao i u neposrednom okruženju zastupljeni samo neogeni sedimenti i kvartarne tvorevine. Neogen je predstavljen gornje miocenskim (1M3) sedimentima sarajevsko-zeničkog bazena, poznatijim kao "koševska serija".

Inženjerskogeološkim kartiranjem tijekom iskopa lijeve tunelske cijevi od stac. km 3+744.00 do km 3+824.00 konstatirano je da u litološkoj građi otvorenog čeonog i u oba bočna profila sudjeluju dvije različite litologije, pelitna i sitnoklastična. Pelitna litologija zastupljena je laporima dok je sitnoklastična zastupljena normalno građuiranim centimetarskim slojevima sitnozrnog dobro sortirano pješčara. Naslage su tamnosive do svijetlosive boje. Tamnija boja ukazuje na povećani udio glinovite i organske komponente dok svjetlija boja ukazuje na povećani udio karbonatne komponente i siliciklastičnog detritusa. Navedeni gornje miocenski kompleks se odlikuje laminiranom do tankoslojevitom teksturom, pelitno-klastičnom strukturom. Laporu su osjetljivi na prisutnost vode te u dodiru s vodom dolazi do slabljenja njihovih fizičko-mehaničkih svojstava.

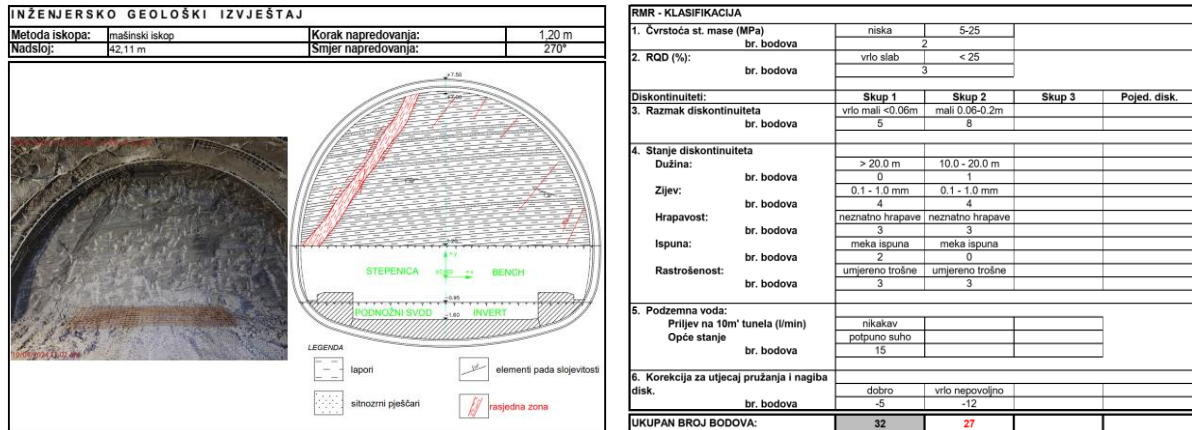
Slojevi (primarna diskontinualnost) pružaju se okomito u odnosu na os tunela uz zalijeganje od 8 do 10 stupnjeva suprotno pravcu napredovanja tunelskog iskopa. Pored primarne diskontinualnosti na čelu iskopa zastupljena je i sekundarna diskontinualnost odnosno pukotine smicanja koje su paralelne do subparalelne rasjednoj zoni. Rasjedna zona se nalazi na stacionaži km 3+819.20 u lijevom dijelu kalote. Rasjedna zona ima pravac pružanja sjeverozapad - jugoistok (SZ-JI) u azimutu od 282 do 102 stupnja. Ova ruptura ima strmonagnuti položaj s nagibom prema jugozapadu (JZ) pod kutom od 64 stupnja. Dakle, rasjedna zona se pruža dijagonalno do subparalelno u odnosu na os tunela. Ispunu rasjedne zone čini zdrobljeni stijenski materijal (drobina pješčara i lapora) pomiješan s laporovitim glinama koji nastaje ateriranjem stijenske mase uzduž rasjeda. Širina rasjedne zone je do 1,0 m, a rasjed ima reversni karakter. Na osnovu rezultata kartiranja otvorenog čela iskopa na analiziranom dijelu tunela može se zaključiti da stanje stijenske mase po RMR (engl. Rock Mass Rating) klasifikaciji ima vrijednost od 27 bodova do 32 boda te stijensku masu svrstava u IV. kategoriju. Na slici 2. prikazan je izgled otvorenog čela i geološki izvještaj s početka promatranog dijela lijeve tunelske cijevi dok je slici 3. prikazan izgled otvorenog čela i geološki izvještaj za stacionažu km 3+821,60.



Slika 2. Izgled čela u LTC i geološki izvještaj na stac. km: 3+746,85

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi



Slika 3. Izgled čela u LTC i geološki izvještaj na stac. km: 3+821,60

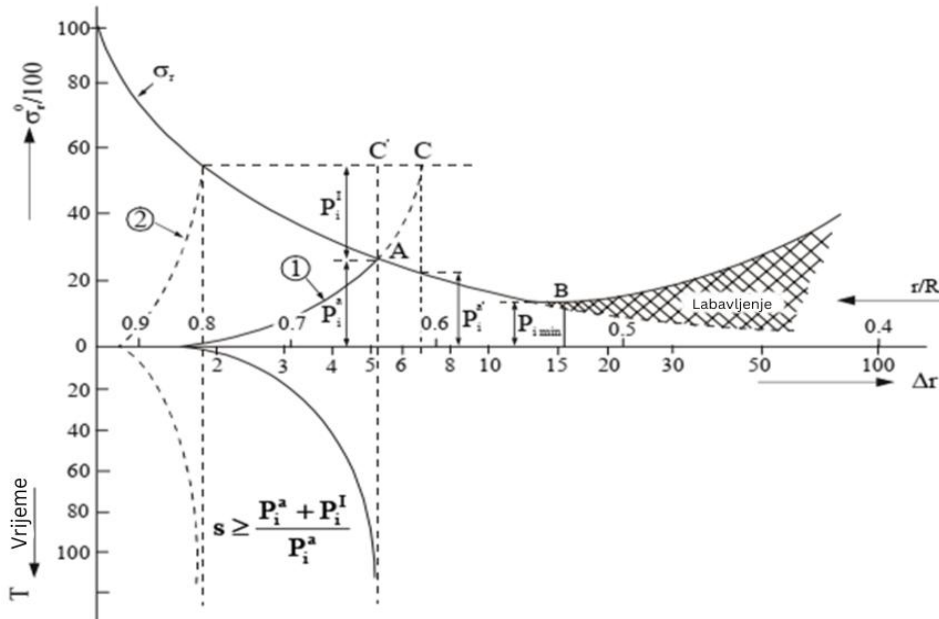
3. ANALIZA DEFORMACIJA OKOLNE STIJENSKE MASE PRIMJENOM „NATM“ METODE PRI ISKOPAVANJU TUNELA

Odabir metode izgradnje tunela većeg poprečnog presjeka uglavnom se temelji na uvjetima stijene u kojoj se vrši izgradnja tunela [5]. U suvremenoj tunelogradnji sve su izraženija nastojanja da se primjenom novih metoda izvrši ojačanje stijenske mase na način da ista sama preuzme veliki dio opterećenja. Ne postoje posebna pravila koja bi olakšala donošenje odluka pri odabiru prikladne metode iskopavanja tunela u složenim geološkim uvjetima. Ova odluka je uglavnom pod utjecajem inženjerskih iskustava, a ne teoretskih proračuna [3]. Najbolje rezultate te prilagodbe pokazala je Nova austrijska tunnelska metoda - NATM. Ova metoda odabrana je prilikom projektiranja tunela Kobilja Glava i po istoj su i izvođeni radovi na iskopu i ugradnji primarne podgrade. Tehnološka i tehnička koncepcija NATM metode temelji se na činjenici da sustav podgrade nije samo konstrukcija već i vremenski proces. Glavna zadaća konstrukcije podgradnog sustava je da stijensku masu oko izvršenog iskopa tunela pretvori u samonosivu konstrukciju koja omogućava stvaranje sigurne podzemne šupljine [6]. Prema [7] Müller u svom istraživanju iznosi da je vrijeme zatvaranja prstena od presudne važnosti, posebno ističući potrebu da se to učini u najkraćem mogućem vremenskom razmaku u odnosu na izvršeni iskop.

Utvrđivanje odnosa između poremećenog dijela stijenske mase oko tunelskog iskopa i nosivosti primarne podgrade prikazan je na slici 4. Prema slici 4. krivulja odziva tla prikazuje interakciju stijena odnosno primarne podgrade i deformacije u vremenu. Navedeni dijagram pruža alat za idealizaciju krutosti primarne podgrade i vremena ugradnje. Pri odabiru za ugradnju kruće primarne podgrade (na slici 4. prikazano kao 2) ista će podnijeti veće opterećenje jer se stijenska masa oko otvora nije dovoljno deformirala kako bi naprezanja dovela u stanje ravnoteže. Stoga će se faktor sigurnosti naglo smanjiti. Nakon točke C, ponašanje materijala u kojem se vrši iskop postaje nelinearno. Ako se primarna podgrada (1) ugradi nakon određenog pomaka (točka A), tada sustav dolazi u stanje ravnoteže s manjim opterećenjem na primarnu podgradu. Posebna je značajka NATM-a da se sjecišta uvijek odvijaju na silaznoj grani krivulje [8]. To podrazumijeva manje krutu potporu koja uzrokuje potrebnu deformaciju kao u slučaju primjene NATM. Štoviše, oslonac za stijene ne smije biti ni previše krut ni previše fleksibilan. Nakon točke B počinje "štetno popuštanje" i potreban potporni tlak za zaustavljanje popuštanja uveliko se povećava. Međutim, ako se primarna podgrada primijeni u pravo vrijeme za ispravnu deformaciju, potporni tlak u ovoj točki poprima minimalnu vrijednost.

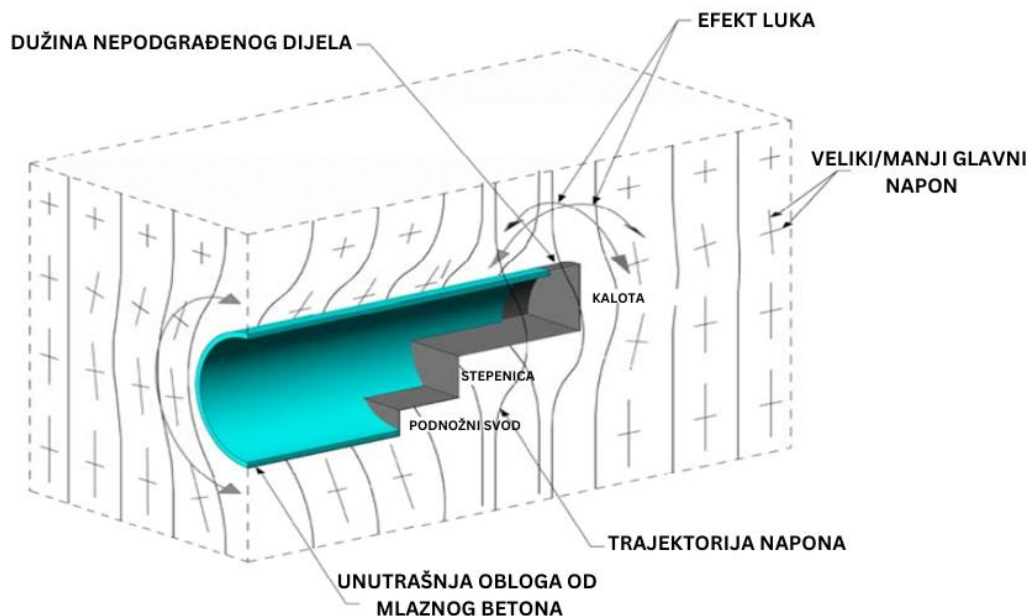
Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stjenjnoj masi



Slika 4. Krivulje interakcije tla i primarne podgrade

Iskop tunela uzrokuje poremećaj početnog stanja naprezanja u tlu i stvara trodimenzionalni režim naprezanja u obliku luka oko čela tunela koji napreduje [9]. Takvo stanje napona je indikativno prikazano na slici 5.



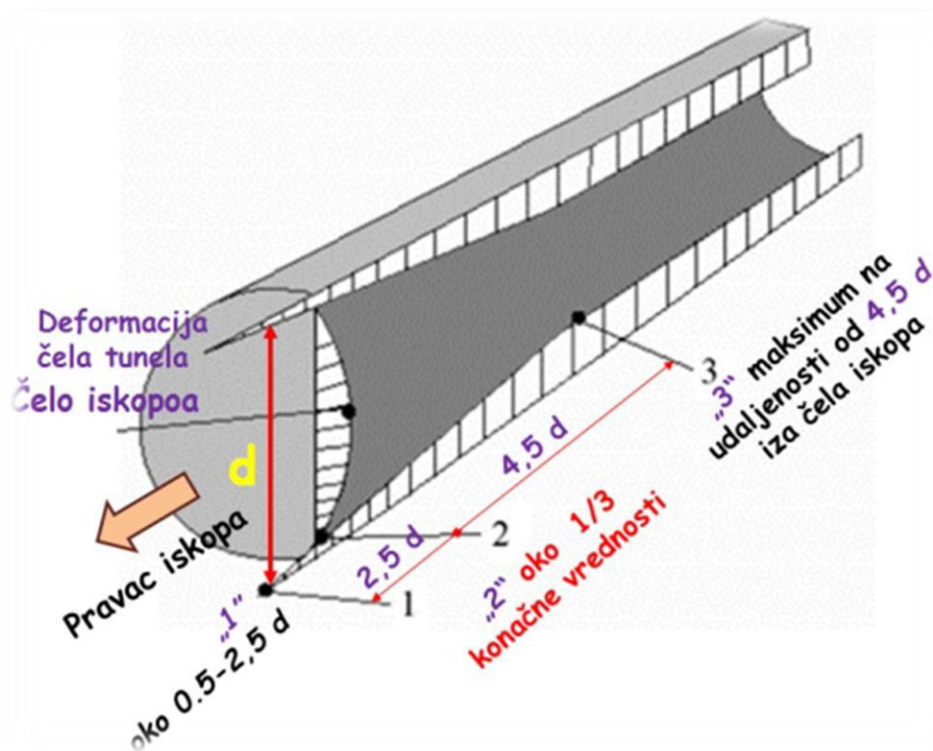
Slika 5. Tok naprezanja oko otvora tunela

Daleko ispred čela tunela koji napreduje početno stanje naprezanja predstavljeno je vertikalnim i horizontalnim putanjama (trajektorijama) naprezanja koje označavaju velika i sporedna glavna naprezanja. Na čelu tunela naprezanja se javljaju oko otvora tunela u obliku luka, kao i ispred iskopa tunela te iza njega na novoizgrađenu primarnu oblogu u uzdužnom

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi

smjeru. Također, naprezanja djeluju i na bokove otkopanog dijela okomito u odnosu na pravac tuneliranja (napredovanja iskopa tunela) [10]. Opseg poremećaja naprezanja oko aktivnog smjera ovisi uglavnom o uvjetima sredine kroz koju se izrađuje tunel, zapremine iskopa i koraka napredovanja. Ovaj poremećaj započinje na nekom razmaku ispred čela podzemnog iskopa oko 0,5 do 2,5 d (d - predstavlja prečnik podzemnog iskopa), dostiže oko trećine od konačne vrijednosti na čelu iskopa dok svoj maksimum dostiže na rastojanju od 4,5 d iza čela iskopa, a što je indikativno prikazano na slici 6.

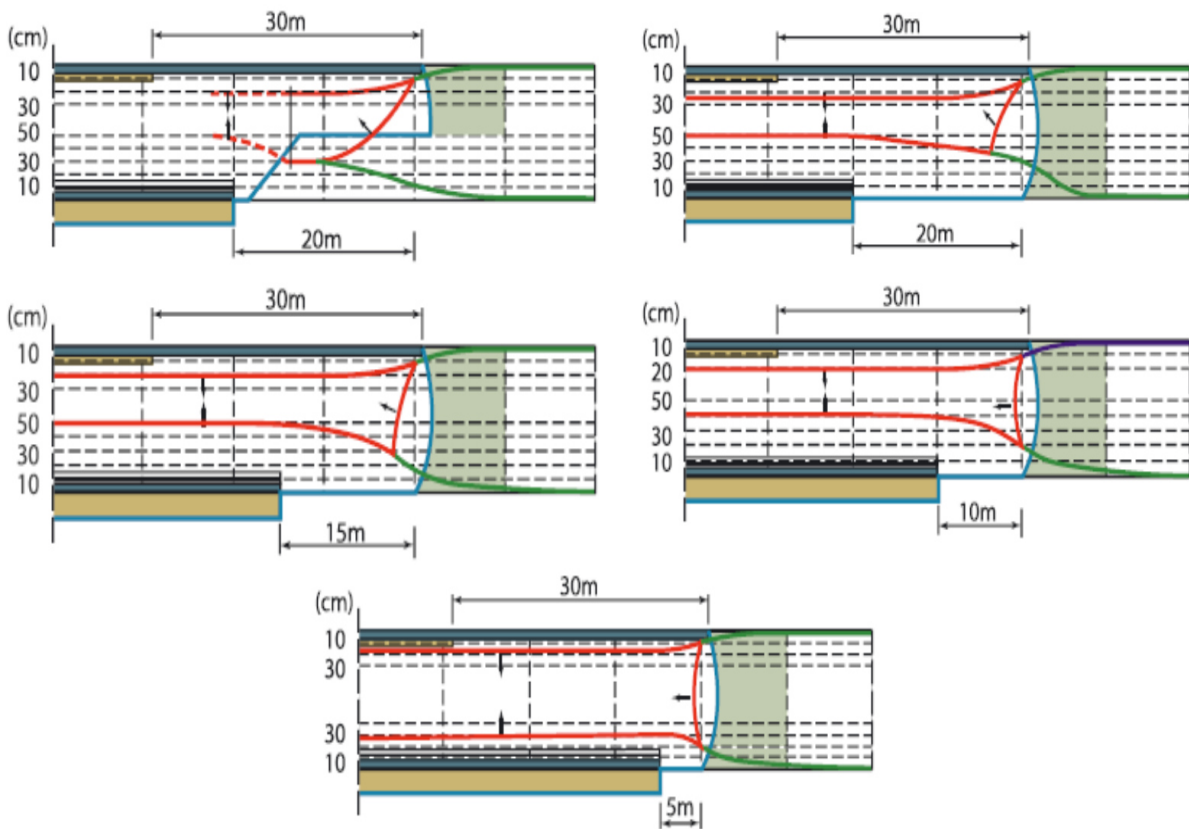


Slika 6. Deformacije u stijenskoj masi koja okružuje tunel koji napreduje

Eksperimentalno i numeričko istraživanje deformacijskog odgovora tla pokazuje da pravi uzrok cjelokupnog procesa naprezanja i deformacije koji se pokreće prilikom iskopa tunela leži u reguliranju krutosti napredne jezgre korištenjem odgovarajućih tehnika preklapanja, kontroliranom načinu iskopa kao i u vremenu zatvaranja prstena [11]. U nastavku rada prikazan je grafički prikaz (slika 7.) učinka tunelskog inverta na graničnu deformaciju u ovisnosti od razmaka čela iskopa i ugrađenog trajnog podnožnog svoda do kojih je došao Lunardi, P. u svom istraživanju [11].

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi



Slika 7. Utjecaj razmaka inverta od čela iskopa na ukupne deformacije

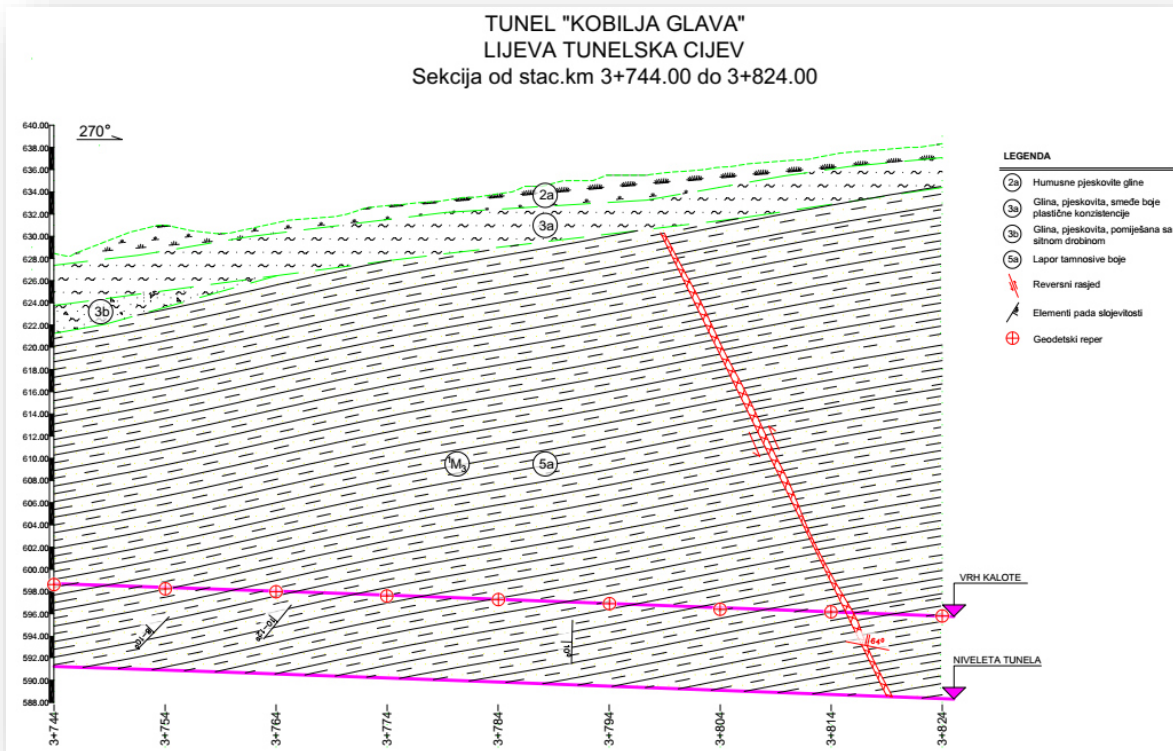
Upravo je prvi i najvažniji zadatak projektanta odrediti kako i na koji način se može izazvati lučni efekt nakon što se iskop obavi, a da se pri tome osigura da se taj efekt odgovarajuće formira stabilizacijskim postupcima u složenim geološkim uvjetima [12].

4. ANALIZA DEFORMACIJA OKOLNE STIJENSKE MASE U ODNOSU NA RAZLIČITE RAZMAKE PRI ISKOPAVANJU POJEDINIH FAZA TUNELA KOBILJA GLAVA

Prilikom iskopa tunela Kobilja Glava izvršena su praćenja ukupnih pomaka na određenom dijelu lijeve tunelske cijevi od stacionaže km 3+744,00 do km 3+824,00 (dio tunela od 80m') u odnosu na različite razmake između iskopa kalote i trajnog podnožnog svoda, tj. formiranje nosivog prstena oko tunela i onemogućavanje gubitka čvrstoće stijenske mase u stijenskoj masi sa definiranim RMR od 27 bodova do 32 boda. Na analiziranom dijelu tunela tijekom iskopa tunela utvrđeni su uglavnom ujednačeni inženjerskogeološki uvjeti, a što se vidi na uzdužnom geološkom profilu (slika 8).

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stjenjnoj masi



Slika 8. Uzdužni geološki profil od stac. km: 3+744,00 do km: 3+824,00

Tijekom analize ukupnih deformacija lijeve tunelske cijevi na navedenom dijelu, desna tunelska cijev je bila u potpunosti iskopana sa ugrađenom primarnom podgradom te je na osnovu mjerenja ukupnih deformacija u desnoj tunelskoj cijevi bila potvrđena stabilnost iste. Time je utvrđeno da desna tunelska cijev nije mogla utjecati na iskop lijeve tunelske cijevi. Na osnovu podataka geodetskog praćenja pomjeranja u otkopanom dijelu lijeve tunelske cijevi i rezultata geološkog kartiranja otvorenog čela iskopa na promatranom dijelu lijeve tunelske cijevi izvršena je povratna analiza stabilnosti, kao i definiranje potpornih mjera primarne podgrade kako slijedi:

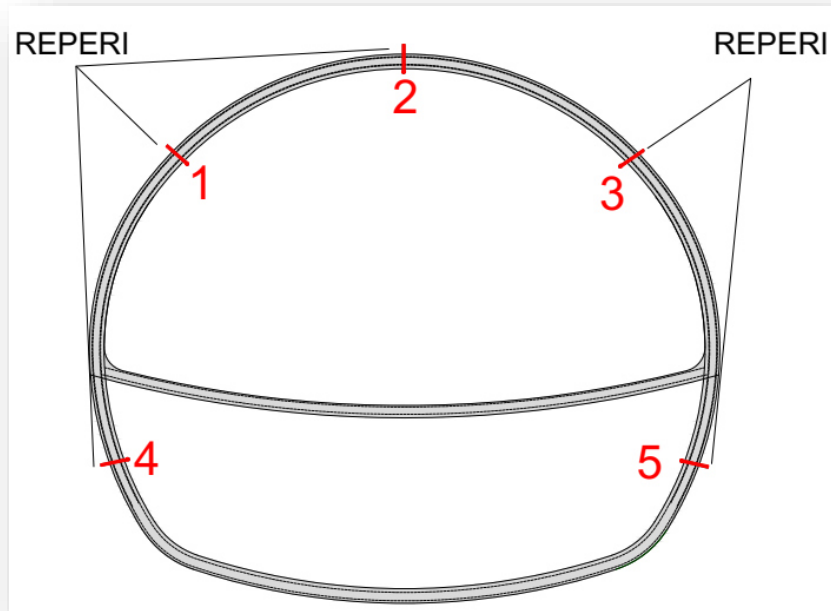
1. korak iskopa 1,2 m,
2. sidra IBO R32 (Ø32mm) ili SN (Ø28mm), nosivosti 250 kN u sljedećem rasporedu:
 - a) kalota l=4,0m 12/11 kom.;
 - b) stepenica l=4,0m 2/4 kom.;
3. upotreba rešetkastih remenata PS 70/20/30,
4. debljina mlaznog betona u kaloti, stepenici i podnožnom svodu (C25/30) je 25 cm,
5. debljina mlaznog betona (C25/30) od 5 cm za prskanje čela. Geolog izvođača će u dogovoru sa geologom inženjera utvrditi kada i u kojoj mjeri se vrši zaštita čela iskopa,
6. dva sloja armaturnih mreža Q257,
7. zaštita stropa se vrši s jednim redom čeličnih kopalja (Ø28mm, L=4,0m, e=25cm, 1,6 m preklop, 33 komada). Ugradnja se vrši po potrebi uz pristanak nadzornog inženjera.

Profili za mjerenje konvergencija u lijevoj tunelskoj cijevi su ugrađivani po konturi tunela od stacionaže km 3+744,00 i u nastavku na svakih 10 m analizirane sekvence tunelske cijevi.

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

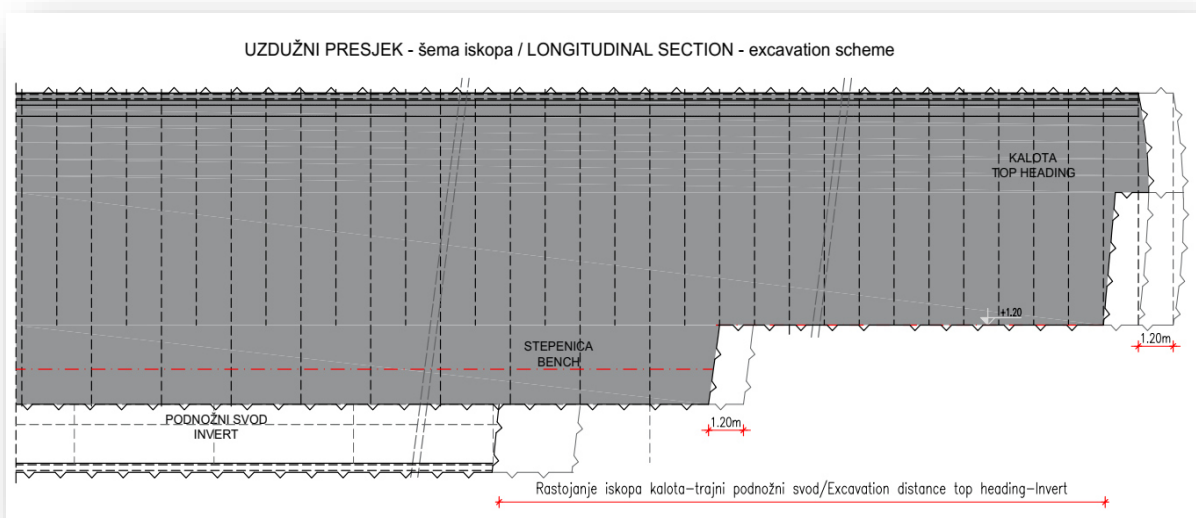
Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stjenskoj masi

Mjerni profil se sastojao od 5 točaka, tri u kalotnom dijelu i dvije u stepenici, kako je prikazano na slici 9.



Slika 9. Kontrolni mjerni profil

Kako bi se umanjile deformacije okolnog materijala i primarne podgrade u tunelu, potrebno je definirati optimalni razmak između tehnoloških sekvenci iskopa kalota - trajni podnožni svod. Na slici 10. prikazan je uzdužni presjek sheme iskopa lijeve tunelske cijevi na promatranom dijelu tunela.

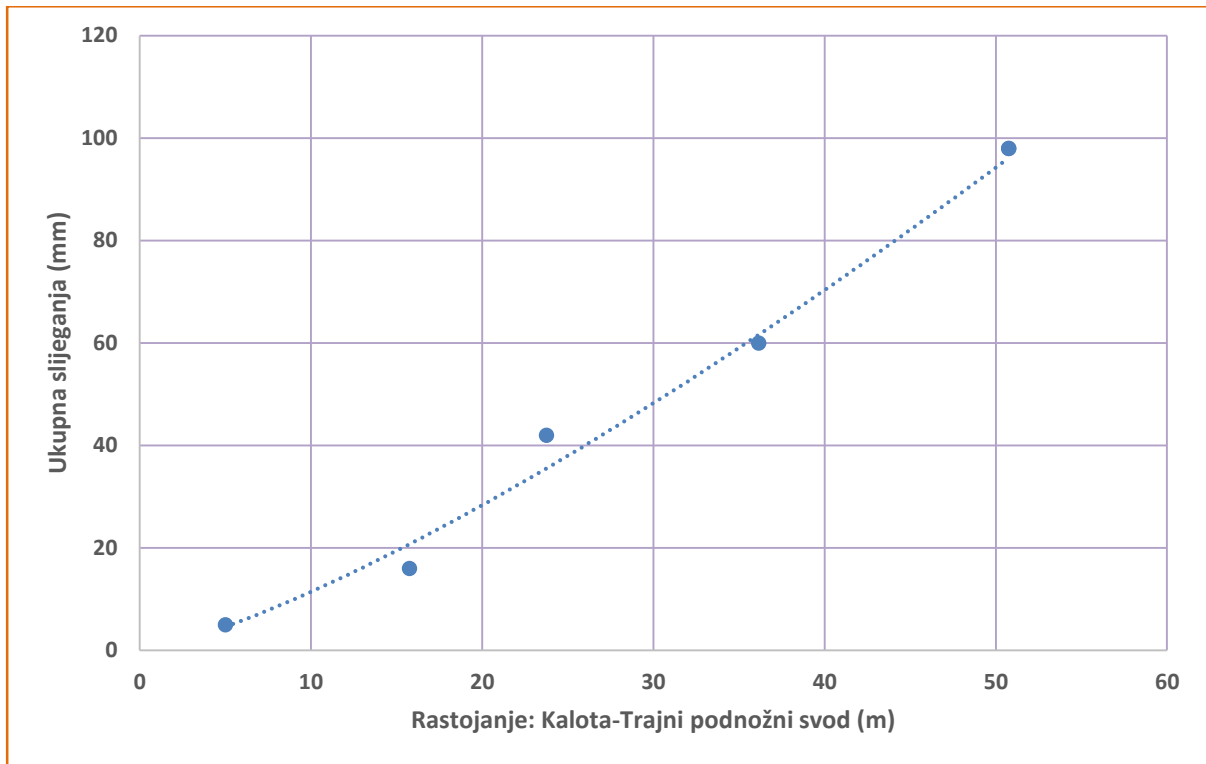


Slika 10. Uzdužni presjek – shema iskopa

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi

Razmak između iskopa kalote i trajnog podnožnog svoda na analiziranoj sekvenci lijeve tunelske cijevi se kretao u rasponu od 15 do 50 m uz svakodnevno praćenje (mjerenje) konvergencija. Analizom svih prikupljenih podataka te detaljnom obradom istih, uspostavljena je grafička korelacija (slika 11.) ovisnosti očekivanih ukupnih konvergencija u odnosu na razmak čela iskopa kalote i trajnog podnožnog svoda pri iskopu tunela u geološkim uvjetima istim ili sličnim onima koji vladaju u zoni iskopa tunela Kobilja Glava.



Slika 11. Prikaz deformacija u ovisnosti od razmaka iskopa kalota - trajni podnožni svod

Prema slici 11. jasno se može zaključiti kako konvergencije znatno počinju rasti kada se povećava razmak između stepenice i izvedenog trajnog podnožnog svoda da su zabilježene konvergencije najmanje ukoliko se trajni podnožni svod izvodi iza čela na dužini 2D iskopne prostorije (D - promjer iskopne prostorije).

Korištenjem softvera Mathematica dobivena je matematička funkcija koja se u ovisnosti od očekivane konvergencije i razmaka čela iskopa kalote i trajnog podnožnog svoda može prikazati u sljedećem obliku:

$$y=0,5601 \cdot x^{1,3102(1)}$$

gdje je:

y - očekivane ukupne konvergencije u tunelu (mm),

x - razmak iskopa kalota-trajni podnožni svod (m).

Bektašević, E., Filipović, S., Gutić, K., Musa, N.

Definiranje optimalnog razmaka između tehnoloških sekvenci pri iskopu tunela u lošijoj stijenskoj masi

5. ZAKLJUČAK

Izgradnja svakog tunela zahtjeva jedinstven pristup istraživanju i projektiranju pri iskopu tunela kao i prilagođavanje stvarnim uvjetima stijenske mase kroz koju tunel prolazi kao i objekata u neposrednoj blizini. Učinci nosivosti okolne stijene i primarne podgrade pokazuju različite karakteristike u ovisnosti o geološkim uvjetima kroz koje se izvodi tuneliranje.

U ovom radu prikazana je kontrola pomaka na konturi iskopa odnosno primarne podgrade kroz definiranje optimalnog razmaka između faza iskopa čela kalote i trajnog podnožnog svoda u raznim geološkim uvjetima kroz koji tunel prolazi. Detaljnom analizom prikupljenih podataka pri iskopu sličnih sekcija u tunelu Kobilja Glava dobivena je matematička funkcija ovisnosti pomaka u odnosu na razmak između tehnoloških sekvenci iskopavanja kalote i trajnog podnožnog svoda i ista se može koristiti kao alat za brzu i jednostavnu analizu stabilnosti u stijenskoj masi prema RMR 27-32.

LITERATURA

1. Niu, G., He, X., Xu, H., Dai, S.: Tunnelling-induced ground surface settlement: A comprehensive review with particular attention to artificial intelligence technologies, *Natural Hazards Research*, 4, 1, 2024, pp. 148-168, <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.002>.
2. Hrestak, T., Jaguljnjak Lazarević, A. i Frgić, L.: Analiza stanja naprezanja i deformacija tijekom iskopa tunela Sleme. *Tehnički vjesnik*, 22, 3, 2015, str. 703-709, <https://doi.org/10.17559/TV-20140530103847>
3. Sharifzadeh, M., Kolivand, F., Ghorbani, M., Yasrobi, S.: Design of sequential excavation method for large span urban tunnels in soft ground – Niayesh tunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 35, 2013, pp. 178–188, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.01.002>
4. IRGO Consulting d.o.o. & Lotus d.o.o., : Glavni projekt izmjene projekta tunela „Kobilja Glava“ na I transverzali, od km 3+420.00 do km 4+180.00, Knjiga D, Mapa D.4 tunelski iskop, Sarajevo, Ljubljana, 2023.
5. Bektašević, E., Gutić, K., Kadrić, R., Kadrić, S., Sikira, D.: Deformation analysis during tunnel excavation in poor rock mass, 8th International Conference on Road and Rail Infrastructures – CETRA 2024, Cavtat, 2024, pp. 799-805.
6. Bektašević, E., Gutić, K., Sikira, D.: Tunneling, With practical examples, Lap Lambert Academic Publishing, London, 2024.
7. Müller L.: Removing the misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method, *Tunnels & Tunnelling*, Summer, 22, 1990, pp.15-18.
8. Rabcewicz, L., Golser, J.: Principles of dimensioning the supporting system for the “New Austrian Tunnelling Method”, *Water Power*, 1973, pp. 88-93.
9. Design and Construction of Road Tunnels Part 3 Design and Detailing, www.ez-pdh.com/course-material/CV7053-Design-and-Construction-of-Road-Tunnels-Part-3-Design-and-Detailing.pdf (pristupljeno 10.11.2023.).
10. Stanković M.: Improvement of rock mass, Belgrade, 2020, <https://www.slideshare.net/mirsta/poboljanje-stenskih-masa-rock-improvementsidrenje-ankerisanje-stenskih-masa> (pristupljeno 10.11.2023)
11. Lunardi P.: Progetto e costruzione di gallerie-Analisi delle deformazioni controllate nelle Rocce e nei suoli, Hoepli, 2006, ISBN 88-203-3427-5, doi:10.1007/978-3-540-73875-6,
12. Kovačević J.: Savremeno građenje u podzemlju, AGM knjiga, Beograd - Zemun, 2014, str. 90-91.