

PRIMJENA CIJEVNOG ŠTITA NA TUNELIMA JAVOROVA KOSA I POD VUGLEŠ

PAVLE JURETA, ZVONIMIR DEKOVIĆ

*Industrochem d.o.o., Industrijska 23, Pula
Hrvatske autoceste d.o.o., Vončinina 2, Zagreb*

Ključne riječi: cijevni štit, nova austrijska tunelska metoda, primarna podgrada

Sažetak

U radu su opisani načini izvedbe tehnologije cijevnog štita - pipe rooфа za stabilizaciju iskopa na tunelima Javorova Kosa i Pod Vugleš. Oba tunela su specifična po svojoj geološkoj građi i geotehničkim značajkama stijenske mase u kojoj se izvodio iskop te međusobnoj udaljenosti mjerenoj po osi autoceste od 50 m. Za uvjete iskopa u slabim stijenama/tlima primijenjena je višefazna nova austrijska tunelska metoda (NATM).

Keywords: Pipe roof, tunnels, New Austrian Tunneling Method, primary support

Abstract

The modes of pipe roof technology implementation in order to stabilize the excavations on the "Javorova Kosa" and "Pod Vugles" Tunnels are described in the paper. Both tunnels are specific regarding their geological structure and geo-technical characteristics of the rock mass in which the excavations were performed as well as regarding the mutual distance of 50m measured alongside the highway axis. The multiphase New Austrian Tunneling Method (NATM) was used for the excavations in weak rock/soil.

Uvod

Na autocesti Rijeka – Zagreb, dionica Kupjak – Vrbovsko, nalaze se tuneli Javorova Kosa, duljine $l=1450$ m, i tunel Pod Vugleš duljine $l=596,5$ m. Predmetni su tuneli smješteni između mjesta Ravna Gora i Stara Sušica, a njihova međusobna udaljenost iznosi 50 m – mjereno po osi autoceste. Periodički se u stijenskoj masivu pojavljuju laminarne serije klastita, pješčenjaka, konglomerata i šejlova. Pojava pojedinih tipova stijena karakterizirana je tektonskim odnosima u geološkoj prošlosti. Uzdužni geološki profil tunela Javorova Kosa s prognoznim i izvedenim kategorijama tunelskih iskopa prikazani su na slici 1.

Razlike u predviđenoj klasifikaciji stijenske mase i one na koju se naišlo iskopom tunela su velike te se na kraju, tijekom iskopa uvidjelo kako zapravo 95% ukupnog iskopa pripada V. najnepovoljnijoj kategoriji stijenske mase. Sličan je slučaj bio i kod iskopa tunela Pod Vugleš (slika 2).

Detaljnou analizom svih dobivenih parametara, u koje su bili uključeni istražni i geotehnički radovi, geološka prospekcija, izvještaji sa terena i drugo, uvidjelo se kako tunel Javorova Kosa osim, "problematične" stijene, prolazi i kroz akvifer vodovodnog zahvata Frankopan te s vrlo malim nadslojem od samo 7,6 m ispod potoka Bajt. Prema geotehničkom projektu (Jaguljnjak-Lazarević, 2000.) predviđena je izrada injekcijskog cijevnog štita - pipe rooфа. Primijenjen je Alwag Techmo sustav ugradnje cijevnog štita. Na tunelu je primijenjen tzv. integralni princip projektiranja, odnosno sustavno praćenje, nadzor, evidentiranje te trenutno rješavanje problema.

Općenito o tehnologiji cijevnog štita

Da bi se cijevni štit mogao primijeniti, moraju se uzeti u obzir neki čimbenici kao npr.:

a) geološke i geotehničke značajke materijala u kojem se obavlja iskop moraju opravdati upotrebu cijevnog štita

b) opravdanost upotrebe radi cijene koštanja (povećani profil i s time u vezi povećana cijena primarnog podgradnog sustava)

c) lagana i brza adaptacija strojeva za bušenje

d) obučenost - izvježbanost radnih ekipa za obavljanje svih operacija vezanih za implementaciju te metode.

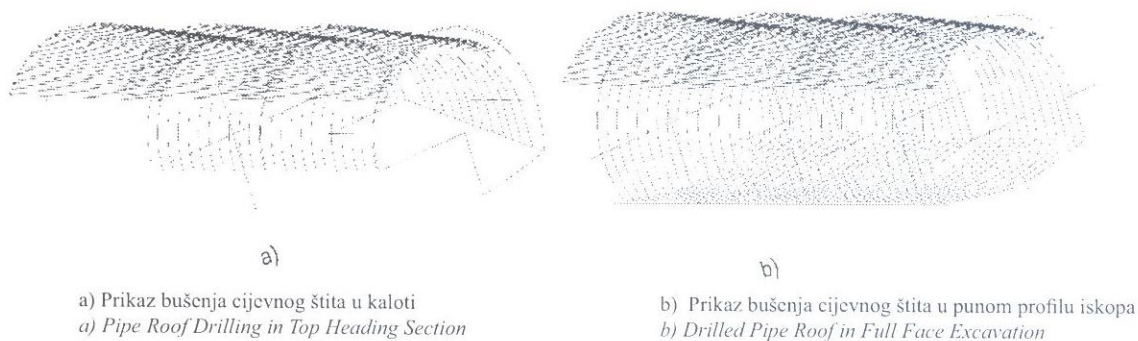
Ta metoda se razlikuje od klasične metode iskopa s primarnim podgrađivanjem u tome što se iskop obavlja u proširenom tunelskom profilu ispod cijevnog štita (Jureta & Deković, 2002.). Povećanje poprečnog presjeka tunelske cijevi približno iznosi 15 %. Za proširenje tunelskog profila potrebno je ugraditi određeni broj

tunelskih rešetkastih lukova na razmaku od 1 m, različitih dimenzija - ukupno njih dvanaest. Prvi čelični rešetkasti luk ima veću obodnu duljinu za cca 70 mm od lukova u klasičnom tunelskom profilu, dok je svaki sljedeći (do zadnjeg - dvanaestog), većih dimenzija od prethodnog. Duljine pojedinih lukova te njihove razlike prikazane su u tablici 1. Treba istaknuti kako dimenzije prikazane u tablici vrijede isključivo za tunele Javorova Kosa i Pod Vugleš i te dimenzije nisu tipske. Mase čeličnih lukova (prvog do dvanaestog) kreću se u granicama od 534,2 kg do 576,8 kg.

Tablica 1. Geometrijske karakteristike pojedinih rešetkastih, čeličnih lukova cijevnog štita
Table 1 Geometrical Characteristics of Each Trussed Steel Arch in Pipe Roof

Čelični luk br.	Duljina kalotnog dijela [mm]	Duljina bokova [mm]	Ukupna duljina [mm]	Razlika duljina od pret. luka [mm]
1	6473	5713	12 117	$\Delta = 70$ (1.-kla.)
2	6473	5783	12 186	$\Delta = 69$ (2.-1.)
3	6473	5783	12 256	$\Delta = 70$ (3.-2.)
4	6473	5852	12 325	$\Delta = 69$ (4.-3.)
5	6792	5913	12 705	$\Delta = 380$ (5.-4.)
6	6792	5983	12 775	$\Delta = 70$ (6.-5.)
7	6792	6052	12 844	$\Delta = 69$ (7.-6.)
8	6792	6121	12 913	$\Delta = 69$ (8.-7.)
9	7112	6183	13 295	$\Delta = 382$ (9.-8.)
10	7112	6253	13 365	$\Delta = 70$ (10.-9.)
11	7112	6322	13 434	$\Delta = 69$ (11.-10.)
12	7112	6391	13 503	$\Delta = 69$ (12.-11.)

Na slici 3 je shematski – aksonometrijski prikaz ugrađenog cijevnoga štita u kampadama – u kaloti.



Slika 3. Aksonometrijski prikaz cijevnog štita
Figure 3. Axonometric Projection of Installed Pipe Roof

Tijekom bušenja i ugradnje cijevnog štita nema napretka iskopa. Taj postupak se mora uvježbati s ekipama na iskopu te uskladiti s ekipom mehaničara i geodeta kako bi trajanje bilo što kraće. Geodeti, angažirani na poslovima geodetskih mjerenja pri iskopu tunela, moraju pripremiti tzv. mete na kojima se precizno ucrtavaju središta osi čeličnih cijevi. Injektiranje cijevi cijevnog štita pod tlakom od 5 do 20 bara iziskuje upotrebu injekcijskih strojeva (npr. tip MAI).

Nakon svih ovih priprema realno je očekivati kako se u početku bušenja i ugradnja cijevi cijevnog štita može protegnuti i na dva do tri dana. Nakon nekoliko uzastopnih kampada cijevnog štita, uvježbanost ekipa uzrokovala je smanjenje vremena ugradnje cijevnog štita na samo jedan dan - uz pretpostavku normalnog funkcioniranja svih ostalih čimbenika pri radu.

Cijevi štita su spojene cijevi pojedinačnih duljina 3,0 m, trapeznog navoja i promjera \varnothing 114,3 mm, a buše se pod kutem od $3,91^\circ$. Za udarno - rotacijski princip bušenja razvijeni su specijalni tipovi bušača kruna (s odstojnikom i pomoćnim bušačim prstenom s graničnikom), koje se postavljaju na prvu cijev. Nakon završetka bušenja prve cijevi, odstojnik i pomoćni bušači prsten s graničnikom ostaju na dnu bušotine dok se bušača kruna okretanjem u suprotnom smjeru od smjera bušenja odvaja od graničnika i izvlači iz bušotine (Hrestak, 2000.). Na postojeću bušaču šipku postavlja se druga cijev i proces bušenja se nastavlja do ukupne duljine od 15 m ($5 \times 3,0$ m). Na taj način možemo jednu bušaču krunu iskoristiti za bušenje nekoliko kompletnih cijevi ili cijelog ciklusa, što ovisi o kvaliteti samog materijala od kojega je ona izrađena. Na tunelima Javorova Kosa i Pod Vugleš ukupno se u kaloti trebalo izbušiti 36 cijevi. Nakon ugradnje cijevi cijevnog štita kroz njih se injektira okolna stijenska masa dok one same ostaju zapunjene injekcijskom smjesom. Na taj se način stvara "ljsuka" iznad kalote tunelskog profila, koja štiti od urušavanja profila tijekom iskopa.

Primarni podgradni sustav u V. kategoriji stijenske mase

Prema geotehničkom projektu predviđena su bila dva primarna podgradna sustava i to za V.a i V.b kategoriju stijenske mase. Podgradni sustav V.b kategorije sastojao se od:

- a) ugradnje mlaznog betona - prvi sloj debljine 5 cm, MMB25
- b) ugradnje čeličnih mreža Q 221 (unutarnja mreža)
- c) ugradnje čeličnih, rešetkastih lukova na svakih 1,0 m
- d) ugradnje mlaznog betona - drugi sloj debljine 25 cm, MMB25
- e) ugradnje mlaznog betona debljine 15 cm na čelu radova, MMB 25
- f) ugradnje čeličnih mreža tip Q 221 (vanjska mreža)
- g) bušenja, ugradnje i injektiranja čeličnih sidara MAI/IBO \varnothing 32 mm

h) Ugradnje mlaznog betona - treći sloj debljine 10 cm, MMB25 (Balen, 1999.).

Shematski prikaz cijevnog štita i primarne pograda prve faze iskopa kalote u V.b kategoriji dan je na slici 4.

Sam iskop materijala obavljao se u četiri faze:

1. faza iskopa - iskop kalotnog dijela (top heading), uz podgrađivanje
2. faza iskopa - iskop jedne strane srednjeg dijela (bench) uz podgrađivanje, dok se na drugoj strani izvodi pristupna rampa nagiba $\sim 12\%$, duljine oko 40 m za kretanje strojeva u kalotni dio
3. faza iskopa - iskop druge strane srednjeg dijela (bench) uz podgrađivanje te premještanje pristupne rampe na drugu stranu
4. faza iskopa - iskop podnožnog svoda uz podgrađivanje.

Napredak iskopa je oko 1 do 1,5 m po danu u kaloti i oko 2 do 3 m u srednjem dijelu. Pri upotrebi cijevnog štita, rizik od "odvale ili curenja" materijala svodi se na minimum. Tijekom izgradnje tunela Javorova Kosa i Pod Vugleš uz primjenu cijevnog štita nije se dogodila niti jedna "odvala".

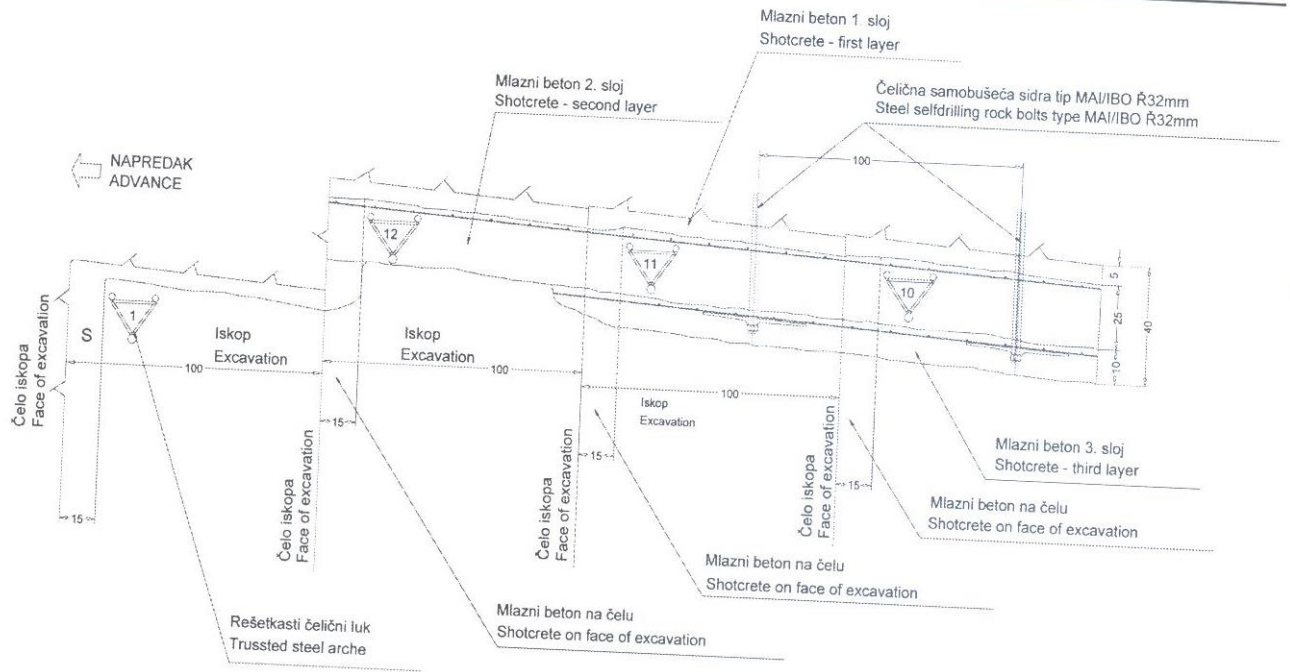
Primjene cijevnog štita

Na predmetnim tunelima, razlikujemo tri specifična slučaja primjene cijevnog štita. Razlike su u statičkom tretmanu cijevnog štita. Jedan način je ulazak u tunel Javorova Kosa - istočni portal, drugi je način izlazak iz tunela Pod Vugleš, dok se treći način odnosi na mogućnost sanacije odvala cijevnim štitom.

Prvi slučaj primjene. Na vrhu, po rubovima usjeka pri istočnom portalu tunela nalaze se privatne kuće pa je trebalo osigurati što manja slijeganja površine terena. Umjesto klasičnih samobušećih čeličnih sidara tip MAI/IBO \varnothing 32 mm, $l = 12,0$ m za osiguranje predusjeka, u kaloti su ugrađene cijevi cijevnog štita. U primjeru "ulaska" u stijenski masiv V. kategorije, stijenske mase s izuzetno slabim geomehaničkim značajkama, cijevi se oslanjaju na popustljivu podlogu i opterećene su vlastitom težinom nadsloja visine 3,0 m. Na slici 5 prikazano je bušenje cijevnog štita u podgrađenom predusjeku - istočni portal tunela Javorova Kosa pomoću bušilice tipa Montabert - monopanto, opremljenom jednom bušačom granom koja je adaptirana za bušenje cijevnoga štita.

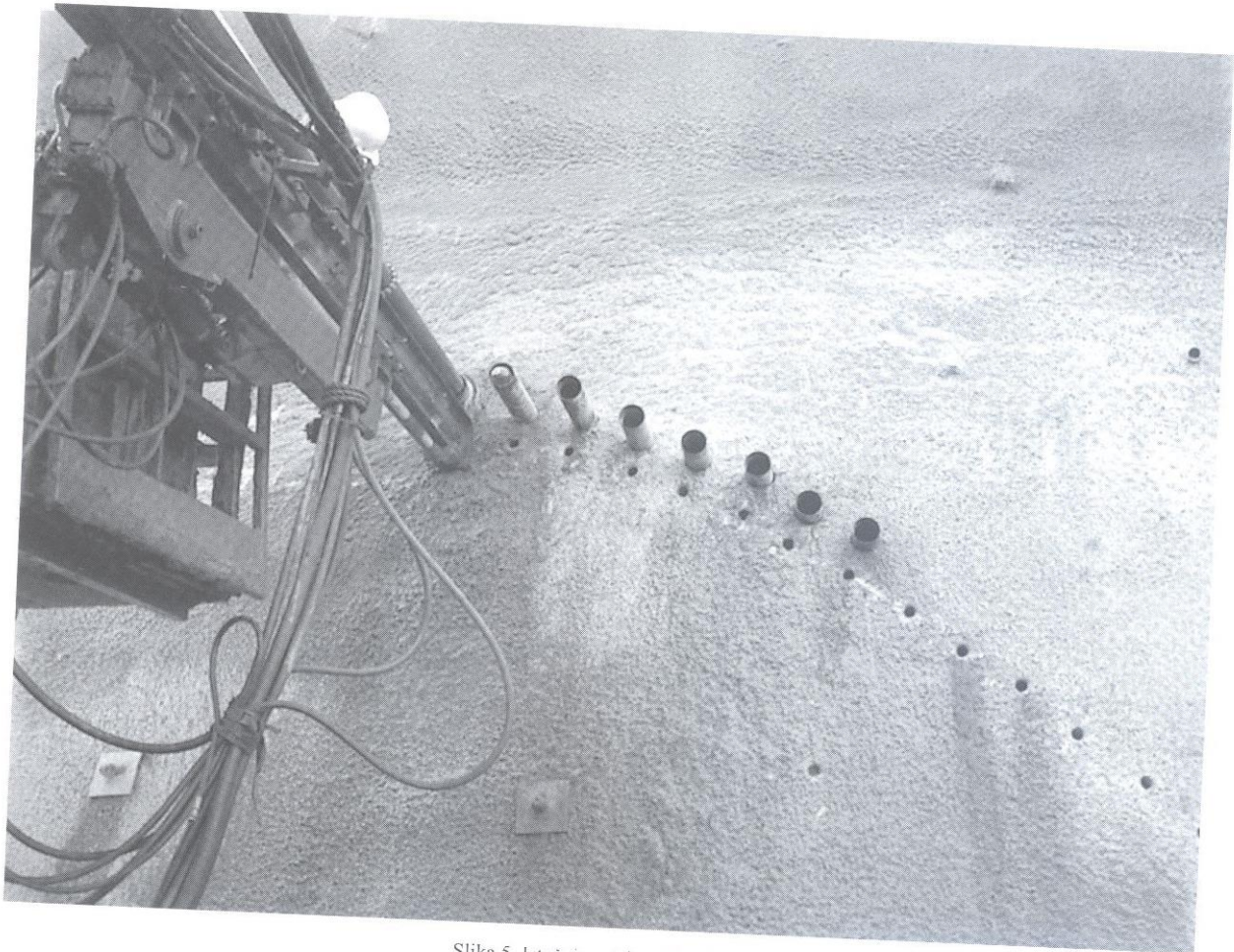
Cijevi cijevnog štita na svom ulaznom dijelu oslonjene su na podgradni sklop predusjeka (armirani mlazni beton). Nakon ugradnje cijevnog štita pristupilo se izradi lažnog tunela, te potom i samom iskopu tunela te osiguranju profila primarnom podgradom.

Drugi slučaj primjene. Zapadni portal tunela Pod Vugleš. Iskop tunela Pod Vugleš izvodio se s istočne strane. Tijekom iskopa tunela, a zbog geoloških i



Slika 4. Uzdužni presjek tunelskog iskopa - prva faza iskopa u kaloti

Figure 4. Longitudinal Section of Tunnel Excavation - First Phase of Excavation in Top Heading



Slika 5. Istočni portal tunela Javorova Kosa

Figure 5. East portal of "Javorova Kosa" Tunnel

geotehničkih razloga (približavanja iskopa zoni potencijalnog klizišta sa zapadne strane) primijenjen je cijevni štiti. Zadnja kampada bušenja "izašla" je oko 90 cm "izvan" tunela. Stoga se prvo pristupilo izradi lažnog tunela zapadnog portala tunela Pod Vugleš, dok izbušene cijevi predstavljaju ujedno i dodatnu podgradu lažnom tunelu. Na slici br. 6 prikazan je ostatak izbušenih cijevi cijevnog štita na zapadnom portalu tunela Pod Vugleš te dio izvedenog lažnog tunela.

Pri "izlazu" iz stijenskog masiva cijevi cijevnog štita spregnute su primarnom podgradom tunela. U oba slučaja cijevni štiti predstavlja armirano betonsku ljusku iznad kalote tunelske cijevi. Na slici 7 prikazan je uzdužni presjek kroz zapadni portal tunela Pod Vugleš s ugrađenim cijevnim štitom.

Treći slučaj primjene. Sanacija odvala. Prilikom iskopa tunela Javorova Kosa, klasičnom metodom i podgrađivanjem, došlo je do nekoliko odvala stijenskog materijala uzrokovanih poremećajem strukture okolne stijene u kaloti.

Nakon dogovora sudionika u izgradnji odlučeno je da se za sanaciju odvala primijeni cijevni štiti. Taj problem riješen je na način prikazan na slici 8.

Prvo se pristupilo osiguranju profila primarnom podgradom a) do h), a zatim izvedbi cijevnog štita. Postupak ugradnje cijevnog štita u ovome slučaju nije podrazumijevao povećanje profila iskopa. Prvo su izbušene i ugrađene cijevi štita pod kutem od 35°, duljine 12 m, nakon toga je u prošireni profil nastao odvalom, postavljeno sedam rešetkastih čeličnih lukova tipa br. 12. Prostor između primarne podgrade i cijevnog štita ispunjen je čeličnim mrežama savijenim u tzv. jastuke i mlaznim betonom.

Zaključak

Upotrebom metode cijevnog štita omogućuje se sigurniji rad na iskopu tunela i ostalih podzemnih prostorija u rastresitim, rahlim i koherentnim materijalima kod kojih klasičan iskop u nekoliko faza ne osigurava dovoljnu sigurnost ljudi i opreme. U našim je uvjetima poradi svojih tehničkih i ekonomskih prednosti, te praktičnosti i jednostavnosti u izvedbi, za ojačanje i učvršćenje stijene ili tla kao prethodnog osiguranja iskopa metoda cijevnog štita vrlo zanimljiva i sve se više primjenjuje. Međutim, uza svu praktičnost i jednostavnost, uspješnost primjene cijevnog štita ovisi ponajviše o sociotehničkoj komponenti, odnosno o čvrstoj organizacijskoj strukturi unutar gradilišta i uigranosti tima radne smjene.

Primljeno: 20. 08. 2003.

Prihvaćeno: 15. 09. 2003.

Literatura

- Balen, B., Primjena nove tehnologije "cijevnog kišobrana" – pipe roof u projektiranju i izvedbi tunela Hrastovec i Vrtlinovec, *Mehanika stijena i tuneli*, 1999, pp 181–186
- Hrestak, T., 2000: Moderne tehnike iskopa tunela u slabim stijenama i njihova primjenjivost u Hrvatskoj, *Magistarski rad*, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, pp 40-48

Jaguljnjak-Lazarević A. (2000.): Geotehnički projekt tunela "Javorova Kosa" i "Pod Vugleš", autocesta Rijeka – Zagreb, dionica Kupjak – Vrbovsko, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Jureta P. i Deković Z. (2002.): Pipe roof – uporaba i načini ugradnje, *Mineral* br. 2/2002, Zagreb

Pipe Roof Application on the "Javorova Kosa" and "Pod Vugles" Tunnels

The most significant applications of the pipe roof technology are in excavation of: tunnels in weak rock or in the soil with very thin overburden, with or without influx of underground waters, through areas with faults, in urban places, as well as in the rock material in which there are great pressures and convergences and in cases when tunnel portals are to be secured.

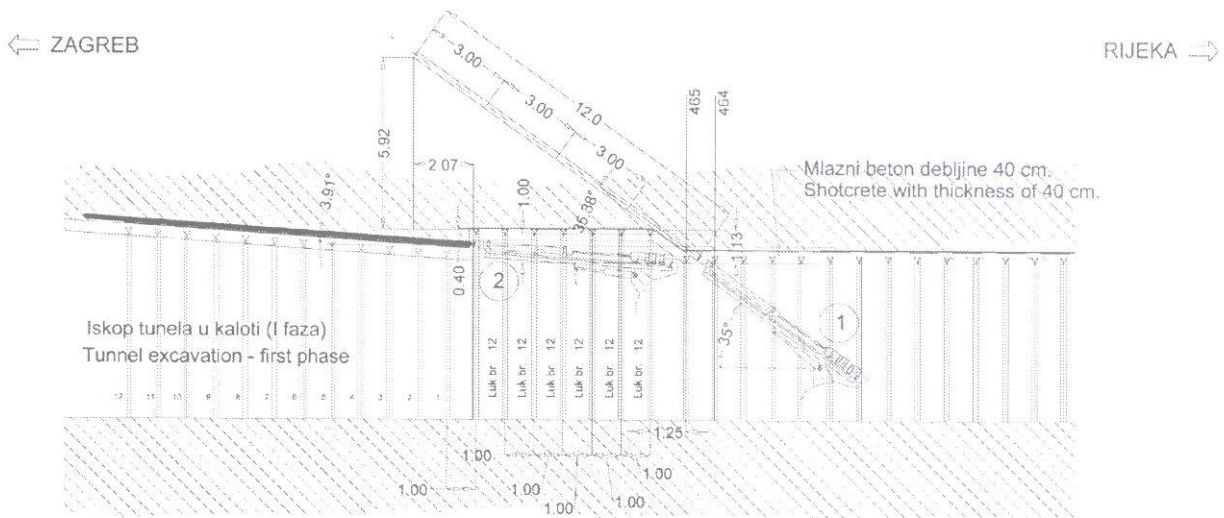
The "Javorova Kosa" Tunnel (length $l=1450$ m) and the "Pod Vugles" Tunnel (length $l=596.5$ m) are located on highway Rijeka – Zagreb, section Kupjak – Vrbovsko between Ravna Gora and Stara Sušica. The excavation of both tunnels was performed by using the multiphase New Austrian Tunnelling Method (NATM) and it was performed in three phases. The first phase of the excavation includes the excavation of the top heading of the tunnel profile, the second phase of the excavation includes the excavation of the bench in two sub-phases because of the construction of access ramp, and the third phase includes the excavation of the tunnel invert.

Laminar strata of clastic rocks, sandstones, conglomerates and shale appear in the rock mass of the both tunnels with the presence of underground water and a thin overburden. In geological sense the excavation of the tunnel was performed under very variable geotechnical conditions. The excavation of the worst category of rock mass was secured by primary support of type V.b. This means that trussed steel arches were constructed at every 1.0 m of tunnel excavation, as well as two rows of steel wire mesh, three layers of sprayed concrete with total width of 40-50 cm and the self-drilling (steel) rock bolt MAI/IBO $\varnothing 32$ mm.

Due to very difficult conditions caused by geological surroundings in which the excavations were being performed, the pipe roof was applied on both tunnels in order to fortify and strengthen the rock with the purpose of securing the excavation in advance. During the excavation of the tunnels in question, the pipe roof was used only on some sections, and its application turned out to be an efficient solution that was accepted very quickly and that was implemented in quality manner. The pipe roof method has precedence in comparison to other methods in similar geological-geotechnical conditions and especially in conditions of disintegrated rocks and cohesive soil.

Because of excellent experience in practice, the pipe roof technology is used more frequently in Croatia. Starting with its first implementation on the "Sv. Marko" Tunnel and then on the "Javorova Kosa" and "Pod Vugles" Tunnels, as well as on "Hrastovec" and "Vrtlinovec" Tunnels, it is certain that it will be used in near future in large urban areas.

Detalj bušenja cijevnog štita u tunelu Javorova Kosa
bez postupnog povećanja profila
Detail of pipe roof drilling in tunnel Javorova Kosa
withouth incremental increasing of section excavation



- 1 Busenje cijevnog štita (prijelaz sa standardnog luka na luk br. 12)
Drilling of pipe roof (overpassing from standard steel arche to pipe roof steel arche No. 12))
- 2 Standardno busenje cijevnog štita s nagibom od 3.91 stupnjeva
Standard pipe roof drillnig with slope 3,91 degrees

Slika 8. Uzdužni presjek kroz tunel Javorova kosa - sanacija odvalc

Figure 8. Longitudinal section through the tunnel Javorova Kosa -Repair of the consequences of cave-in