

UDK 624.191.3:622.233:007.52:621.375.826(497.5)  
Stručni članak

## Novi postupci u tunelogradnji

Hrvoje TRCONIĆ – Vinkovci<sup>1</sup>, Pavle JURETA – Zagreb<sup>2</sup>

*SAŽETAK. Na autocesti Rijeka-Karlovac, dionica Vrbovsko-Bosiljevo, 4. kolovoza 2000. godine probijen je prvi hrvatski tunel s tri traka, Veliki Gložac, ukupne dužine 1108 m. Izvođači su bili francuska tvrtka 'SPIE Batignolles' i hrvatska tvrtka 'Mediterranean Union Tunnel'. Za proboj tunela upotrijebljena je metoda "Drill & Blast". Za bušenje minskih rupa prvi je puta u Hrvatskoj upotrijebljena potpuno automatizirana bušilica Robofore-Montabert tvrtke Robodrill (u nastavku teksta – robofor). Profil tunela bio je dovoljno širok da se istodobno upotrijebe dva stroja za bušenje minskih rupa. Istodobna uporaba dvaju robofora nije nova metoda u svijetu. Prije nekoliko godina to su primijenili stručnjaci iste tvrtke na prokopu željezničkog tunela u pravcu, u Hong Kongu. Međutim, to je prvi puta u svijetu da su dva robofora istodobno radila u krivini. Premda tunelogradnja nije tako česta i zastupljena tema te se o njoj može opširno pisati, ovaj tekst donosi tek neke specifičnosti proboja tunela Veliki Gložac.*

*Ključne riječi: laser, tunel, tunelogradnja, Robofore-Montabert, Robodrill.*

### 1. Uvod

Na autocesti Rijeka-Karlovac, dionica Vrbovsko-Bosiljevo, probijen je 4. kolovoza 2000. godine tunel Veliki Gložac. Ukupna duljina iskopa tunela iznosila je 1108 m. Iskop materijala obavljao se metodom bušenja i miniranja u stijeni starosti donje krede. Geološko-rudarski aspekti obavljenoga posla opisani su u časopisu Mineral (Jureta, Trconić 2002), dok je u ovome radu težište na geodetskim radovima.

Automatizirano bušenje tunela vrlo je zanimljiva djelatnost koja se stalno unapređuje. Jasno je da se u 'mraku tunela' ne može bez geodetskih proračuna i vođenja,

<sup>1</sup>Hrvoje Trconić, dipl. ing. geod., Hrvatske šume d.o.o. – Uprava šuma Vinkovci, Trg J. Runjanina 1, 32000 Vinkovci, e-mail: htrconic@net.hr

<sup>2</sup>Pavle Jureta, dipl. ing. rud., Produkt d.o.o., Vrbanićeva 50, 10000 Zagreb, e-mail: pjureta@inet.hr

pa se automatizacija odražava i na količinu i opis radnih zadataka geodetskog stručnjaka.

Danas se bez lasera u tunelu više ne radi. Neke druge stvari i principi rada, naprotiv, ne mijenjaju se već godinama. Zbog razumijevanja teksta potrebno je širem krugu čitatelja, a napose kolegama koji nisu imali tu (ne)sreću raditi na tunelu, malo opširnije objasniti ulogu lasera i neke osnovne geodetske zadaće vezane uz njega.

Laser je skraćenica od *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ili, u prijevodu, "pojačanje s pomoću stimulirane emisije zračenja". To je uređaj za stvaranje ili pojačavanje koherentnih valova svjetlosti. Laseri emitiraju koherentno (međusobno povezano) paralelno zračenje goleme snage koje se može fokusirati na vrlo malo područje. Laserska zraka (u daljem tekstu laser) može biti dužeg ili kraćeg trajanja i različitih valnih duljina. Ovisno o valnim duljinama laser se upotrebljava u različite svrhe. Laseri valnih duljina nevidljivih za čovjekovo oko upotrebljavaju se npr. u elektrooptičkim daljinomjerima (Benčić 1990), dok se laseri vidljivih valnih duljina upotrebljavaju u slučajevima kad ih je potrebno vidjeti u prostoru.

U tunelu koriste se laseri s vidljivom svjetlošću, a služe za vertikalno i horizontalno definiranje u prostoru, dok se uzdužno definiranje (u smjeru kopanja) rješava na drugi način.

## 2. Uporaba lasera u tunelu (s osvrtima na terenska iskustva)

Uglavnom su laseri, korišteni na gradilištu, štetni za oči ali ne i pogubni, što znači da je potreban određeni oprez pri radu s njima. U specifikacijama lasera, ili na samom laseru, piše kojeg su reda jačine, potreban napon za rad, potrošnja itd. Na gradilištu smo rabili tri vrste lasera. Dva su bila *linearna*, a treći je bio *rotacijski*, podešiv za određene poprečne i uzdužne nagibe, a rabljen je za potrebe betoniranja u tunelu. Od dva linearna lasera jedan je tip bio vrlo star (4 lasera bila su stara 20-ak godina), a drugi je tip bio potpuno nov, kupljen na naš zahtjev (4 komada). Noviji laseri bili su lakši za rukovanje i ugodniji za rad (neograničena mogućnost horizontalne i vertikalne rotacije, lakši), ali bez obzira na razlike, pogotovo starosnu razliku, oba su tipa bila podjednako iskoristiva jer potrebe proboja, bez dodatnih okana i drugih zavrzlama, ne postavljaju zahtjeve za visoku kvalitetu izvedbe i mogućnosti lasera. Zanimljivo je da smo sav instrumentarij, pa čak i obične fluorescentne vodootporne sprejeve dobivali iz Francuske.

Laser je vrlo koristan instrument i za kopanje tunela manje suvremenim metodama, ali kod nas do sada učestalijima. Laser se postavlja na postolje ručne radinosti. To znači da će ga izraditi mehaničarski odjel s gradilišta (njima je obično to "prekomplicirano jer im se ne daju raditi gluposti i nisu plaćeni za taj posao") ili ga je potrebno naručiti od vanjskog suradnika. Ilustracija na slici 1 prikazuje opremu koju je potrebno pripremiti uz laser.

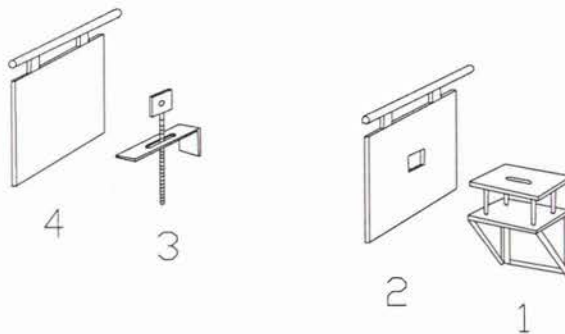
- Brojem 1 označeno je postolje lasera. Laser se pričvršćuje na gornju plohu, a ovisno o opasnosti po laser, može se dodati i zaštitna kutija koja bi ga u potpunosti zatvorila.

- Brojem 3 označena je meta lasera. Zraka lasera namješta se vijcima za fini pomak (ako ih laser ima) kako bi pogađala kroz rupu na pločici mete. Meta ima slobodu pomaka po vertikali (pričvršćuje se maticom odozgo i odozdo) i po horizontali (usječen je utor šipke uzduž postolja mete), pa je moguće jednom fiksirati laser naciljati kroz rupu mete pomicanjem same mete, a ne lasera.
- Brojevima 2 i 4 označene su čelične ploče (debljine 1 do 2 cm i površine 1×1 m), koje vise na čeličnim šipkama zabijenima u stijenku tunela, a služe za zaštitu lasera, postolja i mete od kamenja koje ponekad leti uokolo prilikom detonacije. Važno je da ploče imaju slobodu rotacije oko šipke jer slobodnim ljuľljanjem apsorbiraju udarce kamenja. Time se izbjegavaju oštećenja. Jedina razlika između ploče ispred mete i one ispred lasera je ta što ploča ispred lasera ima rupu za prolaz zrake, dok na ploči ispred mete nema svrhe raditi rupu jer bi za svaki pomak lasera rupa bila na drugome mjestu. Zbog toga je ploču ispred mete potrebno skinuti sa šipke, što se događa najmanje 2 puta u 24 sata (tuneli se kopaju u tri smjene, od 0 do 24). Ta radnja nije nimalo ugodna, s obzirom na to da je ploča jako teška (oko 50 kg) i prilično oštra na rubovima. Rupa na ploči ispred lasera ima kapak koji se spusti nakon upotrebe (kao špijunka na vratima) te je otklonjeno svako oštećenje lasera koje ne uzrokuje čovjek svojom nepažnjom.

Opisana "dodatna oprema za laser" može izgledati drukčije (ovisno o terenskim prilikama i inovativnosti), a onu na terenu smo sami osmislili i snašli se u hodu, učeći i uzimajući ideje od starijih i iskusnijih, odreda stranaca.

Položaj i postavljanje lasera (i pripadajućeg postolja, mete i zaštite) ovise o vrsti tunela (veliki ili mali profil), načinu iskopa (miniranje, kopanje itd.), terenskim uvjetima (npr. je li s lijeve ili desne strane dovod struje, vode i zraka), konfiguraciji osi tunela (krivina, pravac, klotoida ili njihova kombinacija) i ponekoj nepredvidenoj situaciji, kojih je podosta kad se nađe puno ljudi na malom prostoru (npr. netko je uzeo kabel za napajanje lasera, laser je postavljen na krivome mjestu zbog neznanja mehaničara, nema 'košare' pa se mora ljestvama ili bagerom do lasera, itd. – a potomje uvelike određuju položaj lasera).

U idealnom slučaju, kad logistika funkcionira besprijekorno, geodet dobiva svu opremu za laser na vrijeme, ali ako nema opasnosti za laser (npr. ako se ne minira), cijeli se posao može obaviti bez zaštitnih ploča. Čak se i bez mete može definirati položaj lasera, ali se u tom slučaju gubi mogućnost kontrole, a sam je laser potrebno



Slika 1. Postolja lasera, meta s postoljem i dvije zaštitne ploče.



kontrolirati barem tri puta češće radi eventualnih pomaka, što oduzima daleko više vremena i povećava mogućnost slučajne pogreške. De facto je davanje smjera proboja tunela izravno povezano s davanjem položaja lasera, i to govori koliko se zapravo kockamo, ako nemamo kontrolu lasera, tj. metu. Treba spomenuti da je smjer proboja tunela geodetska i samo geodetska zadaća i odgovornost.

*Zaštitna kutija* za laser (koju je dobro zaključati lokotom) već je prije spomenuta u tekstu. Ona ima dvostruku namjenu i može biti imperativ za očuvanje točnosti. Zašto?

Primarna namjena joj je zaštita od kamenja, neopreznih vozača (ako je laser postavljen prenisko – što je posljednja solucija pri izboru položaja) i ukratko fizičkih oštećenja svih vrsta.

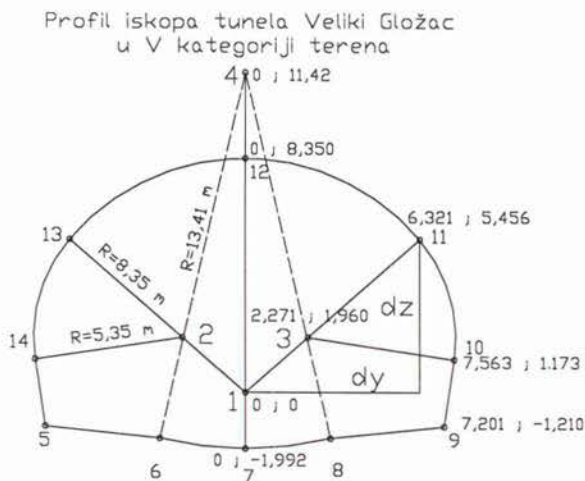
Druga namjena nije manje važna (ako ne i više). Laser i meta su, prilikom kopanja tunela u fazama (ako se ne kopa u punom profilu već dio po dio – gornji, donji desni/lijevi pa donji lijevi/desni), na dohvat svakoga. Naime, ako laserska zraka položajem iz nekog razloga ne odgovara radnicima, oni imaju običaj solidarno preuzeti posao u svoje ruke, jer se geodet nalazi na drugim tunelima (zašto čekati?!). Laser za čas pogada njima željeno mjesto, ali tunel više ne ide u dobrom smjeru. Tko je kriv?! – geodet. U očaju se radnici neće libiti upotrijebiti ljestve (koje su potrebne za pristup laseru pri kopanju tunela u punom profilu), popeti se do 5 metara visokog lasera i obaviti nužne radnje. Dakako da im sada laserska zraka više ne pogada rupu na meti, u slučaju da je uopće postavljena. Ista će se radnja solidarnosti ponoviti i na postolju mete. Dok bi dlanom od dlan, sve je zamaskirano, a tunel je spreman do iduće kontrole malo skrenuti i povećavati odstupanje sljedećih 20 metara u krivom smjeru, što može uzrokovati novčanu štetu od nekoliko desetaka tisuća eura, a ponekad i više. Da bi se ispravila pogreška, potrebno je zaustaviti napredovanje prokopa, angažirati druge strojeve dok skupi strojevi čekaju neiskorišteni, a isto tako i ljudstvo, koje je najjeftinije u cijeloj priči. Takve je nevolje moguće preventivno spriječiti postavljanjem lokota, a i tada se meta, koja nije pod lokotom, misteriozno savine kako bi zraka lasera prolazila kroz željeno mjesto.

Meta ima funkciju kontrole pomaka lasera. Kada su terenski uvjeti dozvoljavali upotrebljavane su i dvije mete radi bolje kontrole i povećanja točnosti. Zaštićeni se laser gdjekad pomakne zbog vibracija ili potiska zraka (tijekom miniranja). Isto tako meta smanjuje disperziju laserske zrake, koja je katkad neupotrebljivo široka. Zraka se ne može beskonačno sužavati metama jer gubi na intenzitetu, što je jedan od znakova da je potrebno pomaknuti laser na novi položaj, bliže čelu.

Položaj laserske zrake određuje se polarnim snimanjem prizme postavljene na tri mjesta. To bi trebala biti po mogućnosti što markantnija mjesta radi moguće ponovljene kontrole. Npr. početak zrake (na izlazu iz lasera), rupa na meti, rupa na eventualnoj drugoj meti ili mjesto gdje zraka udara na čelu. Što su točke za definiranje zrake razmaknutije, to je i točnost, naravno, veća. Ako je potrebno još točnije odrediti laser (što je rijedak slučaj jer polarno snimanje elektrooptičkim daljinomjerom s prizmom sasvim zadovoljava kriterije točnosti), markantne se točke mogu odrediti presjekom pravaca s dva stajališta, pri čemu treba imati ažurno postavljenu geodetsku osnovu unutar tunela. Prostorne koordinate ubacuju se u program u računalu, a kao rezultat se dobivaju visinski i horizontalni odmaci od osi tunela na pojedinim stacionažama. U našem su slučaju programi bili isprogramirani na gradilištu.

Slika 2 prikazuje teorijski profil tunela Veliki Gložac za petu kategoriju terena (u geološkom smislu stijene u raspadanju, tj. najnepovoljniji uvjeti), a taj se profil koristio pri izlazu i ulazu u tunel, gdje je opasnost od urušavanja obično najveća. Točka 1 je ishodište koordinatnog sustava u kojem se daju podaci vezani uz laser. Točke 1, 2, 3 i 4 su centri zakrivljenosti isječaka krugova koji definiraju pojedine dijelove profila. U slučaju tunela manjeg profila, na terenu je dovoljno iskolčiti točke 1, 2 i 3. Od njih je lako negeodetima dobiti konturu tunela s pomoću malo špage na kojoj se zabilježi potrebna udaljenost (na slici:  $R = 5,35\text{m}$  i  $R = 8,35\text{m}$ ). Hipotetički, ako laser udara u točku 11, podaci koje geodet daje (u najjednostavnijem slučaju) za točke 1, 2 i 3 su npr.:

Točka	Stacionaža (m)	dy (m)	dz (m)
1	54+135,00	-6,32	-5,46
2	54+135,00	-8,59	-3,50
3	54+135,00	-4,05	-3,50



Slika 2. Teorijski profil (poprečni presjek) tunela, u V. kategoriji terena, s koordinatama markantnih točaka u relativnom koordinatnom sustavu.

Kakva god bila situacija na terenu (mali ili veliki tunel, loš ili dobar materijal, automatizirano ili ručno bušenje rupa, miniranje ili ne...), prilikom ulaska u tunel, i sve dok se stvari ne uhodaju, geodet označava cijelu konturu tunela i ima više posla jer je sam ulazak u tunel iz više aspekata riskantan i ljudi su obično nesigurni u sebe, pa i odmjeranje vrpcom s traženom točnošću od 50 cm prepuštaju izričito geodetima. Kontura se označava nizom točaka na razmacima 50 do 150 cm (ovisno o zakrivljenosti konture).

Kada se prvih 20 metara "ušlo" u tunel (ta veličina naravno varira) tek tada dolaze do izražaja blagodati automatiziranog bušenja, a označavanje konture pada u zaborav. Geodet je sada obavezan dati minimalan broj podataka, i to već navedene po-



datke za točku 1 sa slike 2. To su stacionaža, dy, dz, ali i divergencija lasera. Dogodi se da postoji potreba za iskolčenjem konture, ali uglavnom zbog očiglednih grešaka, i to redovito od strane *negeodeta*. S ulaskom u tunel popis geodetskih obveza se povećava, ali do tada je gradilište uhodano, a ljudi sigurniji te je posao ugodniji.

### 3. Metoda 'Drill & Blast'

Bušenje minskih rupa metodom Drill&Blast općenito se dijeli na ručno, poluautomatsko i automatsko, u ovisnosti o tome do koje mjere je stroj za bušenje minskih rupa automatiziran. Princip je ručnog bušenja da geodet označi markantne točke konture tunela, a operater na stroju (popularno nazivanom Jumbo) svaku rupu buši posebno, navodeći ručno *granu* (ruku) za bušenje (engl. – boom). Takav postupak traje vrlo dugo, obično nekoliko sati.

Kod automatskog bušenja operater je dužan poklopiti dva specifična mjesta grane (ruke za bušenje) na laser definiran u prostoru. Unosi se horizontalni i vertikalni odmak lasera od središta tunela i divergencija lasera (horizontalni kut između lasera i tangente na os tunela u ravnini trenutačne stacionaže čela). Kad je stroj u položaju za početak bušenja (horizontaliran, priključen na struju i vodu, uneseni elementi položaja lasera), računalo određuje relativne koordinate svih rupa i kut pod kojim će šipke za bušenje prodirati u čelo. Računalo ugrađeno u stroj preuzima potpunu kontrolu nad bušenjem, s mogućnošću da operater stroja u svakom trenutku može prekinuti računalom vođen potupak i nastaviti ručno bušenje s nizom opcija, ako se za to pojavi potreba.



Slika 3. Robofor upotrijebljen na probijanju tunela Veliki Gložac.

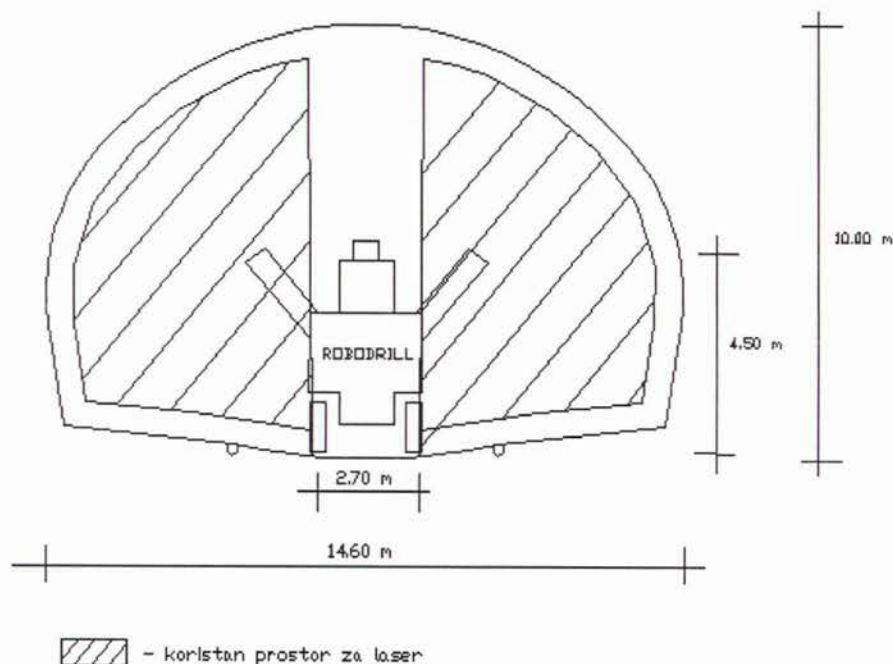
Uobičajeni općeniti redoslijed poslova u ciklusu metode Drill&Blast je sljedeći:

- bušenje minskih rupa na čelu s naročitim strojevima (jedan stroj – 2,5 h, dva stroja 1,5 h)
- punjenje minskih bušotina i miniranje
- izvoz odvaljenog materijala
- kavanje (laički – runjenje) čela, zbog mogućih naknadnih odvaljivanja za vrijeme rada na čelu.

U tom je slučaju bilo zanimljivo bušenje minskih rupa. Kompjutorizirani stroj postavlja se u potreban položaj za bušenje koristeći prostorno definirani laser. U računalu stroja nalazi se već pripremljena shema bušenja čela (raspored i redoslijed bušenja oko 160 rupa), koja se planira s pomoću naročitog softvera. Slika 3 prikazuje iz profila jedan od dvaju automatskih strojeva za bušenje (Robofore-Montabert tvrtke Robodrill).

#### 4. Tehničke specifičnosti proboja tunela Veliki Gložac iz geodetskog aspekta

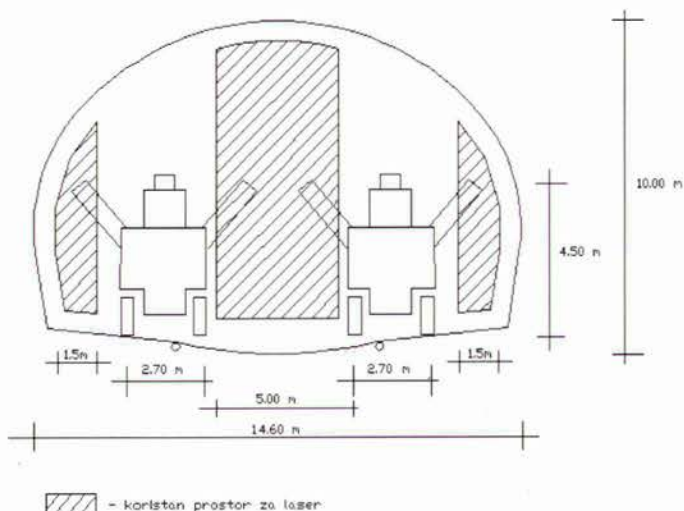
Dimenzije stroja, tunela i korisnog prostora slobodnog za zraku lasera prikazane su na slici 4.



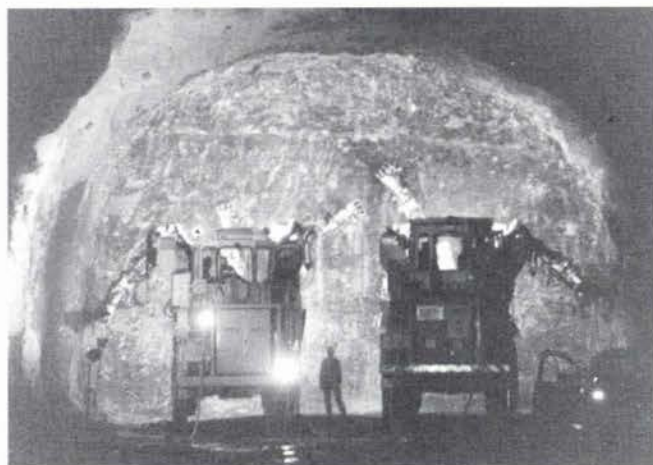
Slika 4. Jedan robofor u teorijskom položaju za bušenje čela.

U području gabarita stroja i, naravno, preko gabarita tunela laser nije moguće koristiti, a zbog izbjegavanja oštećenja mehaničkih ruku za bušenje ne ide se bliže od 60 cm od stijene. Prostor iznad samoga stroja neiskorišten je zbog tehničkih nemogućnosti stroja.

Samo bušenje 160 minskih rupa s jednim roboforom traje oko 2,5 do 3 sata. Ako na jednom gradilištu postoje dva stroja, poželjno je, zbog uštede vremena (tj. uštede novca), a i zbog maksimalne eksploatacije samoga stroja (tj. uštede novca), bušiti čelo s oba stroja istodobno. Tada bušenje traje 1,5 do 2 sata, ali se koristan prostor za određivanje lasera drastično smanjuje (slike 5 i 6).



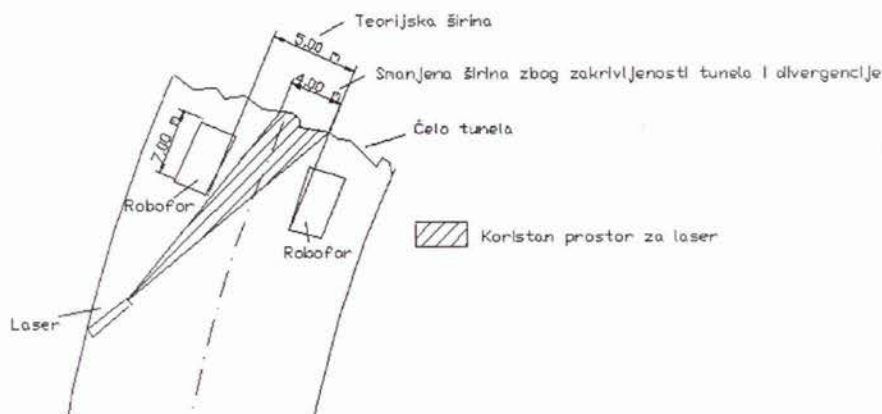
Slika 5. Dva robofora u teorijskom položaju za bušenje.



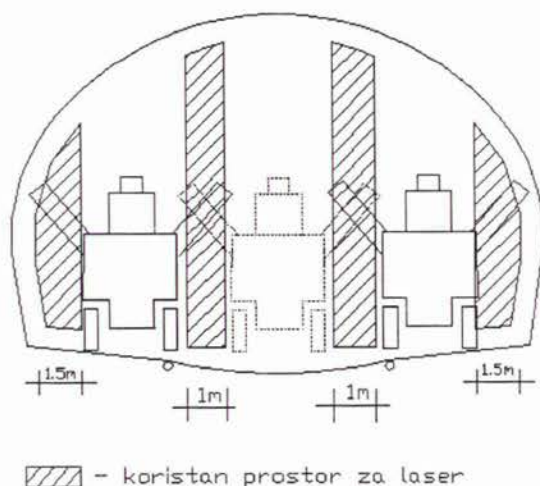
Slika 6. Dva robofora u procesu bušenja.



Prostor širine 5 m u sredini samo je teorijska veličina, jer pilotu (operateru na roboforu) više odgovara položaj što dalje od stijenke tunela. Prema tomu, prostor od 5 m postaje prilično uzak, pogotovo ako se radi u tunelu u krivini, jer se strojevi uvijek nalaze približno okomito na čelo, a laser pod nekim kutom na čelo. Tlocrt tunela, robofora, lasera i čela na slici 7 prikazuje smanjenje korisnog prostora za laser u krivini.



Slika 7. Smanjenje efektivnog prostora za upotrebu lasera zbog zakrivljenosti tunela.



Slika 8. Koristan prostor za slučaj bušenja s jednim ili dva robofora i jednim laserom.

Zbog terenskih uvjeta ili nastalih problema (kvar na stroju, nedostatne količine vode za bušenje, slab napon, opasnost od urušavanja...) može se dogoditi da je u seriji bušenja s dva robofora ponekad potrebno bušiti s jednim. U tom slučaju treba postaviti laser tako kako bi poslužio za bušenje s jednim ili s dva robofora.

Kao primjer možemo uzeti slučaj kada je jedan od dva raspoloživa lasera ostao u kvaru. Tada je bilo potrebno laser namjestiti za upotrebu u oba moguća slučaja bušenja (jedan ili dva robofora). Koliko se drastično smanjuje teorijski koristan prostor u tom vrlo specifičnom slučaju može se lako procijeniti sa slike 8.

## 5. Točnost vezana uz laser i robofor

Točnost o kojoj se tu govori, ne utječe na apsolutnu točnost prokopavanja tunela već utječe na pojedine dijelove tunela gdje su pogreške učinjene. Pogreške koje se tu spominju reda su veličine decimetra (i više) a konačna točnost proboja je ispod 2 cm. Pogreške vezane uz laser i robofor odražavaju se direktno na točnost iskopa konture tunela. Svaki suvišni iskopani kubik kamena mora se kasnije nadomjestiti s kubikom betona, što jako poskupljuje radove. Najveća ušteda novca može se postići upravo na minimalnom korištenju betona, tj. sa što pravilnijim iskopom. Troškove svih drugih faza izrade tunela novčano je lako izračunati te je na njima i manja zarada (drenaža, asfalt, instalacije...).

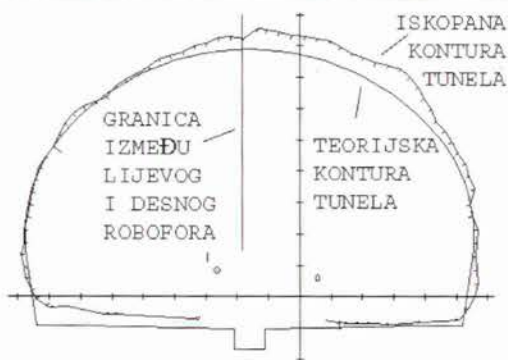
Ovisno o zakrivljenosti tunela, položaj lasera potrebno je češće ili rjeđe mijenjati. Ako je laser postavljen s nekom pogreškom, ona će se odražavati na konturi tunela dok se položaj lasera ne korigira ili ne premjesti. Što je divergencija lasera (kut između lasera i tangente na os tunela na čelu) veća, to će i poprečna pogreška određivanja položaja čela biti veća. Ponekad smo u nemogućnosti precizno odrediti stacionažu čela pa je za očekivati da se dogodi poprečna pogreška. Tada je divergencija lasera odlučujuća veličina za preciznost bušenja, tj. napretka. Odatle slijedi da je preciznost veća što je divergencija manja. Bez uvođenja niza mogućih varijabli (npr. vertikalna i horizontalna zakrivljenost tunela, vertikalna komponenta divergencije lasera, točnost određivanja položaja lasera, točnosti vezane uz sam robofor itd... – a koje su u mladenačkom zanosu uzimane u kalkulacije) matematička veza pogreške određivanja stacionaže, pogreške položaja čela i divergencije lasera pojednostavnjuje se i može se izraziti ovako:

$$\begin{aligned} & \text{poprečna pogreška određivanja položaja čela} = \\ & = \text{pogreška određivanja stacionaže} \cdot \text{tg (divergencija)}. \end{aligned}$$

Sama preciznost postavljanja ruke robofora za bušenje u njezin teorijski položaj ovisi ponajviše o terenskim uvjetima (vrsta materijala, veličina profila...), a reda je veličine najčešće do 10 cm, uz iznimno precizno obavljen geodetski dio posla (određivanje položaja lasera, određivanje stacionaže čela). To nikako ne znači da geodetski dio posla treba napraviti unutar te preciznosti jer, naravno, greške su kumulativne.

Zanimljivo je vidjeti kolika se diskrepancija može pojaviti na konturi tunela izbušenoj s dva robofora (slika 9).

Zamjećuje se vertikalni skok na desnoj strani konture tunela, na mjestu gdje su robofori 'dijelili' posao. Svakako da neslaganje nije uvijek moguće izbjeći. Moguće je da je desni robofor bio lošije postavljen, što uzrokuje lošiju konturu tunela nakon miniranja, ali to ne mora biti jedini razlog neslaganja. Ista se razlika mogla pojaviti i iz geoloških razloga (diskontinuitet u stijeni, glineni džep i sl.).



Slika 9. Profil tunela bušen s dva robofora istodobno.

## 6. Praktična strana kombiniranja rada dvaju robofora

Kombiniranjem dvaju robofora nastaju i problemi praktične naravi. Npr. jedan robofor može bušiti istodobno s tri ruke jer u računalu ima ugrađen antikolizijski program kako ne bi došlo do sudaranja ruku jednog robofora. Međutim, između dva robofora ne postoji nikakva veza osim ljudska, a i ta je diskutabilna u uvjetima izuzetne buke (zbog bušenja) i smanjene vidljivosti (prilikom bušenja je osvijetljeno jedino čelo). Za uspješno bušenje potrebna je dobro pripremljena shema za bušenje čela (drilling pattern), kao i iskustvo obaju pilota.

Shema se bušenja izradi u specijaliziranom softveru, a zatim se iz laptopa prenosi s pomoću diskete u računalo stroja. Shema za dva robofora sadrži tri potpolja. Dva su rezervirana za svaki robofor i jedno je preklapajuće koje upotrebljavaju oba robofora po potrebi.

Sljedeće slike prikazuju istočni portal tunela neposredno prije i neposredno nakon proboja.



Slika 10. Slijeva na desno: Pavle Jureta, Marin Kulaš i Hrvoje Trconić prije proboja tunela.





Slika 11. Istočni portal – nakon miniranja posljednjih 4,5 metara očekivan je proboj, no on je uslijedio tek nakon upotrebe 10-tonskog pneumatskog čekića s unutrašnje strane (tunel je bušen samo sa zapadne strane).

Tijekom proboja tunela nitko nije poginuo premda je bilo ozlijeđenih. Nezvanični svjetski prosjek pri podzemnim iskopavanjima je 1 mrtav/1 km. Francuzi su se držali strogih normi ISO 9002 za kvalitetu i sigurnost na radu, što su geodeti osjetili u obliku dodatnih redovitih kontrola instrumentarija.

## 7. O kompetentnosti

Na gradilište, koje se sastojalo od tri tunela, dolazili su nam uvaženi stručnjaci kako bi nas obučavali novim tehnologijama i zapadnjačkom načinu rada. Šef svih triju gradilišta bio je Francuz, iza kojega doslovce leže stotine kilometara tunela, a rekao mi je da dosada nije imao prilike vidjeti robofor na djelu. On se upotrebljava za kraće tunele od dobrog materijala, kada TBM (tunnel boring machine – stroj poznat po tome što je upotrijebljen na proboju ispod La Manchea) nije isplativ. U doba iskopa našeg tunela to je bilo ispod duljine tunela od 4 km, a u vrijeme pisanja ovoga teksta – ispod duljine tunela od 2 km.

Posebno nas se dojmio 63-godišnji geodet i poliglot, koji je bio vodeći geodet na proboju La Manchea s francuske strane. Još uvijek radi u tvrtki SPIE Batignolles. Došao je zrakoplovom s tunela u Njemačkoj na samo 3 dana, radi kontrole kompetentnosti geodeta.

Na žalost, u našoj tvrtki, koja se specijalizirala za takve i slične poslove, nije bilo ljudi potrebne stručnosti te je francuska strana angažirala svoje stručnjake kako bi nas obučavali. Prvo što smo naučili tijekom nekoliko nezgodnih situacija je zapravo kako ostati živ na gradilištu i u tunelu. O takvim stvarima na zagrebačkom Geodetskom fakultetu studenti ne slušaju gotovo ništa, za razliku od Francuza, čije je specijalizirano geodetsko školovanje puno kraće, ali zato ciljanije.

## 8. Zaključak

Područje tunelogradnje ubraja se u najzahtjevnije i najopasnije geodetske poslove. U prosjeku cijena kilometra tunela višestruko nadilazi cijenu kilometra autoceste. Proporcionalno opasnosti i odgovornosti potrebno je, naravno, pridati važnost odgovarajućem osposobljavanju stručnjaka.

Koliko god pokušavali pobjeći od napretka, on nas pronalazi. Svakim dolaskom neke strane tvrtke upoznajemo suvremenije tehnologije i načine rada. Opisana premijera upotrebe suvremenih metoda i uspjeti pokušaj inovacije dobar su znak i daju ozračje tehnološkog propuha, koji je krajnje potreban ako želimo bolju budućnost.

### Literatura

Benčić, D. (1990): Geodetski instrumenti. Školska knjiga, Zagreb.

Jureta, P., Trconić, H. (2002): Posebnosti iskopa tunela Veliki Gložac. Mineral 1, 14-7.

## New Methods in Tunnel Excavations

*ABSTRACT. On the highway Rijeka-Karlovac, section Bosiljevo-Kupjak, excavation of the first Croatian tunnel with three tracks is finished, tunnel of Veliki Gložac. Constructors were French company SPIE Batignolles and Croatian company Mediteran Union Tunel. "Drill & Blast" method was used in excavation. Profile of the tunnel was wide enough for two machines for drilling the mine holes (robofore) to be used in the same time. Using of two robofore in the same time is not a new method in the world. Few years ago it was done on the tunnel in Hong Kong, which was drilled in the straight line. However this is the first time in the world that two robofore are used in the same time in the curve. Excavation of tunnels is not very frequent theme and there is much to write about, though this text gives just some distinctive details about this specific one.*

*Keywords: laser, tunnel, excavation of tunnels, Robofore-Montabert, Robodrill.*

*Primljeno: 2002-7-9*