

# VARIJACIJE MIKROMREŽE U SVRHU USPOSTAVE GEODETSKE OSNOVE ZA POTREBE TUNELOGRADNJE

*Ilija Grgić<sup>1</sup>, Zdravko Kapović<sup>2</sup>, Nataša Šabić Grgić<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Hrvatski geodetski institut, Savska cesta 41, Zagreb

<sup>2</sup> Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb

<sup>3</sup> Meixner d.o.o., Zagreb

**Sažetak:** U ovome radu obrađuje se primjena moderne GNSS tehnologije u tunelogradnji s naglaskom na komparaciju sa do sada primjenjivanim načinima razvijanja mreža. Razvijanje mikromreže u uvjetima koji su povoljni za GNSS mjerenja u današnje vrijeme jamči proboj tunela u okviru dopuštenih odstupanja bez nužnosti izvođenja terestričkih mjerenja. Kao dokaz u tu svrhu komparirana je točnost proboja tunela u slučaju kada su koordinate mikromreža određene GNSS-tehnologijom nasuprot klasičnim terestričkim mjerenjima u odnosu na varijabilni oblik i broj točaka u mikromrežama. Rad obuhvaća načine opažanja, izvore pogrešaka te analizu i interpretaciju konkretnih rezultata dobivenih tijekom rada na projektu tunela »Sveti Rok«.

**Cljučne riječi:** tunelogradnja, točnost proboja, varijacija mikromreže.

## 1. UVOD

Geodetski radovi pri projektiranju tunelske trase obuhvaćaju radove na površini i u tunelu. Kako je tunel izdužen objekt, nadzemnu geodetsku osnovu tunela u pravilu čine dvije samostalne mreže na ulaznom i izlaznom portalu. Svrha uspostave tunelskih mreža je da se matematički definirana prostorna os, opisana određenim brojem točaka s pripadajućim koordinatama i visinama, prenese u narav iskolčenjem. Specifična geodetska osnova svojom kvalitetom mora omogućiti proboj tunela u spojnoj točki u okviru unaprijed definiranih dopuštenih odstupanja.

Za sva izjednačenja najčešće se koristi Gauss-Markovljevi model posrednih mjerenja uz primjenu metode najmanjih kvadrata (Feil 1990). Koordinatni sustav mreže se a priori ne fiksira, već se mreža izjednačava kao slobodna mreža. Podzemnu geodetsku osnovu čine u pravilu dva slobodno vođena poligonska vlaka od ulaznih portala duž jedne i druge strane tunela. Nakon izvršenog proboja izračunaju se koordinate spojne točke iz slijepih vlakova podzemne geodetske osnove, te se na osnovi toga računa točnost proboja. U nizu obavljenih računanja, kako bi se došlo do optimalnog broja točaka u mikromrežama na ulaznom i izlaznom portalu, točnost proboja računana je u odnosu na cjelovitu geodetsku osnovu, a zatim je geodetska osnova reducirana izbacivanjem jedne po jedne točke iz svake pojedine mikromreže, do minimuma geodetske osnove, odnosno do dvije točke na svakom portalu. Tako su izvršena računanja točnosti proboja tunela iz geodetske osnove s dvije, tri, četiri, pet i šest točaka na različitim udaljenostima. Provedenom analizom izvedenih računanja želi se pronaći optimalni broj točaka u mikromrežama za sigurno ostvarenje točnosti proboja u dopuštenim odstupanjima.

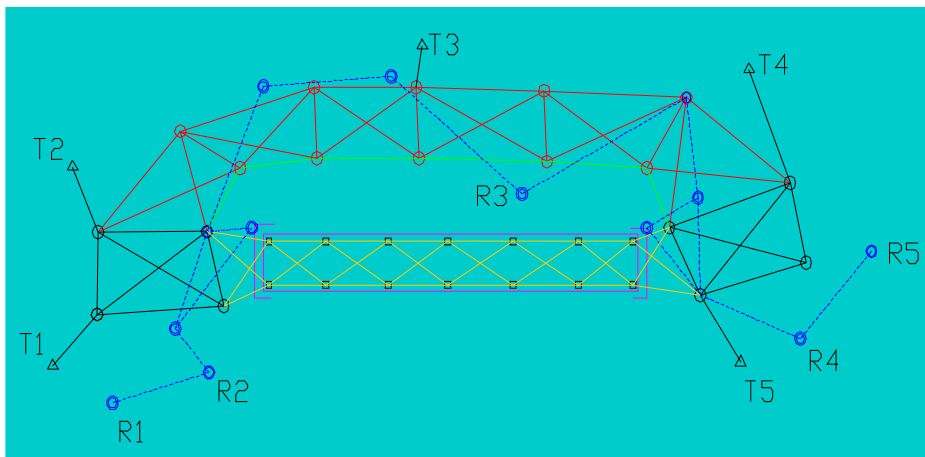
## 2. GEODETSKI RADOVI U TUNELOGRADNJI

Geodetski radovi vezani uz tunelogradnju dijele se na nadzemne geodetske radove koji prethode projektiranju, a obuhvaćaju pregradnje za idejni i glavni projekt, na nadzemne radove za određivanje geodetske osnove radi proračunavanja elemenata iskolčenja, zatim na geodetske radove u tunelu kao što su iskolčenje tunelske trase i objekata pod zemljom tijekom gradnje, te kontrolu izgradnje (Cvetković 1970).

Pri projektiranju geodetske osnove za potrebe izgradnje bilo kojeg tunela temeljno je polazište dopušteno odstupanje pri proboju tunela, što znači da geodetska osnova mora zadovoljiti najveće zahtjeve u vezi s preciznošću i pouzdanošću. Osnova koja služi za

projekt geodetske mikromreže je idejni projekt tunela, koji osim trase tunela sadržava i plan organizacije gradilišta s točno lociranim objektima. Cjelokupna geodetska osnova projektira se na kartografskim podlogama odgovarajućih mjerila na kojima su nanoseni svi relevantni podaci. Pri projektiranju je potrebno uzeti u obzir sljedeće parametre:

- projekt mreže radi se na projektu tunela, gdje su već projektirani i svi pomoćni objekti koji će služiti u tijeku građenja,
- projekt mreže mora pokrivati cijelo gradilište tunela i udovoljavati svim njegovim potrebama do kraja građenja,
- mreža u pogledu točnosti mora biti homogena za cijelo gradilište tunela i odgovarati točnosti koja je potrebna za označivanje točaka tunelske osi pri probijanju tunela,
- radi što lakšeg računanja koordinata raznih objekata koji se nastavljaju na tunel mreža točaka uklapa se u jedinstveni koordinatni sustav s osi tunela i osi ceste.



Sl. 1. Geodetska osnova tunela

Budući da se geodetska osnova za potrebe izgradnje tunela računa u lokalnom koordinatnom sustavu, potrebno je pri izradbi projekta uključiti i nekoliko točaka poznatih po koordinatama u državnom koordinatnom sustavu, kako bi se geodetska osnova mogla uklopiti u koordinatni sustav u kojem je izrađen projekt tunela, slika 1.

### 2.1. Uspostava geodetske osnove

Uvažavajući postavljene zahtjeve točnosti proboja tunela i ekonomske zahtjeve izabire se optimalna varijanta u pogledu oblika mreže i postupka mjerenja. To je moguće postići pomoću ispitivanja pojedinih varijanti primjenom računskog modela za optimiranje mreže. I pri najbrižljivijem biranju položaja pojedinih točaka mreže mora se računati s mogućom promjenom položaja točke u vertikalnom i horizontalnom smislu zbog slijeganja tla, iskopa, miniranja, transporta teških građevinskih strojeva itd. Pri uspostavi geodetske osnove potrebno je odabrati vrstu mreže, a kako je na taj problem teško općenito odgovoriti, pri izboru vrste mreže uvažavaju se sljedeći parametri (Schelling i dr., 1988):

- konfiguracija mreže (veličina, oblik),
- mjerna nesigurnost instrumentarija,
- ekonomski parametri,
- broj i utjecaj prekobrojnih mjerenja u mreži.

Podzemna poligonometrija omogućava prijenos ne samo osi tunela, nego i osi različitih uređaja koji se koriste u tunelogradnji (laseri). Priključak podzemne poligonometrije izvodi se na točke vanjske geodetske osnove neposredno kroz portale, ili kroz vertikalna okna, bočne štolne ili kose rovove. Podzemnu poligonometriju karakterizira:

- oblik vlakova ovisi o obliku tunela,
- dužine poligonskih strana ovise o obliku tunela i mogu biti vrlo različite,
- vlakovi podzemne poligonometrije su slijepi, priključeni samo na jednom kraju (radi kontrole mogu se unutar tunela postavljati zatvoreni poligonski vlakovi),
- potpuni priključak i izjenačenje poligonskih vlakova u tunelu može se izvršiti nakon proboja tunela.

Podzemna poligonometrija unutar tunela dijeli se na radnu, koja služi za određivanje smjera kopanja i osnova je za unutarnja snimanja, a karakteriziraju je kratke strane ovisno o obliku tunela i napredovanju bušenja, i glavnu, u kojoj se točke postavljaju na većim udaljenostima od 150-500 m. Stabilizacija i izbor položaja točaka u podzemnoj poligonometriji ovisi o obliku trase i unutarnjoj vidljivosti. Izborom glavnih točaka dobivaju se teorijski povoljniji vlakovi s većim dužinama, što smanjuje poprečnu pogrešku mjenog vlaka.

Atmosferski uvjeti u tunelu izrazito su opasan izvor za velike pogreške nastale zbog refrakcije, koji mogu izazvati pogrešku u smjeru do 3", pa se stoga preporučuje stabilizaciju podzemne mreže izvesti što je moguće bliže osi tunela, odnosno trebalo bi nastojati da točke ne budu bliže od 2 m zidu tunela. Pri gradnji tunela u krivini maksimalnu međusobnu udaljenost točaka podzemne mreže tunela, uvažavajući prethodni uvjet, moguće je izračunati iz sljedeće jednadžbe (Hennecke i dr., 1988):

$$s \leq 2\sqrt{2R(B - 2d)}$$

pri čemu je:

R- radijus osi tunela; B- širina tunela, d- najmanja udaljenost kružnog luka na kojem leže točke mreže do zida tunela.

### 3. KLASIFIKACIJA OPTIMIRANJA

Poboljšanje projekta mreže moguće je samo u fazi planiranja, pri popunjavanju mreže ili ukoliko se vrše nova mjerenja. Ako se u projektu mreže pokaže loša prognoza za točku proboja, potrebno je pronaći odgovor na pitanje koji dio mreže je potrebno preciznije odrediti. Promjena prognoze točnosti proboja je moguća optimiranjem mreže, dakle promjenom konfiguracije mreže ili promjenom mjerne preciznosti izborom kvalitetnijeg instrumentarija ili drugačijeg postupka mjerenja i to:

- u nadzemnoj mreži,
- u podzemnoj mreži.

Postupkom optimiranja modificira se projekt oblika mreže s ciljem njenog poboljšanja pa se sukladno načinu modificiranja optimiranje može podijeliti na (Ninkov 1989):

- optimiranje nultog reda- fiksni  $A, P$ , slobodni  $x, Q_{xx}$ ,
- optimiranje prvog reda- fiksni  $P, Q_{xx}$ , slobodni  $A$ ,
- optimiranje drugog reda- fiksni  $A, Q_{xx}$ , slobodni  $P$ ,
- optimiranje trećeg reda- fiksni  $Q_{xx}$ , slobodni  $P, A$ .

U okviru optimiranja nultog reda provodi se određivanje optimalnog referentnog koordinatnog sustava, u kojem je određen položaj točaka geodetske osnove. Optimiranje nultog reda ili optimiranje referentnog sustava, u literaturi se najčešće navodi kao problem datuma ili problem slobodnih mreža. Projektom nultog reda definira se koordinatni sustav mreže unutar kojeg će nepoznati parametri biti određeni uz neke unaprijed zadane kriterije ocjene točnosti i to primjerenom definicijom datuma, odnosno koordinatnog sustava mreže.

Optimiranje prvog reda je zapravo određivanje optimalne konfiguracije mreže, pri čemu se traži takva konfiguracija mreže koja omogućuje optimalno određivanje položaja točaka. Optimiranje prvog reda ograničeno je često u praksi veličinom i oblikom objekta, te konfiguracijom terena.

U optimiranju drugog reda određuje se za određenu konfiguraciju optimalna raspodjela planiranih mjerenja, pa iz toga proizlazi da je optimiranje drugog reda zapravo optimiranje težina. Teži se optimalnoj preciznosti planiranih mjerenja, te se prema optimalnoj raspodjeli mjerenja i predviđenoj preciznosti provodi izbor instrumentarija i kombiniranje različitih postupaka mjerenja.

Optimiranjem trećeg reda se obavljaju poboljšanja već uspostavljenih geodetskih mreža, teži se povećanju točnosti progušćivanjem mreže dodatnim točkama ili dodatnim mjerenjima. Danas je projekt trećeg reda relativno malo u upotrebi, jer je matematički vrlo kompleksan.

Faza projektiranja geodetske mreže jedna je od najvažnijih faza uspostave geodetske mreže, ili bi bar to trebala biti.

Posebno pitanje koje se postavlja, nakon obavljenog optimiranja, je pitanje opravdanosti zahvata i korekcije već izvedene mreže. Polazi se od koncepta da se u osnovi zadržava konfiguracija mreže, ali se dopušta pomak točaka u određenim granicama. Naime, da li je ekonomično obaviti prestabilizaciju točaka, novu izmjeru i obradu podataka, uz uvjet postizanja iste točnosti mjerenja da bi se položajna točnost mreže, uistinu blago povisila. Pitanje koje se samo od sebe nameće, obzirom na povišenje globalne točnosti, kada i u kojem slučaju bi se mogla preporučiti nova konfiguracija mreže? Cijena dopunskih radova i vrijeme neophodno za njihovu izvedbu su enormni pa sukladno tome opravdanost promjene konfiguracije mreže proizlazi samo iz činjenice da bi ona bitno doprinjela poboljšanju položajne točnosti već izvedene mreže a time i značajno povisila sigurnost proboja tunela u granici dopuštenih odstupanja. Naravno, posve bi drugačiji pristup trebalo primijeniti u slučaju da navedena mreža nije već izvedena, odnosno uspostavljena. U tom slučaju bi njena izvedba bila uvjetovana rezultatima optimiranja. Kao rezultat optimiranja, na pogodnijim lokacijama stabilizirale bi se zamjenske ili potpuno nove točke kako bi se poboljšala kvaliteta mreže.

#### **4. TUNEL »SVETI ROK«**

Radovi na uspostavi geodetske osnove u prvoj fazi obuhvatili su stabilizaciju mikromreža na ulaznom i izlaznom portalu, izmjeru točaka mikromreže GPS-tehnologijom i njihov priključak geometrijskim nivelmanom na točke državne visinske mreže, te obradu podataka i izračun koordinata i visina nakon toga. U tu svrhu provedena je revizija postojeće trigonometrijske mreže i izabrano je pet točaka na temelju kojih su izračunani parametri transformacije. Nakon toga pristupilo se uspostavi cjelovite geodetske osnove koja je trebala poslužiti za iskolčenje i periodične kontrole iskopa tunela. Prvobitna geodetska osnova pretrpjela je promjene zbog uznapredovalih radova na gradilištu, prouzročene uništenjem nekih točaka u neposrednoj blizini gradilišta. Osim toga, kao rezultat optimiranja, na pogodnijim lokacijama stabilizirane su zamjenske ili potpuno nove točke kako bi se poboljšala kvaliteta mreže. Za sva izjednačenja korišten je Gauss-Markovljev model posrednih mjerenja uz načelo najmanjih kvadrata. Geodetska osnova tunela »Sveti Rok« podijeljena je na horizontalnu, u kojoj su mjerenjima određene samo koordinate točaka u ravnini ili na referentnoj plohi (elipsoid), i visinsku, u kojoj su određene samo visine točaka. Radovi na uspostavi geodetske osnove podijeljeni su na terenske (organizacija i izvođenje mjerenja) i uredske radove (obrada podataka i interpretacija rezultata).

Tijekom gradnje obavljeno je pet kontrolnih mjerenja proboja tunela nakon svakih 500 m ostvarenog iskopa.

Tunel »Sveti Rok« povezuje Dalmaciju s Likom, a prema obliku tunelske osi ubraja se u tunele u pravcu s krivinama na oba kraja. Iskop tunela »Sveti Rok« izveden je metodom probijanja punog profila (Grgić, 2003).

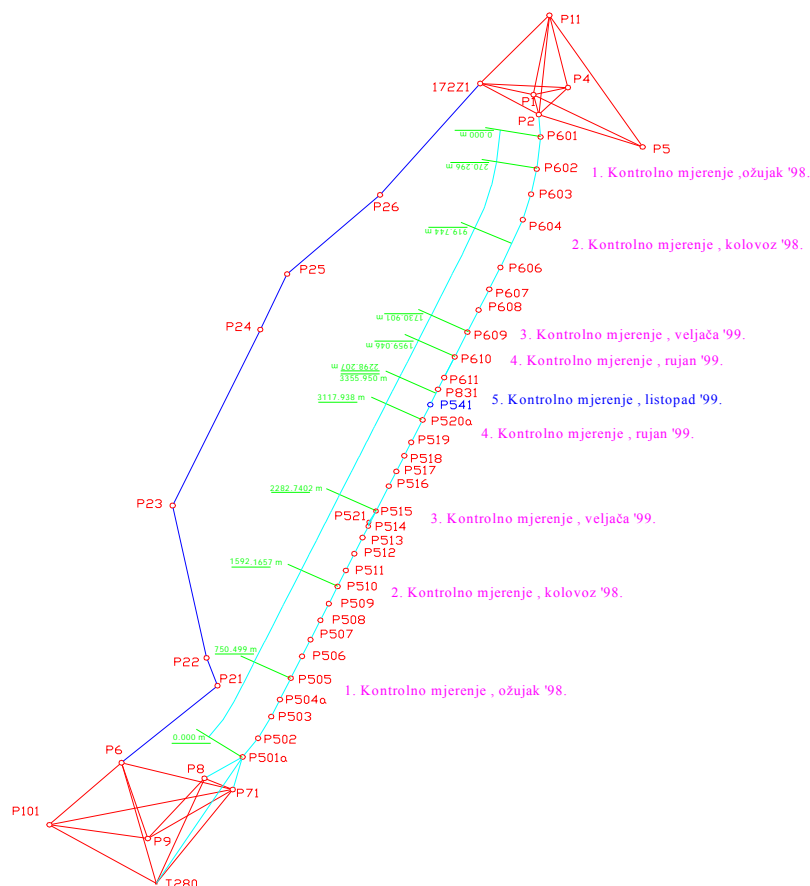
## 5. GEODETSKA OSNOVA TUNELA „SVETI ROK“

Prilikom projektiranja mreže geodetske osnove uvažavani su zahtjevi da geodetska osnova bude podesna kako za GNSS-mjerenja tako i za klasična terestrička mjerenja. Mreža je morala zadovoljiti postavljene zahtjeve točnosti pri proboju tunela, te su stoga u projektu mreže uvažavani sljedeći parametri:

- nadzemna geodetska osnova morala je imati na portalima najmanje dvije točke za prijenos smjernoga kuta za potrebe podzemne poligonometrije,
- visoka relativna točnost koordinata točaka (do 2 cm),
- osim točaka geodetske osnove, u blizini portala stabilizirane su najmanje dvije do tri kontrolne točke na udaljenosti do oko 1 km (ovisno o duljini tunela) od portalnih točaka radi orijentacije poligonskog vlaka u tunelu,
- nadzemna geodetska osnova integrirana je u državni koordinatni sustav.

Koordinatni sustavi mikromreža za potrebe izgradnje tunela »Sveti Rok« definirani su s 12 točaka, 6 u južnoj i 6 u sjevernoj mikromreži (slika 2), te 6 točaka koje čine precizni poligoniski vlak koji povezuje mikromreže.

Geodetska osnova tunela "Sveti Rok"



Sl. 2. Geodetska osnova tunela »Sveti Rok«

### 5.1. Računanje podzemne poligonometrije

Nakon definiranja koordinata točaka položajne geodetske osnove obavljeno je računanje podzemne poligonometrije, i to:

- u odnosu na mrežu točaka čije su koordinate određene izjednačenjem GNSS-mjerenja kao djelomično slobodne mreže fiksirane u jednoj točki,
- u odnosu na mrežu točaka čije su koordinate određene izjednačenjem terestričkih mjerenja kao djelomično slobodne mreže fiksirane u jednoj točki.

Za računanje podzemne poligonometrije korištena je uobičajena približna metoda izjednačenja, tj. zasebnog izjednačenja prijelomnih kutova i koordinatnih razlika. Na osnovi razlika koordinata točke P541 dobivene iz slijepoga poligonskog vlaka s južne i sjeverne strane izračunana su odstupanja u smjeru osi tunela, odnosno u smjeru okomitom na os tunela. S obzirom na to da su za visinske točke u podzemnoj poligonometriji uzete gornje površine željeznih ploča koje su ubetonirane na betonskim stupovima, čija je primarna uloga da služe kao uređaj za prisilno centriranje, mogla se izvršiti usporedba točnosti proboja u spojnoj točki P541 određene iz trigonometrijskog i geometrijskog nivelmana. Budući da na površini željeznih ploča nije bilo materijaliziranih repa, za visinske točke su izabrani prednji lijevi rubovi željeznih ploča u smjeru proboja tunela.

## 6. ANALIZA REZULTATA

Svi modeli izjednačenja i računanja točnosti proboja u podzemnoj poligonometriji analizirani su radi donošenja odluke koji je od njih najprikladniji kao definitivno rješenje. Za svaki model ispitana je točnost proboja kod različitog broja točaka mikromreža na ulaznom (sjevernom), odnosno izlaznom (južnom) portalu.

Ostvarenjem proboja tunela omogućen je izračun stvarno postignute točnosti proboja tunela po položaju i visini. To je obavljeno računanjem koordinata točke P541 iz slijepih poligonskih vlakova s južne i sjeverne strane, koja je uzeta kao točka u kojoj je izveden spoj slijepih poligonskih vlakova. Na osnovi razlika koordinata točke P541 dobivene iz slijepoga poligonskog vlaka s južne i sjeverne strane izračunana su odstupanja u smjeru osi tunela, uzdužno odstupanje  $L$ , i u smjeru okomitom na os tunela, poprečno odstupanje  $Q$ . Stvarno odstupanje pri proboju tunela računa se u odnosu na srednju vrijednost koordinate za spojnu točku, a ono karakterizira tunel »Sveti Rok« kao sigurno jedan od najuspješnije probijenih tunela vođenih iz dva smjera.

Na osnovi razlika visina točke P541 dobivenih geometrijskim nivelmanom sa sjeverne i južne strane omogućen je izračun visinskog odstupanja  $dh$  proboja tunela, tablica 1.

Tablica 1. Točnost proboja u spojnoj točki P541

Br. točke	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)	$Q$ (m)	$L$ (m)	$dh$ (m)
P541	Y= 5553624.879	X= 4904442.177	H= 560.6201	dobiveno sa sjeverne strane	
P541	Y= 5553624.892	X= 4904442.143	H=560.6108	dobiveno s južne strane	
<b>P 541</b>	<b>0.013</b>	<b>0.034</b>	<b>0.009</b>	<b>0.024</b>	<b>0.0093</b>
<b><i>Odstupanje od srednje vrijednosti za spojnu točku P541</i></b>					
Br. točke	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)	$Q$ (m)	$L$ (m)	$dh$ (m)
<b>P541</b>	<b>0.006</b>	<b>0.017</b>	<b>0.005</b>	<b>0.012</b>	<b>0.0047</b>

Točnost proboja tunela znatno nadmašuje dopuštena odstupanja u točnosti proboja tunela propisane Pravilnikom o tehničkim normativima i uvjetima za projektiranje i

gradnju tunela na cestama, čl. 53 Zakona o normizaciji (NN 55/96-2336). Dopuštena odstupanja po položaju i visini, u skladu s Pravilnikom, za eventualno mimoilaženje tunelskih osi vođenih iz dva smjera iznose:

$$\text{po osi mm} \quad \pm 60\sqrt{L} \qquad \text{po niveleti mm} \quad \pm 23\sqrt{L},$$

gdje je L duljina tunela izražena u kilometrima.

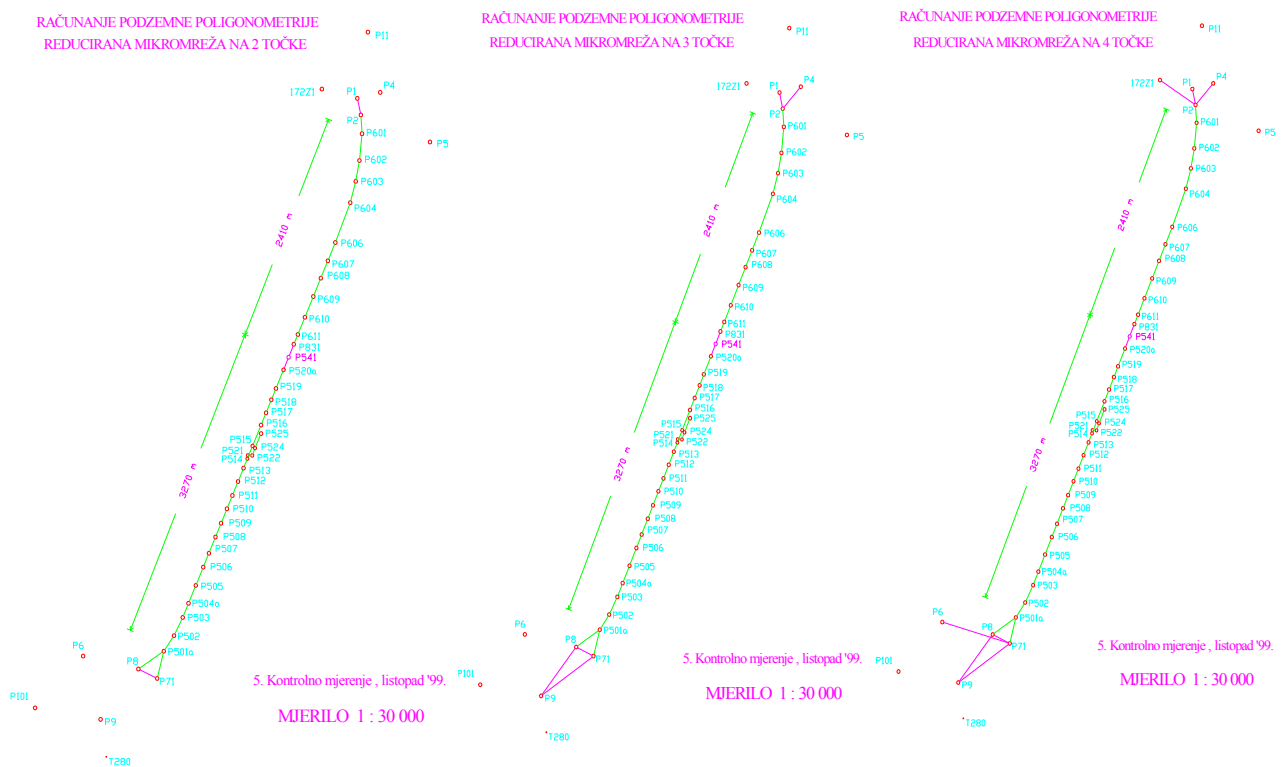
Kako je u slučaju tunela Sveti Rok  $L \approx 6$  km, dopuštene razlike iznose:

$$\text{po osi} \quad \pm 147 \text{ mm}$$

$$\text{po niveleti} \quad \pm 56 \text{ mm.}$$

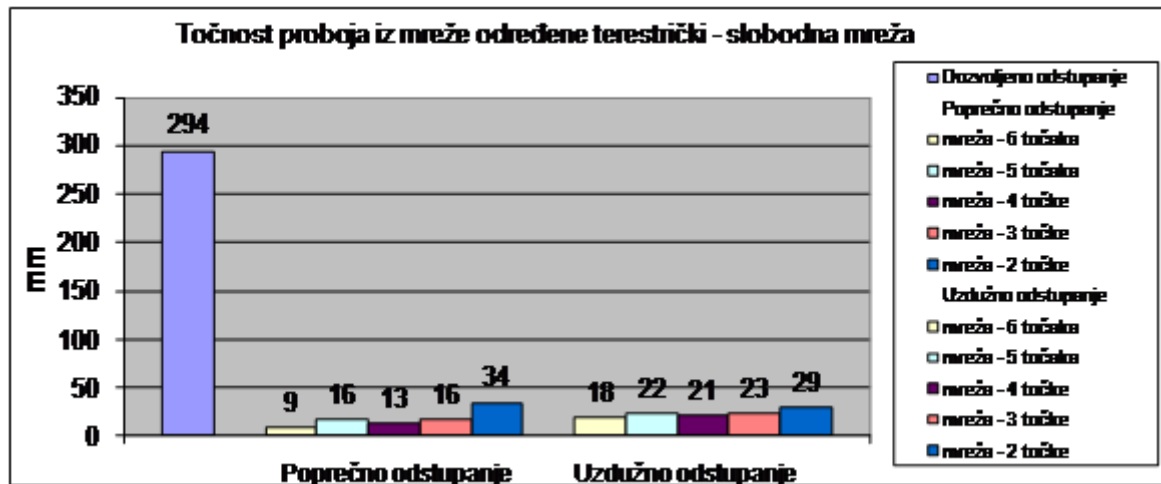
### 7.1. Usporedba ostvarene točnosti proboja iz GNSS i terestričkih mjerenja variranjem broja točaka u mikromreži

U svrhu analize utjecaja optimiranja mreže na rezultat proboja u konkretnom slučaju tunela Sveti Rok izvršena je varijacija broja točaka mikromreže u postupku računanja točnosti proboja (slika 3), a samim tim i konfiguracije mreže. Opće je uvjerenje da konfiguracija mreže značajno utječe na povećanje točnosti određivanja koordinata točaka i time direktno utječe na kvalitetu proboja tunela. Variranjem broja točaka u mikromrežama pokazalo se da se u stvarnosti, kada za to postoje opravdani razlozi, mogu zanemariti teoretske pretpostavke oslanjajući se na empirijska postignuća proizašla iz sličnih projekata.



Sl. 3. Variranje broja točaka mikromreže

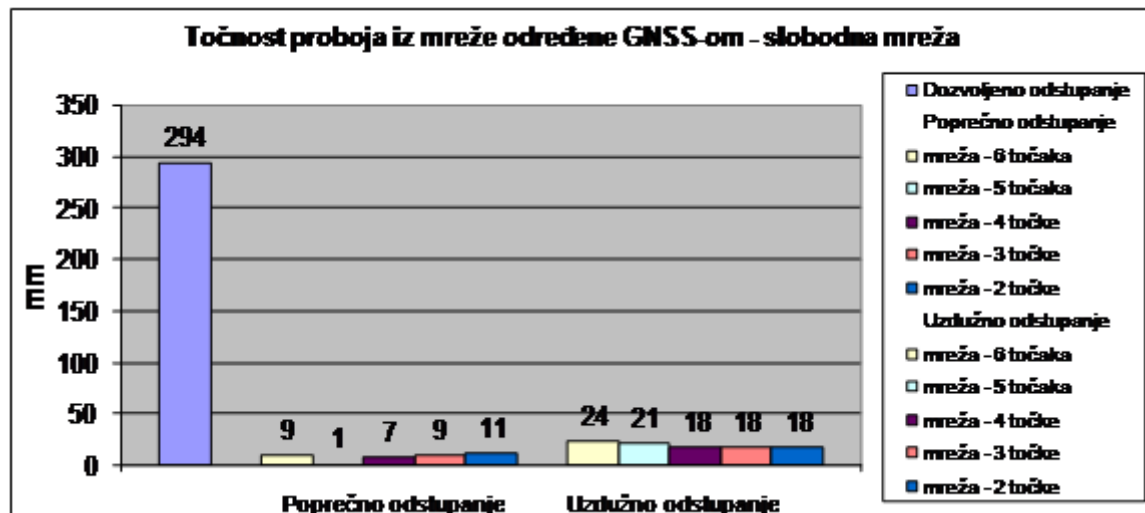
Analiza proboja tunela iz mikromreže koja je dobivena terestričkim mjerenjima, i nakon toga izjednačena kao slobodna mreža pokazuje lagani trend porasta točnosti proboja tunela u spojnoj točki P541 zavisno o broju točaka mikromreže koje su uzete za prijenos orijentacije u podzemnu poligonometriju.



Sl. 4. Točnost proboja iz slobodne terestričke mreže

Većina računanih modela, bez obzira na broj točaka uključenih u prijenos orijentacije, daje bolje rezultate za poprečno odstupanje. Usporedni rezultati proboja tunela zavisno o broju točaka mreže u odnosu prema dozvoljenim odstupanjima prikazani su na slici 4.

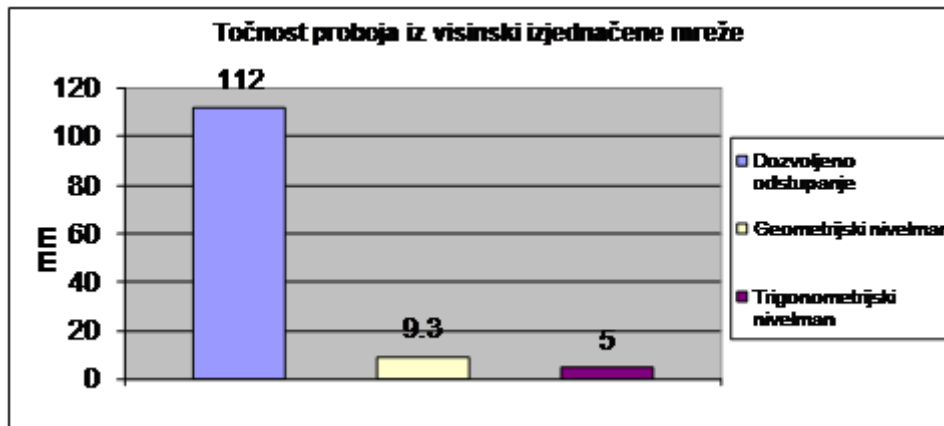
Analiza proboja tunela iz mikromreže koja je izmjerena GPS-om, i nakon toga izjednačena kao poluslobodna mreža s fiksiranom točkom P71, pokazuje oscilacije za poprečnu pogrešku proboja tunela u spojnoj točki P541 zavisno o broju točaka mikromreže koje su uzete za prijenos orijentacije u podzemnu poligonometriju, dok je uzdužna pogreška proboja tunela obrnuto proporcionalna broju točaka mikromreže. Većina računanih modela i u ovom slučaju, bez obzira na broj točaka uključenih u prijenos orijentacije, daje bolje rezultate za poprečno odstupanje (slika 5).



Sl. 5. Točnost proboja iz djelomično slobodne GNSS mreže

## 7.2. Točnost proboja u visinskom smislu

Analiza proboja tunela iz mikromreže, čije su visine dobivene izjednačenjem kao slobodne mreže s fiksnom visinom ishodišnog repera, pokazuje da je postignuta bolja točnost proboja tunela u spojnoj točki P541 iz trigonometrijskog nego iz geometrijskog nivelmana. Usporedni rezultati točnosti proboja tunela u odnosu prema dozvoljenim odstupanjima prikazani su na slici 6.



Sl. 6. Točnost proboja iz visinski izjednačene mreže

## 7. ZAKLJUČAK

Specifične geodetske osnove su se još donedavna, kako u svijetu tako i u nas, određivale klasičnim metodama triangulacijom, trilateracijom, preciznom poligonometrijom i preciznim nivelmanom. Iz obavljenih računanja i provedene analize podataka proizlazi da postignuti rezultati u točnosti proboja tunela pomoću GNSS-om određene mreže, izjednačene s minimalnom prisilom fiksiranjem koordinata točke P71, prema postignutim rezultatima u pogledu točnosti zadovoljavaju, odnosno uvelike nadmašuju unaprijed postavljene zahtjeve točnosti.

Budući da su tuneli najčešće locirani na teško pristupačnim terenima i da je za terestričko određenje mreže potrebno ostvariti međusobna dogledanja između točaka mikromreže i povezati mikromreže na ulaznom i izlaznom portalu, GNSS-tehnologija nameće se sama po sebi kao ekonomičnije i lakše rješenje. Posebna prednost primjene GNSS tehnologije, prilikom razvijanja geodetske osnove, nasuprot klasičnom terestričkom načinu očituje se u naknadnim izmjenama projekta, kada je potrebno obaviti dodatna mjerenja, budući da se GNSS mjerenja mogu izvesti vrlo brzo, neovisno o vremenskim uvjetima, te uklopiti u već postojeću mrežu.

Faza projektiranja geodetske mreže jedna je od najvažnijih faza uspostave geodetske mreže, ili bi bar to trebala biti pa bi joj trebalo posvetiti dužnu pažnju. U slučajevima kada su mreže već uspostavljene bez prethodnog računanja optimalne konfiguracije geodetske mreže postavlja se pitanje opravdanosti zahvata i korekcije već izvedene mreže. Kudikamo svrsishodnije je optimiranjem II. reda odabrati optimalnu raspodjelu planiranih mjerenja te prema optimalnoj raspodjeli mjerenja i predviđenoj preciznosti provesti adekvatan izbor instrumentarija i kombiniranje različitih postupaka mjerenja. Tek u slučaju oštećenja točaka nadzemne geodetske osnove imalo bi smisla optimiranjem nastojati poboljšati konfiguraciju mreže.

Na osnovi obavljenih računanja pokazalo se da i geodetska osnova sa samo dvije točke na ulaznom i dvije točke na izlaznom portalu osigurava ostvarenje točnosti proboja u okviru dopuštenih odstupanja. Variranjem broja točaka u mikromrežama pokazalo se da se u stvarnosti, kada za to postoje opravdani razlozi, mogu zanemariti teoretske pretpostavke oslanjajući se na empirijska postignuća proizašla iz sličnih projekata. Optimalni broj točaka mikromreže bio bi tri do četiri; dvije točke na portalu i jedna do dvije kontrolne točke koje će služiti za povećanje preciznosti prijenosa orijentacije u podzemnoj poligonometriji, dok bi svaka sljedeća točka nepotrebno podizala troškove na uspostavi geodetske osnove.

Za ostvarenje visoke točnosti proboja dugih tunela potrebno je, osim redovnih kontrola iskopa tunela svakih 500 m koje omogućuju praćenje smjera proboja i

pravodobno korigiranje eventualnog skretanja osi tunela, izabrati najbolji mogući postupak mjerenja i računanja nadzemne i podzemne geodetske osnove, s obzirom na kompleksnost tunela, te osigurati savjestan, stručan i odgovoran pristup svih onih koji rade na takvom projektu.

## 8. LITERATURA

- Cvetković, Č. (1970): Primena geodezije u inženjerstvu, Građevinska knjiga, Beograd.
- Feil, L. (1990): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja - drugi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Hennecke, F., Müller, G., Werner, H. (1988): Grundlagenetze, Handbuch Ingenieurvermessung, Band I 202-247, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin
- Grgić, I. (2003): Specifičnosti geodetske osnove u tunelogradnji, Magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Ninkov, T. (1989): Optimizacija projektovanja geodetskih mreža, Naučna knjiga, Beograd.
- Schelling, G., Hofmann-Wellenhof, B. (1988): GPS-Einsatz für Grosstunnels, Ingenieurvermessung 88 Beiträge zum X. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Band 2, D2 1-26, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Zakon o normizaciji (1996): Narodne novine (NN 55/96-2336), Službeno glasilo Republike Hrvatske, Zagreb.

### *Variationen des Mikronetzes zur Herstellung der Vermessungsbasis für Tunnelbau*

**Zusammenfassung:** Das Ziel dieser Forschung war die Anwendung vom GNSS Positionierungssystem im Tunnelbau mit Betonung auf Vergleich mit bisherige, terrestrische Methode der Herstellung der Vermessungsnetzen zu bearbeiten. Heutzutage die Netzentwicklung für Bedarf vom Tunnelbau unter Bedingungen die für GNSS Messungen günstig sind ermöglicht dass der Durchschlag des Tunnels im Rahmen der zugelassener Abweichung gewährleistet wird ohne terrestrische Messungen durchführen zu müssen. Als Beweis zur dieser Zweck wurde die Durchschlagsgenauigkeiten des Tunnels abhängig von der Netzform und der Zahl der Punkte in dem Vermessungsnetz, im Fall wenn die Koordinaten des Mikronetzes mittels GNSS Messungen berechnet worden sind gegenüber die Koordinaten des Mikronetzes die mittels terrestrische Messungen berechnet worden sind, verglichen. Diese Arbeit erfaßt die Beobachtungsmethoden, die Fehlerquellen und die Analyse und die Interpretation der konkreten Ergebnisse, die durch die Bearbeitung der durchgeführten Messungen aus dem Projekt des Tunnels «Sveti Rok» hervorgekommen sind.

**Schlüsselworte:** Tunnelbau, Durchschlagsgenauigkeit, variationen des Mikronetzes