



## PROJEKAT GEODETSKE MREŽE TUNELA „ČORTANOVCI”

### PROJECT FOR THE GEODETIC NETWORK OF THE TUNNEL „CORTANOVCI”

Slaven Popadić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

**Kratak sadržaj** – U ovom radu data je teorijska osnova metodologije projektovanja tunelskih geodetskih mikromreža. Praktičnim dijelom rada predstavljena je realizacija plana opažanja za geodetsku mikromrežu tunela „Čortanovci”, kao i prethodna analiza tačnosti same mikromreže sa proračunom poprečnog i podužnog proboja tunela.

**Ključne riječi:** geodetska mikromreža, proboj tunela, prethodna analiza tačnosti

**Abstract** – This paper presents theoretical basis of the methodology for designing tunnel geodetic micronetwork. The practical part of the work presented the realization of the observation plan for the geodetic micronetwork of the tunnel „Čortanovci”, as well as the previous analysis of the accuracy of the micronetwork with the calculation of the transversal and longitudinal tunnel breakthrough.

**Keywords:** geodetic micro network, tunnel breakthrough, previous analysis of accuracy

#### 1. UVOD

Pored geodetskih mreža razvijenih za potrebe državnog premjera, u inženjerskoj geodeziji se javlja potreba za razvijanjem posebnih geodetskih mreža predviđenih za geodetsko snimanje na terenu, obilježavanje, kontrolu obilježavanja i snimanje izgrađenih inženjerskih objekata. Ti objekti mogu biti: putevi, željezničke pruge, mostovi, vijadukti, metroi, tuneli, brane, kanali, žičare, dalekovodi, itd [1].

Jedan od najvećih izazova na polju izgradnje infrastrukture je konstrukcija podzemnih objekata i tunela. Kada se radi o složenim građevinskim objektima, kao što su tuneli, geodetski radovi su nezaobilazan segment u svim fazama projektovanja i izvođenja radova. Za obavljanje geodetskih radova neophodno je razvijanje specifične geodetske mreže.

Cilj ovog rada jeste realizacija plana opažanja GNSS vektora u nadzemnoj geodetskoj mikromreži tunela, kao i pravaca i dužina u podzemnoj geodetskoj mikromreži tunela. Na osnovu simuliranih mjerenja dobiće se pokazatelji kvaliteta projektovane mikromreže tunela „Čortanovci”. Na osnovu građevinskih standarda izvršen je proračun zahtevane tačnosti proboja tunela, kao osnovnog kriterijuma tačnosti za razvijanje podzemne tunelske mikromreže. Analizirana su dva plana opažanja, pri čemu su dobijeni rezultati prethodne analize za svaki plan pojedinačno.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Zoran Sušić, docent.

#### 2. PROJEKTOVANJE SLOBODNIH GEODETSKIH MIKROMREŽA U POSTUPKU IZGRADNJE INŽENJERSKIH OBJEKATA

##### 2.1. Geodetska mikromreža

Za uspješno izvršavanje geodetskih radova u inženjerstvu neophodno je, prije svih radova, izraditi kvalitetnu geodetsku mikromrežu, koja će omogućiti da se svi geodetski radovi izvrše sa zadovoljavajućom tačnošću odnosno u granicama zadatih tolerancija. Izradom geodetske mikromreže obezbjeđuje se 3D prostorni pravougli koordinatni sistem za potrebe projektovanja, građenja i eksploatacije objekta [2].

##### 2.2. Datumaska definicija geodetskih mikromreža

Neslobodnim mrežama nazivamo one geodetske mreže kod kojih date veličine određujemo mjerenjima ili ih računamo kao funkcije rezultata mjerenja [2].

Slobodnim mrežama nazivamo one geodetske mreže kod kojih se date veličine uzimaju proizvoljno [2].

Datum geodetske mreže predstavljaju parametri kojima se definiše koordinatni sistem, odnosno parametri koji definišu položaj geodetske mreže u koordinatnom sistemu, pa tako kod neslobodnih mreža datum mreže definišu date tačke, a kod slobodnih mreža parametri datuma zadaju se proizvoljno [2].

##### 2.3. Kriterijumi kvaliteta geodetskih mikromreža

Geodetske mreže se projektuju i realizuju sa optimalnim pokazateljima preciznosti, pouzdanosti i osjetljivosti da bi se rezultati mjerenja kao i ocjene iz izravnjanja dobile sa što većom tačnošću i pouzdanošću. Kao kriterijumi kvaliteta geodetskih mreža uzimaju se disperzije ocjenjivih funkcija i druge veličine koje ne zavise od datuma mreže. Kvalitet geodetskih mreža može se izraziti kvantitativno pomoću sljedećih osnovnih elemenata: preciznost, pouzdanost i tačnost, pri čemu je:

$$\text{tačnost} = \text{preciznost} + \text{pouzdanost} [2].$$

#### 3. STANJE U TUNELOGRADNJI

Geodetska struka je nezamjenljiva prilikom projektovanja, građenja i korišćenja bilo kog građevinskog objekta. Najveći značaj savremenog građevinarstva se ogleda u izgradnji velikih i kompleksnih objekata, koji prolaze faze od ideje građenja do realizacije i praćenja objekta u eksploataciji, pri čemu su neophodni i značajni geodetski radovi. Najčešći primjeri složenih podzemnih građevinskih objekata su tuneli [3].

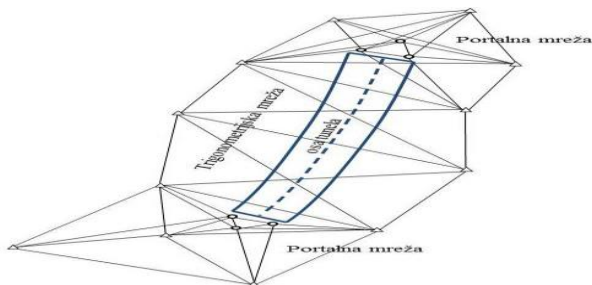
### 3.1. Definicija i podjela tunela

Tunel ili prokop je podzemni, a ponekad i podvodni prolazni put. Preciznije, tunel je podzemna građevina u obliku cijevi, otvorene na oba kraja, postavljene horizontalno ili pod blagim nagibom, kroz koju prolazi pruga, saobraćajnica, kanal ili vodeni tok, koji spaja dva dijela puta, razdvojena preprekom, koju nije moguće savladati na drugi način [3].

Geodetska mreža za potrebe izgradnje tunela se može podijeliti na glavnu mrežu, portalnu i podzemnu mikromrežu.

Glavna mreža povezuje portalnu mrežu sa kontrolnim tačkama, odnosno omogućava orijentaciju i mogućnost povezivanja cijelokupne mreže u državni koordinatni sistem [3].

Portalna mikromreža prenosi orijentaciju u podzemnu mikromrežu. Na slici 1. prikazan je primjer portalne mikromreže.

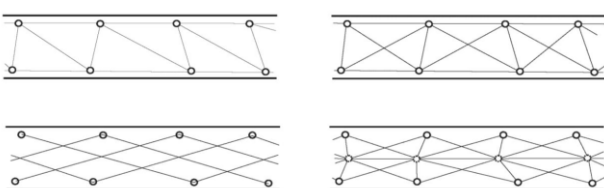


Slika 1. Primjer portalne mikromreže [3]

Podzemna mikromreža se koristi za geodetsko obilježavanje osovine tunela i objekata u tunelu. Podzemna mikromreža je u prošlosti razvijana kroz tunel najčešće preko poligonskog vlaka čije su tačke bile materijalizovane u sredini poda probijenog tunela. Taj vlak je predstavljao slijepi poligonski vlak.

Kako tačnost proboja tunela direktno zavisi od tačnosti koordinata tačaka geodetske mikromreže sa koje se vrši obilježavanje ose tunela, slijepi poligonski vlak svojom geometrijom nije obezbjeđivao potrebnu tačnost proboja tunela. Moguće je postaviti i dva poligonska vlaka, sa svake strane tunelske cijevi po jedan, tako da se sa tačaka jednog vlaka mogu opažati tačke drugog i obrnuto. Tako se dobija podzemna mikromreža koju čine slijepi poligonski vlakovi povezani dijagonalnim i poprečnim vezama.

Ovako projektovana geometrija podzemne mikromreže u vidu lanca trouglova, četvorouglova ili njihova kombinacija, omogućava realizaciju mikromreže čija tačnost koordinata tačaka može obezbjediti potrebnu tačnost proboja tunela. Primjeri podzemnih mikromreža prikazani su na slici 2. [3].



Slika 2. Primjeri podzemnih mikromreža [3]

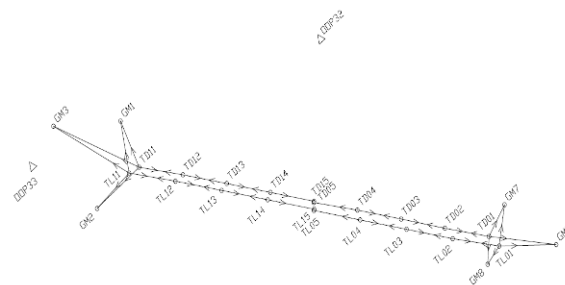
### 4. OSNOVNI PODACI O TUNELU „ČORTANOVCI“

Idejnim projektom rekonstrukcije, modernizacije i izgradnje pruge Beograd - Subotica, dionica: Stara Pazova - Novi Sad, predviđena je izgradnja tunela „Čortanovci“. Tunel „Čortanovci“ je u sklopu navedene dionice objekat na pruži za velike brzine. Na tunelskoj dionici projektna brzina je 200 km/h. Zbog složenih geotehničkih uslova na tunelskoj dionici, tunel „Čortanovci“ je projektovan sa dvije odvojene tunelske cijevi, svaka za jedan kolosijek. Osovinsko rastojanje tunelskih cijevi je 22,00 m, dok se u zoni ulaznih i izlaznih portala smanjuje do 18,00 m. Dužina lijeve tunelske cijevi je 1156,00 m. Dužina desne tunelske cijevi je 1086,50 m [4]. Na slici 3. prikazan je tunel „Čortanovci“ u toku izgradnje.



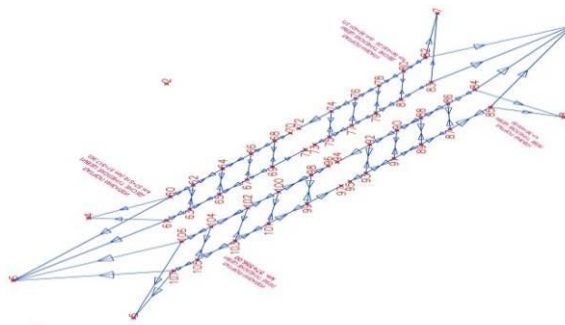
Slika 3. Tunel „Čortanovci“ u toku izgradnje

U eksperimentalnom dijelu rada projektovana je nova koncepcija mikromreže tunela koja se razlikuje od realizovane mikromreže iz prakse. Koncept podzemne mikromreže tunela iz prakse prikazan je na slici 4.



Slika 4. Podzemna mikromreža tunela „Čortanovci“ realizovana u praksi [4]

Na slici 5. prikazan je koncept podzemne mikromreže tunela koji je analiziran u eksperimentalnom dijelu rada.



Slika 5. Podzemna mikromreža tunela „Čortanovci“ analizirana u eksperimentalnom dijelu rada

## 5. PROJEKAT GEODETSKE MIKROMREŽE TUNELA „ČORTANOVCI”

### 5.1. Namjena i koncept geodetske mikromreže tunela

Geodetska mikromreža tunela (u daljem tekstu GMT) mora da obezbijedi proboj tunela u okviru datih građevinskih tolerancija. Dozvoljeno odstupanje pri probodu tunela po položaju i visini računa se po:

$$\Delta = \pm 60\sqrt{L} \text{ za 2D po osi,} \quad (1)$$

$$\Delta = \pm 23\sqrt{L} \text{ po niveleti,} \quad (2)$$

gdje  $L$  predstavlja dužinu tunela u kilometrima.

Na osnovu formula (1) i (2) i poznate projektovane dužine tunela „Čortanovci”, proračunata je neophodna položajna i visinska tačnost proboda tunela. Vrijednosti su prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1. Neophodna položajna i visinska tačnost proboda tunela „Čortanovci” [4]

Tunel lijeva cijev	$\sigma_{PTP} = 6.4 \text{ cm}$
	$\sigma_H = 2.5 \text{ cm}$
Tunel desna cijev	$\sigma_{PTP} = 6.2 \text{ cm}$
	$\sigma_H = 2.4 \text{ cm}$

### 5.2. Mjerenja i matematička obrada u 2D GMT

U 2D GMT planirana su relativna statička GNSS merenja, kao i mjerenja pravaca i dužina. Projektom se definišu osnovni uslovi mjerenja. Koordinate tačaka 2D mreže određuju se na osnovu mjerenih GNSS vektora, pravaca i dužina. Nakon završene osnovne obrade GNSS vektora, kako bi se otkrile eventualne grube greške, neophodno je izvršiti kontrolu zatvaranja poligona linearno nezavisnih baznih vektora prema planu mjerenja. Izravanjem mreže ocjenjuju se definitivne koordinate tačaka 2D GMT. Nakon izvršene realizacije, neophodno je formirati elaborat o realizaciji projekta 2D GMT. Elaborat sadrži opis izvršenih radova, originalne podatke mjerenja, izvještaje matematičke obrade mjerenja, definitivne koordinate i grafičke priloge [4].

## 6. PRETHODNA OCJENA TAČNOSTI

GMT se razvija za potrebe proboda i obilježavanja ose tunela. Njenom konfiguracijom mora da se obezbijedi projektovana tačnost proboda tunela i uzmu u obzir drugi aspekti geodetskih radova.

### 6.1. Prethodna ocjena tačnosti (nulti plan opažanja)

Nulti plan opažanja je preuzet iz tehničke dokumentacije projekta. Položaj tačaka u tunelu projektovan je tako da se nalaze na približno jednakom odstojanju od 150 m, pri čemu formiraju dva slijepa poligonska vlakla (u jednoj tunelskoj cijevi) čije se krajnje tačke nalaze na rastojanju od 3.5m upravno na osu tunela. Datumski defekt se eliminiše minimalizacijom traga kovarijacione matrice ocenjenih parametara na 3 tačke geodetske mreže željezničke pruge [4]. Proračun tačnosti zasnovan je na sljedećim osnovnim pretpostavkama:

- (1) srednja greška GNSS vektora je  $(3+1 \cdot D)$  mm, gdje je  $D$  u km,
- (2) srednja greška pravaca je  $1.5''$ ,
- (3) srednja greška dužina je  $(2+2D)$  mm, gde je  $D$  u km [4].

U Tabeli 2. nalazi se sumarni izvještaj MNK ocjenjivanja.

Tabela 2. Sumarni izvještaj MNK ocjenjivanja [4]

Ukupan broj tačaka:	29
Ukupan broj mjerenih vektora:	14
Ukupan broj mjerenih dužina:	28
Ukupan broj mjerenih pravaca:	40
Ukupan broj nepoznatih:	117
Ukupan broj uslova:	3
Broj stepeni slobode:	29

Standardi apsolutnih položaja nadzemne mreže dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Standardi položaja nadzemne mreže (nulti plan) [4]

Prosječan standard Y koordinata:	2.5 mm
Prosječan standard X koordinata:	2.4 mm
Prosječan standard položaja:	3.5 mm

Za kriterijum moći testa  $1 - \beta \geq 0.9$ , usvojeni dizajn mreže obezbjeđuje tačnost poprečnog proboda tunela od 5.9 cm za lijevu tunelsku cijev i 6.1 cm za desnu tunelsku cev [4].

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da geometrija mreže i izabrana metoda mjerenja zadovoljavaju tražene kriterijume tačnosti 2D GMT.

### 6.2. Prethodna ocjena tačnosti (prvi plan opažanja)

U okviru prvog plana opažanja, položaj tačaka u tunelu projektovan je tako da se tačke podzemne mikromreže tunela nalaze na približno jednakom odstojanju (desna cijev 120 m, leva cijev 110 m) i formiraju lanac četvorouglova povezanih sa tačkama nadzemne mikromreže. Datumski defekt se eliminiše minimalizacijom traga kovarijacione matrice ocenjenih parametara na 9 tačaka nadzemne mikromreže tunela. Proračun tačnosti zasnovan je na istim pretpostavkama kao za nulti plan opažanja (poglavlje 6.1).

Osnovni podaci GMT za prvi plan opažanja dati su u Tabeli 4.

Tabela 4. Osnovni podaci geodetske mikromreže tunela za prvi plan opažanja

Broj tačaka:	57
Broj stanica opažanih pravaca:	40
Broj pravaca:	120
Broj uglova:	0
Broj dužina:	120
Broj koordinatnih razlika:	28
Broj mjerenih veličina n:	268
Broj nepoznatih parametara u:	154
Defekt mreže d:	2
Broj stepeni slobode f:	116
A priori standardna devijacija $\sigma_0$ :	1

Prosječno standardno odstupanje koordinata i položaja tačaka nadzemne mikromreže dato je u Tabeli 5.

Tabela 5. Standardi položaja nadzemne mreže (prvi plan)

Prosječan standard Y koordinata:	1.52 mm
Prosječan standard X koordinata:	1.52 mm
Prosječan standard položaja:	2.15 mm

U Tabeli 6. prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti elemenata apsolutnih elipsi grešaka za desnu tunelsku cijev.

Tabela 6. Vrednosti elemenata apsolutnih elipsi (desna cev)

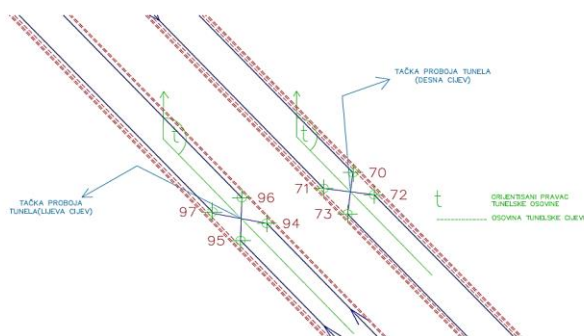
	A [mm]	B [mm]
Minimalno:	6.41	3.98
Maksimalno:	27.72	8.70
Prosječno:	16.53	5.92

U Tabeli 7. prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti elemenata apsolutnih elipsi grešaka za lijevu tunelsku cijev.

Tabela 7. Vrednosti elemenata apsolutnih elipsi (lijeva cijev)

	A [mm]	B [mm]
Minimalno:	5.10	3.32
Maksimalno:	24.91	8.73
Prosječno:	14.08	5.82

Na slici 6. prikazana je tačka proboja desne i lijeve tunelske cijevi.



Slika 6. Tačka proboja desne i lijeve tunelske cijevi

Tačnost poprečnog i podužnog proboja proračunata je u tačkama proboja za desnu i levu cijev. Za kriterijum moći testa  $1 - \beta \geq 0.80$  usvojeni dizajn mreže obezbjeđuje tačnost poprečnog proboja tunela prikazan u Tabeli 8.

Tabela 8. Tačnost poprečnog proboja tunela (prvi plan opažanja)

Desna cijev	OD 70 DO 73	3.75 cm
	OD 72 DO 71	3.70 cm
Lijeva cijev	OD 96 DO 95	3.37 cm
	OD 94 DO 97	3.35 cm

Za kriterijum moći testa  $1 - \beta \geq 0.80$  usvojeni dizajn mreže obezbjeđuje tačnost podužnog proboja tunela prikazan u Tabeli 9.

Tabela 9. Tačnost podužnog proboja tunela (prvi plan opažanja)

Desna cijev	OD 70 DO 73	1.29 cm
	OD 72 DO 71	1.35 cm
Lijeva cijev	OD 96 DO 95	1.28 cm
	OD 94 DO 97	1.40 cm

## 7. ZAKLJUČAK

Nezaobilazan proces pri projektovanju geodetskih mikromreža predstavlja algoritam prethodne ocjene tačnosti i analize pouzdanosti geodetskih mjerenja. Kroz ovaj proces se dolazi do nedvosmislenog zaključka o tačnosti i pouzdanosti mikromreže. U radu su prikazana dva primjera plana opažanja sa prethodnom ocjenom tačnosti i analizom pouzdanosti.

Glavni nedostatak mikromreže iz nultog plana opažanja ogleda se u geometriji poligonometrijskog vlaka, koji povezuje portalne mikromreže. U poligonometrijskom vlaku postoji mali broj suvišno mjerenih veličina (stepeni slobode), a zbog same geometrije vlaka nemoguće je taj broj povećati. Zbog ovoga, realizovanim dizajnom mikromreže dobija se visoko tačna, ali nedovoljno pouzdana podzemna geodetska mikromreža.

Povećanje broja suvišno mjerenih veličina, a samim tim i pouzdanosti mikromreže, u ovom slučaju (prvi plan opažanja) realizovano je zamjenom poligonometrijskog vlaka između dviju portalnih mikromreža lancem četvorouglova. Predloženom geometrijom mikromreže u prvom planu opažanja moguće je ostvariti visoku tačnost poprečnog i podužnog proboja tunela koja se zahtjeva u ovakvim inženjerskim radovima.

## 8. LITERATURA

- [1] Slobodan Pandžić, Jelena Pandžić, "Inženjerska geodezija", 257 strana, Beograd, 2015.
- [2] Slobodan Ašanin, "Inženjerska geodezija 1", 299 strana, Beograd, 2003.
- [3] Marija Savanovic, "Prilog razvoju metodologija izrade optimalnih projekata lokalnih geodetskih mreža metroa", Doktorska disertacija, 258 strana, 2017.
- [4] Saobraćajni institut CIP d.o.o, "Glavni projekat rekonstrukcije, modernizacije i izgradnje dvokolosiječne pruge Beograd-Stara Pazova-Novi Sad-Subotica-Državna granica", Knjiga 16: Projekat geodetskih radova, Beograd, 626 strana, 2015.

### Kratka biografija:



**Slaven Popadić** rođen je u Bileći 1994. godine. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka upisao je 2017. godine. Oblasni interesovanja su inženjerska geodezija i deformaciona analiza.

kontakt: [slavenpopadic94@gmail.com](mailto:slavenpopadic94@gmail.com)