



## LOKALNA GEODETSKA MREŽA-PROJEKAT I REALIZACIJA LOCAL GEODETIC NETWORK-PROJECT AND REALIZATION

Stefan Živanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

**Kratak sadržaj** – Ovaj rad se sastoji iz nekoliko delova u kojima je u teoretskom smislu opisan projekat lokalne geodetske 2D mreže uz osvrt na metodu najmanjih kvadrata i njena realizacija na praktičnom primeru.

**Ključne riječi:** *Lokalne geodetske mreže. 2D mreža, stabilizacija tačaka, MNK.*

**Abstract** – *This paper consists of several parts that are theoretically described as a project of a local geodetic 2D network with an overview of the least-squares method and its practical implementation.*

**Keywords:** *Local Surveying Networks, 2D network, point stabilization, MNK.*

### 1. UVOD

Geodetska struka je nezamenljiva prilikom projektovanja, građenja i korišćenja bilo kog građevinskog objekta. Savremeno građevinarstvo pruža izgradnju velikih i kompleksnih objekata u koje se ulažu ogromna finansijska sredstva pa su neophodne informacije o njihovom pomeranju kako u toku građenja tako i u periodu njihove eksploatacije. Zbog toga je neophodno u pojedinim geodetskim mrežama, vršiti periodično merenje kako bi se utvrdio smer i intenzitet pomeranja tačaka koji je nastao u nekom vremenskom periodu. Ovakav vid informacija je veoma bitan za sve tehničke struke, koji pri izradi projekata za buduće objekte moraju da obrate pažnju o stabilnosti tla. Za obavljanje tih geodetskih radova neophodno je razvijanje specifične geodetske mreže tačaka, koja će predstavljati polaznu osnovu za sve navedene geodetske radove, tj. neophodno je uspostavljanje lokalne geodetske mreže. Da bi se obezbedilo kvalitetno osmatranje nekog objekta, neophodno je da mreža stalnih tačaka bude stabilna i da zadovoljava zahtjeve koje se tiču tačnosti i pouzdanosti.

### 2. GEODETSKE MREŽE U INŽENJERSKIM RADOVIMA

#### 2.1. Pojam i definicija geodetske mreže

Sa geometrijskog aspekta geodetska mreža se definiše kao konfiguracija (razmještaj) tri ili više tačaka na zemlji povezanih terestričkim geodetskim mjerenjima (horizontalni pravci, uglovi, azimuti, dužine, visinske razlike) ili astronomskim ili satelitskim mjerenjima (GPS vektori), ili njihovom kombinacijom [2].

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Bulatović, docent.

S obzirom na dimenziju koordinatnog sistema u kom je definisan položaj tačke geodetske mreže, razlikujemo sledeće tipove geodetskih mreža:

- Geodetske visinske mreže (1D) - služe kao osnova za vertikalnu predstavu fizičke površi Zemlje;
- Horizontalne mreže (2D) – ove mreže se oslanjaju na geodetski horizontalni datum i služe kao osnova horizontalne predstave fizičke površi Zemlje, određene su Y i X koordinatama;
- Prostorne mreže (3D) – služe kao osnova prostorne predstave fizičke površi Zemlje. Tačke mreže su određene prostornim X, Y i Z koordinatama.

#### 2.2 Geodetske mreže posebne namjene

Često se kod izgradnje većih građevinskih objekata na terenu razvijaju posebne mreže stalnih tačaka, koje se zovu geodetske mreže posebne namjene. U praksi se još nazivaju i lokalne geodetske mreže, kontrolne mreže, samostalne geodetske mreže, geodetske mreže objekata i geodetske mikromreže. Oblik i veličina mreža posebne namjene prvenstveno zavisi od samog objekta kao i terena u njegovoj neposrednoj blizini. Ne može se izabrati bilo kakav oblik geodetske mreže.

U slučaju da se meri najkvalitetnijim instrumentima, najboljim metodama i sa visokom tačnošću, neće biti moguće dobiti geodetsku mrežu odgovarajućeg kvaliteta ako nije izabran optimalan oblik mreže.

U ovim mrežama najčešće se mere uglovi, dužine i visinske razlike a danas je zahvaljujući savremenim instrumentima i priboru, moguće ostvariti visoku preciznost ovih mjerenja.

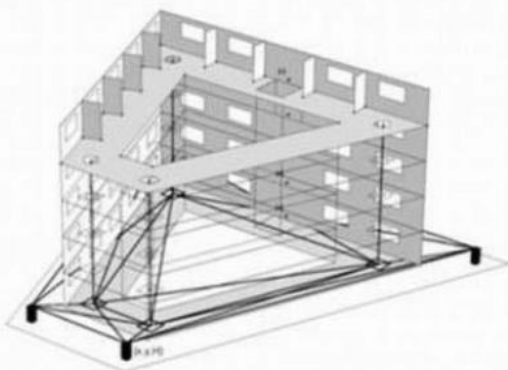
Geodetska mreža posebne namene služi da se podaci na zadatom projektu prenesu na teren tj. da se izvrši njihovo obeležavanje. Takođe, geodetska mreža objekta potrebna je za kasniju kontrolu geometrije i geodetsko osmatranje u toku eksploatacije objekta kao i za izradu informacionog sistema objekta. Iz svega proizilazi da je kvalitetna geodetska mreža objekta neophodna za izvođenje geodetskih radova u inženjerstvu.

### 3. USPOSTAVNJALJE GEODETSKIH MREŽA POSEBNE NAMENE

Prilikom projektovanja geodetske mreže za potrebe izgradnje raznih građevinskih objekata moraju se ispuniti uslovi da geodetska osnova bude pogodna kako za GNSS tako i za terestrička mjerenja. Osim toga ona mora zadovoljiti unapred postavljene zadate tačnosti, te se pri projektovanju moraju voditi računa o sljedećim parametrima: geodetska mreža mora imati dovoljan broj tačaka za sigurno praćenje objekta; visoka relativna

tačnost (zavisno od namjene mreže od 1 mm do 2 cm); tačke moraju biti tako stabilizovane da je osiguran njihov položaj od početka do završetka gradnje; geodetska mreža po potrebi treba biti integrisana u državni koordinatni sistem [4].

Geodetska mreža se uspostavlja na užem području, a njena veličina i geometrijska konfiguracija zavisi o njene namjene, veličine i karakteristikama objekta, mogućnostima stabilizacije tačaka, vrsti mjerenja. Ona se uspostavlja u svrhu prenošenja matematički definisane cjeline, opisane određenim brojem tačaka s pripadajućim koordinatama i visinama, na teren sa unaprijed definisanom tačnošću.



Slika 3-1. Spoljašnja i unutrašnja geodetska mreža [7]

Za uspostavljanje geodetske mikromreže važno je poznavati dozvoljenja odstupanja i tolerancije objekta, jer se pri gradnji takvih objekata često koriste precizno izrađeni konstrukcijski elementi pa takva mreža mora zadovoljiti najviše zahteve u pogledu preciznosti i pouzdanosti.

Glavne smernice projekta geodetske osnove su da ona ima dovoljan broj dobro raspoređenih tačaka, da se na temelju spoljne uspostavlja unutrašnja mikromreža objekta (Slika 3-1) te da se reperi stabilizuju van zone građevinskih radova. Radi osiguravanja prenosa visina tokom izgradnje potrebno je razviti visinsku geodetsku mrežu koja je po pravilu identična s položajnom [7]. Projekt visinske geodetske mreže trebao bi da sadrži pregledni plan sa podacima o postojećim reperima za područje gradnje, način stabilizacije repera, proračun tačnosti nivelmanske mreže, metode rada i načina obrade rezultata mjerenja. Preciznost mjerenja za tako razvijenu mrežu računa se na temelju specifičnih zahtjeva gradnje.

### 3.1. Projekat mreže

Cilj je postići zahtevanu tačnost geodetske mreže unutar nekih okvira: vreme merenja, dostupni instrumenti, omogućena finansijska sredstva...U velikom broju slučajeva ono što treba postići i ono što će se ostvariti zavisi od iskustva izvođača.

Ako zamišljeni projekat ne ispunjava uslov tražene tačnosti, pristupa se izradi novog projekta mreže, sve dok se simulacijom ne ostvari zahtevana tačnost.

U fazi projektovanja lokalne geodetske mreže mi smo u mogućnosti da menjamo geometriju mreže, tačnost merenja, vrste merenja, isprojektujemo lokalnu geodetsku mrežu sa unapred predviđenim kriterijumom tačnosti. Ako zamišljeni projekat ne zadovoljava traženu tačnost, pristupa se izradi novog projekta mreže, sve dok se ne ostvari zahtevana tačnost.

## 4. IZVORI GREŠAKA GEODETSKOG PRIBORA I OSNOVNI PRINCIPI RADA TOTALNOM STANICOM

### 4.1 Principi merenja totalnom stanicom

Totalna stanica je geodetski instrument čiji se princip rada zasniva na merenju tri elementa:

- Horizontalni ugao
- Vertikalni ugao
- Kosu dužinu

Sve ostale veličine su izvedene od ove tri. Totalne stanice su automatski registrujući tahimetri koji u sebi sadrže elektronski teodolit, distomat i računar. Moguće je registrovati i same koordinate tačaka X,Y,Z jer iz merenih podataka ugrađeni računar automatski računa koordinate snimljenih tačaka. U inženjerskoj geodeziji za iskolčavanje tačaka na terenu ovi instrumenti su veoma pogodni jer se mogu koristiti direkcioni ugao i koordinate tačaka. Na displeju instrumenta se očitava koliko je potrebno pomeriti tačku na kojoj se nalazi prizma po uglu i dužini da bi došla na projektovano mesto. Ovo olakšava rad kod prenosa projekta na nepristupačnim terenima. Za svaku tačku, pored registrovanih polarnih ili ortogonalnih koordinata, registruje se i broj tačke, kod, visina signala, podaci o temperaturi i pritisku. Ove totalne stanice omogućavaju direktan priključak PC računara na nju, pa tako i automatsko kartiranje tačaka.

Za realizaciju radova je korišćena totalna stanica: Leica TS06 sa odgovarajućim priborom. Ova totalna stanica ima mogućnost merenja dužine do 3500m, merenja uglova u horizontalnoj ravni 0° do 360°, merenja uglova u vertikalnoj ravni -55° do 90°. Pri čemu je merna nesigurnost: za merenje dužine  $\pm 1.5\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ , za merenje ugla  $\pm 5''$ .

Horizontalni ugao se meri od početnog pravca horizontalnog limba. Ukoliko se za početni pravac zauzme direkcioni ugao, onda će se za svaku tačku čitati direkcioni uglovi. Vertikalni uglovi se čitaju po istom principu kao i horizontalni uglovi. Totalne stanice poseduju interijerni senzor koji automatski popravljaja merene vrednosti horizontalnih i vertikalnih uglova.

Merenje dužina. Skoro svi geodetski instrumenti su zasnovani na faznom principu merenja dužina. Upoređuje se vremenski period putovanja elektromagnetnog talasa od instrumenta do reflektora i nazad. Dužina je u funkciji brzine prostiranja talasa i vremenskog intervala između momenta emitovanja i prijema elektromagnetnog talasa.

## 5. IZRAVNANJE GEODETSKE MREŽE

Izravnanje geodetske mreže vrši se u cilju ocene nepoznatih parametara. Ono ima smisla samo u onim slučajevima kada je broj merenja veći od minimalno neophodnog broja kojim se obezbeđuje jedinstveno rešenje. Do nepoznatih parametara dolazi se merenjima koja su izložena različitim uticajima koji izazivaju pojavu slučajnih grešaka i u procesu ocene nepoznatih parametara jesu predmet primene metode najmanjih kvadrata. Nakon obavljenih svih korekcija i redukcija, te uklanjanja sistemskih i grubih grešaka, pristupa se izravanju geodetske mreže.

## 5.1 Izravnjanje po metodi posrednih merenja: Gauss - Markovljev model

Izravnjanje po metodi posrednih merenja se primenjuje kada se tražene veličine (nepoznate) ne mogu neposredno izmeriti nego se određuju pomoću nekih drugih, izmerenih veličina, sa kojima su funkcijski povezane. Kako se tražene veličine posredno određuju na osnovu merenja, izravnjanje merenih veličina naziva se izravnjanje posrednih merenja, a sama merenja su tzv. posredna merenja. Izravnjanjem se određuje najbolja ocena u nepoznatih  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, u$ ), sa  $n$  merenja  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) koja imaju a priori poznate težine  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) i na kraju se daje ocena tačnosti svih merenih i traženih veličina. Razlika  $n-u$  predstavlja broj suvišno merenih veličina ili broj stepeni slobode. Izravnjanje je moguće samo kada ima više merenih nego nepoznatih veličina, tj. kada je  $n > u$ . Postojanje suvišnih merenja je neophodno za proces izravnjanja jer je pomoću njih moguće [5]:

- otkriti grube greške,
- poboljšati tačnost ocena nepoznatih parametara,
- oceniti merene veličine i nepoznate parametre.

## 5.2 Defekt geodetske mreže

Merenjem dužina, pravaca, uglova visinskih razlika definisan je samo relativni položaj tačaka mreže. Za određivanje apsolutnih koordinata tačaka potrebne su određene informacije. Matematički gledano postoji defekt funkcionalnog dela mreže Gauss-Markovljevog modela.

Tek uklanjanjem tog dela moguće je određivanje vektora nepoznatih parametara-apsolutnih koordinata tačaka mreže.

## 5.3 Datum geodetske mreže

Datum geodetske mreže predstavlja minimalan broj parametara potreban za određivanje mreže u prostoru ili pozicioniranje iste te mreže relativno prema nekom prije definisanom koordinatnom sistemu. Geodetska merenja (dužine, pravci, uglovi i visinske razlike) su unutrašnja mjerenja sprovedena između tačaka mreže i kao takva mogu definisati samo relativni položaj, odnosno relativne koordinate tačaka mreže, dok su apsolutne coordinate tačaka vanjske veličine koje su određene relativno u odnosu na neki prije definisani koordinatni sistem. Ako takvi podaci nedostaju, govori se o defektu datuma mreže.

## 6. KRITERIJUMI KVALITETA LOKALNIH GEODETSKIH MREŽA

### 6.1 Mere pouzdanosti

Pouzdanost geodetske mreže predstavlja kvalitet predloženog rešenja pa tako postoji unutrašnja i spoljašnja pouzdanost.

Unutrašnja pouzdanost se odnosi na mogućnost otkrivanja grubih grešaka u merenjima, a spoljašnja s obzirom na uticaj neotkrivenih grubih grešaka na ocene traženih veličina. i kod unutrašnje i spoljašnje pouzdanosti postoje lokalne i globalne mere pouzdanosti.

Globalne se odnose na mogućnost utvrđivanja postojanja grubih grešaka bez mogućnosti njihovog lociranja, dok se lokalne odnose na verovatnoću otkrivanja rezultata koji sadrže grube greške [5].

## 6.2 Test grubih grešaka

Osim slučajnih grešaka, u teoriji analiziraju se sistemat-ske i grube greške. Sa statističkog stanovišta, rezulteti koji odskaku spadaju u ona merenja za koja se pretpostavlja da ne pripadaju istom uzorku kao i planirana merenja pa se iz tog razloga ne smeju mešati.

## 7. PRAKTIČAN DEO RADA

U prethodnim poglavljima uopšteno se govorilo o lokalnim geodetskim mrežama, načinu njihovog uspostavljanja kao i obradi podataka. U ovom poglavlju prikazani su izravnati rezultati merenja uspostavljene 2D mikro-mreže oko Studentskog doma „Slobodan Bajić“ u Novom Sadu sa ocenom kvalitet merenja.

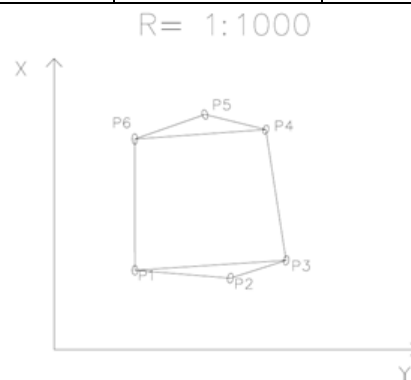
### 7.1 Projekat lokalne geodetske mreže

Prilikom projektovanja mikro 2D mreže pored gore navedenih kriterijuma o položajnoj tačnosti mreže koja mora da se zadovolji, postoje i kriterijumi kvaliteta mreže:

- > Kolimaciona greška unutar jednog girusa  $2C \leq 10''$ ,
- > Greška merenih dužina ne sme biti veća od 5 mm,
- > Greška zatvaranja trouglova  $f \leq 10''$ ,
- > Dozvoljena granica tačnosti po koordinatnim osama  $\sigma_x, \sigma_y \leq 5$  mm,
- > Lokalna mera unutrašnje pouzdanosti da je u intervalu  $0,3 \leq r_i \leq 1$ ,
- > Marginalna gruba greška  $|G_{ii}| < 7 \cdot \sigma_0$ ,
- > A/B odnos male i velike poluose elipse grešaka da ne bude veći od 1:1.

Tabela 7.3-6. Izravnate koordinate tačaka sa vektorom nepoznatih parametar

Tačka-koordinata	Izravnata koordinata	x [mm]
YP1	1000.000	0.387
XP1	1000.000	-0.497
YP2	1067.918	0.086
XP2	994.376	-0.319
YP3	1107.675	-0.755
XP3	1007.028	0.385
YP4	1093.181	-0.396
XP4	1099.970	-0.101
YP5	1049.916	-0.288
XP5	1110.671	0.048
YP6	1000.001	0.966
XP6	1093.242	0.483



Prilog br. 4 - Grafički prikaz apsolutnih elipsi grešaka uvećan 10x

## 8. ZAKLJUČAK

Geometrija mreže, formirana pod uticajem konfiguracije terena, doprinjela je da moć otkrivanja grubih grešaka u mreži se kreće u rasponu od  $0,196 \leq r_{ii} \leq 0,777$ . Na osnovu intervala vrijednosti  $r_{ii}$  može se zaključiti da mreža ima dovoljnu kontrolu. S druge strane, marginalna gruba greška koja se može otkriti Data – Snooping testom, kao pokazatelj uticaja grubih grešaka na ocenjene visine se nalazi u dozvoljenim granicama  $G_i \leq 7 \cdot \sigma_0$ . Analiza postignutih tačnosti a priori i ispitivanje prisutnosti grubih i sistematskih grešaka merenja ukazali su na zadovoljavajuću tačnost i činjenicu da se ne mogu uočiti nikakvi značajniji sistematski uticaji, niti grube greške.

Na kraju treba istaknuti da se sva merenja te njihova obrada i izravnaje, zbog vrlo važnog ekonomskog aspekta, trebaju izvoditi onoliko precizno koliko je to nužno a ne koliko je to moguće te se u skladu tome biraju merne metode čija primjena daje sigurnost da će unapred postavljeni zahtjevi tačnosti biti ispunjeni.

## 9. LITERATURA

- [1] Božić B. Obrada i analiza podataka geodetskih merenja 2 (skripta). Beograd: Građevinski fakultet; 2007.
- [2] Ninkov, Toša. Projektovanje geodetskih mreža u inženjerskoj geodeziji (skripta). Novi Sad : Fakultet tehničkih nauka, 2013. p. 99 str.
- [3] Toša Ninkov Optimizacija projektovanja geodetskih mreža. Beograd Građevinski fakultet; 1989.
- [4] Ašanin S. Inženjerska geodezija 1. Beograd: Ageo d.o.o. 2003.
- [5] Mihailović K. Aleksić I. Koncepti mreža u geodetskom premeru. Beograd: Privredno društvo za kartografiju „Geokarta d.o.o.“.

[6] Kapović Z. Geodetske osnove za posebne namjene. Zagreb Geodetski fakultet.

[7] Šabić N. Specifičnosti geodetske osnove i mjernih metoda u graditeljstvu. Zagreb Geodetski fakultet.

[8] Ninkov, T (2011). Projektovanje geodetskih mreža u inženjerskoj geodeziji, skripta iz inženjerske geodezije 2. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

[9] Božić, B. Tomić, S. (2007). Tehnike geodetskih merenja 2.

[10] Savanović, M. Doktorska disertacija- Prilog razvoju metodologija izrade optimalnog

projekta lokalnih geodetskih mreža metroa. Novi Sad

[11] <https://www.geooptic.ru/product/leica-ts06ultra-2>

[12] Gligorić, P. (2007). Precizna geodetska merenja, monografija 2. DOO TON, Beograd.

### Kratka biografija:



**Stefan Živanović** rođen je 1994. god. u Ljuboviji. Osnovne akademske studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2017. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, odbranio je 2019. god.