

ANALIZA REZULTATA MERENJA PRIMENOM METODE GEOMETRIJSKOG NIVELMANA I STATIČKE GNSS METODE PRI FORMIRANJU GEODETSKIH 1D MIKRO MREŽA**ANALYSIS OF MEASUREMENT RESULTS USING THE GEOMETRIC LEVELLING METHOD AND STATIC GNSS SURVEYING IN FORMATION OF GEODETIC 1D MICRO NETWORKS**Radmila Mirković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA**

Kratka sadržaj – Metoda premera primenom geometrijskog nivelmana i statičke GNSS metode premera su metode koje se u geodeziji koriste za dobijanje veoma preciznih rezultata. Cilj realizovanih merenja, primenom navedene dve metode, jeste utvrditi koju metodu je bolje odabrati za različite geodetske zadatke. Nakon izvršenih merenja, analizom dobijenih rezultata utvrđeno je da se za geodetske poslove gde se zahteva tačnost ≤ 1 mm preporučuje primena metode geometrijskog nivelmana, dok se za poslove gde se zahteva tačnost > 1 mm preporučuje primena GNSS statičke metode premera.

Ključne reči: GPS, Geometrijski nivelman, statička GNSS metoda, tačnost merenja

Abstract – Geometric leveling and the static GNSS surveying are methods used in geodesy for obtaining very precise results. The aim of the surveying using these two methods, is to determine which method is better to choose for different geodetic tasks. After the surveying was finished, the analysis of the obtained results showed that the geometric leveling is recommended for geodetic jobs where the accuracy ≤ 1 mm is required, while the GNSS static surveying is recommended for jobs where the accuracy > 1 mm is required.

Key words: GPS, Geometric leveling, static GNSS method, accuracy

1. UVOD

U geodeziji, jedan isti zadatak može se izvršiti primenom više različitih metoda premera. Visina tačke se, na primer, može odrediti i primenom neke od metode nivelmana, a isto tako i primenom GNSS metode premera. Međutim, tačnost rezultata merenja, sam postupak merenja i uslovi izvođenja merenja se razlikuju. Stoga uvek treba dobro sagledati sve zahtevane aspekte geodetskog posla, posebno zahtevanu tačnost merenja, i u skladu sa tim odabrati najpogodniju metodu.

2. SATELITSKA GEODEZIJA

Satelitska geodezija je oblast geodezije koja obuhvata postupke i obradu preciznih merenja ka satelitima, od satelita i između satelita, u cilju rešavanja različitih geodetskih zadataka [2].

NAPOMENA:

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

Globalni pozicioni sistem (*Global Positioning System* - GPS) je prvi lansiran potpuno funkcionalan globalni satelitski navigacioni sistem (*Global Navigation Satellite System* - GNSS) [2]. Od prvobitne vojne namene, GPS danas nalazi primenu u mnogim sferama (navigacija i kontrola kretanja objekata, praćenje raznih deformacija, pozicioniranje prirodnih i veštačkih katastrofa).

3. GLOBALNI POZICIONI SISTEM (GPS)

GPS je pasivni satelitski sistem zasnovan na trilateracionoj metodi pozicioniranja i merenju dužina principom određivanja vremena puta radio signala.

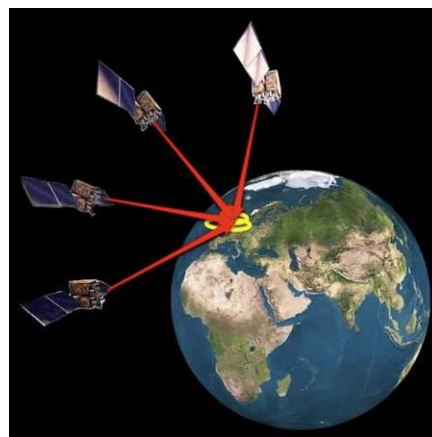
3.1. Struktura GPS sistema

Osnovni segmenti GPS sistema su:

1. Kosmički segment
2. Kontrolni segment
3. Korisnički segment

3.2. Princip GPS merenja

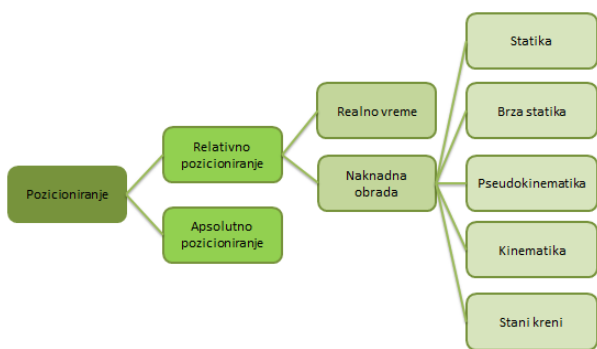
Određivanje položaja GPS prijemnika u prostoru vrši se upotrebom trilateracione metode. Trilateraciona metoda podrazumeva da prijemnik iz prikupljenih podataka sa 4 ili više satelita, prostornim presekom pravaca određuje svoj položaj (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Princip trilateracije – određivanje položaja tačke

3.3. Koncept GNSS pozicioniranja

Pojam pozicioniranja podrazumeva određivanje prostornih položaja stacionarnih ili objekata u pokretu. Metode GNSS pozicioniranja prikazane su na slici 3.2.



Slika 3.2. Metode GNSS pozicioniranja

Apsolutno pozicioniranje podrazumeva korišćenje jednog prijemnika pomoću kog se meri dužina do satelita. Dok relativno pozicioniranje podrazumeva istovremena merenja na dve ili više tačaka.

3.3.1. Relativno statičko pozicioniranje

Princip ove metode je zasnovan na određivanju prostornih vektora između stacionarnih prijemnika postavljenih na stanice, gde svaki od prijemnika simultano prima signale sa satelita. Metoda je veoma pouzdana, prikupljanje podataka jednostavno, a dostiže se tačnost od 0.1 do 1 ppm.

Vremenski interval prikupljanja podataka, sesija, zavisi od zahtevane tačnosti, udaljenosti prijemnika, broja vidljivih satelita, kao i njihovog rasporeda, vrste prijemnika, ali svakako vreme prikupljanja podataka mora biti dovoljno dugo kako bi naknadnom obradom mogla da se reši fazna neodređenost. Na osnovu svega navedenog sesija traje od 20 minuta do nekoliko časova a maksimalna dužina bazne linije 20 km.

3.4. Greške GPS merenja

Greške merenja su neizostavne kod svih geodetskih metoda premera pa tako i kod GNSS metoda. U zavisnosti od različitih uzročnika grešaka, mogu se podeliti u nekoliko grupa: greške satelitskog porekla, greške sredine prostiranja signala i greške prijemnika.

1. Greške satelitskog porekla prouzrokovane su usled kvara u satelitu, zbog međusobnog položaja satelita kao i zbog osobina sredine u kojoj se sateliti nalaze, i to su:

- Greške zbog loše geometrije satelita
- Greške efemerida
- Greške časovnika u satelitu
- Greške teorije relativiteta

2. Greške sredine prostiranja signala javljaju se kao posledica različitog ponašanja GPS signala, u sredinama kroz koje prolazi tokom svog kretanja od satelita u svemiru, do prijemnika na Zemlji. To su:

- Greške jonosferskog kašnjenja signala
- Greške troposferskog kašnjenja signala

3. Greške prijemnika su greške koje nastaju usled nesvršenosti izrade instrumenta, kvara unutar instrumenta, lošeg postavljanja instrumenta i sl., i to su:

- Greške višestruke refleksije
- Greške usled šuma u prijemniku
- Greške sinhronizacije časovnika prijemnika
- Greške ekscentriciteta faznog i geometrijskog centra

4. NIVELMAN

Nivelman predstavlja geodetsku metodu određivanja visinskih razlika između tačaka na terenu i na osnovu njih određivanja visina tih tačaka, uz pomoć instrumenta koji se naziva nivelir.

4.1. Visinske referentne mreže

Visinski referentni sistem predstavlja jednodimenzionalni koordinatni sistem, odnosno referentnu površ u odnosu na koju se izražavaju visine. Referentnu nivelmansku mrežu Srbije čini sistem zatvorenih poligona, ravnomerno raspoređenih po celoj teritoriji Republike Srbije [3]. Lokalna nivelmanska referentna mreža lokalno realizuje visinski referentni sistem na području predviđenom za radove.

4.2. Nivelir

Nivelir je osnovni merni instrument za određivanje visinskih razlika u geodeziji [4]. Osnovni princip nivelira zasniva se na delovanju sile teže, odnosno dovođenju vizurne ose durbina u horizontalni položaj, što se postiže pomoću libele ili kompenzatora. Obavezan pomoćni pribor za niveliranje, pored samog instrumenta, čine nivelmanske letve, papuče, gvozdeni klinovi.

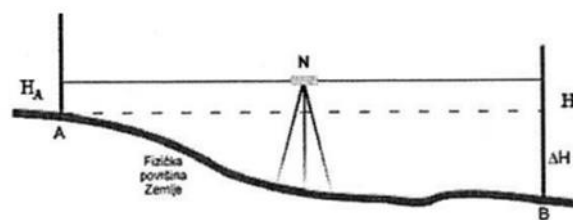
4.3. Niveliranje

Visinska razlika između dve tačke predstavlja razliku njihovih vertikalnih udaljenosti od nivoa površine mora, odnosno vertikalnu udaljenost između nivoa površina položenih kroz te dve tačke. Visinska razlika se dobija kao razlika čitanja na nivelmanskim letvama koje se postavljaju na tačkama za koje se određuje visinska razlika.

4.5. Geometrijski nivelman

Geometrijskim nivelmanom se određuju visinske razlike između dve tačke na površini Zemlje, uz pomoć horizontalne vizure. Visinska razlika određuje se na osnovu razlike čitanja podele letava, postavljenih na tačkama za koje se određuje visinska razlika:

$$\Delta h = h_B - h_A, \text{ odnosno } \Delta H = \text{zadnja} - \text{prednja} \quad (4.1)$$



Slika 4.1. Princip geometrijskog nivelmana

U zavisnosti od svrhe, nivelman se deli na:

- Generalni nivelman-određivanje visina repera
- Detaljni nivelman-određivanje visina detaljnih tačaka u odnosu na visine repera

4.6. Greške niveliranja

Rezultati merenja pri niveliranju opterećeni su greškama merenja. Greške merenja možemo podeliti u nekoliko grupa, u zavisnosti od uzroka njihovog nastanka, i to:

greške koje nastaju usled nepažnje operatora, greške vezane za instrument i letve i greške atmosferskih prilika.

1. Greške nastale usled nepažnje operatora

- Greška u čitanju letve
- Greška čitanja niti končanice
- Greške zapisivanja

2. Greške koje nastaju usled nepravilnosti instrumenta i letve

- Greška usled neadekvatne rektifikacije instrumenta
- Greška usled uticaja paralakse
- Greške podele optičkog mikrometra
- Mrtvi hod zavrtnja optičkog mikrometra
- Nepravilan rad elevacionog zavrtnja
- Nevertikalnost glavne ose nivelira
- Greška usled nevertikalnosti letve
- Greška usled razlike aktuelne i nominalne dužine letve
- Savijenost letve
- Greške podele letava
- Ekscentricitet tačke oslonca letve
- Obrada pete letve
- Nepoklapanje nultih podeonih crtica para letava
- Temperaturni koeficijent širenja letve
- Vertikalno pomeranje stativa
- Vertikalno pomeranje podmetača za letvu
- Vertikalno pomeranje vizure usled promene mesta opažaća
- Vibriranje terena
- Greška izazvane nestabilnošću instrumenta
- Greška izazvana nestabilnošću veznih tačaka

3. Greške nastale usled atmosferskih uticaja

- Greška usled uticaja Zemljine zakrivljenosti
- Skretanje vertikale usled privlačnog dejstva Sunca i Meseca
- Promena ugla „i“ pod uticajem temperaturnih promena
- Nagib libeline ose usled razlike temperature na krajevima libele
- Promena dužine pantljike letve pod uticajem temperaturnih promena
- Promena dužine pantljike letve usled promene sile zatezanja
- Nejednaka osvetljenost letava
- Uvijanje stativa
- Refrakcija
- Zamućenost i kolebanje vazduha
- Treperenje vazduha
- Vetar

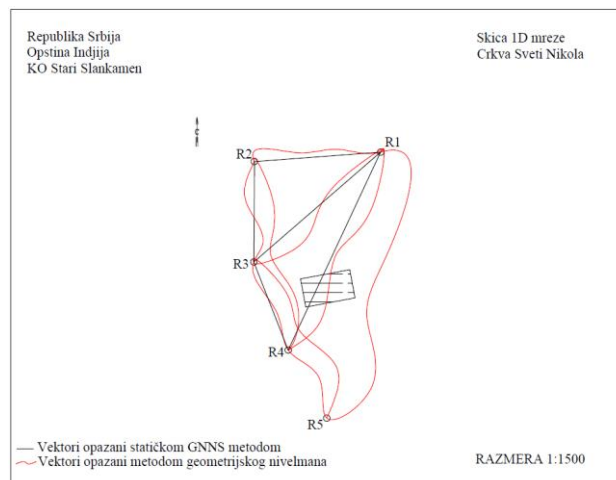
5. PRAKTIČNI DEO RADA

Cilj ovog zadatka je izvršiti analizu rezultata merenja dobijenih primenom metode geometrijskog nivelmana i statičke GNSS metode, pri formiranju 1D mikro mreže, za potrebe praćenja sleganja objekta i okolnog terena, radi utvrđivanja postojanja klizišta.

5.1. Crkva Svetog Nikole u Starom Slankamenu

Crkva Svetog Nikole nalazi se u Starom Slankamenu, u opštini Indija. Sagrađena je 1468. godine, i kao takva ubraja se u najstarije crkve izgrađene u srednjovekovnom

stilu. Nakon više od 500 godina na crkvi se 2018. godine pojavila pukotina. Zbog sumnje da je uzrok pojavljivanja pukotine postojanje klizišta, formirana je lokalna 1D mikro mreža oko crkve kako bi bilo moguće pratiti sleganje objekta, a i samog okolnog terena.



Slika 5.1. Razvijena 1D mreža i opažani vektori primenom obe metode

5.2. Merenje primenom metode geometrijskog nivelmana

Lokalna 1D mreža razvijena je za potrebe osmatranja 7. repera ugrađenih u temelj crkve, odnosno praćenja sleganja objekta. Izvršeno je rekognosciranje terena i određene su optimalne pozicije za 5 tačaka geodetske 1D mikro mreže, koje su trajno stabilizovane. Tačka 1D mreže predstavlja nivelmanski reper postavljen u armirani beton dimenzija 40x40x100 cm.

U razvijenoj 1D mreži, izvršena su merenja primenom metode geometrijskog nivelmana. Merenja su realizovana digitalnim nivelrom Leica DNA03 primenom invarskih letava. Niveliranje je izvršeno u jednom pravcu, sa po 2 opažanja na stanicama, čime je postignuta zadovoljavajuća tačnost. Nakon završetka niveliranja, izvršena je obrada podataka. Primenjeno je posredno izravnjanje, a mreža je izravnata kao slobodna. Težine pojedinih nivelmanskih strana su određene primenom formule:

$$P = \frac{1}{D \text{ (km)}}$$

gde je D(km) : dužina nivelmanske strane

Tabela 5.1. Izravnate visine repera

Broj repera	H[m]	ΔH[mm]
1	100.00001	0.01449
2	109.99659	0.20434
3	115.84349	0.01000
4	121.60578	-0.48556
5	125.63582	0.25673

5.3. Merenje primenom metode statičkog GNSS premera

Za potrebe praćenja kako horizontalnih tako i vertikalnih deformacija terena, u neposrednoj blizini objekta, izvršena su merenja primenom statičke GNSS metode na 4 tačke lokalne 1D mikro mreže. Realizovana merenja pred-

stavljaju 0 epohu, u odnosu na koju će se kasnije analizirati merenja iz sledećih epoha. Merenja su izvršena na tačkama 1, 2, 3 i 4 razvijene lokalne 1D mikro mreže, u dve sesije. Na tački 5 1D mreže, nisu izvršena merenja, jer je tačka stabilizovana ispod gustog rastinja.

Pre početka merenja, na svakoj tački izvršeno je horizontiranje i prisilno centrisanje GPS antena. Merenja su vršena u dve sesije. U prvoj sesiji vršena su merenja na tačkama R4, R3 i R1, i tako su izopažani vektori R3-R4, R3-R1 i R1-R4.

Nakon završene prve sesije, merena je druga sesija. U drugoj sesiji instrument je sa tačke R4 prebačen na tačku R2 i tako su izopažani vektori R3-R1, R3-R2 i R2-R1. Ukupno je izmereno 5 različitih vektora.

Dužina trajanja sesije u proseku iznosi sat vremena i 30 minuta, sa intervalom opažanja od 15s. Merenja u obe sesije su vršena sa tri GPS instrumenta Trimble R4, Trimble R6 i Trimble R8.

Tabela 5.2. Koordinate tačaka dobijene GNSS merenjima

Reper	Latitude	Longitude	Height
R1	N45°08'28.79652"	E20°15'30.13601"	126.552 m
R2	N45°08'28.70410"	E20°15'27.06370"	136.545 m
R3	N45°08'26.98353"	E20°15'27.16568"	142.392 m
R4	N45°08'25.47902"	E20°15'27.95030"	148.160 m

5.4. Analiza rezultata

Merenja primenom metode geometrijskog nivelmana postižu tačnost <1 mm, dok je sa merenjima primenom statičke GNSS metode postignuta visinska tačnost od 2 mm pri procesiranju GNSS vektora, a nakon primene izravnjanja dobijena je tačnost od 1 mm što se može videti u odgovarajućim priložima. Postignuta tačnost merenja najbolje se može videti kroz vrednosti standardnog odstupanja visina repera (Tabela 5.3.).

Tabela 5.3. Standardno odstupanje visina repera dobijenih merenjima primenom obe metode

Broj repera	σ_H [mm] (geom. nivelman)	σ_H [mm] (GNSS statika)
1	0.153	1
2	0.136	1
3	0.105	1
4	0.108	1
5	0.149	-
Max. vrednost	0.153	1
Min. vrednost	0.105	1
Sred. vrednost	0.1302	1

6. ZAKLJUČAK I DALJA ISTRAŽIVANJA

Nakon izvršenih merenja na terenu, obrađenih podataka i izvršene analize rezultata merenja, nameće se kao zaključak da obe metode premera, i metoda geometrijskog nivelmana i GNSS statika, pružaju visok nivo tačnosti. Geometrijski nivelman je precizniji, ali tehnički zahtevnija metoda. Potrebno je i više vremena i više ljudi za merenje. Dok, sa druge strane GPS metoda je lakša za izvođenje i dovoljan je samo jedan čovek, ali je nešto niže tačnosti. Na osnovu rezultata prikazanih u ovom radu mogu se doneti sledeći zaključci. Za slične 1D mikro mreže kao što je mreža prikazana u ovom radu, u slučaju zahtevane tačnosti ≤ 1 mm, preporuka je primena metode geometrijskog nivelmana. U slučaju zahtevane tačnosti > 1 mm, preporuka je primena statičke GNSS metode. Zaključak je da uvek treba dobro sagledati sve aspekte i izabrati onu vrstu, odnosno metodu premera, koja će u zavisnosti od zahtevane tačnosti, vrste i obima posla, odraditi zadatak na optimalan način.

Dalja istraživanja podrazumevaju dalje praćenje sleganja objekata i terena. Nakon mesec dana ponovo će se izvršiti merenja geometrijskim nivelmanom i uporediti rezultati prvog nivelmana, za potrebe utvrđivanja sleganja objekta. Dok će se za 6 meseci ponovo izvršiti GNSS statička merenja, i isto uporediti sa 0 epohom merenja, za potrebe utvrđivanja sleganja okolnog terena.

7. LITERATURA

- [1] Gligorije Perović - Precizna geodetska merenja, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [2] Blagojević, D. 2007: Satelitska geodezija: Uvod u NAVSTAR GPS. Pisana predavanja, Beograd
- [3] Novi državni referentni sistem republike Srbije i podela na listove karata i planova, Ganić
- [4] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Nivelir>

Kratka biografija:



Radmila Mirković rođena je 1992. god. u Novom Sadu. Osnovne akademske studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, odbranila je 2018. god. Trenutno zaposlena u NIS A.D., na poziciji mlađeg inženjera za geodetske poslove.