

Jasmin Taletović *

UDK 528.5: 527.61
Originalni naučni rad

ISTRAŽIVANJE TAČNOSTI I POUZDANOSTI OBRADE GPS MJERENJA S RAZLIČITIM SOFTVERIMA KAO FUNKCIJA DUŽINE VEKTORA I VREMENA MJERENJA

1. UVOD

U svrhu analize softverskih paketa odabrano je mjerenje dugih baznih linija na području BiH. Kampanju su organizirale Geodetske uprave Federacije BiH i RS, na teritoriji Bosne i Hercegovine, u svrhu proglašavanja postojećih GPS tačaka nultog reda određenih u GPS kampanji EUREF98. Kampanja je izvedena od 17.09 do 22.09. 2000. godine.

Mjerenja izvršena:	Na trigonometrijskim tačkama I i II reda
Korištena oprema:	Trimble 4000 SSI
Metoda opažanja:	Klasična statička metoda
Opažanja vršena:	U dva bloka po dvije sesije
Broj opažanih tačaka:	4 referentne (fiksne) tačke – tačke na kojima su mjerenja trajala neprekidno tokom cijele kampanje i 1 permanentna tačka tačka u Sarajevu "SRJV". 23 nove tačke
Registracija:	Svakih 15s
Elevaciona maska:	Iznad 10^0 nad horizontom

Referentne tačke:

Usvojene su sljedeće tačke (referentne) s poznatim koordinatama iz EUREF98 kampanje:

Tabela 1: Usvojene referentne tačke

Br. tačke	Naziv tačke	Red
0436	LIVANJSKO POLJE	I Tačka L.baze
0235	KUDIĆ BRDO	I
0377	STOLICE	I
90/318	LEOTAR	I

Podaci opažanja, navigacijski i meteorološki podaci, te dodatne informacije dobijene od FEDERALNE UPRAVE ZA GEODETSKE I IMOVINSKO-PRAVNE POSLOVE FBiH i REPUBLIČKE UPRAVE ZA GEODETSKE I IMOVINSKO-PRAVNE POSLOVE RS su bili pohranjeni na CD-u u formatu GPS prijemnika Trimble 4000 SSI.

Nakon učitavanja opservacionih podataka učitane su i precizne efemeride u *.sp3 formatu i konvertirane su u binarni EF-18 format.

* Mr. Jasmin Taletović, dipl.inž.geod., Zavod za planiranje razvoja Kantona Sarajevo
e-mail: taletovicj@yahoo.com

Tabela 2: Raspored opažanja novoodređenih tačaka po blokovima

Blok	Grupa	Br. tačke	Naziv tačke	Blok	Grupa	Br. tačke	Naziv tačke
I	1	0273	Borovac	II	1	0331	Bjelašnica
I	2	0260	Okresnica	II	2	0003	Bratila
I	3	0370	Dekala	II	3	0331	Borašnica
I	4	0240	Lisina	II	4	0262	Tvrkovac
I	5	0040	Čubren	II	5	0369	Ranča
I	6	0371	Raduša	II	6	0218	Buturovica
I	7	0526	Obljaj	II	7	0358	Midena
I	8	0393	Šumatica	II	8	1074	Ponikve
I	9	1003	Lazarevica	II	9	1045	Babja glava
I	10	0048	Igrište	II	10	0237	Stražište
I	11	0106	Bubanj	II	11	0243	Kabajkovac
I	12	0399	V. ostrovica				

Zatim je za svaku stanicu provjereno da li su korektno unijeti nazivi ili brojevi stanica, zatim vrijednosti visina antena i tip antene, te serijski brojevi antena. Za pogrešno unijete nazive ili vrijednosti izvršena je ispravka na osnovu zapisnika za GPS opažanja koji su dobijeni od spomenutih Geodetskih uprava.

Pošto programski paket GeoGenius ima mogućnost dijeljenja opservacionih fajlova to je iskorišteno i u ovom radu i izvršena je podjela opservacionih fajlova od 24 sata na 12 sati, zatim sa 12 sati na 6 sati, onda sa 6 sati na 3 sata, sa 3 sata na 2 sata, sa 2 sata na 1 sat i konačno sa 1 sat na 0.5 sati za svaku opažачku stanicu.

Također, programski paket GeoGenius ima mogućnost konvertiranja opservacionih fajlova u standardni RINEX format. Svi, prethodno navedeni, opservacioni fajlovi konvertirani su u softveru GeoGenius u RINEX format i kasnije su korišteni za obradu u softverskim paketima Trimble Geomatics Office i SKI-Pro Leica.



Slika 1: Raspored GPS tačaka kampanje BIHREF2000

SOFTERI KORIŠTENI ZA OBRADU PODATAKA

2. GeoGenius 2000

GeoGenius je jedinstven softver. Omogućava procesuiranje podataka iz američkog satelitskog sistema GPS i ruskog sistema GLONASS. Sve popularne mjerne metode su podržane: statička, brza statička, kinematička, Stop&Go kinematička i pseudo statička. GeoGenius prikazuje sve mrežne elemente kao tačke i linije u istinitoj razmjeri na grafički i alfanumerički način i dozvoljava laku selekciju i modifikaciju u bilo kojem slučaju.

Nova verzija GeoGenius omogućava obradu podataka totalnih stanica i digitalnih nivelira. Unešeni terestrički podaci mogu tada biti nadgledani, editirani i procesuirani pomoću softvera. Ustanovljene koordinate mogu također biti transformisane u različite koordinatne sisteme na bilo koji način koji je zahtjevan. Sva mjerenja i koordinate imaju izvještaje visokog kvaliteta pomoću integriranog HTML izvještajnog generatora.

Kada se upotrebljava GeoGenius 2000, mjereni rezultati iz GPS RTK sistema mogu se pročitati direktno i mogu biti kombinirani s post procesuiranjem podataka i s podacima totalne stanice. Formati svih poznatijih proizvođača GPS uređaja su podržani.

GeoGenius ima integriran modul za izravnjanje geodetskih mreža. Ovo omogućava izravnjanje satelitskih mjerenja ili podataka totalne stanice metodom najmanjih kvadrata, bilo kombinirane ili razdvojene. Obrada podataka može se obaviti u različitim koordinatnim sistemima od geocentričnih preko nacionalnih koordinata (svi glavni nacionalni koordinatni sistemi su podržani) do čisto lokalnih koordinata.

GeoGenius sadrži kompletan transformacioni paket. Koordinate se mogu transformirati u bilo koji koordinatni sistem preko 2D ili 3D transformacije. Softver također sadrži različite metode za distribuciju rezidualne greške. Koordinate se mogu prikazivati u bilo kojem formatu pomoću izvještajnog generatora.

Osim toga koordinatni izračunati moduli GeoGeniusa također sadrže grafički modul za prikazivanje satelitske vidljivosti, koji služi za planiranje mjernih kampanja.

Osim toga čisto procesuiranje za mjerne zadatke GeoGeniusa također sadrži modul za čisto kinematičko poziciono određivanje uz pomoć različitih procesa ili preko On-the-fly rješenja. Ovo može biti upotrijebljeno za precizno poziciono određivanje prevoznih sredstava, brodova i aviona.

GeoGenius podržava sve glavne GPS tipove resivera takvih kao Ashtech, DSNP, Geotracer, Leica, Novatel, Sercel, Trimble, Turbo Rogue, Javad i Zeiss. Također podržava svjetski poznat standard RINEX za razmjenu podataka.

GeoGenius nudi kombinovane analize GPS/GLONASS i terestičke podatke u jednom projektu. Čak podržava analizu dvo-frekventnih podataka u kombinaciji s GPS/GLONASS projektima.

GeoGenius podržava procesuiranje u svim mjernim metodama: statička, brza statička (Rapid Static), kinematička, Stop&Go kinematička i reokupacija. Postoje moduli za

planiranje, procesuiranje, izravnjanje geodetskih mreža, transformaciju i projektiranje, OTF ambiguitetnu rezoluciju i GPS-Edit, paket analize za napredne korisnike.

Osnovni menii (izbornici) GeoGeniusa su:

- Projekt (Project)
- Obrada (Process)
- Izravnjanje (Adjustment)
- Transformacije (Transform)

Standardna ekstenzija za projektne fajlove je *.GGS.

Za unos mjernih podataka u GeoGenius koristio sam podatke iz resivera Trimble 4000 SSI čije formate GeoGenius podržava.

Podatke o preciznim efemeridama za GPS sedmicu 1080, dani 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266 u *.sp3 formatu našao sam na internetu na adresi: <http://igs.ifag.de/igs/products/orbits>. Ove precizne efemeridne podatke sam prebacio programski u binarni EF 18 format.

2.1. Unos podataka

Početak obrade opservacionih GPS podataka zasniva se na otvaranju novog projekta i definiranju:

- koordinatnog sistema WGS 84,
- jedinica mjere i formata,
- tolerancije greške za bazne linije:
- 0.02 m za horizontalnu i 0.04 m za vertikalnu,

Zatim slijedi unos podataka poslije toga definišu se date tačke i unesu njihove koordinate u ETRS 89 sistemu, te unesu precizne efemeride.

2.2. Obrada baznih linija

Obrada podataka dijeli se u dvije grupe: prva – obradu baznih linija i druga – izravnjanje mreže. Obrada baznih linija izvodi se u pravilu naknadno s izuzetkom kinematike u stvarnom vremenu (RTK). Sama obrada vektora je danas kod većine programskih paketa pa tako i kod GeoGeniusa 2000 visoko automatiziran postupak, kod kojeg je potrebno podesiti samo manji broj parametara. Pogreške nastale zbog propusta u prethodnim radnjama (mjeranju ili prijenosu podataka), najčešće se u obradi baznih linija ne vide, jer većina programskih paketa, pa i GeoGenius, samostalno obrađuju vektore.

Za obradu statički izmjerenih baznih linija kreiraju se zasebni projekti za jednu sesiju ili jedan dan mjerenja. Programski paket GeoGenius (radi pod Windows okruženju) omogućava da se proces obrade izvodi putem izbornika, dok je sama obrada moguća na način vektor po vektor. U ovom radu primijenjen je postupak obrade vektor po vektor. Prednost ovog postupka je da u slučaju pogreške skrivene u nekom vektoru drugi vektori neće biti njome opterećeni.

Parametri koji su podešeni pri obradi baznih linija:

Parameter:	Elevation Cutoff	10 ⁰
	Processing interval	15.00 <i>sec</i>
	Orbit Type	Precise
	Frequency	L1/L2
Processor:	Processing Mode	Static
Times:		Full
Satellites:		GPS Satellites
Tropo:		Modified Hopfield (Fixed Valurs)
Filter:		Use BEST result

Uspješnost GeoGeniusa pri obradi baznih linija za projekte: 48 sati, 24 sata, 12 sati, 6 sati, 3 sata, 2sata, 1 sat, 0.5 sati može se procijeniti u prosjeku na oko 80% u korist uspješno riješenih baznih linija. Za bazne linije koje nisu uspješno riješene izvršena je dodatna obrada isključivanjem pojedinih satelita koji loše utiču na mjerenja ili izrezivanjem faznih mjerenja pojedinim satelitima. Ukoliko bi i nakon ovih intervencija ostao poneki neriješen vektor vršeno je sužavanje elevacione maske i do 20⁰. Pri obradi baznih linija u obzir su uzimana samo fiksna rješenja.

Uobičajena su vremena opažanja baznih linija za: L1 30 *min* + 3 *min/km* i za L2 i L1 20 *min* + 2 *min/km*

Npr. za baznu liniju od 150 km treba opažati 20 *min* + 300 *min* = 320 *min*, odnosno 5 sati i 20 *min*.

2.3. Kontrola kvaliteta

Programski paket GeoGenius pruža test za kontrolu kvalitete, analizu podataka i rezultata. Pri obradi vektora grube pogreške se moraju automatski detektovati i eliminisati, pri čemu je automatska detekcija i popravak cycle slip-ova glavni zadatak.

Postoji više veličina koje pokazuju koliko su mjerenja i obrada bili uspješni:

- Kakvo je završno rješenje. Prihvatljivo je samo "fiksno" rješenje tj. da su ambiguiteti uspješno zaokruženi na cijele brojeve.
- Drugi način provjere kvalitete rješenja je provjera sračunatih ambiguiteta. Rješenje je prihvatljivo ukoliko su svi ambiguiteti prije fiksiranja odstupili manje od 10% od cijelog broja.
 - a) Treću kontrolu predstavljaju odstupanja diferencirane faze između dva satelita u odnosu na fiksno rješenje za svaku mjernu epohu.

2.4. Ocjena izravnjanja

Izravnjanju mreže po metodi najmanjih kvadrata može se pristupiti tek kada su loše bazne linije ispravljene ili uklonjene.

Programski paket GeoGenius omogućava računanje koordinata nepoznatih tačaka na nekoliko mogućih načina: 1D izravnjanje, 2D izravnjanje, 3D slobodno izravnjanje i 3D izravnjanje (fiksna mreža).

Da bi ocjena tačnosti izravnjanja (unutrašnja tačnost) odgovarala stvarnom stanju (vanjskoj tačnosti) potrebno je skalirati standardne devijacije baznih linija za određeni faktor.

Ako je po izravnjanju standardna pogreška mjerenja jedinice težine u rasponu od 0.7 do 1.3, onda mreža zadovoljava uslove za dotični red mreže.

Za ocjenu izravnjanja podešeni su sljedeći parametri:

Tau Test/GPS	Minimum Error Offset:	5.0 mm
	Minimum Error Scale:	0.5 (ppm)
Parameters	Set Confidence Level to:	2 Sigmas
	Maximum Iterations:	10
	Biased Adjustment	Adjust 7 Parameters
Weighting	GPS Weighting	Varijance/Covariance Matrix
	Predefined Standard Errors of Unit Weight	Static GPS 10
Filter	Vectors	All
	Best GPS Solution	Use OVERALL BEST result only 1 solution per baseline

Prvo izvršimo slobodno izravnjanje mreže da bi provjerili da li su nam dobra opažanja (unutrašnja tačnost). Nakon slobodnog izravnjanja provjerimo standardnu pogrešku jedinice težine. Ukoliko standardna pogreška jedinice težine nije jedan onda dobijenu standardnu pogrešku pomnožimo sa 10 i ponovo izvršimo slobodno izravnjanje. Vektori koji ne prođu statističke testove (Chi-kvadrat test) softver detektuje i označi crveno. Te vektore treba ispraviti ili isključiti.

Nakon slobodnog izravnjanja fiksiramo date tačke i izvršimo izravnjanje sa datim tačkama koje su u ETRS 89 sistemu.

Nakon izravnjanja provjerimo standardnu pogrešku jedinice težine. Ukoliko ona nije u rasponu od 0.7 do 1.3 ponovimo postupak kao i za slobodno izravnjanje.

Dobijeni rezultati mogu se provjeriti na osnovu popravaka mjerenja (vektora). Za očekivati je da su popravke za kraće bazne linije manje, a za duže bazne linije veće.

Druga mogućnost je provjeravanje liste normalizovanih (standardizovanih) odstupanja vektora. Vrijednost 1.0 za normalizovanu popravku (rezidual) ukazuje da je njegov iznos u skladu s apriori uvedenim stohastičkim modelom za težine.

3. Trimble Geomatics Office (TGO) 1.0

Trimble Geomatics Office softver obezbjeđuje računanje postprocesuiranih GPS baznih rješenja. Ovaj program računa baznolinijska rješenja iz GPS polja opažanja sa statičkom, brzom statičkom ili kinematičkom metodom sakupljanja podataka. Baznolinijski procesor koristi oba fazna nosača (L1 i L2) i kod opažanja za računanje 3-dimenzionalnih GPS baznih linija između mjerenih tačaka.

Trimble Geomatics Office softver koristi se za :

- Procesuiranje baznih linija
- Izjednačenje mreže
- Kvalitetnu tačnost i kontrolu podataka
- Unos i iznos mjernih podataka

- Datum, transformacije i projektiranja
- Unos i iznos GIS podataka
- Projektni izvještaj itd.

3.1. Programske postavke

Pokretanjem TGO softvera možemo definisati novi projekat ili izabrati već postojeći. Prije definisanja novog projekta moramo prvo definisati koordinatni sistem ili izabrati postojeći npr. WGS-84. Zatim definišemo koordinatni sistem, jedinice mjere i formate.

TGO podržava različite opažачke formate. Možemo u meniu Import birati RINEX ili druge opažачke formate. Pri unosu sirovih RINEX formata moramo voditi računa da za svaki opservacioni fajl postoji po jedan meterološki i navigacioni fajl sa istim imenom i u istom direktoriju. DAT checkin dijalog se pojavljuje, pa možemo provjeriti vrijednosti u fajlovima za svaku tačku i po potrebi ih korigirati (ime tačke, ime fajla, početak i kraj opažanja, visinu antene i tip antene) prije unosa GPS opservacije.

Kada su RINEX fajlovi preneseni i sve GPS opservacije unesene u projektne database, selektovani skup je kreiran sa istim imenom kao RINEX fajl. Nakon unosa RINEX fajlova u TGO projekt, možemo koristiti TGO softver za procesuiranje baznih linija i Timeline modul za pregled neobrađenih GPS opservacija. Timeline je najkorisniji poslije baznolinijskog procesuiranja ako procesuiranje daje neočekivane rezultate. Timeline možemo koristiti za pronalaženje problematičnih podataka i za editovanje podataka da bi se dokazao njihov kvalitet. Timeline modul koristimo i za isključivanje nezdravih satelita, isijecanje loših opservacionih podataka, prikaz perioda čistog DOP-a te za pregled SV plota.

3.2. Obrada baznih linija

Prije nego počnemo procesuiranje definišemo parametre za obradu baznih linija. Parametri koji su podešeni pri obradi baznih linija su:

- elevaciona maska 10^0 ,
- efemeride precizne,
- solucioni tip Fixed,
- troposverski model Hopfield,
- ionosverski model je primijenjen za bazne linije duže od 10 km,

	Dual-frequency (dvo-frekventni)	
	Flag	Fail
Ako je RMS>	2 cm	3 cm
Ako je ratio<	3	1,5
Ako je reference variance>	5	10

Za RMS-test uključena su dva para polja Single Frequency Flag i Dual Frequency Flag. GPS procesor koristi vrijednosti samo jednog skupa ovih polja kada određujemo RMS prihvatljiv test. Upotrijebljeni skup polja je određen pomoću Solution Type (tipa rješenja) i selektiran je za GPS procesuiranje. Prihvatanje se može bazirati na bilo kojoj kombinaciji provjera koje koristi RMS, ratio i reference varijance. Default postavka koristi sva tri parametra kvaliteta za određivanje statusa pass/flag/fail. Ako je upotrijebljeno više od jednog faktora kvaliteta u isto vrijeme, status je zasnovan na najlošijim. Npr., ako ratio i reference varijance prolaze, ali RMS pada, bazna linija ima fail status.

Formule po kojima su računata standardna odstupanja za sve softvere (S. Pašalić str. 64 i 100):

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i - \Delta \bar{x})^2} \quad \sigma_{\Delta y} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta y_i - \Delta \bar{y})^2} \quad \sigma_{\Delta z} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta z_i - \Delta \bar{z})^2} \quad (3.2-1)$$

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i - \Delta \bar{x})^2} \quad \sigma_{\Delta y} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta y_i - \Delta \bar{y})^2} \quad \sigma_{\Delta z} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta z_i - \Delta \bar{z})^2} \quad (3.2-2)$$

Formule (3.2-2) (nepristrana procjena za σ) korištene su za računanje standardnih odstupanja komponenti baznih linija za sesije od 48_sati, 24_sata, 12_sati 6_sati, 3_sata, 2_sata i 1_sat. Formule (3.2-1) (srednje kvadratno odstupanje) korištene su za računanje standardnih odstupanja komponenti baznih linija za sesiju od 0.5_sati. Formule (3.2-1) korištene su iz razloga što se vrijednosti sesije od 48_sati koja je korištena kao etalon može smatrati tačnijom za jedan red veličine (10 ili više puta) u odnosu na sesiju od 0.5_sati.

3.3. Izravnjanje mreže GPS kampanje BIHREF 2000

Nakon obrade baznih linija potrebno je izravnati geodetsku mrežu, odnosno izračunati koordinate novih tačaka.

U softveru TGO možemo definisati sljedeće stilove:

- 68% pouzdanost (1 sigma)
- 95% pouzdanost (1,96 sigma)
- 99% pouzdanost (2,58 sigma)

Takođe osim ovih stilova moguće je definirati i novi. Za izravnjanje ove GPS mreže izabrana je pouzdanost 95%. Prvo je izvršeno slobodno izravnjanje mreže da bi se provjerile opservacije. U meniju Reports/Network Adjustment Report možemo pregledati dobijene rezultate (broj iteracija, Network Reference Factor, Chi-Quadrat test, stepene slobode te skalar za sve opservacije, broj Outliers ukoliko ih ima, Geodetske koordinate, histogram standardnih reziduala te elipse pogrešaka za sve tačke).

Ukoliko Network Reference Factor nije oko jedan i ako Chi-Quadrat ($\alpha=95\%$) test nije prošao onda treba mijenjati težine baznih linija i ponoviti slobodno mrežno izravnjanje.

Kada je Chi-Quadrat ($\alpha=95\%$) test prošao onda markiramo fiksne (date) tačke i izvršimo mrežno izravnjanje. I ovdje u Reportu pregledamo rezultate i ukoliko je Network Reference Factor između 0,7-1,3 i ako Chi-Quadrat ($\alpha=95\%$) test je prošao onda je izravnjanje dobro. TGO u izvještaju daje geodetske koordinate ($\phi\lambda$). Također je moguće definisati Raports sa X, Y, Z koordinatama u Customs Reports.

4. SKI-Pro

Programski paket SKI-Pro verzija 2.3 firme Leica. SKI-Pro je statičko-kinematički postprocesuirajući softver za Leica Survey System 200 i System 300 GPS hardvera.

Može se koristiti za:

- Unos podataka,
- Planiranje,
- Procesuiranje podataka,
- Izravnjanje mreža i
- Datumsku transformaciju.

Također, podaci iz trećih resivera mogu se djelimično unijeti upotrebom RINEX formata i procesuirati.

SKI-Pro sadrži nekoliko komponenti, od kojih neke komponente su izrađene kao opcije koje daju korisnicima mogućnost selektiranja kombinacije koja najbolje odgovara njihovim potrebama i budžetu.

Standardne komponente svake SKI-Pro kopije su: konfiguracija, priprema, projekt, unos, pocesuiranje podataka, izravnjanje mreže, pregled (editovanje) i korištenje.

4.1. Obrada baznih linija

Za selekciju baznih linija unutar Ski-Pro koristimo sljedeću proceduru:

1. Definisati projekat i unijeti podatke uz korištenje SKI komponenti, zatim pokrenuti Data Processing komponentu.
2. Definisati radnu zonu i selektirati opservacije koje želimo obraditi.
3. Selektirati dane za koje želimo odrediti operacione tipove.
4. Određivanje operacionog tipa, automatskog ili manuelnog.

Automatic mode – Ako koristimo automatski metod sve logičke bazno linijske kombinacije procesuiraju se automatski iz intervala koji su unaprijed selektirani. Za razliku od bazno linijskog procesuirajućeg metoda nije moguće selektovati referentni položaj. Možemo samo selektovati roving položaj. SkiPro će automatski selektovati odgovarajuće referentne položaje za procesuiranje. Procesuiranje zavisi od parametara koji se definiraju u Auto. Processing Parameters.

Manual mode – U manuelnom metodu potrebno je označiti i selektirati tačke koje želimo koristiti kao referentne tačke. Intervali referentnih stanica bit će obojeni sivo.

Zatim je potrebno selektirati Rover oznaku i selektirati tačke koje želimo računati kao Rovere. Procesuiranje se odvijalo prema sledećoj šemi: 1 referentna stanica – 24 rover stanica / 1 referentna stanica – 24 rover stanica / 1 referentna stanica – 24 rover stanica / 1 referentna stanica – 24 rover stanica. Ukupan broj baznih linija iznosi 96.

Ambiguities se mogu riješiti pomoću SKI samo za bazne linije od 20 km ili manje. Za duže distance Ambiguity rezolucija postaje nepouzdana. Za postizanje dobrih rezultata za bazne linije duže od 20 km potrebno je opažati duži vremenski period. Čak i tada ambiguities neće biti riješeni mada su rezultati unutar sistemskih specifikacija. Rezultati u Logfile daju detaljnije informacije o samom računanju.

4.2. Kontrola kvaliteta

Kada je status Ambiguity "N" znači da SKI nije mogao riješiti ambiguity ili ako je "?" nema pokušaja u rješavanju ambiguity.

Za analizu postoje sljedeće vrijednosti na raspolaganju:

- Standardna odstupanja koordinatnih razlika X, Y, Z
- RMS standardna odstupanja za oba položajna elementa
- Standardne devijacije za položaj i visinu
- Standardna odstupanja za kosu udaljenost

4.3. Mrežno izravnanje

U Adjustment menui imamo mogućnost za sljedeće test postavke:

- **F-test**—je veoma uopćen multi-dimenzionalni test za provjeru nul-hipoteza H_0 . F-test se često naziva opći test modela, jer je testiranje modela uopćeno. Informacija koju dobijemo F-testom, a koju nazivamo prihvatanje ili odbacivanje nul-hipoteze nije određena. Ako sumnjamo da je H_0 odbačena zbog grube greške prisutne u jednoj od opservacija zahtijeva se W-test.
- **W-test** je 1-dimenzionalni test koji provjerava konvencionalnu alternativnu hipotezu. Ove hipoteze pretpostavljaju da postoji samo jedna opservaciona nepravilnost u određenom vremenu. Ovaj data snooping je veoma dobar za pojedinačne opservacije. Za neke opservacije kao GPS bazne linije nije dovoljno testirati Δx , Δy , Δz -elemente vektora odvojeno, nego je potrebno testirati baznu liniju kao cjelinu. Kritična vrijednost (W-crit) zavisi od izbora signifikantnog nivoa α_0 . Ako je $\alpha_0=0,05$ kritična vrijednost je 1,96.
- **T-test** ima istu snagu kao oba druga testa i za nivo signifikantnosti $\alpha_0=0,05$ ima kritičnu vrijednost 1,89. T-test je koristan kod testiranja poznatih stanica. Data snooping testira outlier, npr. greške unosa X, Y ili Z koordinata.

Pregled rezultata ovih testova može se vidjeti u izvještaju nakon izravnjanja mreže.

Procedura za izravnjanja u SkiPro softveru je sljedeća:

- Selektovati Adjustment iz SKI glavnog menia,
- Unijeti procesiranu mrežu iz SKI projekta,
- Izračunati slobodno izravnjanje upotrebom default settings,
- Identifikovati sve outliers,
- Pokušati izostaviti sve sumnjive opservacije,
- Prije izravnjanja mreže sa fiksnim tačkama treba unijeti koordinate tim tačkama,
- Preračunati mrežu.

5. UPOREDBA SOFTVERA

5.1. Analiza baznih linija

U ovom poglavlju izvršena je uporedba softverskih paketa GeoGenius, Trimble Geomatics Office i SkiPro. U ovom projektu minimalna dužina bazne linije je između referentne tačke 377 i tačke 1003 koja iznosi **23017,080** m, a maksimalna dužina bazne linije je između referentne tačke 235 i tačke 1074 koja iznosi **298652,980** m.

Obrazovano je standardno odstupanje komponenti baznih linija podijeljenih po sesijama i dužinama vektora u odnosu na sesiju od 48_sati (sredina iz GG i TGO, prilog 1).

U tabeli 5.1-1 imamo sesije od 48_sati, 24_sata, 12_sati, 6_sati, 3_sata, 2_sata, 1_sat i 0.5 sati. Bazne linije prema udaljenosti podijeljene su u četiri grupe: bazne linije manje od 100 km, između 100 i 150 km, između 150 i 200 km i preko 200 km. Rezultati ovih standardnih odstupanja prikazani su u tabeli 5.1 i slici 5.1.

Kako iz tabele 5.1 i slike 5.1 vidimo da su rezultati očekivani i da se standardna odstupanja uvećavaju proporcionalno udaljenosti i obrnuto proporcionalno dužini vremena opažanja. Iz tabele 5.1 i slike 5.1 vidimo također da su standardna odstupanja po Y-osi nešto manja nego po X i Z osama. Razlog tome je manjak raspoređenih satelita u pravcu sjevera.

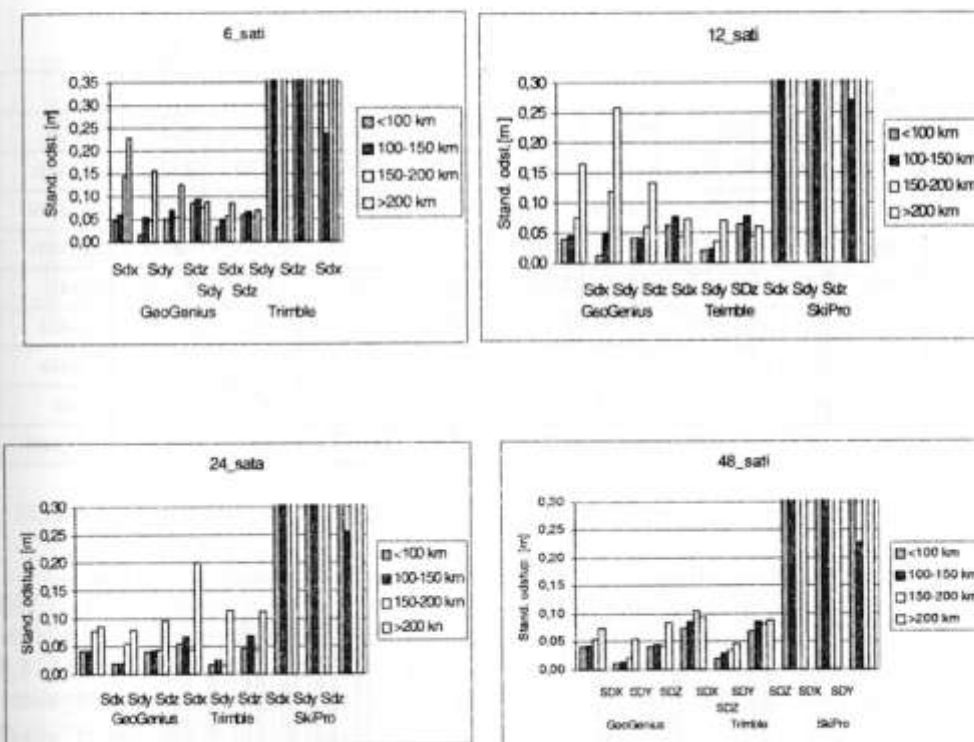
Tabela 5.1 i slika 5.1 daje standardna odstupanja baznih linija podijeljenih po sesijama i dužinama vektora u odnosu na sesiju od 48_sati (sredina iz GG i TGO). Iz ove tabele i slike vidimo da softveri GeoGenius i TGO daju slične rezultate za sesije 24_sata i 12_sati. TGO ima veća odstupanja za sesiju od 24_sata za baze duže od 200 km dok GeoGenius ima veća standardna odstupanja za sesije 12_sati i 6_sati za baze preko 200 km dok su odstupanja za bazne linije do 150 km za sesiju 6_sati manja. TGO daje bolje rezultate za sesije 3_sata, 2_sata i 0.5_sati.

Što se tiče softvera SkiPro iz ove tabele i slike vidimo da njegovi vektori drastično odstupaju od vektora softvera GeoGenius i Trimble Geomatics Office i to za sve sesije i za sve dužine baznih linija.

Ovdje bih posebno istakao sesiju 6_sati za GeoGenius i to za dužine do 100 i od 100-150 km. Rezultati su izuzetno dobri i neočekivani.

Tabela 5.1: Zavisnost standardnih odstupanja komponenti baznih linija (svih softvera) od udaljenosti po sesijama u odnosu na srednje rješenje sesija od 48_sati iz GG i TGO.

Sesija	Udaljenost (km)	GeoGenius				Trimble Geomatics Office				Ski Pro			
		σ_{dx} [m]	σ_{dy} [m]	σ_{dz} [m]	br.an alba z nih linija	σ_{dx} [m]	σ_{dy} [m]	σ_{dz} [m]	br.an alba z nih linija	σ_{dx} [m]	σ_{dy} [m]	σ_{dz} [m]	br.an alba z nih linija
48_sati	<100	0,042	0,012	0,041	22	0,074	0,020	0,069	23	0,825	0,425	0,404	22
	100-150	0,044	0,015	0,044	27	0,086	0,029	0,087	27	0,606	0,449	0,227	26
	150-200	0,054	0,021	0,043	22	0,105	0,036	0,082	23	1,529	0,920	0,667	20
	>200	0,075	0,055	0,085	21	0,094	0,047	0,088	23	1,824	1,824	0,519	19
24_sata	<100	0,041	0,018	0,040	23	0,055	0,016	0,047	23	0,851	0,443	0,416	21
	100-150	0,041	0,018	0,042	26	0,067	0,026	0,068	27	0,627	0,471	0,255	25
	150-200	0,078	0,055	0,044	21	0,045	0,015	0,043	23	1,526	0,947	0,644	20
	>200	0,085	0,079	0,095	19	0,199	0,115	0,112	23	1,881	1,830	0,541	19
12_sati	<100	0,040	0,012	0,042	19	0,064	0,021	0,065	23	1,086	0,682	0,415	22
	100-150	0,045	0,051	0,041	26	0,078	0,024	0,078	27	0,672	0,699	0,272	23
	150-200	0,075	0,118	0,061	21	0,044	0,035	0,043	23	1,927	1,186	0,668	21
	>200	0,164	0,258	0,133	20	0,074	0,071	0,061	23	2,360	2,137	0,715	20
6_sati	<100	0,048	0,015	0,051	21	0,085	0,032	0,058	23	1,127	0,808	0,428	21
	100-150	0,060	0,054	0,069	26	0,094	0,047	0,066	27	0,854	0,820	0,237	19
	150-200	0,144	0,046	0,054	21	0,076	0,057	0,053	23	1,760	1,259	0,640	19
	>200	0,227	0,155	0,124	20	0,087	0,084	0,070	23	2,653	2,614	0,552	19
3_sata	<100	0,109	0,071	0,084	21	0,080	0,024	0,065	23	1,173	0,864	0,470	20
	100-150	0,148	0,128	0,108	25	0,117	0,049	0,084	27	0,806	0,787	0,334	23
	150-200	0,270	0,212	0,314	21	0,088	0,049	0,059	23	2,194	1,535	0,623	18
	>200	0,429	0,261	0,229	19	0,098	0,081	0,055	23	2,423	2,217	0,660	16
2_sata	<100	0,108	0,061	0,073	18	0,105	0,042	0,087	23	1,145	0,843	0,459	21
	100-150	0,127	0,138	0,106	22	0,102	0,078	0,088	27	0,866	0,783	0,330	22
	150-200	0,418	0,392	0,142	17	0,153	0,070	0,108	23	2,361	1,595	0,590	20
	>200	0,450	0,222	0,166	15	0,286	0,145	0,165	23	2,640	2,177	0,675	18
1_sat	<100	0,449	0,229	0,333	18	0,167	0,230	0,083	23	0,808	0,596	0,474	17
	100-150	0,179	0,219	0,085	22	0,193	0,086	0,109	27	0,750	0,792	0,191	17
	150-200	0,284	0,397	0,132	18	0,440	0,292	0,330	23	1,994	2,160	0,635	12
	>200	0,431	0,252	0,209	14	0,397	0,145	0,176	23	2,409	2,629	0,824	11
0.5_sati	<100	0,639	0,440	0,470	18	0,171	0,233	0,078	23	2,391	2,777	1,346	18
	100-150	0,722	0,963	0,232	16	0,250	0,122	0,151	27	2,152	2,207	0,512	18
	150-200	0,789	0,989	0,543	13	0,500	0,349	0,389	23	4,207	4,670	3,548	18
	>200	1,068	1,485	0,387	12	0,375	0,196	0,240	23	6,251	6,957	1,630	13

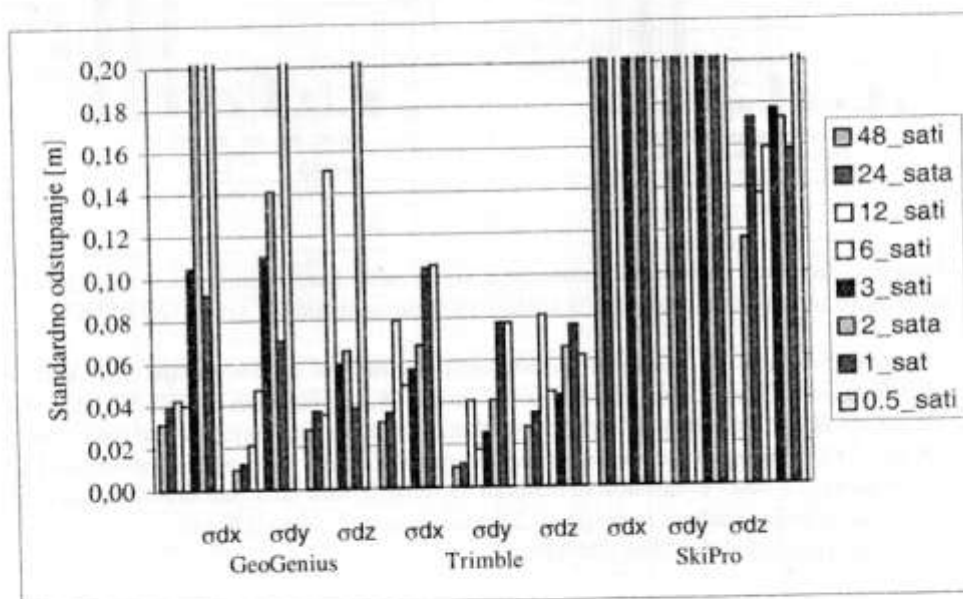


Slika 5.1: Zavisnost standardnih odstupanja komponenti baznih linija (za sve softvere) od udaljenosti po sesijama u odnosu na srednje rješenje sesija od 48_sati iz GG i TGO.

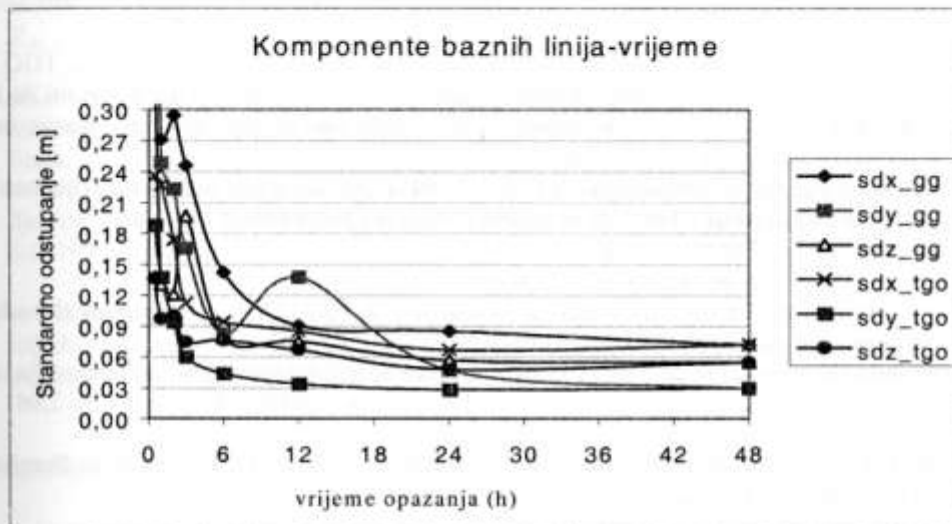
U tabeli 5.2 data su standardna odstupanja koordinata za sve sesije svih softvera (GeoGenius, TGO, SkiPro) u odnosu na sesiju 48_sati (sredina iz GG i TGO). Kao etalon za uporedbu uzeta je sredina rezultata dobivena iz sesije 48_sati GG i sesije 48_sati TGO (Prilog 1). Iz ove tabele vidimo da GeoGenius daje bolje rezultate od TGO za sesije od 12_sati i 6_sati dok se rezultati za sesije 2_sati i 0.5_sati drastično razlikuju. TGO dao je bolje rezultate za sesije od 24_sata, 3_sata, 2_sata i 0.5_sati. SkiPro softver dao je najlošije rezultate.

Tabela 5.2: Standardna odstupanja koordinata (GeoGenius, Trimble Geomatics Office, SkiPro) po sesijama računata iz razlika pojedinih sesija u odnosu na srednje rješenje sesija od 48_sati iz GG i TGO.

GeoGenius			TGO			SKIPro			Sesija
σ_{dx}	σ_{dy}	σ_{dz}	σ_{dx}	σ_{dy}	σ_{dz}	σ_{dx}	σ_{dy}	σ_{dz}	
0,031	0,010	0,028	0,031	0,010	0,028	0,753	0,470	0,116	48_sati
0,040	0,012	0,037	0,036	0,011	0,035	0,912	0,720	0,173	24_sata
0,042	0,021	0,035	0,079	0,041	0,081	0,800	0,567	0,137	12_sati
0,040	0,047	0,151	0,048	0,018	0,045	0,869	0,664	0,159	6_sati
0,105	0,110	0,059	0,056	0,026	0,043	1,313	0,767	0,177	3_sata
0,218	0,141	0,065	0,067	0,041	0,066	0,912	0,720	0,173	2_sata
0,093	0,070	0,038	0,104	0,078	0,076	0,740	0,682	0,158	1_sat
0,665	0,773	0,205	0,105	0,078	0,062	0,912	0,887	0,700	0.5_sati



Slika 5.2: Standardna odstupanja koordinata (GeoGenius, Trimble Geomatics Office, SkiPro) po sesijama računata iz razlika pojedinih sesija u odnosu na srednje rješenje sesija od 48_sati iz GG i TGO.



Slika 5.3: Standardno odstupanje komponenti baznih linija po dužini vremena opažanja

Slika 5.3 prikazuje standardno odstupanje komponenti baznih linija (za softvere GG i TGO) svih sesija po dužini vremena opažanja. Kako sa slike 5.3 vidimo da se standardna odstupanja komponenti baznih linija kreću od 0,030 m za sesiju od 48_sati do 0,872 m za sesiju od 0.5_sati za softver GeoGenius. Iz slike 5.3 možemo odrediti dužinu opažanja u ovisnosti koju tačnost želimo postići. Npr. ukoliko opažamo 6 sati možemo očekivati standardna odstupanja po x-osi oko 0,09 m, y-osi 0,04 m i z-osu 0,08 m za softver TGO. Naravno ovdje se radi o određivanju komponenti dugih baznih linija.

6. Nadmetanje softverskih paketa

Programski paketi ispitivani i upoređivani u ovom radu zahtijevaju dobro poznavanje njihovih programskih funkcija. Ishodi obrade baznih linija i izravnjanja, za sve softverske pakete kao i računanja u Excel-u mogu se pogledati u Magistarskom radu (biblioteka Građevinskog fakulteta). Za uporedbu rezultata postojao je samo kriterij konfrontacije njihovih procjena (za bazne linije i izravnjanje).

U tabeli 6.1 su data odstupanja bazno-linijskih komponenti ispitivanih softvera u odnosu na naučni Bernise softver. Bazne linije date u tabeli 6.1 obrađene su pod istim uslovima s tri ispitivana komercijalna softvera (GeoGenius, Trimble Geomatics Office i SKI-Pro).

Ovakva odstupanja komercijalnih softvera od naučnog pripisuju se slabostima komercijalnih softvera pri obradi dugih baznih linija.

Trimble Geomatics Office dao je najbolje rezultate za sve bazne linije u tabeli 6.1.

GeoGenius je dao bolje rezultate samo za dvije bazne linije po dx.

Proveo sam statistička istraživanja u cilju ispitivanja da li sva tri softvera daju istu tačnost.

Iz tabele 6.1 određena su standardna odstupanja za sva tri ispitivana softvera: GG, TGO i SkiPro. Pošto TGO daje najbolje rezultate u odnosu na Bernise softver treba utvrditi da li se može s vjerovatnošću 95% tvrditi da je standardno odstupanje TGO manje od standardnog odstupanja GG i SkiPro.

Na ovo pitanje može nam odgovoriti F-test. Treba usporediti dvije empirijske vrijednosti standardnih odstupanja a hipoteza se obično provjerava jednostranim testom.

Hipoteze su: Nul hipoteza $H_0 : s_1 = s_2 = s$

Alternativna $H_1 : s_1 \neq s_2$

s_1 standardna devijacija (prostorna) za GG softver je 0,08127 m sa stepenom slobode $f_1=5$. Ista vrijednost s_2 za TGO iznosi 0,04709 m.

Hipoteza H_0 prihvaća se ako omjer kvadratnih standardnih odstupanja s_1^2 / s_2^2 zadovoljava uvjet $F < F_{5, 5, 0,95}$.

$$F = s_1^2 / s_2^2 = 0,0066014 / 0,0022172 = 2,98$$

Tabela 6.1: Odstupanje komponenti baznih linija ispitivanih softvera u odnosu na Bernise softver za sesiju od 48_sati

Bazna linija	dx	dy	dz	Softver
235 318	-111885,913	-242989,828	184553,547	Bernise
	-0,002	-0,032	-0,048	GG
	-0,002	0,003	-0,008	TGO
	-0,026	0,015	-0,082	SKI
235 377	31566,782	-241030,965	41644,687	Bernise
	0,039	0,027	0,031	GG
	0,008	0,000	-0,025	TGO
	-2,462	-2,354	-0,473	SKI
235 436	-68252,330	-101854,336	95751,421	Bernise
	0,011	-0,032	-0,056	GG
	0,069	0,004	-0,007	TGO
	-1,715	-2,091	-0,397	SKI
318 377	143452,695	1958,863	-142908,860	Bernise
	0,024	0,028	0,032	GG
	0,011	0,008	0,001	TGO
	-0,024	-0,074	-0,069	SKI
318 436	43633,583	141135,492	-88802,126	Bernise
	0,022	-0,020	-0,031	GG
	0,048	-0,010	-0,010	TGO
	0,195	0,260	0,285	SKI
377 436	-99819,112	139176,629	54106,734	Bernise
	-0,062	-0,045	-0,110	GG
	0,052	-0,008	0,006	TGO
	-0,256	0,008	0,190	SKI

Za odabrani nivo signifikantnosti $\alpha=0.05$ i stepen slobode $f_1=5$, $f_2=5$, mogu se naći u statističkim tablicama (Fisherova raspodjela) (L. Feil str. 189), dobiva se fraktila

$F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{5, 5, 0.95} = 5$. Kako je

$$F < F_{5, 5, 0.95}$$

slijedi da se nula hipoteza prihvata. Razlika u tačnosti softvera TGO i GG slučajnog je karaktera, odnosno oba softvera TGO i GG postižu istu ili sličnu tačnost pri obradi baznih linija.

Isti test proveden je i za TGO i SkiPro. s_2 standardna devijacija (prostorna) za SkiPro softver je 1,98013 m sa stepenom slobode $f_1=5$. Ista vrijednost s_2 za TGO iznosi 0,04709 m.

$$F = s_1^2 / s_2^2 = 3,920918 / 0,0022172 = 1768,41$$

A fraktila je $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{5, 5, 0.95} = 5$. Kako je

$$F > F_{5, 5, 0.95}$$

slijedi da se nula hipoteza odbacuje. SkiPro softver daje signifikantno loše rezultate za velike udaljenosti u usporedbi sa softverima TGO i GG.

ZAKLJUČAK

Programi kojim su obrađivana mjerenja i analizirani dobijeni rezultati su komercijalni (firmini) od tri najpoznatije firme u svijetu.

Na osnovu istraživanja i analiza u 5. poglavlju (uporedba softvera) mogu reći da je softver **GeoGenius** dobio vrlo dobru ocjenu i da je ostavio veoma dobar dojam. Ovaj softver zahtijeva nešto malo više posla prije obrađivanja od ostala dva softvera. Tokom procesuiranja baznih linija možemo pratiti tok obrade baznih linija što nije slučaj kod Trimbla i SkiPro. Odlika GeoGeniusa je i što daje veoma opširne i detaljne izvještaje o procesuiranju baznih linija i izravnanju mreže. Za razliku od ostala dva ispitivana softvera GeoGenius daje u izvještaju osim geografskih u WGS84 sistemu i lokalnih koordinata i kartezijeve koordinate u WGS84 sistemu. GeoGenius automatski dekodira preko 13 tipova resiver formata i RINEX. GeoGenius 2000 nudi kombinovane analize GPS/GLONASS i terestičke podatke u jednom projektu. Čak podržava analizu dvo-frekventnih podataka u kombinaciji sa GPS/GLONASS projektima. Zato je ovo veoma koristan i upotrebljiv program te pruža veoma komfornu uslugu.

Trimble Geomatics Office pruža takode jednu veoma komfornu uslugu. Trimble Geomatics Office daje slične rezultate kao i GeoGenius. Izuzetno dobre rezultate daje za kratke bazne linije. Ovaj softver daje i nešto više Float-rješenja što zahtijeva malo opširnije analize i ponovno procesuiranje. Trimble Geomatics Office prilično je sporiji u procesuiranju baznih linija u odnosu na GeoGenius i SkiPro. Trimble Geomatics Office automatski dekodira 3 tipa resiver formata i RINEX.

SkiPro nudi različite nadogradnje i procjene u odnosu na ostala dva ispitivana softvera. SkiPro verzija 2.3 nema mogućnost, kao GeoGenius i Trimble Geomatics Office, aktiviranja i deaktiviranja pojedinačnih satelita kao i isijecanja pojedinih vremenskih intervala sa lošim opservacijama. Postojeća simbol struktura je odgovarajuća i jednostavna. SkiPro prihvata samo RINEX i Leica resiver formate. Za bazne linije duže od 30 km SkiPro daje najviše Float-rješenja. Kod procjene ispitivane mreže SkiPro ostavlja dobar utisak i može se bez razmišljanja primijeniti za procjenu mjerenja sa

kratkim baznim linijama. Za bazne linije preko 20 km softver SkiPro se ne preporučuje. SkiPro daje nerealne rezultate za bazne linije preko 50 km u ispitivanoj mreži.

Skracenicice

GG -	GeoGenius
SKI -	SkiPro
TGO -	Trimble Geomatics Office
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ -	Komponente baznih linija
$\sigma \Delta x, \sigma \Delta y, \sigma \Delta z$ -	Standardna odstupanja komponenata baznih linija
X, Y, Z -	WGS84-koordinate
dx, dy, dz -	Komponente koordinata WGS84
$\sigma dx, \sigma dy, \sigma dz$ -	Standardna odstupanja koordinata u WGS84 koordinatnom sistemu
σdd -	Standardna odstupanja za dužine
48_sati -	Sesija opažanja od 48 sati
24_sata -	Sesija opažanja od 24 sata
12_sati -	Sesija opažanja od 12 sati
6_sati -	Sesija opažanja od 6 sati
3_sata -	Sesija opažanja od 3 sata
2_sata -	Sesija opažanja od 2 sata
1_sat -	Sesija opažanja od 1 sat
0.5_sati -	Sesija opažanja od 0.5 sati

Literatura

- Bilajbegović A., Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H.: Osnovni geodetski radovi suvremene metode GPS, Tehnička knjiga – Zagreb, 1991
- Feail L.: Teorija pogrešaka i račun izjednačenja, drugi dio, Zagreb 1990
- GeoGenius (2000): Software help
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtengger H., Collins J.: Global Positioning Sistem, Theory and Practice, Fourth revised edition, Springer-verlag Wien New York 1997
- Leick A.: GPS Satellite surveying, Second edition, 1995
- Pašalić S.: Račun izravnjanja, drugo izdanje, Građevinski fakultet u Sarajevu, 1989
- SkiPro: Leica Information, SKI documentation, 1998 i Software help
- Taletović J.: "Istraživanje tačnosti i pouzdanosti obrade GPS mjerenja s različitim softverima kao funkcija dužine vektora i vremena mjerenja" Magistarski rad. August 2002
- Trimble Geomatics Office (1.0): Software help

Sažetak

U ovom radu za navedena istraživanja primijenjena su mjerenja iz GPS kampanje BIHREF 2000, te je dat kratak pregled softverskih paketa za obradu GPS mjerenja (GeoGenius, Trimble Geomatics Office, Leica SKIPro). Ispitivana je tačnost i pouzdanost svakog rješenja (npr. od 48 sati, 24 sata, 12 sati, 6 sati, 3 sata, 2 sata, 1 sat, 0.5 sati) sa softverima GeoGenius, Trimble Geomatics Office, Leica SKIPro te je obrada razvrstana po dužinama vektora. Dobijeni rezultati prikazani su tabelarno i grafički.

**"REASRCHING OF PRECISION AND RELIABILITY PROCESSING GPS
SURWAYS WITH A DIFERENTS SOFTWARES AS A FUNCTION OF
VECTOR'S LANGE AND SURWAY'S TIME"**

Abstract

In this work for the rearschs it has used a measurments from GPS survey BIHREF 2000. After that there is a schort review of software's packages for GPS processing (GeoGenius, Trimble Geomatics Office, Leica SKIPro). For each solutions it has made rearsching of precision and realibility (for example 48 hours, 24 hours, 12 hours, 6 hours, 3 hours, 2 hours, 1 hour, 0.5 hour) with the software (GeoGenius, Trimble Geomatics Office, Leica SKIPro). Next step was classification in regards of a long vektor's distance. The results of this processing presented as a tabulated lists and as a graphic printing.