

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Oset, K., 2015. Uporaba satelitskih sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B., somentor Sterle, O.): 24 str.

Datum arhiviranja: 30-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Oset, K., 2015. Uporaba satelitskih sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B., co-supervisor Sterle, O.): 24 pp.

Archiving Date: 30-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

KLEMEN OSET

**UPORABA SATELITSKIH SISTEMOV GPS IN
GLONASS V GEODETSKI IZMERI**

Diplomska naloga št.: 95/GIG

**THE USE OF SATELLITE SYSTEMS GPS AND
GLONASS IN LAND SURVEYING**

Graduation thesis No.: 95/GIG

Mentor:

prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:

asist. mag. Oskar Sterle

Ljubljana, 17. 09. 2015

»Ta stran je namenoma prazna«

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani **KLEMEN OSET** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom: “**UPORABA SATELITSKIH SISTEMOV GPS IN GLONASS V GEODETSKI IZMERI**”.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Klemen Oset

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.837:629.783(497.4)(043.2)

Avtor: Klemen Oset

Mentor: prof. dr. Bojan Stopar

Somentor: asist. mag. Oskar Sterle

Naslov: Uporaba satelitskih sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri

Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij

Obseg in oprema: 24 str., 7 sl., 5 pregl., 6 graf., 6 pril.

Ključne besede: GNSS, GLONASS, GPS, RTK-metoda izmere, statična metoda izmere

Izveček

V geodetski izmeri GNSS se že nekaj časa za določanje položaja uporabljata hkrati sistema GLONASS in GPS. V diplomski nalogi sta predstavljena GNSS sistema GPS in GLONASS, podobnosti in razlike obeh sistemov ter njune značilnosti pri določitvi položaja. V praktičnem delu naloge so predstavljeni potek meritev, obdelava opazovanj in analiza kakovosti koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in skupne uporabe opazovanj GPS in GLONASS.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.837:629.783(497.4)(043.2)

Author: Klemen Oset

Supervisor: Prof. Bojan Stopar, PhD

Co-advisor: Asist. Oskar Sterle, M. Sc.

Title: The use of satellite systems GPS and GLONASS in land surveying

Document type: Graduation Thesis – University studies

Notes: 24 p., 7 fig., 5 tab., 6 graph., 6 ann.

Key words: GNSS, GLONASS, GPS, RTK-method of surveying, static method of surveying

Abstract

For position determination in the GNSS land surveying we simultaneously use the systems GLONASS and GPS for quite some time. In this thesis we present the GNSS systems GPS and GLONASS, the similarities and differences of the two systems, and their characteristics on position determination. Within the practical part of the work is presented the measurement process, the processing of observations and the analysis of quality of the coordinates, determined on the basis of the GPS observations, GLONASS observations and common usage of GPS and GLONASS observations.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju in somentorju asist. mag. Oskarju Sterletu za pomoč in številne koristne nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi Albinu Mencinu, Maticu Klančičarju, Mateu Turčiču in Borutu Žuli za pomoč pri izvedbi meritev.

Zahvalil bi se tudi moji družini, predvsem staršema, ter seveda vsem profesorjem, sošolcem in prijateljem, ki so mi pomagali in me spremljali čez vsa študijska leta.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA	IV
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
ZAHVALA	VII
1 UVOD	1
2 GLOBALNI SATELITSKI NAVIGACIJSKI SISTEMI	2
2.1 GPS.....	2
2.2 GLONASS	3
2.3 Razlike in podobnosti med sistemoma.....	3
3 MERITVE.....	5
3.1 Priprava na meritve.....	5
3.2 Izmera kontrolnih točk.....	6
3.3 Metoda RTK	8
4 OBDELAVA MERITEV	10
4.1 Obdelava v LGO	10
4.2 Metoda RTK	11
4.3 Obdelava s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0	12
5 ANALIZA IN INTERPRETACIJA OBDELAVE MERITEV	14
5.1 Analiza odstopanja koordinat, določenih z metodo RTK, od kontrolnih točk.....	15
5.2 Analiza koordinat, določenih s programom Bernese; GPS Software, Version 5.0.	19
5.3 Natančnosti koordinat določenih z metodo RTK.....	20
6 ZAKLJUČEK	23
VIRI.....	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafikon vidljivosti satelitov na dan 26. 6. 2015	6
Slika 2: Lokacije kontrolnih točk v Google Earth.....	7
Slika 3: Sprejemnik GNSS, postavljen na točki FGG1.....	7
Slika 4: Položaji sprejemnikov pri RTK metodi izmere v Google Earthu	8
Slika 5: Priprave na meritev na točki FGG1.....	9
Slika 6: Grafikon vidnosti satelitov po serijah	14
Slika 7: Projekcije tirnic satelitov na horizont v času meritev z metodo RTK.....	22

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Glavne značilnosti GPS in GLONASS	3
Preglednica 2: Koordinate, določene s statično metodo izmere	10
Preglednica 3: Natančnost koordinat, določenih s statično metodo izmere	10
Preglednica 4: Koordinate kontrolnih točk v D96/TM	11
Preglednica 5: Koordinate točk, določenih z metodo RTK v D96/TM	12

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Položajno odstopanje od kontrolnih točk v mm	15
Grafikon 2: Položajna odstopanja posamezne meritve.....	16
Grafikon 3: Višinsko odstopanje od kontrolnih točk v mm.....	17
Grafikon 4: Višinska odstopanja za posamezne meritve	18
Grafikon 5: Natančnost horizontalnih koordinat, določenih z metodo RTK	20
Grafikon 6: Višinska natančnost, določena z metodo RTK.....	21

SEZNAM KRATIC

AMCS	angl. Alternate Master Control Station slov. nadomestna kontrolna postaja
D96/TM	Datum 1996 / Transverzalna Merkatorjeva projekcija – novi ravninski državni koordinatni sistem
CDMA	angl. Code Division Multiple Access slov. kodni dostop
DOP	angl. Dilution Of Precision slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov GNSS
ESA	angl. European Space Agency
FDMA	angl. Frequency Division Multiple Access slov. frekvenčni dostop
GA	angl. Ground Antenna slov. zemeljska antena
GDOP	angl. Geometric Dilution Of Precision slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov – vpliv le-te na natančnost določitve položaja in časa v GNSS
GLONASS	rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema angl. Global Navigation Satellite System slov. ruski globalni navigacijski satelitski sistem
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System slov. globalni navigacijski satelitski sistem
GPS	angl. Global Positioning System slov. ameriški globalni navigacijski satelitski sistem
HDOP	angl. Horizontal Dilution Of Precision

slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov – vpliv le-te na natančnost določitve horizontalnega položaja v GNSS

IGS angl. International GNSS Service

slov. mednarodna služba GNSS

LGO angl. Leica Geo Office

LSR angl. Laser Ranging Stations

slov. postaja za lasersko merjenje razdalj do umetnih satelitov

MCS angl. Master Control Station

slov. glavna kontrolna postaja

MS angl. Monitor Station

slov. kontrolna postaja

NASA angl. North American Space Agency

slov. severnoameriška vesoljska agencija

PDOP angl. Position Dilution Of Precision

slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov – vpliv le-te na natančnost določitve prostorskega položaja v GNSS

PZ-90 rus. Parametri Zemli

slov. parametri Zemlje

RINEX angl. Receiver INdependent EXchange

slov. standardni podatkovni format, ki je neodvisen od sprejemnika

RTK angl. Real Time Kinematic

slov. kinematična metoda izmere, kjer so rezultati dobljeni v dejanskem času

SCC angl. System Control Centre

slov. sistemska kontrolna postaja

SIGNAL slov. Slovenija Geodezija NAvigacija Lokacija

slov. slovensko državno omrežje postaj GNSS

TDOP	angl. Time Dilution Of Precision slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov – vpliv le-te na natančnost določitve časa v GNSS
TT&C	angl. Telemetry, Tracking and Command slov. telemetrična nadzorna postaja
VDOP	angl. Vertical Dilution Of Precision slov. mera kakovosti geometrije razporeditve satelitov – vpliv le-te na natančnost določitve višine v GNSS
WGS-84	angl. World Geodetic System slov. globalni referenčni sestav za uporabo v geodeziji in navtiki

1 UVOD

S satelitsko navigacijo in določanjem položaja na Zemlji, s pomočjo umetnih Zemljinih satelitov se soočamo vsakodnevno. Ta je v zadnjih letih zelo napredovala. Uporablja se na različnih področjih. V geodeziji jo uporabljamo za natančno določitev položaja točk v inženirski geodeziji, katastrski in topografski izmeri aeroposnetkov. Med vsemi GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) se najbolj uporablja satelitski sistem GPS (angl. Global Positioning System), ki je sinonim za položajno in lokacijsko ozaveščenost in je postal bistveno orodje pri poslovnih in potrošniških aplikacijah. Vendar pa GPS ni edini satelitski sistem v vesolju. V zadnjih letih se mu je zelo približal GLONASS (rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) [4].

Tako kot na drugih področjih si tudi v geodeziji želimo opraviti kakovostno delo v čim krajšem času in s čim manjšimi stroški. Zato že nekaj let proizvajalci geodetske merske opreme izdelujejo sprejemnike in programske opreme, ki omogoča uporabo sistemov GPS in GLONASS hkrati. S tem pridobimo več razpoložljivih satelitov, kar vodi k večji pokritosti in s tem kakovosti rezultatov meritev [4].

Namen diplomske naloge je predstavitev slabosti in prednosti sistemov GPS in GLONASS in kako le-te vplivajo na določitev položaja v geodetski izmeri. Zato bomo najprej predstavili podobnosti in razlike obeh sistemov GNSS. V drugem delu bomo predstavili potek postopka, s katerim smo analizirali kakovost koordinat, določenih na osnovi opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in skupne uporabe opazovanj GPS in GLONASS, kar je tudi cilj naše diplomske naloge. Predstavili bomo pripravo, kjer smo določili koordinate kontrolnih točk ter izbrali metodo izmere. Opisali bomo metode in postopek določitve referenčnih koordinat kontrolnih točk ter njihovo obdelavo. Opisali bomo tudi potek meritev ter obdelavo le-teh. Na koncu bomo izvedli analizo določitve koordinat in jo komentirali.

2 GLOBALNI SATELITSKI NAVIGACIJSKI SISTEMI

Globalni satelitski navigacijski sistem (GNSS) predstavlja konstelacijo satelitov, ki oddajajo signal iz vesolja, ki omogoča navigacijo na celotni zemeljski površini. Satelitski signal GNSS je kompleksen signal, ki omogoča določitev položaja in časa na Zemlji z visoko natančnostjo. Izračun položaja sprejemnika GNSS temelji na načelu trilateracije [1].

Primeri GNSS so:

- GPS (angl. Global Positioning System) - ameriški GNSS;
- GLONASS (rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) - ruski GNSS;
- Galileo - evropski GNSS;
- COMPASS ali BeiDou – kitajski GNSS.

V diplomski nalogi se bomo bolj osredotočil na satelitska sistema GPS in GLONASS, saj je namen naloge predstavitev le-teh.

2.1 GPS

GPS je najbolj razširjen sistem GNSS in je v lasti ZDA. Zagotavlja zanesljivo določanje položaja, navigacije in časovnih storitev civilnim in vojaškim uporabnikom na svetovni ravni in je prosto dostopen vsem, ki imajo sprejemnike GPS, čeprav je bil prvotno razvit za vojaške namene [2].

Segmenti GPS:

- vesoljski segment – vsebuje vse umetne Zemljine satelite in omogoča praktično uporabo sistema, sprejema in shranjuje podatke kontrolnega segmenta, zagotavlja točen čas in oddaja informacije uporabnikom. Vesoljski segment GPS trenutno sestavlja 32 delujočih satelitov (24 nominalnih);
- kontrolni segment – je lociran na Zemeljskem površju ter upravlja in nadzira sistem, ugotavlja stanje vesoljskega segmenta, izvaja opazovanja, izračunava efemeride satelitov GNSS in prenaša podatke satelitom. Kontrolni segment GPS predstavljajo:
 - glavna kontrolna postaja MCS (angl. Master Control Station) v Colorado Springsu;
 - nadomestna kontrolna postaja AMSC (angl. Alternate Master Control Station) v Kaliforniji;
 - 16 kontrolnih postaj MS (angl. Monitor Station), ki so razporejene po celotni Zemlji;
 - 4 zemeljske antene GA (angl. Ground Antenna), ki so nameščene zraven 4 kontrolnih postaj;
- uporabniški segment – sestavljajo ga uporabniki, ki uporabljajo sprejemnike GNSS za različne namene [2, 4].

2.2 GLONASS

Kakor sistem GPS tudi GLONASS zagotavlja zanesljivo določanje položaja in je prosto dostopen vsem uporabnikom. Tudi Rusija ga je prvotno razvila za vojaške namene [3].

Segmenti GLONASS:

- vesoljski segment trenutno sestavlja 28 delujočih satelitov (24 je nominalno število satelitov);
- kontrolni segment:
 - sistemska kontrolna postaja SCC (angl. System Control Centre) v Krasnoznamensku;
 - 5 telemetričnih nadzornih postaj TT&C (angl. Telemetry, Tracking and Command centers);
 - 4 kontrolne postaje MS ter še 6 kontrolnih postaj MS, ki bodo začele delovati v bližnji prihodnosti;
 - 3 laserske razdaljemerne postaje LSR (angl. Laser Ranging Stations);
 - 3 povezovalne postaje (angl. Upload Stations)
- uporabniški segment – sestavljajo ga uporabniki, ki uporabljajo GNSS sprejemnike za različne namene [3].;

GLONASS je v 5 letih izboljšal točnost za faktor 5 in je sedaj na nivoju točnosti GPS [4].

2.3 Razlike in podobnosti med sistemoma

V preglednici 1 so predstavljene glavne značilnosti GPS in GLONASS.

Preglednica 1: Glavne značilnosti GPS in GLONASS

GNSS sistem	GPS	GLONASS
Lastnik	ZDA	Rusija
Število delujočih satelitov	32	28
Višina	20180 km	19140 km
Generacije satelitov	Block 1 Block 2 Block 2A Block 2R	Glonass Glonass-M Glonass-K1 Glonass-K2 Glonass-KM
Obhodni čas	11h 15min	11h 58m
Število ravnin	6	3

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 1

Inklinacija	55°	64°8'
Kodiranje	CDMA	FDMA/CMDA
Frekvence	L1=1575,42 MHz L2=1227,60 MHz L5=1176,45 MHz	L1=1601,72 MHz L2=1245,78 MHz L3=1201,00 MHz
Referenčni sistem	WGS84	PZ-90
Lokacija izstrelitve	Cape Canaveral	Baikonur/Plesetsk

Kot vidimo v gornji preglednici je trenutno aktivnih satelitov v GPS več kot v GLONASS. Nominalno imata oba 24 satelitov. Sateliti GPS krožijo okoli Zemlje v 6 orbitalnih ravninah, nominalno 4 na ravnino. Sateliti GLONASS krožijo okoli Zemlje v 3 orbitalnih ravninah, nominalno 8 na ravnino [5].

Rezultati testov obeh sistemov kažejo, da je določitev položaja GPS nekoliko natančnejša kot v GLONASS. GPS je v testu zagotovil natančnost do 1,83 metra, GLONASS pa do 3,05 metra. Ta primer velja za eno-frekvenčne navigacijske sprejemnike. Velika razlika med sistemoma je tudi lokacija kontrolnih postaj. Pri GLONASS jih je večinoma lociranih na ruskem ozemlju, le 3 so izven, in sicer v Braziliji, na Antarktiki in na Kubi. Pri GPS so kontrolne postaje locirane po celotni Zemlji [6].

Različen je tudi način komunikacije med sateliti in sprejemniki. V primeru GPS vsi sateliti oddajajo signal na nosilnem valovanju iste frekvence. Vsakemu satelitu pa je dodeljena unikatna merska koda. V primeru starejših generacijah satelitov GLONASS je situacija obratna, in sicer vsi sateliti imajo isto mersko kodo, signal pa oddajajo na različnih frekvencah. Z novejšo generacijo satelitov GLONASS, natančneje s sateliti GLONASS-K1, je kot pri GPS, satelitom dodeljena unikatna merska koda [5].

3 MERITVE

Cilj naše naloge je analizirati kakovost koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in s skupno uporabo opazovanj GPS in GLONASS. Zato smo opravili več meritev. Meritve so zajemale pripravo, meritve za namen določitve referenčnih koordinat kontrolnih točk in meritve z RTK - metodo izmere.

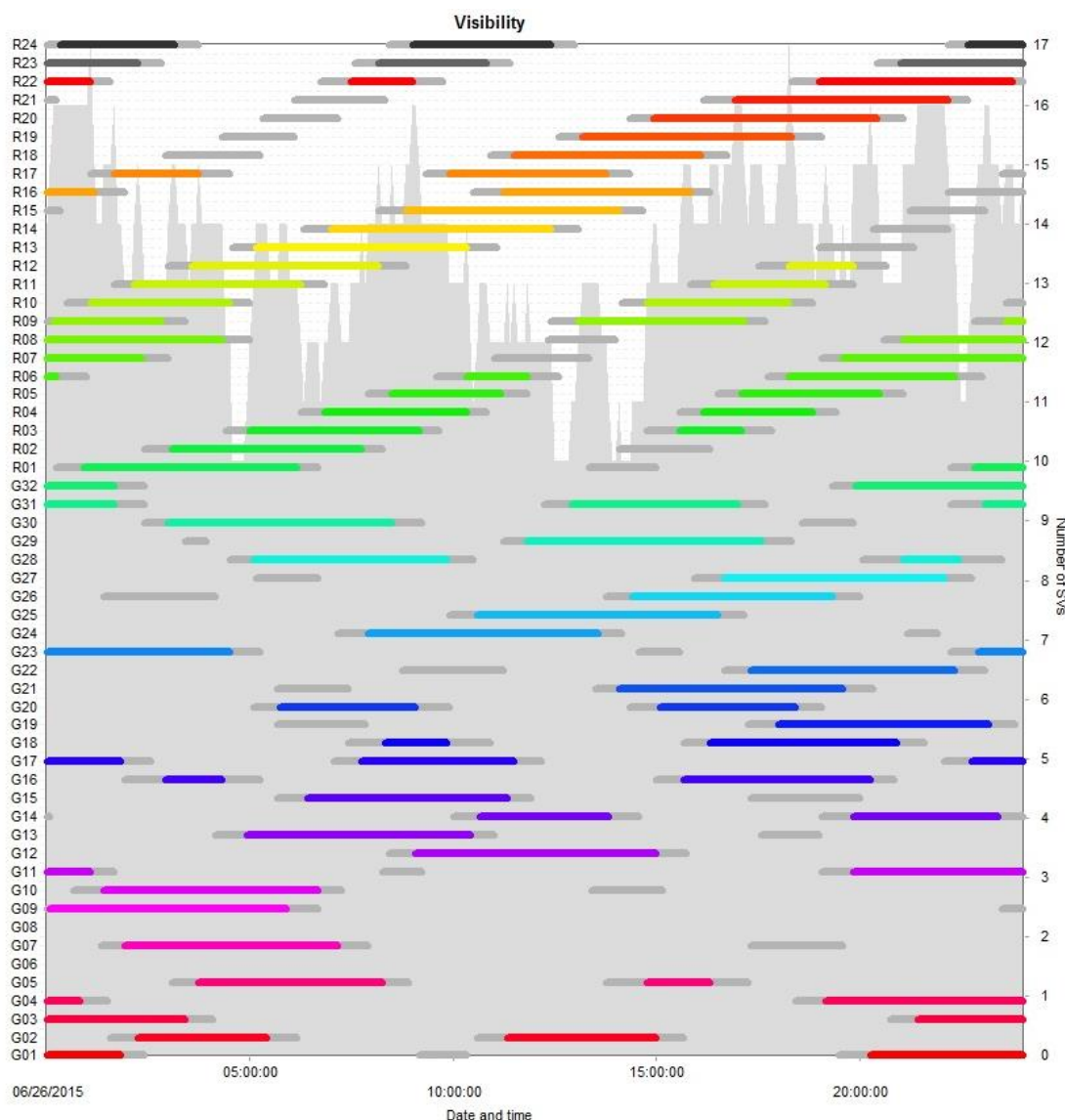
3.1 Priprava na meritve

Za izvedbo meritev smo si morali izbrati sprejemnik GNSS, ki lahko izvaja opazovanja signala GPS in signala GLONASS, ločeno in skupaj. Uporabili smo sprejemnike GNSS Leica Viva GS15.

Nato smo določili metodologijo za primerjavo koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in skupne uporabe opazovanj GPS in GLONASS. Najprej smo si izbrali metodo izmere, s katero bi lahko obravnavali vse tri primere. Najbolj optimalna bi bila statična metoda izmere, ampak nam izbrani instrumentarij ne omogoča opazovanja samo GLONASS satelitov. Programska oprema v instrumentu Leica Viva GS15 namreč predvideva, da je za statično metodo izmere potrebno poleg satelitov GLONASS imeti na razpolago vsaj en satelit GPS. Težavo predstavlja tudi obdelava podatkov, saj program LGO (angl. Leica Geo Office) ne podpira obdelave opazovanj le na osnovi opazovanj GLONASS. Metoda RTK (Real Time Kinematic) nam omogoča opazovanja tudi le na osnovi opazovanj GLONASS in nam tudi omogoča pridobitev koordinat opazovanih točk v realnem času.

Primerjavo kakovosti koordinat, določenih v okviru omenjenih sistemov, smo zasnovali na odstopanjih od natančno določenih referenčnih koordinat kontrolnih točk. Te smo določili s statično metodo, saj je ta najbolj natančna metoda izmere GNSS. Referenčne koordinate smo določili na osnovi skupne uporabe opazovanj GPS in GLONASS.

Kljub temu da je na razpolago že dovolj veliko število delujočih satelitov GPS in GLONASS v vesolju, smo preverili, če bomo imeli med časom meritev na voljo zadostno število satelitov, da bo omogoča kakovostna določitev koordinat. To smo storili s programom LGO. Kot rezultat smo dobili grafični prikaz, ki je prikazan na Sliki 1. Ugotovili smo, da bomo imeli ves predvideni čas opazovanj na razpolago 4 satelite ali več, kar nam bo omogočilo določitev položaja. V grafu lahko vidimo, da imamo povprečno na razpolago 7 satelitov vsakega sistema GNSS posebej in povprečno 14 skupaj. Sateliti GPS so označeni z G, GLONASS sateliti pa so označeni z R. Številke za črkama predstavljajo številko satelita.

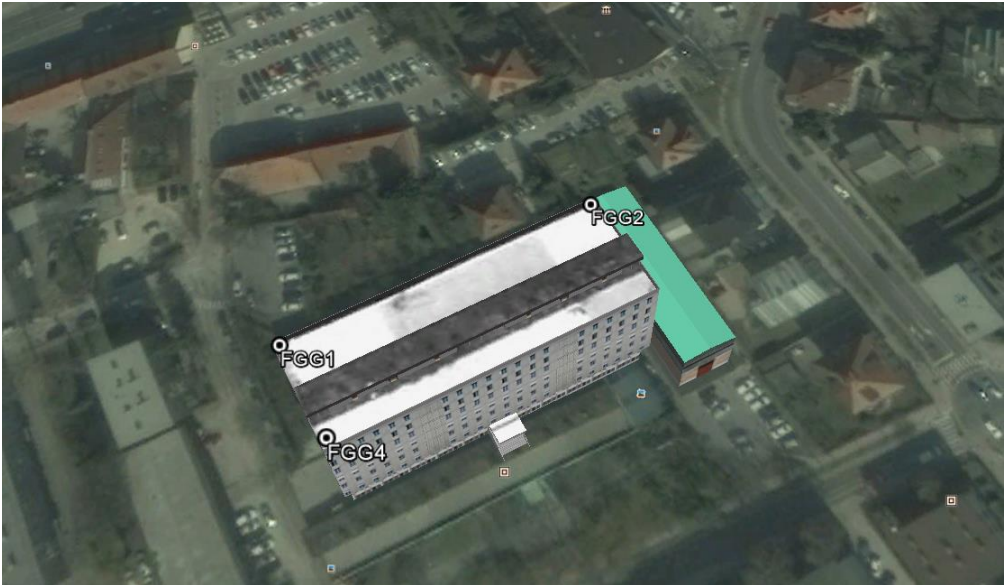


Slika 1: Grafikon vidljivosti satelitov na dan 26. 6. 2015

3.2 Izmera kontrolnih točk

Za kontrolne točke smo si izbrali točke FGG1, FGG2 in FGG4. Te točke predstavljajo stebre na strehi stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Jamovi cesti 2, v Ljubljani.

Kot smo omenili smo si izbrali statično metodo GNSS za določitev koordinat kontrolnih točk. Ta je osnovna in najnatančnejša metoda za določitev relativnega položaja točk. Natančnost metode temelji na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj in omogoča določitev položaja z milimetrsko natančnostjo. Za določitev položaja s to metodo sta potrebna dva sprejemnika GNSS, eden na novi točki in eden na točki z znanimi koordinatami. Oba izvajata fazna istočasna opazovanja, ki trajajo dovolj dolgo. Za določitev koordinat nove točke moramo podatke meritev še obdelati [4].



Slika 2: Lokacije kontrolnih točk v Google Earth

Točke, ki smo jih uporabili v naši nalogi, so dobro stabilizirane, in sicer z betonskimi stebri, na katerih je kovinska plošča z luknjo, skozi katero s srčnim vijakom na ploščo pritrdimo sprejemnik GNSS.

Meritve statične metode so bile izvedene 4. 6. 2015. Začetek meritev je bil ob 8.00, konec pa ob 14.00. Meritve so potekale neprekinjeno 6 ur, kar omogoča določitev koordinat z visoko kakovostjo. Za statično metodo izmere GNSS smo uporabili tri sprejemnike GNSS Leica Viva GS15, ki so last Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

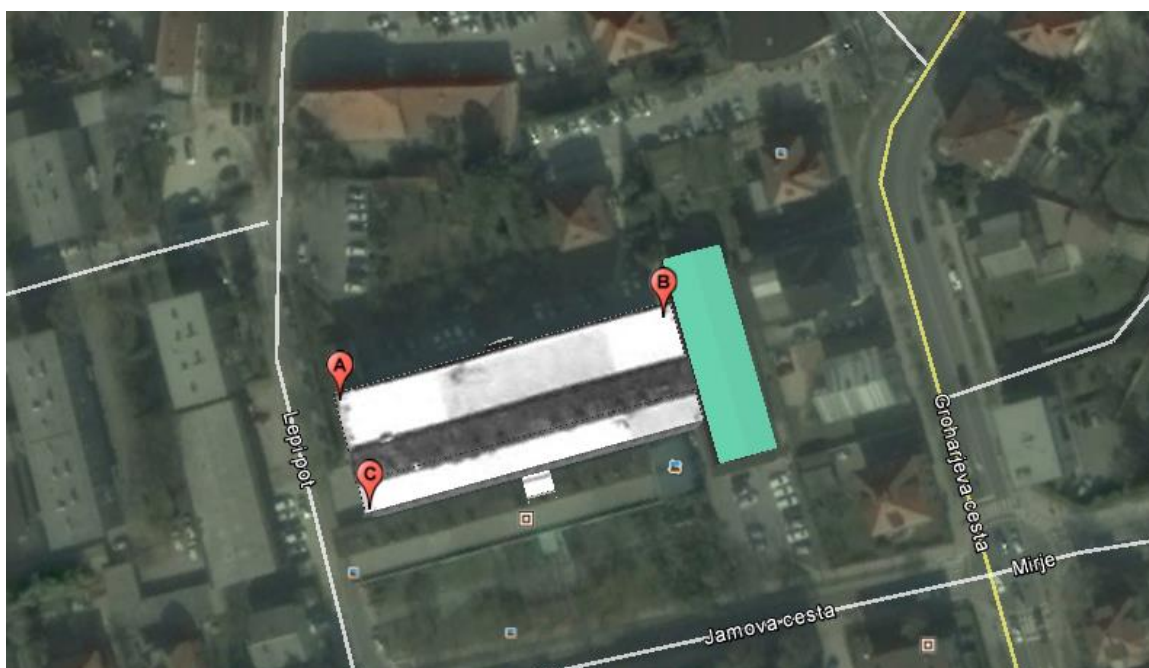


Slika 3: Sprejemnik GNSS, postavljen na točki FGG1

3.3 Metoda RTK

Po izvedbi statičnih meritev je sledila določitev koordinat z metodo RTK (Real Time Kinematic). Koordinate, določene z metodo RTK, bomo primerjali s koordinatami določenimi na osnovi samo opazovanj GPS, samo opazovanj GLONASS in skupnih opazovanj GPS in GLONASS. Metoda izmere RTK je v osnovi kinematična metoda in z njo določamo relativni položaj. Osnovni pogoj za izvedbo metode RTK izmere je radijska ali GSM povezava med baznim in premičnim sprejemnikom GNSS v času izmere. Časovno trajanje opazovanj je kratko, zato je nižja tudi natančnost določitve položaja glede na statično metodo. Metoda izmere RTK je med vsemi metodami izmere GNSS v praksi najpogosteje uporabljena metoda izmere [4].

Meritve z metodo RTK smo izvajali v petek, 26. 6. 2015. Na točkah FGG1, FGG2 in FGG4 smo s pritrdili sprejemnike in jih označili z oznakami A, B in C. Instrument A je opazoval signale satelitov GPS in GLONASS in je bil postavljen na točki FGG4, instrument B je opazoval signal satelitov GPS in je bil postavljen na točko FGG1, instrument C pa je opazoval signal satelitov GLONASS in je bil postavljen na točko FGG2.



Slika 4: Položaji sprejemnikov pri RTK metodi izmere v Google Earthu

Meritve smo izvajali na vseh treh točkah istočasno, zato da bi bili zunanji pogoji čim bolj podobni. Istočasnost izvajanja meritev smo zagotovili s tremi operaterji, ki so upravljali vsak svoj sprejemnik.

Meritve smo opravili v treh serijah, med katerimi sta morali preteči vsaj 2 uri. Prvo serijo smo začeli ob 8.34 in je trajala do 8.46, druga je trajala od 10.53 do 11.04 in tretja od 13.16 do 13.38.

Povprečni čas trajanja serije je bil približno 11 minut. Tretja serija je potekla 21 minut zaradi težav z instrumentom A. Zaradi teh težav z instrumentom A nismo mogli izvesti pete ponovitve meritev v tretji seriji. Zato te ponovitve meritev nismo upoštevali niti z instrumentoma B in C. Smo pa opravili še dodatno 11. ponovitev. Vsaka serija, razen zadnje, je vsebovala 10 ponovitev. Ena ponovitev vsebuje meritve v 5 epohah oziroma v 5 sekundah, ki ji je sledila minuta premora, nato je sledila druga ponovitev. Med meritvami je pri instrumentu C, kateri je izvajal opazovanja samo GLONASS signala, dvakrat prišlo do krajše prekinitve inicializacije, v trajanju približno 10 sekund.



Slika 5: Priprave na meritev na točki FGG1

Meritve so potekale v razmerah, v katerih ni bilo v bližini nobenih večjih ovir, razen nadstrešek, ki je v manjši meri oviral sprejem signala satelitov instrumentoma B in C, ki je prihajal z južne strani in sprejem signala satelitov z instrumentom A, s severne strani.

4 OBDELAVA MERITEV

Z obdelavo opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in skupno obdelavo opazovanj GPS in GLONASS smo pridobili koordinate točk, ki smo jih v nadaljevanju analizirali glede na različne kriterije. Za obdelavo meritev GNSS smo uporabili programa LGO (Leica Geo Office) in Bernese, GPS Software, Version 5.0.

4.1 Obdelava v LGO

Meritve GNSS, opravljene s statično metodo, smo obdelali s programom LGO, v kateri smo obdelali skupna opazovanja GPS in GLONASS. Vhodni podatki za obdelavo so bili podatki opazovanj na dani točki in novih točkah, podatki o kalibraciji anten in efemeridah.

Podatke o kalibraciji anten pridobimo na internetni strani NASA (angl. National Aeronautics and Space Administration) <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> in ustvarimo ustrezno .txt datoteko. Pri obdelavi smo uporabili precizne efemeride rapid (IGR efemeride), katere so na razpolago 3 dni po datumu meritev na spletni strani IGS (angl. International GNSS Service). Efemeride, katere smo uporabili, smo dobili na internetni strani https://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html. Kot dano oziroma kontrolno točko smo uporabili točko GSR1, ki je ena od postaj omrežja SIGNAL (slov. Slovenija Geodezija NAvigacija Lokacija). Opazovanja, izvedena na novih točkah, smo pridobili s sprejemnikov. Pri uvozu v LGO smo nastavili tudi ustrezne nastavitve, in sicer višinski kot (15°) ter model troposferske refrakcije (model Hopfield). Rezultati obdelave meritev so bili 3 linearno neodvisni vektorji med točkama, s pripadajočo informacijo o kakovosti. Koordinate, določene obdelave statične izmere GNSS so v Preglednici 2. Standardne absolutne elipse pogreškov za horizontalne koordinate in višin so podani v Preglednici 3.

Preglednica 2: Koordinate, določene s statično metodo izmere

Točke	φ	λ	h
fgg1	46° 02' 44,66680" S	14° 29' 40,21271" V	367,5539 m
fgg2	46° 02' 45,56633" S	14° 29' 42,96270" V	367,5585 m
fgg3	46° 02' 44,00705" S	14° 29' 40,66081" V	367,5449 m

Preglednica 3: Natančnost koordinat določenih s statično metodo izmere

Polos a	Polos b	Kot zasuka	σ_h
0,0022 m	0,0016 m	- 1° 22' 20.8"	0,0045 m
0,0022 m	0,0016 m	-53' 30.6"	0,0044 m
0,0022 m	0,0016 m	- 1° 44' 17.4"	0,0045 m

Kot lahko vidimo, so koordinate kontrolnih točk določene dovolj kakovostno, saj znaša njihova položajna natančnost okoli 2,7 mm, višinska pa 4,5 mm.

Koordinate smo nato pretvorili iz elipsoidnih koordinat v ravninske koordinate državnega koordinatnega sistema D96/TM. Te so prikazane v Preglednici 4.

Preglednica 4: Koordinate kontrolnih točk v D96/TM

	FGG1	FGG2	FGG4
n	100784,215 m	100811,610 m	100763,786 m
e	460878,785 m	460938,079 m	460888,289 m

4.2 Metoda RTK

Za razliko od statične metode pri metodi RTK že med izmero pridobimo koordinate točk in podatke o njihovi natančnosti. Kljub temu smo rezultate meritev izvozili iz programa LGO namesto neposredno iz sprejemnika. To smo naredili zato, ker s tem pridobimo več različnih podatkov o meritvah, ki so nam prišli prav pri analizi rezultatov kot na primer DOP faktorje, standardne odklone koordinat e in n, standardni odklon višine, število uporabljenih satelitov in število vseh satelitov v času merjenja, že pretvorjene koordinate v državni ravninski koordinatni sistem D96/TM in seveda elipsoidne višine. Z uvozom podatkov meritev z metodo RTK v LGO smo pridobili samo elipsoidne koordinate in višine. Te smo pridobili brez naknadne obdelave, saj smo jih pridobili že med izmero z metodo RTK. Da bi pridobili rezultate, ki bi nam prišli bolj prav pri analizi rezultatov, smo morali najprej ustvariti .FRT datoteko s programom LGO. Ustvarili smo datoteko IZVOZ.FRT, s katero smo iz programa LGO, pridobili rezultate meritev, in sicer ID točke, koordinati e in n, elipsoidno višino, standardne odklone koordinat e in n in višine, faktorje GDOP (angl. Geometric Dilution Of Precision), HDOP (angl. Horizontal Dilution Of Precision), PDOP (angl. Position Dilution Of Precision), TDOP (angl. Time Dilution Of Precision), VDOP (angl. Vertical Dilution Of Precision), število uporabljenih satelitov v času meritev, število vseh satelitov v času meritev in čas meritev. To smo naredili za vse tri meritve z RTK-metodo. Vsi rezultati so v prilogah A, B in C. Kot smo omenili, je vsaka serija vsebovala 10 ponovitev določitev koordinat točke. Za vsako serijo smo izračunali aritmetične sredine koordinat v D96/TM, elipsoidnih višin in standardnih odklonov. Aritmetične sredine koordinat in elipsoidnih višin so prikazane v Preglednici 5.

Preglednica 5: Koordinate točk, določenih z metodo RTK v D96/TM

		1. serija	2. serija	3. serija
FGG1 GPS	n	100784,219 m	100784,207 m	100784,221 m
	e	460878,790 m	460878,793 m	460878,794 m
	h	367,526 m	367,518 m	367,506 m
FGG2 GLONASS	n	100811,607 m	100811,611 m	100811,609 m
	e	460938,084 m	460938,088 m	460938,095 m
	h	367,522 m	367,506 m	367,504 m
FGG4 GPS in GLONASS	n	100763,784 m	100763,781 m	100763,787 m
	e	460888,293 m	460888,292 m	460888,298 m
	h	367,525 m	367,519 m	367,519 m

4.3 Obdelava s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0

Ker LGO ne podpira obdelave opazovanj GLONASS, smo podatke statične metode obdelali s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0. Ta je namenjen za obdelavo statičnih opazovanj in je z njim mogoče obdelati samo GPS, samo GLONASS in skupna GPS in GLONASS opazovanja. Ker je delo s tem programom dokaj zahtevno, smo obdelavo opazovanj GNSS s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0 opravili na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

Glavni vhodni podatki so bile RINEX datoteke meritev s statično metodo. Poleg RINEX datotek so bili vhodni podatki še precizne efemeride ESA (angl. European Space Agency) in parametri rotacije Zemlje. Precizne efemeride ESA vsebujejo efemeride satelitov GLONASS in GPS. Efemeride ESA in parametre rotacije Zemlje smo dobili na: <ftp://dgn6.esoc.esa.int/products/1847/>

S programom Bernese, GPS Software, Version 5.0, smo obdelali dvojne fazne razlike treh baznih vektorjev, ki so bili sestavljeni med vsemi štirimi točkami FGG1, FGG2, FGG4 in GSR1. Dana točka je bila SIGNAL-ova postaja GSR1, nove točke so bile stebri FGG1, FGG2 in FGG4. Rezultati obdelave so bile koordinate točk v globalnem koordinatnem sistemu ITRS in troposferski popravki.

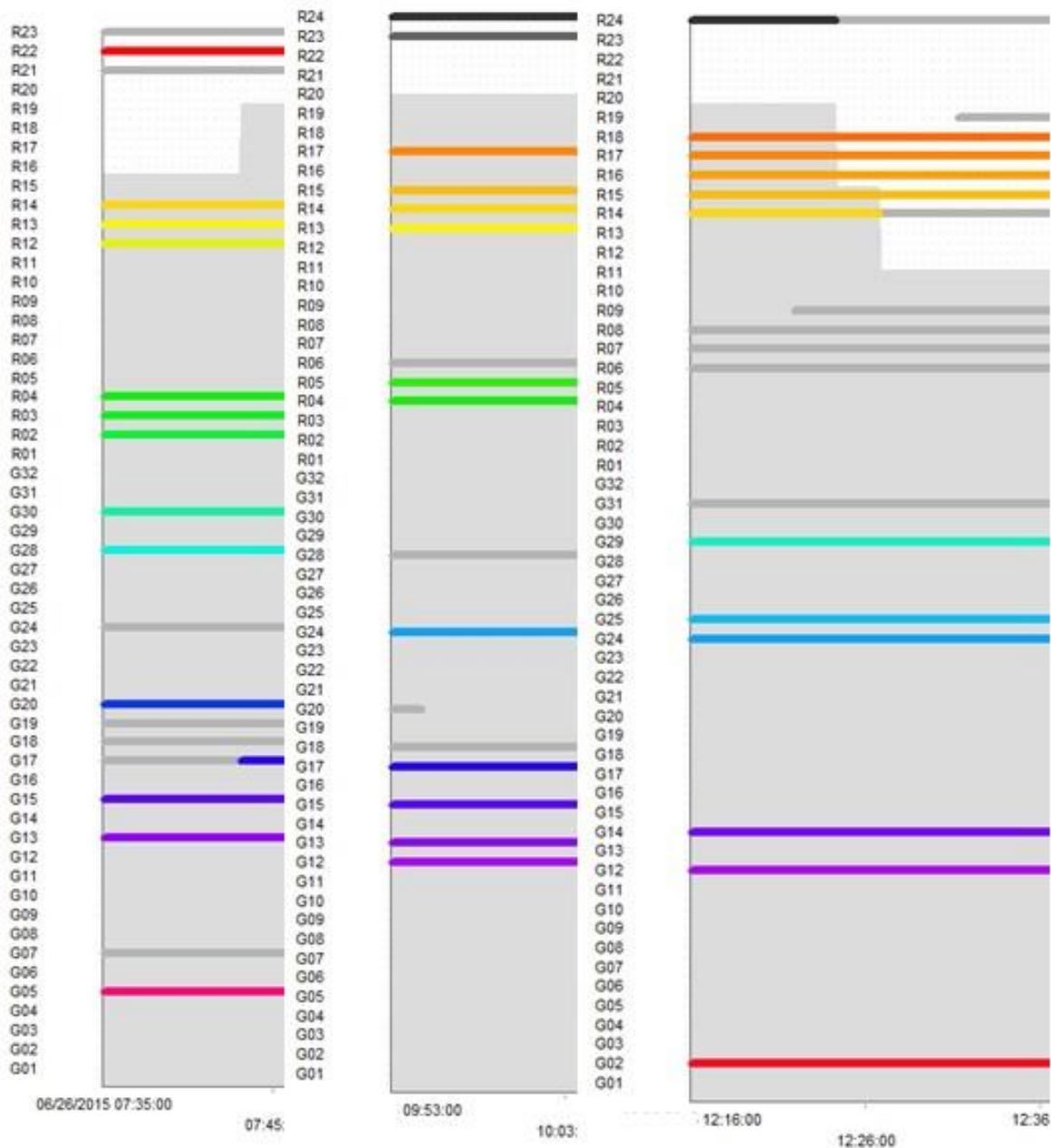
Opravili smo 3 obdelave dvojnih faznih razlik treh baznih vektorjev, ki smo jih sestavili med vsemi štirimi točkami FGG1, FGG2, FGG4 in GSR1, in sicer tako, da smo v prvi obdelavi uporabili fazna opazovanja samo GPS, v drugi samo GLONASS in v tretji skupaj fazna opazovanja GPS in

GLONASS skupaj. V prilogah D, E in F so tudi določene kartezične koordinate, elipsoidne koordinate in standardni odkloni navedenih koordinat vseh treh obdelav.

5 ANALIZA IN INTERPRETACIJA OBDELAVE MERITEV

Po obdelavah je sledila analiza pridobljenih rezultatov. Analizirali smo koordinate in odstopanja koordinat določenih z metodo RTK od referenčnih koordinat kontrolnih točk ter posebej rezultate obdelave meritev s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0.

Na spodnji sliki je tudi prikaz števila razpoložljivih satelitov v vseh treh serijah. Ta nam bo v pomoč pri interpretaciji pridobljenih koordinat.

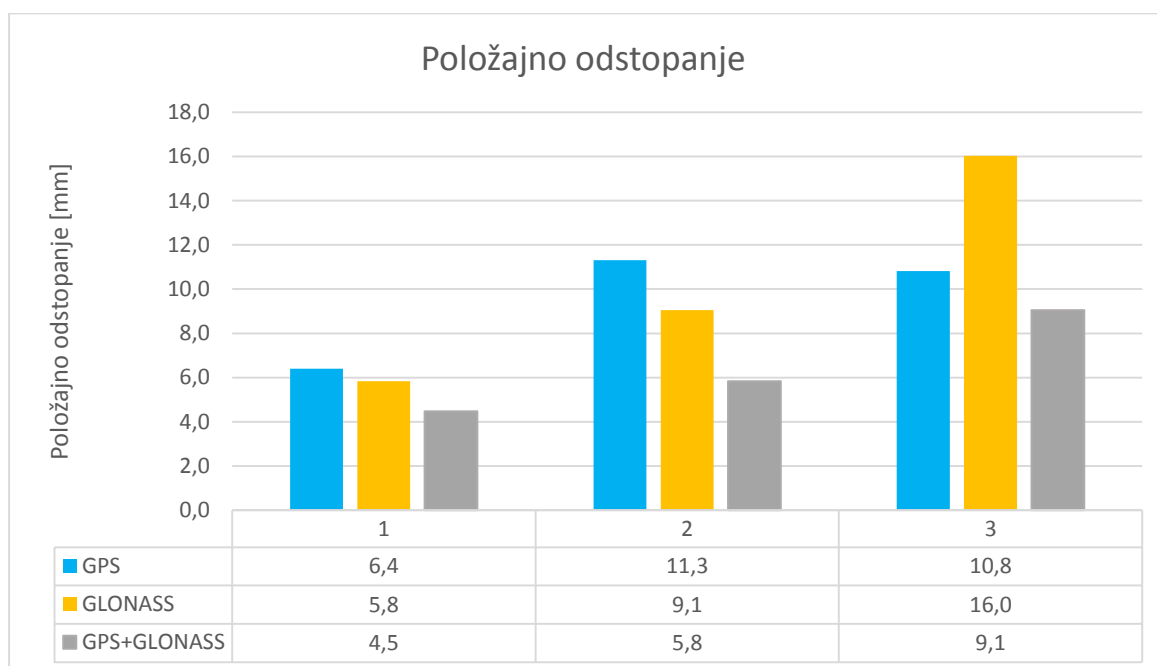


Slika 6: Grafikon vidnosti satelitov po serijah

5.1 Analiza odstopanja koordinat, določenih z metodo RTK, od kontrolnih točk

Kot smo omenili, smo primerjali koordinate referenčnih točk, določenih s statično metodo in koordinate, ki smo jih dobili z metodo izmere RTK. Koordinate in višine določene s statično metodo so prikazane v Preglednici 4. Kot smo omenili, so meritve z metodo RTK potekale v serijah. Vsaka serija je vsebovala 10 ponovitev. V Preglednici 5 so predstavljene aritmetične sredine koordinat v vseh serijah.

Grafikon 1: Položajno odstopanje od kontrolnih točk v mm



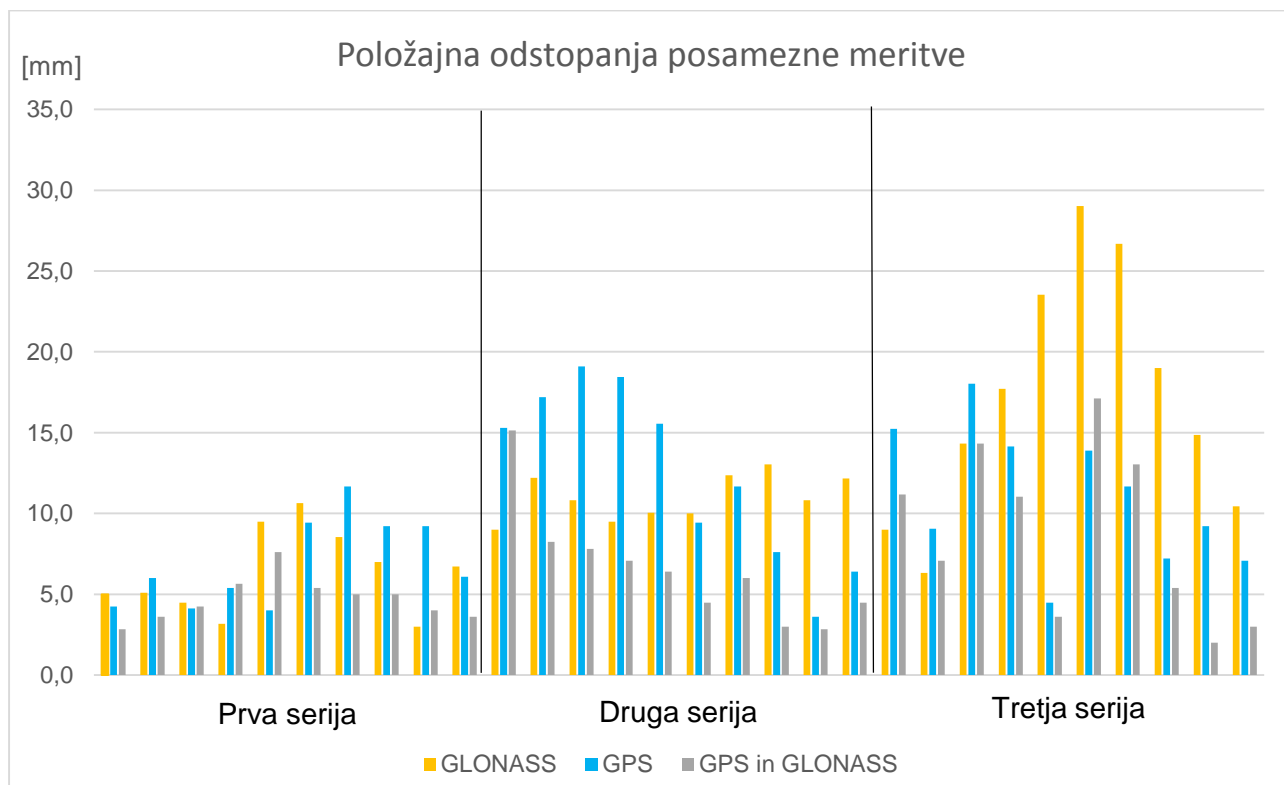
V Grafikonu 1 so predstavljene izračunane razlike koordinat med, koordinatami, določenimi s statično metodo na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS in obdelavo z LGO, s katero smo določili referenčne koordinate, in aritmetično sredino koordinat, ki smo jih pridobili z meritvami z metodo RTK. Položajno odstopanje smo določili z enačbo $\Delta Hz = \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2}$. Na abscisi v grafikonu imamo s številko označene serije meritev, oznaka 1 je oznaka prve, 2 je druge in 3 je tretje serije. Stolpci nam predstavljajo položajno odstopanje koordinat določenih z metodo RTK od referenčnih koordinat, ki smo jih določili s statično metodo. Numerične vrednosti odstopanj so prikazane v grafikonu pod stolpci. Odstopanja so podana v milimetrih. Z modro so označena odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS na točki FGG1, z oranžno odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS+GLONASS na točki FGG4.

Zanimivo je, da je povprečno odstopanje koordinat, določenih na osnovi opazovanj GLONASS, manjše kot odstopanje koordinat, določenih na osnovi opazovanj GPS. V prvi seriji je med njima

sicer zelo majhna razlika, kar je verjetno posledica dejstva, da smo imeli v prvi polovici serije na razpolago 6 satelitov GPS, v drugi polovici pa 7. V celotni prvi seriji pa smo imeli na razpolago 7 satelitov GLONASS. V drugi seriji so bile razmere podobne. V tretji seriji smo imeli skozi celotno serijo na razpolago več satelitov GPS kot satelitov GLONASS. Kot vidimo na Sliki 7 se je število satelitov GLONASS celo zmanjšalo na 4, kar je minimalno zahtevano število satelitov. Skozi vse tri serije je bilo najmanjše odstopanje za koordinate, določene na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS, kar je nekako pričakovano, saj je število opazovanih satelitov večje. Odstopanja so se sicer čez dan večala, kar lahko pripišemo zmanjševanju števila razpoložljivih in opazovanih satelitov.

Sicer ima tudi razporeditev satelitov velik vpliv na kakovost določitve koordinat, odstopanje od prave vrednosti, vendar sta bili v našem primeru vrednosti faktorja HDOP v GLONASS in GPS podobni in sta v povprečju znašali okoli 1.1, kar je zelo dobra vrednost. To pomeni, da je za razliko med odstopanji med kakovostjo koordinat, določenih z obema sistemoma GNSS, verjetno možno pripisati številu satelitov v času meritev.

Grafikon 2: Položajna odstopanja posamezne meritve

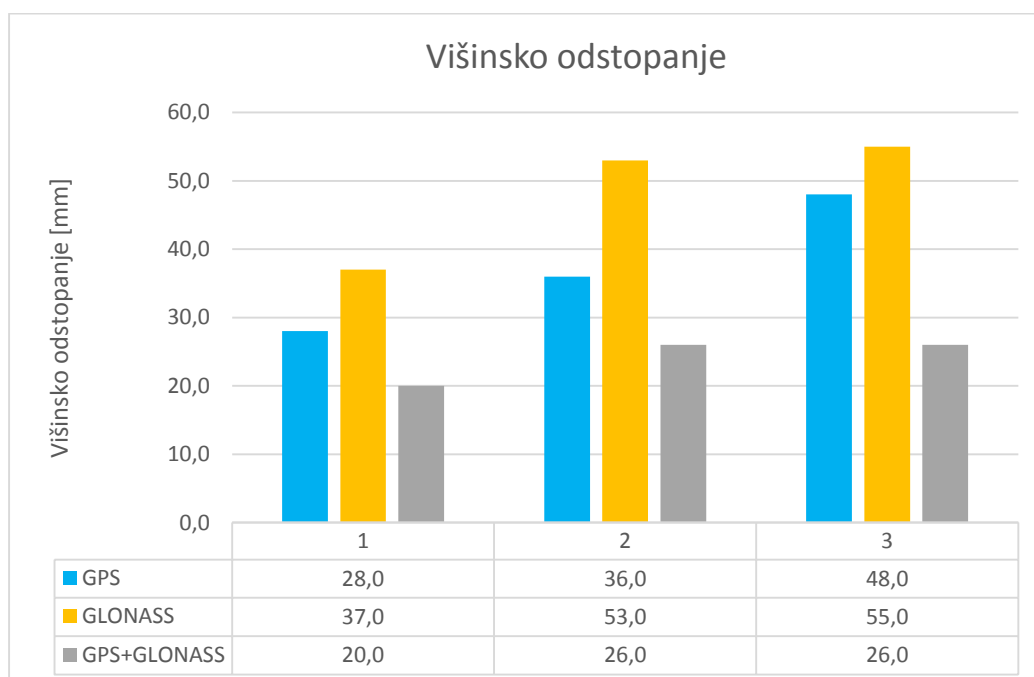


V Grafikonu 2 so prikazana položajna odstopanja koordinate, določenih v posameznih meritvah. Položajna odstopanja so podana v milimetrih in so prikazana s stolpci. Na abscisi imamo označeno serijo meritev. Z modro so označena odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS na

točki FGG1, z oranžno so označena odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo so označena odstopanja koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS+GLONASS na točki FGG4.

Kot vidimo največ odstopajo koordinate, določene na osnovi opazovanj GLONASS, ki so bila opravljena sredi tretje serije. To lahko povežemo s številom opazovanih satelitov GLONASS in razporeditve le-teh. Na Sliki 7 lahko vidimo, da se je takrat zmanjšalo število razpoložljivih satelitov GLONASS s 6 na 4. Vrednost HDOP pa je bila okoli 1.7.

Grafikon 3: Višinsko odstopanje od kontrolnih točk v mm

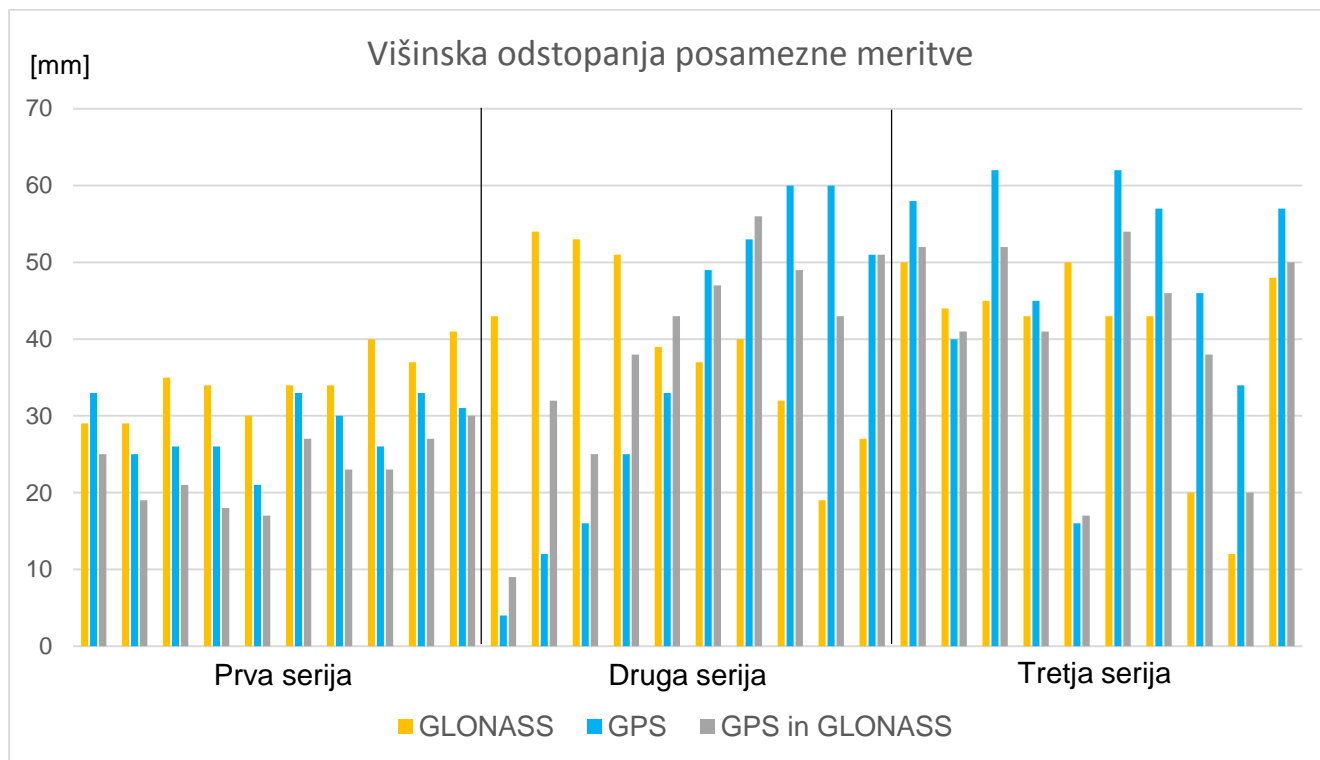


V Grafikonu 3 so prikazana odstopanja aritmetičnih sredin višin določenih z metodo RTK od referenčnih višin določenih s statično metodo. Višinska odstopanja so predstavljena s stolpci. Numerične vrednosti odstopanj so podana pod stolpci, v milimetrih.. Z modro barvo so označena odstopanja višin določenih na osnovi opazovanj GPS na točki FGG1, z oranžno odstopanja višin določenih na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo odstopanja višin določenih na osnovi opazovanj GPS in GLONASS na točki FGG4.

Nasprotno od odstopanj horizontalnega položaja so največja odstopanja v višini pri opazovanjih GLONASS. Kljub temu da imamo večino časa na razpolago več satelitov GLONASS, nam to ne zagotavlja boljših rezultatov. Veliko vpliv na kakovost položaja ima tudi geometrijska razporeditev satelitov (kar je odvisno od VDOP) v času opazovanj. Večja odstopanja koordinat, določenih na osnovi opazovanji GLONASS, so verjetno posledica nižje povprečne vrednosti VDOP. V prvi in

drugi seriji so bile namreč za GPS povprečne vrednosti VDOP nižje, in sicer 1,78 in 1,73. V primeru opazovanj GLONASS sta bili povprečni vrednosti VDOP 1,92 in 1,98. Pri tretji seriji pa lahko predvidevamo, da so odstopanja večja pri GLONASS zaradi manjšega števila satelitov kljub boljši vrednosti VDOP. Najmanjše odstopanje višin pa je pričakovano zopet za višine določene na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS.

Grafikon 4: Višinska odstopanja za posamezne meritve



V Grafikonu 4 so prikazana višinska odstopanja za posamezne meritve. Višinska odstopanja so podana v milimetrih in so prikazana s stolpci. Na abscisi imamo označeno serijo meritev. Z modro so označena odstopanja višin določenih na osnovi opazovanj GPS na točki FGG1, z oranžno so označena odstopanja višin določenih na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo so označena odstopanja višin določenih na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS na točki FGG4.

Predvidevamo, da so višinska odstopanja bolj odvisna od razporeditve satelitov oziroma vrednosti VDOP kot pa od števila satelitov. VDOP vrednost se je pri meritvah na osnovi opazovanj GPS zelo poslabšala skozi dan. VDOP vrednosti meritev na osnovi GLONASS pa je skozi dan variirala okoli vrednosti 2. Kot vidimo, se tudi odstopanja na osnovi opazovanj GPS večajo skozi dan. Na drugi strani pa odstopanja na osnovi GLONASS variirajo med 3 mm in 5 mm. Najmanjša odstopanja

pričakovano dobimo za višine določene na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONAS, kjer je bila vrednost VDOP vedno dobra.

5.2 Analiza koordinat, določenih s programom Bernese; GPS Software, Version 5.0.

Koordinate, ki smo jih določili z obdelavo opazovanj z Bernese GPS Softwarejem, smo predstavili v poglavju Obdelava s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0, koordinate pa so predstavljene v Preglednici 6.

Pred primerjavo smo morali pretvoriti elipsoidne koordinate v ravninske koordinate državnega koordinatnega sistema D96/TM in elipsoidne višine v nadmorske višine. Postopek pretvorbe je potekal po istem postopku kot pri pretvorbi koordinat, določenih s statično izmero in koordinate določene z metodo RTK izmere.

V Preglednici 6 so prikazani rezultati obdelave s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0., in sicer ravninske koordinate v državnem koordinatnem sistemu D96/TM, elipsoidne višine ter standardni odkloni ravninskih koordinat n in e ter elipsoidnih višin. Vsi rezultati so podani v metrih. V stolpcu opazovanja navajamo, katera opazovanja smo upoštevali v obdelavi.

Preglednica 6: Rezultati obdelave s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0

Opazovanja	Točke	n	e	h	σ_n [m]	σ_e [m]	σ_h [m]
GLONASS	FGG1	100784,725	460879,325	367,537	0,0001	0,0003	0,0003
	FGG2	100812,120	460938,622	367,539	0,0001	0,0003	0,0003
	FGG4	100764,282	460888,827	367,537	0,0001	0,0003	0,0003
GPS	FGG1	100784,721	460879,328	367,537	0,0001	0,0002	0,0003
	FGG2	100812,120	460938,621	367,539	0,0001	0,0002	0,0003
	FGG4	100764,282	460888,831	367,537	0,0001	0,0002	0,0003
GPS in GLONASS	FGG1	100784,723	460879,326	367,537	0,0001	0,0001	0,0002
	FGG2	100812,119	460938,620	367,539	0,0001	0,0001	0,0002
	FGG4	100764,281	460888,827	367,537	0,0001	0,0001	0,0002

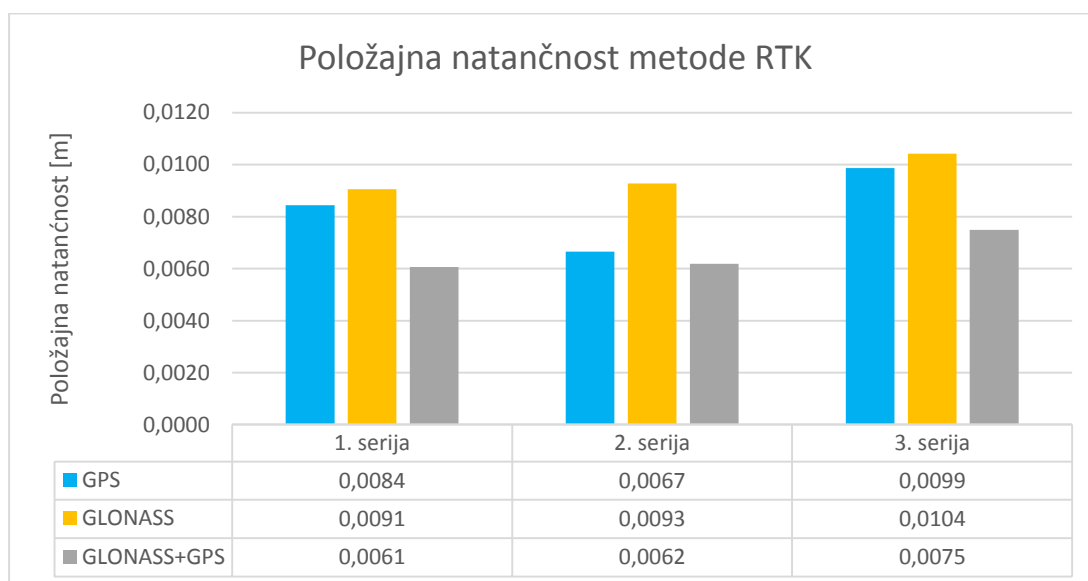
Kot lahko vidimo iz vrednosti standardnih odklonov, so zopet najnatančnejše koordinate, določene na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS, saj imamo na razpolago več satelitov in boljše razporeditev le-teh. Opazimo lahko, da od koordinat določenih na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS, ki so v našem primeru najnatančnejše, bolj odstopajo koordinate določene na osnovi GPS. So pa razlike med sistemi minimalne. To lahko pripišemo daljšemu času trajanja meritev in s tem večjemu številu opazovanj.

Kot vidimo, koordinate določene s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0 odstopajo za 50 cm od referenčnih koordinat določenih s statično metodo. Ta razlika je posledica razlik med koordinatnima sistema ITRS in ETRS. Kot smo omenili, so koordinate, določene na osnovi obdelave opazovanj s programom Bernese, GPS Software, Version 5.0 pridobljene v koordinatnem sistemu ITRS, koordinate, določene s programom LGO pa v ETRS89.

5.3 Natančnosti koordinat določenih z metodo RTK

Kot smo omenili, smo predstavili tudi natančnosti horizontalnih koordinat in višin, določenih z metodo RTK. Natančnost je predstavljena s standardnimi odkloni. Podatke o natančnosti smo pridobili s programom LGO, ki nam je omogočal izvoz standardnih odklonov koordinat e in n ter višine. Natančnost horizontalnih koordinat smo izračunali z enačbo $\sigma_{Hz} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2}$. Za lažjo predstavitev natančnosti koordinat določenih z metodo RTK smo izračunali povprečne vrednosti standardnih odklonov horizontalnih koordinat in višin.

Grafikon 5: Natančnost horizontalnih koordinat, določenih z metodo RTK

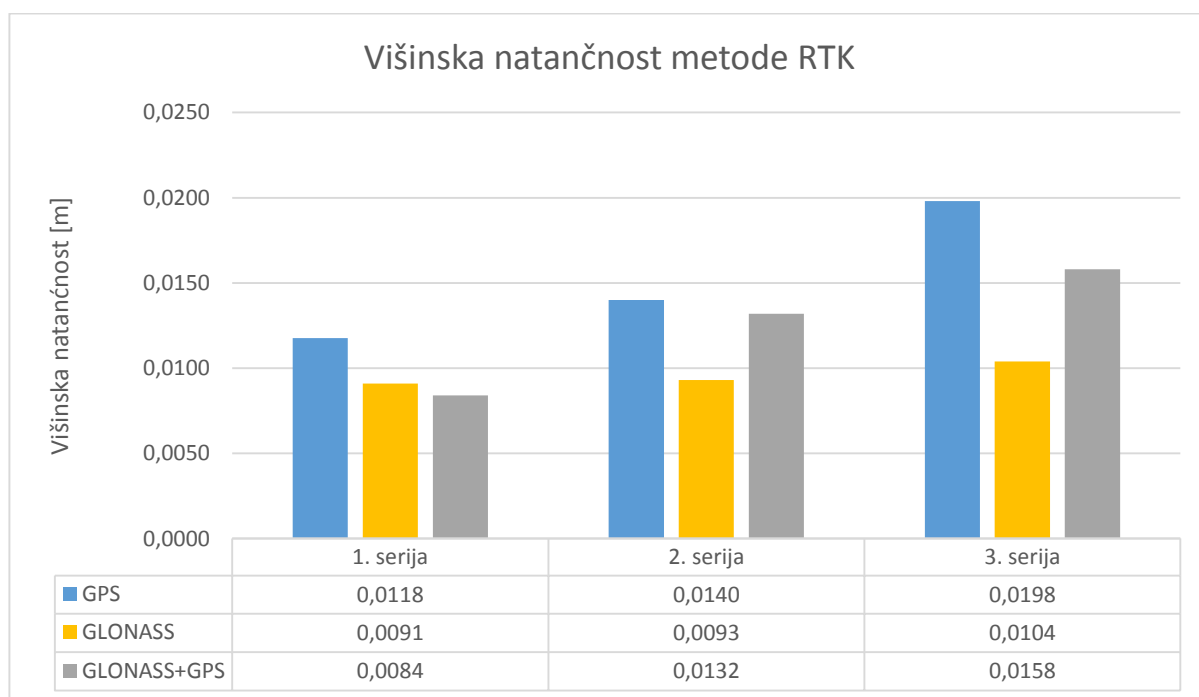


V Grafikonu 5 je prikazana natančnost horizontalnih koordinat, določenih z metodo RTK. Na abscisi so prikazane serije meritev z metodo RTK. Natančnost horizontalnih koordinat je predstavljena s povprečjem standardnih odklonov horizontalnih koordinat. Na abscisi so prikazane serije meritev z metodo RTK. Natančnost horizontalnih koordinat je prikazana s stolpci. Numerične vrednosti povprečnih standardnih odklonov horizontalnih koordinat so prikazane v tabeli pod stolpci. Natančnost je podana v metrih. Z modro barvo je označena natančnost horizontalnih koordinat na osnovi opazovanj GPS na točki FGG1, z oranžno natančnost horizontalnih koordinat

na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo natančnost horizontalnih koordinat na osnovi skupnih opazovanj GPS in GLONASS na točki FGG4.

Kot lahko vidimo, je v našem primeru natančnost horizontalnih koordinat, določenih na osnovi opazovanj GLONASS, zelo podobna natančnosti horizontalnih koordinat, določenih na osnovi opazovanj GPS. Najboljšo natančnost horizontalnih koordinat smo pridobili na točki FGG4, na kateri smo opazovali satelite obeh sistemov GNSS.

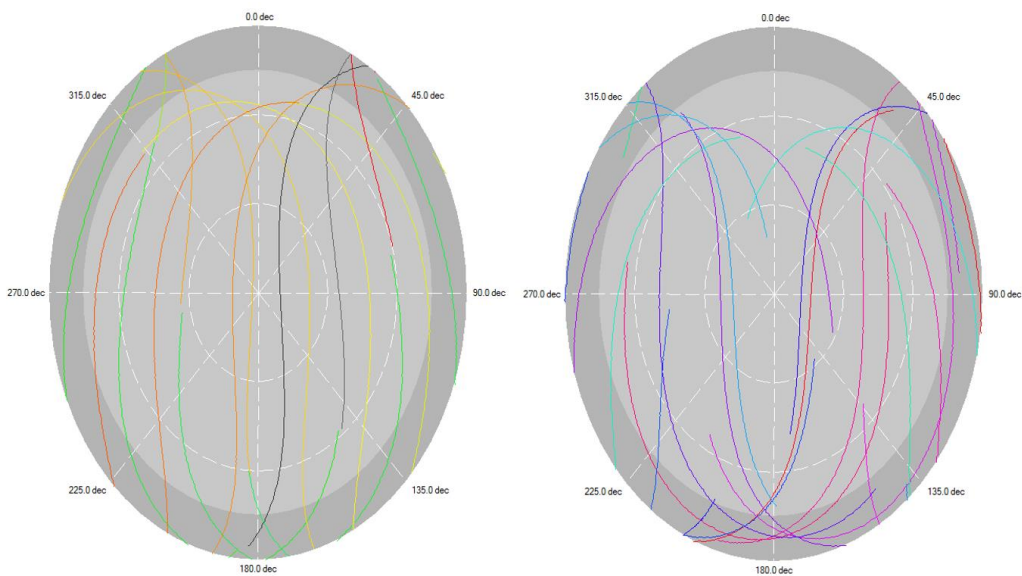
Grafikon 6: Višinska natančnost, določena z metodo RTK



Natančnosti določitve višin je predstavljena s aritmetično sredino standardnih odklonov višin. Natančnost določitve višin nas je zelo presenetila, saj je najboljša za točko FGG2, ki je bila določena na osnovi opazovanj GLONASS satelitov. Natančnost določitve višin je prikazana v Grafikonu 6. Natančnost določitve višin je prikazana s stolpci. Numerične vrednosti povprečnih standardnih odklonov višin, so prikazane v tabeli pod stolpci. Natančnost določitve višin je podana v metrih. Z modro so označene natančnosti višin, določenih na osnovi opazovanj GPS na točki FGG1, z oranžno natančnosti višin, določenih na osnovi opazovanj GLONASS na točki FGG2 in s sivo natančnosti višin, določenih na osnovi opazovanj GPS in GLONASS na točki FGG4.

Za boljšo višinsko natančnost moramo imeti satelite razporejene po celem horizontu. Zato ima GLONASS boljšo višinsko natančnost, saj ima večjo inklinacijo ($64^{\circ}8'$) kot pa GPS (55°). To dejstvo bolj vpliva na določitev višin na večjih geografskih širinah. Podobno je tudi v našem primeru, saj nam GLONASS sateliti zaradi večje inklinacije »pokrijejo« večji del horizonta. To lahko

vidimo tudi na Sliki 7, ki prikazuje poti satelitov, po inklinaciji in azimutu. Levi slika prikazuje poti satelitov GLONASS, desna pa satelitov GPS.



Slika 7: Projektije tirnic satelitov na horizont v času meritev z metodo RTK

Na splošno se je natančnost skozi dan slabšala. To lahko povežemo s številom razpoložljivih satelitov, saj se je to zmanjšalo s 14 na 10.

6 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil analizirati kakovost koordinat določenih na osnovi opazovanj GPS, opazovanj GLONASS in na osnovi skupne uporabe opazovanj GPS in GLONASS. Zasnovali smo postopek za primerjavo koordinat določenih v različnih sistemih, opravili precej poskusnih meritev, ugotovili, kako lahko uporabimo le opazovanja v sistemu GLONASS za določitev koordinat točk.

Sama terenska izmera je potekala brez večjih problemov. Nekaj težav smo imeli pri obdelavi podatkov, in sicer s programsko opremo, ki lahko obdela le opazovanja GLONASS, saj večina komercialne programske opreme ne podpira uporabe RINEX datotek za opazovanja GLONASS.

Pri analizi rezultatov smo imeli nekaj težav z analizo obdelave opazovanj s programsko opremo Bernese, GPS Software, Version 5.0. Rezultati določitve koordinat z opazovanji GPS in GLONASS pa so bili pričakovani. Opazimo lahko, da se je natančnost koordinat, določenih na osnovi opazovanj GLONASS, že povsem približala natančnosti koordinat, določenih na osnovi opazovanj GPS. To je zelo zanimiva ugotovitev, saj se v vsakdanji geodetski praksi pogosto uporabljajo vsa razpoložljiva opazovanja GNSS oziroma opazovanja obeh sistemov GPS in GLONASS. Kot vidimo iz opravljenih analiz, nam to ne izboljša samo kakovost koordinat, ampak tudi olajša delo na terenu, saj imamo na razpolago večje število satelitov.

Število razpoložljivih satelitov se bo v prihodnosti še povečalo. Zelo aktivna je Evropska unija s sistemom Galileo kot tudi Kitajska s sistemom BeiDou. To je zelo dobrodošlo, saj se bo s tem še izboljšala kakovost in razmere za izvajanje meritev, skrajšal pa se bo potreben čas meritev za določitev položaja na osnovi opazovanj GNSS.

VIRI

- [1] Egnos-portal.gsa.europa.eu. 2015. *What is GNSS? | EGNOS Portal*.
<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/what-gnss>
(Pridobljeno 6. 8. 2015)
- [2] Navipedia.net. 2015. *Category:GPS - Navipedia*
<http://www.navipedia.net/index.php/Category:GPS>
(Pridobljeno 6. 8. 2015)
- [3] Navipedia.net. 2015. *Category:GLONASS - Navipedia*
<http://www.navipedia.net/index.php/Category:GLONASS>
(Pridobljeno 6. 8. 2015)
- [4] Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M. 2014. GNSS v geodeziji – *izbrana poglavja*. Študijsko gradivo za univerzitetni študij geodezije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo: loč. pag.
- [5] Chowdhury, R., Almouloudi, A., Ghosh, R., Shah, F. in Cawley, C. 2015. *GLONASS – The GPS Alternative You Never Knew Existed*.
<http://www.makeuseof.com/tag/glonass-gps-alternative-never-knew-existed/>
(Pridobljeno 6. 8. 2015)
- [6] Live View GPS Tracking Blog. 2014. *How do Russia's GLONASS and USA's GPS Compare*.
<http://www.liveviewgps.com/blog/russias-glonass-usas-gps-compare/>
(Pridobljeno 6. 8. 2015)

Ostali viri:

Konečnik, J. (2008) *Integracija sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Konečnik): 122 str.

Ocepek, M. (2013) *Navigacijski sistemi*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ocepek): 65 str.

PRILOGE:

PRILOGA A: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GLONASS

PRILOGA B: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GPS

PRILOGA C: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GPS in GLONASS

PRILOGA D: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GLONASS

PRILOGA E: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GPS

PRILOGA F: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GPS in GLONASS

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA A: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GLONASS

ID	E	N	H	SE	SN	SH	GDOP	HDOP	PDOP	TDOP	VDOP	SAT(VSI)	SAT(UPO)	CAS
1	460938,084	100811,610	367,530	0,007	0,007	0,014	2,38	1,10	2,11	1,10	1,80	7	7	7:34:45
2	460938,084	100811,611	367,530	0,007	0,007	0,014	2,46	1,10	2,20	1,10	1,90	7	7	7:35:48
3	460938,083	100811,608	367,524	0,007	0,007	0,014	2,46	1,10	2,20	1,10	1,90	7	7	7:36:59
4	460938,080	100811,607	367,525	0,007	0,007	0,013	2,46	1,10	2,20	1,10	1,90	7	7	7:38:06
5	460938,082	100811,601	367,529	0,006	0,006	0,012	2,46	1,10	2,20	1,10	1,90	7	7	7:39:23
6	460938,087	100811,603	367,525	0,005	0,005	0,011	2,46	1,10	2,20	1,10	1,90	7	7	7:40:33
7	460938,087	100811,607	367,525	0,006	0,006	0,011	2,50	1,10	2,20	1,20	1,90	7	7	7:41:50
8	460938,086	100811,610	367,519	0,006	0,006	0,012	2,58	1,10	2,28	1,20	2,00	7	7	7:43:05
9	460938,082	100811,610	367,522	0,007	0,007	0,014	2,58	1,10	2,28	1,20	2,00	7	7	7:44:12
10	460938,085	100811,607	367,518	0,007	0,007	0,014	2,62	1,20	2,33	1,20	2,00	7	7	7:45:22
20	460938,088	100811,610	367,516	0,004	0,008	0,019	3,16	1,00	2,79	1,50	2,60	8	8	9:53:49
21	460938,089	100811,617	367,505	0,005	0,008	0,020	3,16	1,00	2,79	1,50	2,60	8	8	9:55:05
22	460938,088	100811,616	367,506	0,005	0,008	0,019	3,03	1,00	2,69	1,40	2,50	8	8	9:56:12
23	460938,088	100811,613	367,508	0,005	0,009	0,021	3,03	1,00	2,69	1,40	2,50	8	8	9:57:22
24	460938,089	100811,611	367,520	0,005	0,008	0,020	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	9:58:34
25	460938,089	100811,610	367,522	0,005	0,008	0,019	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	9:59:43
26	460938,091	100811,613	367,519	0,005	0,008	0,019	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	10:00:53
27	460938,090	100811,617	367,527	0,004	0,007	0,017	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	10:02:08
28	460938,088	100811,604	367,540	0,005	0,007	0,017	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	10:03:17
29	460938,081	100811,598	367,532	0,004	0,007	0,016	2,00	0,80	1,79	0,90	1,60	9	9	10:05:00
40	460938,088	100811,610	367,509	0,007	0,005	0,015	2,11	1,10	1,86	1,00	1,50	7	7	12:16:18
41	460938,085	100811,612	367,515	0,008	0,006	0,019	2,11	1,10	1,86	1,00	1,50	7	7	12:17:26
42	460938,093	100811,613	367,514	0,007	0,006	0,017	2,11	1,10	1,86	1,00	1,50	7	7	12:18:33
43	460938,096	100811,615	367,516	0,007	0,006	0,017	2,11	1,10	1,86	1,00	1,50	7	7	12:19:44
44	460938,102	100811,615	367,509	0,008	0,006	0,019	2,04	1,10	1,78	1,00	1,40	7	7	12:20:57
45	460938,097	100811,618	367,503	0,007	0,006	0,018	1,99	1,10	1,78	0,90	1,40	7	7	12:22:11
46	460938,108	100811,609	367,516	0,010	0,009	0,031	1,93	1,10	1,70	0,90	1,30	7	7	12:32:31
47	460938,105	100811,604	367,516	0,010	0,008	0,035	2,78	1,50	2,34	1,50	1,80	6	6	12:33:47
48	460938,098	100811,610	367,539	0,007	0,006	0,032	3,62	1,70	3,02	2,00	2,50	5	5	12:34:57
49	460938,089	100811,599	367,547	0,011	0,008	0,048	3,62	1,70	3,02	2,00	2,50	5	5	12:36:11
50	460938,089	100811,607	367,511	0,006	0,005	0,029	3,67	1,80	3,08	2,00	2,50	5	5	12:37:21

PRILOGA B: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GPS

ID	E	N	H	SE	SN	SH	GDOP	HDOP	PDOP	TDOP	VDOP	SAT(VSI)	SAT(UPO)	CAS
GPS0001	460878,788	100784,218	365,521	0,003	0,005	0,009	3,06	1,40	2,61	1,60	2,20	6	6	7:34:44
GPS0002	460878,791	100784,215	365,529	0,004	0,006	0,011	3,23	1,50	2,75	1,70	2,30	6	6	7:35:47
GPS0003	460878,789	100784,216	365,528	0,005	0,007	0,013	3,23	1,50	2,75	1,70	2,30	7	6	7:36:58
GPS0004	460878,790	100784,217	365,528	0,005	0,007	0,012	2,17	1,20	1,92	1,00	1,50	7	7	7:38:05
GPS0005	460878,789	100784,215	365,533	0,005	0,007	0,012	2,17	1,20	1,92	1,00	1,50	7	7	7:39:22
GPS0006	460878,790	100784,223	365,521	0,005	0,008	0,013	2,24	1,20	2,00	1,00	1,60	7	7	7:40:32
GPS0007	460878,791	100784,225	365,524	0,005	0,008	0,012	2,24	1,20	2,00	1,00	1,60	7	7	7:41:49
GPS0008	460878,791	100784,222	365,528	0,005	0,008	0,013	2,24	1,20	2,00	1,00	1,60	7	7	7:43:03
GPS0009	460878,791	100784,222	365,521	0,005	0,008	0,013	2,24	1,20	2,00	1,00	1,60	7	7	7:44:11
GPS0010	460878,791	100784,214	365,523	0,004	0,007	0,011	2,24	1,20	2,00	1,00	1,60	7	7	7:45:21
GPS0020	460878,788	100784,200	365,550	0,005	0,006	0,017	2,09	1,00	1,89	0,90	1,60	7	7	9:53:48
GPS0021	460878,795	100784,201	365,542	0,004	0,005	0,014	2,09	1,00	1,89	0,90	1,60	7	7	9:55:00
GPS0022	460878,798	100784,201	365,538	0,004	0,005	0,013	2,09	1,00	1,89	0,90	1,60	7	7	9:56:12
GPS0023	460878,799	100784,203	365,529	0,003	0,004	0,012	2,72	1,20	2,33	1,40	2,00	7	6	9:57:21
GPS0024	460878,796	100784,204	365,521	0,004	0,005	0,013	2,01	1,00	1,80	0,90	1,50	7	7	9:58:33
GPS0025	460878,793	100784,210	365,505	0,004	0,005	0,013	2,01	1,00	1,80	0,90	1,50	7	7	9:59:43
GPS0026	460878,795	100784,209	365,501	0,004	0,005	0,013	2,60	1,20	2,25	1,30	1,90	7	6	10:00:52
GPS0027	460878,792	100784,212	365,494	0,004	0,005	0,013	2,60	1,20	2,25	1,30	1,90	7	6	10:02:07
GPS0028	460878,788	100784,217	365,494	0,004	0,006	0,015	2,60	1,20	2,25	1,30	1,90	6	6	10:03:17
GPS0029	460878,789	100784,210	365,503	0,005	0,006	0,017	2,52	1,20	2,16	1,30	1,80	6	6	10:04:59
GPS0040	460878,799	100784,221	365,496	0,003	0,005	0,012	2,88	1,10	2,46	1,50	2,20	7	7	12:16:16
GPS0041	460878,794	100784,214	365,514	0,004	0,006	0,014	2,88	1,10	2,46	1,50	2,20	7	7	12:17:25
GPS0042	460878,800	100784,225	365,492	0,004	0,006	0,014	2,88	1,10	2,46	1,50	2,20	7	7	12:18:32
GPS0043	460878,799	100784,217	365,509	0,005	0,007	0,016	2,96	1,10	2,55	1,50	2,30	7	7	12:19:44
GPS0044	460878,787	100784,219	365,538	0,007	0,011	0,024	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:20:55
GPS0045	460878,791	100784,221	365,511	0,005	0,007	0,017	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:22:10
GPS0046	460878,797	100784,222	365,492	0,005	0,007	0,017	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:32:31
GPS0047	460878,795	100784,221	365,497	0,005	0,008	0,020	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:33:47
GPS0048	460878,789	100784,221	365,508	0,008	0,011	0,029	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:34:56
GPS0049	460878,783	100784,224	365,520	0,009	0,013	0,033	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	7	7	12:36:11
GPS0050	460878,786	100784,222	365,497	0,005	0,008	0,019	3,01	1,10	2,55	1,60	2,30	8	7	12:37:20

PRILOGA C: Rezultati RTK-metode izmere na podlagi opazovanj GPS in GLONASS

ID	E	N	H	SE	SN	SH	GDOP	HDOP	PDOP	TDOP	VDOP	SAT(VSI)	SAT(UPO)	CAS
GPS0001	460888,291	100763,784	367,520	0,004	0,005	0,009	1,72	0,80	1,53	0,80	1,30	13	13	7:34:44
GPS0002	460888,292	100763,784	367,526	0,004	0,004	0,008	1,72	0,80	1,53	0,80	1,30	13	13	7:35:47
GPS0003	460888,292	100763,783	367,524	0,004	0,005	0,009	1,72	0,80	1,53	0,80	1,30	14	13	7:36:58
GPS0004	460888,293	100763,782	367,527	0,004	0,005	0,009	1,36	0,70	1,22	0,60	1,00	14	14	7:38:05
GPS0005	460888,292	100763,779	367,528	0,004	0,005	0,009	1,36	0,70	1,22	0,60	1,00	14	14	7:39:22
GPS0006	460888,294	100763,784	367,518	0,004	0,005	0,008	1,41	0,70	1,22	0,70	1,00	14	14	7:40:32
GPS0007	460888,294	100763,786	367,522	0,004	0,005	0,009	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	7:41:49
GPS0008	460888,294	100763,786	367,522	0,004	0,005	0,008	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	7:43:03
GPS0009	460888,293	100763,786	367,518	0,004	0,005	0,008	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	7:44:11
GPS0010	460888,292	100763,784	367,515	0,004	0,005	0,008	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	7:45:21
GPS0020	460888,287	100763,771	367,536	0,004	0,006	0,015	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	15	15	9:53:49
GPS0021	460888,291	100763,778	367,513	0,004	0,005	0,014	1,88	0,70	1,66	0,90	1,50	15	14	9:55:00
GPS0022	460888,294	100763,780	367,520	0,003	0,005	0,012	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	15	15	9:56:12
GPS0023	460888,294	100763,781	367,507	0,004	0,005	0,014	1,81	0,70	1,57	0,90	1,40	15	14	9:57:21
GPS0024	460888,294	100763,782	367,502	0,003	0,005	0,012	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	16	15	9:58:33
GPS0025	460888,293	100763,784	367,498	0,003	0,005	0,012	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	16	15	9:59:43
GPS0026	460888,295	100763,786	367,489	0,003	0,005	0,013	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	15	15	10:00:52
GPS0027	460888,292	100763,786	367,496	0,003	0,005	0,013	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	16	15	10:02:08
GPS0028	460888,291	100763,784	367,502	0,004	0,006	0,015	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	15	15	10:03:16
GPS0029	460888,287	100763,782	367,494	0,004	0,005	0,013	1,51	0,60	1,34	0,70	1,20	15	15	10:04:59
GPS0040	460888,300	100763,788	367,493	0,004	0,005	0,011	1,60	0,70	1,39	0,80	1,20	14	14	12:16:16
GPS0041	460888,296	100763,787	367,504	0,004	0,005	0,012	1,60	0,70	1,39	0,80	1,20	14	14	12:17:25
GPS0042	460888,302	100763,792	367,493	0,004	0,005	0,011	1,60	0,70	1,39	0,80	1,20	14	14	12:18:32
GPS0043	460888,300	100763,787	367,504	0,003	0,004	0,011	1,56	0,70	1,39	0,70	1,20	14	14	12:19:44
GPS0044	460888,291	100763,789	367,528	0,006	0,008	0,019	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	12:20:55
GPS0045	460888,306	100763,788	367,491	0,004	0,006	0,015	1,48	0,70	1,30	0,70	1,10	14	14	12:32:31
GPS0046	460888,302	100763,785	367,499	0,004	0,006	0,016	1,77	0,80	1,53	0,90	1,30	13	13	12:33:47
GPS0047	460888,294	100763,788	367,507	0,006	0,008	0,022	2,10	0,80	1,79	1,10	1,60	12	12	12:34:56
GPS0048	460888,289	100763,784	367,525	0,007	0,009	0,025	2,02	0,80	1,70	1,10	1,50	12	12	12:36:11
GPS0049	460888,292	100763,786	367,495	0,004	0,005	0,016	2,02	0,80	1,70	1,10	1,50	13	12	12:37:20

PRILOGA D: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GLONASS

Station name	Typ	Estimated	RMS error	3-D ellipsoid	2-D ellipse
--------------	-----	-----------	-----------	---------------	-------------

FGG1	X	4293760.0106	0.0003		
	Y	1110002.9505	0.0003		
	Z	4569042.7881	0.0003		
	U	367.5412	0.0003	0.0003	1.7
N 46	2	44.683449	0.0001	0.0001	176.6 0.0001 176.6
E 14	29	40.237665	0.0003	0.0003	-0.9 0.0003
FGG2	X	4293725.8551	0.0002		
	Y	1110055.1952	0.0003		
	Z	4569062.0686	0.0002		
	U	367.5452	0.0003	0.0003	1.9
N 46	2	45.582953	0.0001	0.0001	177.5 0.0001 177.5
E 14	29	42.987800	0.0003	0.0003	-0.1 0.0003
FGG4	X	4293771.8083	0.0002		
	Y	1110015.9501	0.0003		
	Z	4569028.6387	0.0002		
	U	367.5415	0.0003	0.0003	2.4
N 46	2	44.023226	0.0001	0.0001	176.5 0.0001 176.5
E 14	29	40.685690	0.0003	0.0003	-0.9 0.0003
GSR1	X	4292609.3348	0.0000		
	Y	1113639.4101	0.0000		
	Z	4569215.7481	0.0000		
	U	351.6766	0.0000	0.0000	0.0
N 46	2	53.286919	0.0000	0.0000	90.0 0.0000 90.0
E 14	32	37.386469	0.0000	0.0000	-0.0 0.0000

PRILOGA E: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GPS

Station name	Typ	Estimated value	RMS error	3-D ellipsoid	2-D ellipse

FGG1	X	4293760.0130	0.0002		
	Y	1110002.9547	0.0002		
	Z	4569042.7857	0.0002		
	U	367.5418	0,0003	0.0003	2.6
	N	46 2 44.683316	0,0001	0.0001	174.0 0.0001 174.2
	E	14 29 40.237829	0,0002	0.0002	-1.8 0.0002
FGG2	X	4293725.8488	0,0002		
	Y	1110055.1921	0,0002		
	Z	4569062.0619	0,0002		
	U	367.5356	0,0003	0.0003	4.2
	N	46 2 45.582959	0,0001	0.0001	175.6 0.0001 175.6
	E	14 29 42.987729	0,0002	0.0002	0.2 0.0002
FGG4	X	4293771.7959	0,0002		
	Y	1110015.9511	0,0002		
	Z	4569028.6275	0,0002		
	U	367.5252	0,0003	0.0003	2.8
	N	42 44.023249	0,0001	0.0001	173.8 0.0001 174.0
	E	14 29 40.685882	0,0002	0.0002	-2.1 0.0002
GSR1	X	4292609.3348	0.0000		
	Y	1113639.4101	0.0000		
	Z	4569215.7481	0.0000		
	U	351.6766	0.0000	0.0000	0.0
	N	46 2 53.286919	0.0000	0.0000	90.0 0.0000 90.0
	E	14 32 37.386469	0.0000	0.0000	0.0 0.0000

PRILOGA F: Rezultati obdelave s programom Bernese na podlagi opazovanj GPS in GLONASS

Station name	Typ	Estimated value	RMS error	3-D ellipsoid	2-D ellipse
--------------	-----	-----------------	-----------	---------------	-------------

FGG1	X	4293760.0094	0.0002				
	Y	1110002.9514	0.0001				
	Z	4569042.7835	0.0002				
	U	367.5373	0,0002	0.0002	1.8		
	N	46 2 44.683368	0,0001	0.0001	175.2	0.0001	175.3
	E	14 29 40.237723	0,0001	0.0001	0.8	0.0001	
FGG2	X	4293725.8518	0,0001				
	Y	1110055.1923	0,0001				
	Z	4569062.0629	0,0001				
	U	367.5384	0,0002	0.0002	3.4		
	N	46 2 45.582913	0,0001	0.0001	176.2	0.0001	176.1
	E	14 29 42.987706	0,0001	0.0001	-0.7	0.0001	
FGG4	X	4293771.8050	0,0002				
	Y	1110015.9501	0,0001				
	Z	4569028.6349	0,0001				
	U	367.5365	0,0002	0.0002	2.6		
	N	46 2 44.023216	0,0001	0.0001	175.2	0.0001	175.4
	E	14 29 40.685728	0,0001	0.0001	-2.2	0.0001	
GSR1	X	4292609.3348	0.0000				
	Y	1113639.4101	0.0000				
	Z	4569215.7481	0.0000				
	U	351.6766	0.0000	0.0000	0.0		
	N	46 2 53.286919	0.0000	0.0000	90.0	0.0000	90.0
	E	14 32 37.386469	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	