

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:

Žula, B., 2015. Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B.): 33 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:

Žula, B., 2015. Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B.): 33 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:

BORUT ŽULA

**ANALIZA KAKOVOSTI METOD ZA DOLOČANJE
POLOŽAJA V AKTIVNIH OMREŽJIH GNSS**

Diplomska naloga št.: 97/GIG

**QUALITY ANALYSIS OF METHODS FOR POSITIVE
DETERMINATION OF ACTIVE GNSS NETWORKS**

Graduation thesis No.: 97/GIG

Mentor:

prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:

asist. mag. Oskar Sterle

Ljubljana, 17. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

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

IZJAVE

Podpisani Borut Žula izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.
Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11.9.2015

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.5:681.783(497.4)(043.2)
Avtor: Borut Žula
Mentor: prof. dr. Bojan Stopar
Somentor: asist. mag. Oskar Sterle
Naslov: Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 33 str., 8 pregl., 21 sl.
Ključne besede: RTK, VRS, MAC, GSR1, referenčna postaja, ISO standard 17123-8, SIGNAL

Izvleček

V diplomski nalogi smo analizirali kakovost določitve položaja z metodo RTK v omrežju SIGNAL z uporabo različnih mrežnih konceptov in navezavo na eno referenčno postajo. Pri mrežnih konceptih smo uporabili koncept MAC (ang. Master-Auxiliary) in VRS (ang. Virtual Reference Station). Sama kakovost položaja je bila ocenjena na podlagi točnosti koordinat, katera je bila definirana kot razlika med referenčnimi koordinatami in koordinatami pridobljenimi z metodo RTK. Referenčne koordinate so bile pridobljene s statično metodo izmere GNSS. Kakovost metode RTK smo ocenili po standardu ISO 17123-8 po katerem smo tudi ocenili grobo pogrešene koordinate ter jih odstranili iz analiz. Preverili smo do kakšnih odstopanj v kakovosti položaja prihaja pri uporabi istega omrežja postaj GNSS s sprejemniki različnih proizvajalcev. Uporabili smo sprejemnike znamk Leica, Trimble in Javad.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.5:681.783(497.4)(043.2)
Author: Borut Žula
Supervisor: Prof. Bojan Stopar, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Oskar Sterle, M. Sc.
Title: Quality analysis of methods for position determination in active GNSS networks
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 33 p., 8 tab., 21 fig.
Key words: RTK, VRS, MAC, GSR1, reference station, ISO standard 17123-8, SIGNAL

Abstract

In this thesis, we analyzed the quality of position determination with the method of RTK in the Slovenian GNSS network SIGNAL. For position determination we used method RTK in various network concepts and using one reference station. We used network concept MAC (Eng. Master-Auxiliary Concept) and VRS (Eng. Virtual Reference Station). The quality of the position has been estimated based on the accuracy of coordinates, which was defined as the difference between the reference coordinates and the coordinates obtained by the method of RTK. Reference coordinates were obtained with GNSS static method. The quality of RTK-method, was evaluated according to ISO 17123-8, for which we also estimated gross-errors in coordinates and removed them from the analysis. We analyzed the differences in the position quality, when we use the same network, but different GNSS receivers. We used Leica, Trimble and Javad receivers.

ZAHVALE

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge bi se posebej zahvalil mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju in somentorju asist. mag. Oskarju Sterletu.

Zahvalil bi se tudi Geodetski upravi Republike Slovenije, podjetju Geograd in Geodetskemu inštitutu Slovenije za izposojlo instrumentov.

Ne nazadnje pa se zahvaljujem tudi družini, še posebej pa stari mami Danici za podporo in spodbudo.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	I
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALE	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 DOLOČITEV POLOŽAJA V GNSS V REALNEM ČASU	2
2.1 Najbližja referenčna postaja	2
2.2 Omrežje postaj GNSS.....	2
2.3 Mrežni koncepti določitve položaja v načinu RTK.....	3
2.3.1 Koncept MAC	4
2.3.2 Koncept VRS.....	6
3 MERITVE	7
3.1 Merski instrumenti in pribor	7
3.2 Izvedba meritev.....	8
3.2.1 Statična metoda izmere	8
3.2.2 Metoda izmere RTK.....	9
3.2.3 Poenostavljeni preizkus po ISO standardu 17123-8	9
4 NAKNADNA OBDELAVA PODATKOV MERITEV	11
4.1 Obdelava opazovanj statične metode GNSS-izmere.....	11
4.2 Naknadna obdelava podatkov meritev metode RTK	11
4.3 Izračun dolžin in višinskih razlik	12
4.4.1 Referenčne vrednosti za določitev točnosti koordinat, določenih z metodo RTK	13
4.4.2 Referenčne vrednosti za oceno prisotnosti grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik.....	13
5 ANALIZA	14
5.1 Točnost metode izmere RTK.....	14
5.1.1 Analiza točnosti določitve koordinat s sprejemnikom Leica Viva GS 15.....	14
5.1.2 Analiza točnosti določitve koordinat s sprejemnikom Javad TRIUMPH-VS.....	17

5.1.3 Analiza točnosti določitve koordinat sprejemnika Trimble R8 GNSS.....	19
5.1.4 Analiza točnosti določitve koordinat z naknadno obdelavo izmere RTK.....	21
5.2 Iskanje grobo pogrešenih koordinat	24
5.2.1 Sprejemnik Trimble R8 GNSS	24
5.2.2 Sprejemnik Leica Viva GS 15	26
5.2.3 Sprejemnik Javad TRIUMPH-VS	26
5.2.4 Končne ugotovitve in analize točnosti določitve koordinat.....	27
6 ZAKLJUČEK	30
VIRI	31
VIRI SLIK	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: S strani proizvajalca določena natančnost določitve koordinat pri statični izmeri sprejemnika GNSS Leica Viva GS 15.....	7
Preglednica 2: S strani proizvajalca določena natančnost določitve koordinat pri izmeri RTK s sprejemniki GNSS.....	7
Preglednica 3: Uporabljeni sprejemniki ter datumi testnih meritev RTK.....	9
Preglednica 4: Koordinate točk v ETRS 89 koordinatnem sistemu.....	13
Preglednica 5: Koordinate točk v ravninskem koordinatnem sistemu D96/TM.....	13
Preglednica 7: Primerjava točnosti določitve koordinat točke FGG1 z različnimi koncepti.	28
Preglednica 8: Primerjava točnosti določitve koordinat točke FGG4 z različnimi koncepti.	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Ena referenčna postaja (Geoservis, 2015a).....	2
Slika 2: Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS SIGNAL (SIGNAL, 2015c).....	3
Slika 3: Del omrežja uporabljenega pri konceptu MAC (Geoservis, 2015b).....	5
Slika 4: Shematski prikaz mrežnega koncepta VRS (Trimble, 2013).....	6
Slika 5: Sprejemniki za izvedbo testiranj na strehi FGG.....	8
Slika 6: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Leica Viva GS 15 od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.	14
Slika 7: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat od referenčnih za sprejemnik Leica Viva 15 določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.	15
Slika 8: Odstopanje višin sprejemnika Leica Viva GS 15 od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.....	16
Slika 9: DOP faktorji, dne 19.6.2015 (Trimble, 2015).	16
Slika 10: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Javad TRIUMPH-VS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.	17
Slika 11: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat od referenčnih za instrument Javad TRIUMPH-VS določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.....	18
Slika 12: Odstopanje višin sprejemnika Javad TRIUMPH-VS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.	18
Slika 13: DOP faktorji, dne 20.6.2015 (Trimble 2015).	19
Slika 14: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Trimble R8 GNSS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC.....	19
Slika 15: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC od referenčnih za instrument Trimble R8 GNSS.	20
Slika 16: Faktorji DOP dne 19.5.2015 (Trimble, 2015).	20
Slika 17: Odstopanje višin sprejemnika Trimble R8 GNSS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC.	21
Slika 18: Primerjava odstopanj horizontalnega položaja pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept MAC).	22
Slika 19: Primerjava odstopanj višin pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept MAC).....	22
Slika 20: Primerjava odstopanj horizontalnega položaja pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept VRS).	23
Slika 21: Primerjava odstopanj višin pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept VRS).	23

X

Žula , B. 2015. Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje, Geodezija in geoinformatika.

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Metoda GNSS RTK (ang. Global Navigation Satellite System Real Time Kinematic) je postala v zadnjih nekaj letih v geodeziji ena izmed najbolj uporabljenih metod za določitev položaja v prostoru. Največja uporabnost metode je, da lahko določimo položaj v realnem času z natančnostjo nekaj centimetrov. To nam omogoča hitro delo pri nalogah v zemljiškem katastru, katastru stavb, evidentiranju gospodarske javne infrastrukture, izdelavi geodetskih načrtov, itd.

Pri metodi RTK gre za relativno določitev položaja. To pomeni, da potrebujemo poleg sprejemnika, katerega koordinate določamo, tudi referenčni sprejemnik, ki se nahaja na točki z znanimi koordinatami. Torej potrebujemo dva sprejemnika, ki istočasno izvajata opazovanja istih satelitov GNSS ter imata vzpostavljeno medsebojno komunikacijsko povezavo za prenos podatkov z referenčnega do premičnega sprejemnika. Za določitev položaja premičnega sprejemnika so sprejeti podatki opazovanj referenčnega sprejemnika in lastna opazovanja premičnega sprejemnika skupaj obdelana.

Referenčni sprejemnik je lahko samostojen, lahko pa je referenčni sprejemnik tudi referenčna postaja aktivnega omrežja postaj GNSS. Ker pa so opazovanja obremenjena s prostorsko (in časovno) odvisnimi vplivi, natančnost določitve položaja premičnega sprejemnika pada z njegovo oddaljenostjo od referenčnega sprejemnika.

Za zmanjšanje prostorsko odvisnih vplivov na opazovanja so bili razviti t.i. mrežni koncepti določitve položaja v načinu RTK. Omrežje postaj GNSS sestavlja množica postaj, ki neprekinjeno izvajata opazovanja GNSS. Z njihovo skupno obdelavo v računskem centru omrežja se lahko določijo modeli prostorsko odvisnih vplivov na opazovanja (časovno odvisni vplivi se odstranijo tako, da se modeli prostorsko odvisnih vplivov neprekinjeno obnavljajo). Način določitve in uporabe vplivov na opazovanja na strani premičnega sprejemnika se med mrežnimi koncepti določitve položaja nekoliko razlikujejo. S tem pa se razlikuje tudi položaj sprejemnika GNSS, ki modele vplivov na opazovanja uporablja za določitev svojega položaja.

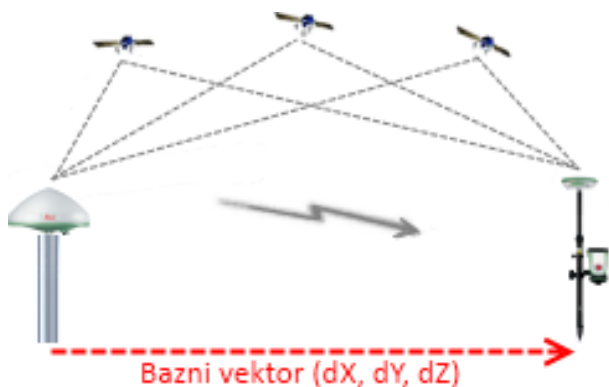
V okviru diplomske naloge bomo analizirali mrežne koncepte določitve položaja v načinu RTK, ki jih omogoča omrežje SIGNAL ter na njihovi osnovi določene koordinate in njihovo kakovost. Pri tem se bomo navezovali na poenostavljen preizkus po ISO standardu 17123-8.

2 DOLOČITEV POLOŽAJA V GNSS V REALNEM ČASU

V GNSS določamo položaj na osnovi kodnih in faznih opazovanj. Določitev položaja najvišje natančnosti nam omogočajo fazna opazovanja.

2.1 Najbližja referenčna postaja

Metoda RTK za določitev položaja v GNSS s centimetrovsko natančnostjo v realnem času temelji na uporabi faznih in kodnih opazovanj GNSS. Razvila se je sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja. Metoda vključuje referenčno postajo, ki posreduje »surova« opazovanja ali njihove popravke premičnemu sprejemniku preko komunikacijske povezave. Obdelava podatkov na premičnem sprejemniku vključuje postopke za določitev koordinat sprejemnika z visoko točnostjo za kar je potrebno ustrezno obdelati kodna in fazna opazovanja (Wanninger, 2008). Ena od največjih pomanjkljivosti metode RTK, ki temelji na eni referenčni postaji je zmanjševanje natančnosti koordinat premičnega sprejemnika, ko se povečuje razdalja med referenčnim in premičnim sprejemnikom. Za doseganje cm točnosti položaja dolžina baznega vektorja ne sme presežati 20 kilometrov. Ta omejitev temelji predvsem na vplivih na opazovanja z izvorom v atmosferi ter v satelitih (El-Mowafy, 2012).



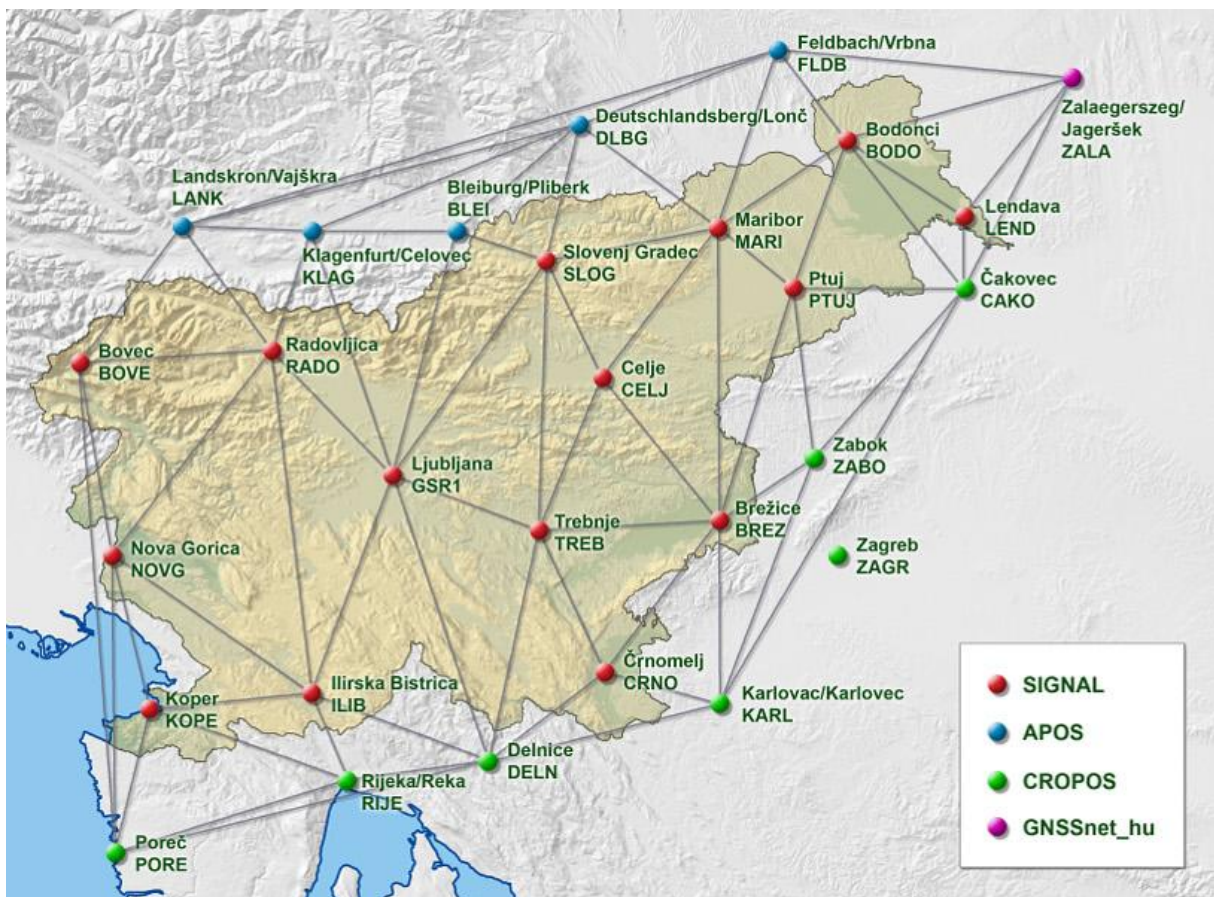
Slika 1: Ena referenčna postaja (Geoservis, 2015a).

2.2 Omrežje postaj GNSS

Napake, ki nastajajo pri določitvi položaja z navezavo na samo eno referenčno postajo, lahko deloma odpravimo, če uporabimo opazovanja več referenčnih postaj, ki se nahajajo v okolici premičnega sprejemnika. Tako se metoda RTK z uporabo podatkov ene referenčne postaje spremeni v mrežni koncept metode RTK. Določitev položaja z metodo RTK zahteva rešitev problema (fazne nedoločenosti) ne glede na to ali gre za uporabo podatkov enega referenčnega sprejemnika ali podatkov omrežja postaj. V primeru mrežnega koncepta morajo biti fazne nedoločenosti določene za vse referenčne postaje v realnem času.

Največjo težavo pri določitvi fazne nedoločenosti predstavljajo vplivi troposfere, ionosfere ter tirnic in ur satelitov (Wanninger, 2008).

Računski center, ki upravlja in nadzoruje delovanje omrežja postaj GNSS sprejema opazovanja referenčnih postaj ter določi fazno nedoločenost v celotnem omrežju. Ko je za celotno omrežje rešen problem fazne nedoločenosti se vzpostavi model vplivov na opazovanja. Za posamezen mrežni koncept z metodo RTK se nato pripravijo ustrezni t.i. mrežni popravki (Leica Geosystem, 2005).



Slika 2: Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS SIGNAL (SIGNAL, 2015c).

2.3 Mrežni koncepti določitve položaja v načinu RTK

Poznamo več mrežnih konceptov določitve položaja v načinu RTK:

- VRS (Virtual Reference Station),
- PRS (Pseudo-Reference Station),
- MAC (Master-Auxiliary) in
- FKP (Flächenkorrekturparameter).

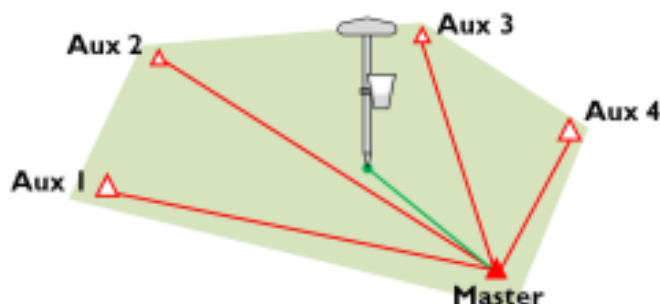
Podrobno bomo predstavili predvsem prva dva koncepta, saj ju omogoča tudi slovensko državno omrežje postaj GNSS SIGNAL (SI-Slovenija, G-geodezija, N-navigacija, L-lokacija). Oba koncepta vključujeta uporabo modelov prostorsko odvisnih vplivov na opazovanja, z uporabo katerih je mogoče doseči ustrezno kakovost položaja premičnega sprejemnika tudi ob večjih razdaljah med referenčnimi postajami in premičnim sprejemnikom. Mrežni koncepti se razlikujejo tudi v tem kje so bo izvedla mrežna rešitev določitve položaja. Lahko se izvede v računskem centru omrežja, lahko na premičnem sprejemniku. Ko se mrežna rešitev izvede na premičnem sprejemniku, ta sam odloča katere referenčne postaje ter koliko jih bo izbral za strategijo s katero bo zmanjšal prostorsko odvisne vplive na opazovanja. Prednost tega načina je, da lahko premični sprejemnik nenehno ocenjuje kakovost določitve položaja v načinu RTK in spremlja kakovost modelov vplivov na opazovanja oziroma njihovo uspešnost odstranitve oz. zmanjšanja vplivov na opazovanja. Če sprejemnik oceni, da določitev položaja RTK ni optimalna se lahko odloči za drugačno strategijo mrežne rešitve. To naredi npr. takrat, ko pride do sprememb v atmosferi. Ko pa se mrežna rešitev izvede v računskem centru, se največkrat uporabi le ena strategija za vse premične sprejemnike. V računskem centru namreč ni na razpolago podatka o lokaciji premičnega sprejemnika ter tudi ne, kakšne so dejanske razmere na njegovi lokaciji. Zato lahko pričakujemo, da določitev položaja premičnega sprejemnika ne bo optimalna.

Računski center omrežja postaj GNSS zbira opazovanja z vseh referenčnih postaj v omrežju in vzpostavlja modele vplivov na opazovanja. Na osnovi opazovanj v omrežju ter modelov vplivov na opazovanja so določeni popravki, ki se pošljejo premičnemu sprejemniku. Vendar vsi koncepti popolnoma ne izkoriščajo teh podatkov. To se zgodi v primeru, ko premični sprejemnik in nekatere referenčne postaje sprejemajo opazovanja z npr.: 8 satelitov, ena referenčna postaja pa opazovanja z npr.: 5 skupnih satelitov. Takrat se bo pri določenih konceptih kot je npr.: VRS zgodilo to, da se bodo mrežni popravki določili le na podlagi opazovanj 5 skupnih satelitov. V tem primeru lahko pride do situacije, da premični sprejemnik kljub opazovanjem z 8 satelitov ne bo mogel določiti fazne nedoločenosti za vseh 8 satelitov ter tudi ne optimalno določiti svojega položaja (Leica Geosystems, 2008).

2.3.1 Koncept MAC

MAC je koncept, ki naj bi odpravil težavo z uporabo podatkov vseh razpoložljivih satelitov. Če pride do zgoraj omenjene situacije bodo pri konceptu MAC za mrežno rešitev uporabljena opazovanja z vseh 8 satelitov in ne le s 5 skupnih. Torej je pri konceptu MAC določitev položaja na osnovi mrežne rešitve na strani premičnega sprejemnika. Mrežni popravki pri konceptu MAC so določeni za opazovanja vseh referenčnih postaj v omrežju. Ker pa bolj

oddaljene referenčne postaje manj vplivajo na določitev prostorskih vplivov na opazovanja, se za določitev vplivov na opazovanja uporablja le del omrežja. Ta del omrežja sestavljajo glavna referenčna postaja (Master) in k pomožnih referenčnih postaj (Aux) (Brown in sod., 2006).



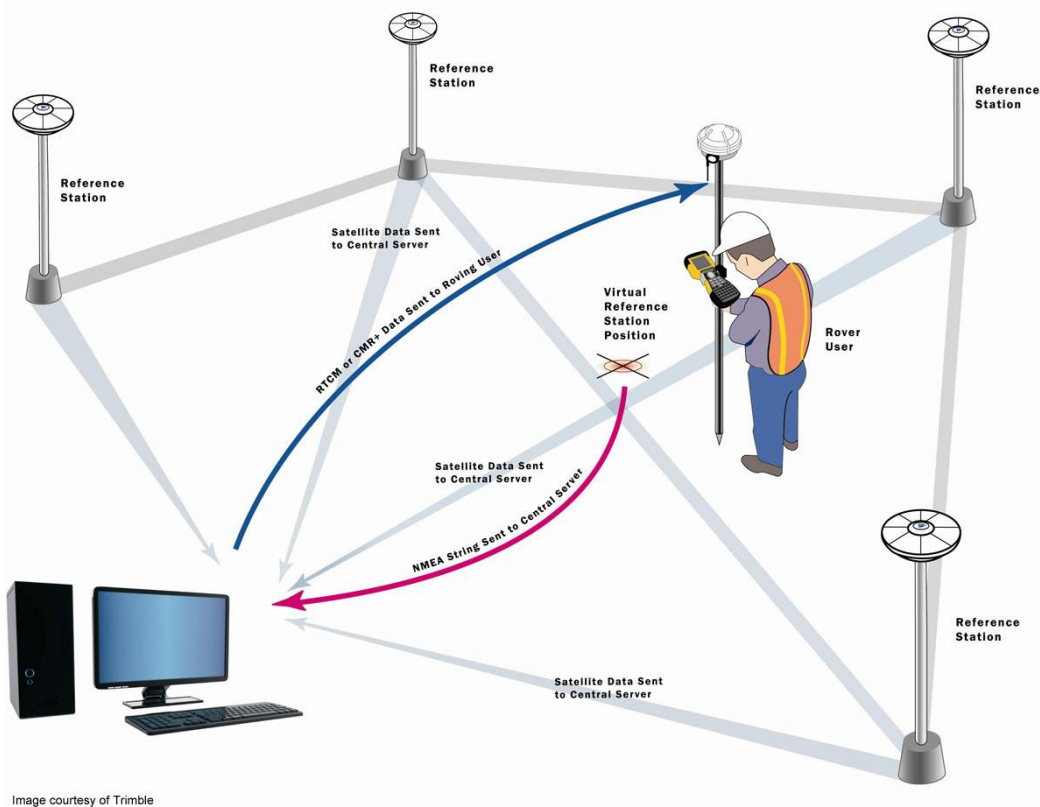
Slika 3: Del omrežja uporabljenega pri konceptu MAC (Geoservis, 2015b).

Ker poteka izvedba mrežne rešitve v konceptu MAC na premičnem sprejemniku je potrebno surova opazovanja in popravke opazovanj, določene na osnovi modelov vplivov na opazovanja, z glavne in pomožnih referenčnih postaj prenesti do premičnega sprejemnika. Tukaj gre za prenos velike količine podatkov zato se uporablja postopke za zmanjšanje količine podatkov in sicer tako, da se pošljejo opazovanja le za glavno postajo, za pomožne postaje pa le razlike opazovanj glede na glavno postajo. Da pride do še dodatnega zmanjšanja količine podatkov se namesto samih popravkov opazovanj prenašajo le razlike popravkov opazovanj.

Razlike popravkov opazovanj so določene v računskem centru omrežja GNSS postaj potem, ko je za celotno omrežje določena fazna nedoločenost. Za glavno referenčno postajo je po navadi izbrana mobilnemu sprejemniku najbližja referenčna postaja. Sama ideja, da je najbližja postaja izbrana za glavno (referenčno) temelji na tem, da v primeru, ko se mrežni popravki ne morejo določiti, lahko določi položaj z navezavo na najbližjo referenčno postajo. Ko premični sprejemnik pridobi opazovanja z glavne referenčne postaje in razlike popravkov opazovanj glede na glavno postajo, lahko določi vplive na opazovanja za svojo lokacijo. Premični sprejemnik nato, z upoštevanjem vplivov na opazovanja za svojo lokacijo določi fazno nedoločenost ter tudi svoj položaj (Takac, Lienhart, 2008).

2.3.2 Koncept VRS

Pri konceptu VRS se podatki za mrežno rešitev pripravijo v računskem centru omrežja. Mrežni popravki, se nanašajo na navidezno, to je neobstoječo (ne-fizično) referenčno postajo, ki se »nahaja« v bližini premičnega sprejemnika. Koordinate navidezne referenčne postaje prejme računski center preko komunikacijske povezave kot približne koordinate premičnega sprejemnika. Programska oprema v računskem centru na podlagi modelov vplivov na opazovanja določi popravke za položaj virtualne referenčne postaje, ki jih doda izračunanim vrednostim opazovanj med položaji satelitov in položajem virtualne referenčne postaje. Tako ustvarjena opazovanja, ki predstavljajo izračunane razdalje med položajem satelitov in položajem virtualne referenčne postaje, ki so jim dodani popravki opazovanj, določeni na osnovi modelov vplivov na opazovanja za položaj virtualne referenčne postaje imenujemo virtualna opazovanja. Virtualna opazovanja se preko komunikacijske povezave pošljejo premičnemu sprejemniku (El-Mowafy, 2012). Premični sprejemnik uporabi virtualna opazovanja skupaj z opazovanji, ki jih je opravil sam, za določitev baznega vektorja med položajem virtualne referenčne postaje in svojim položajem. Položaj premičnega sprejemnika je tako določen kot vektorska vsota absolutnega položaja virtualne referenčne postaje in baznega vektorja med virtualno referenčno postajo in premičnim sprejemnikom.



Slika 4: Shematski prikaz mrežnega koncepta VRS (Trimble, 2013).

3 MERITVE

Za namen analize kakovosti določitve koordinat z različnimi koncepti metode RTK smo izvedli več meritev v omrežju SIGNAL. Omrežje SIGNAL sestavlja 16 referenčnih postaj, katere so enakomerno razporejene po območju države Slovenije in so v medsebojni oddaljenosti do 70 km. Omrežje SIGNAL je v lasti Geodetske uprave Republike Slovenije, za njegovo delovanje pa skrbi Služba za GNSS, ki se nahaja na Geodetskem inštitutu Slovenije. Omrežje SIGNAL predstavlja v geodetskem smislu praktično realizacijo aktualnega horizontalnega državnega koordinatnega sistema D96 (SIGNAL, 2015a).

Meritve za namen analiz kakovosti koordinat, določenih z različnimi koncepti metode RTK smo opravili na strehi stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Jamovi cesti 2 v Ljubljani. Na osnovi različnih konceptov metode RTK smo določali koordinate točk-stebrov FGG1 in FGG4. Referenčne vrednosti koordinat teh točk smo določili s statično metodo izmere GNSS.

3.1 Merski instrumenti in pribor

Pri statični metodi izmere smo uporabili dva instrumenta saj je izmero potrebno opraviti na dveh točkah hkrati. Uporabili smo dva sprejemnika GNSS Leica Viva GS 15.

Preglednica 1: S strani proizvajalca določena natančnost določitve koordinat pri statični izmeri sprejemnika GNSS Leica Viva GS 15.

Leica Viva GS 15	Hz natančnost	V natančnost
Statična daljša opazovanja	3 mm; 0,1 ppm	3,5 mm; 0,4 ppm

Za analizo kakovosti metode RTK smo izbrali tri instrumente različnih proizvajalcev. Kriterij za izbor instrumenta je bil, da poleg relativne določitve položaja z navezavo na najbližjo referenčno postajo le-ta omogoča tudi določitev položaja s pomočjo mrežne rešitve VRS in/ali MAC.

Preglednica 2: S strani proizvajalca določena natančnost določitve koordinat pri izmeri RTK s sprejemniki GNSS.

Sprejemnik	Trimble R8 GNSS	Leica Viva GS 15	Javad TRIUMPH-VS
Hz natančnost	8 mm; 1 ppm	8 mm; 1 ppm	10 mm; 1 ppm
V natančnost	15 mm; 1 ppm	15 mm; 1 ppm	15 mm; 1,5 ppm
Višina antene	0,250 m	0,000 m	0,024 m



Slika 5: Sprejemniki za izvedbo testiranj na strehi FGG.

3.2 Izvedba meritev

Izbor lokacije strehe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo za izvedbo praktičnega dela te naloge je utemeljen s tem, da se stavba fakultete nahaja v bližini referenčne postaje GSR1 ter da so na strehi betonski stebri, ki omogočajo prisilno centriranje instrumenta. Meritve lahko razdelimo na dva dela. Prvi del obsega meritve s katerimi smo določili referenčne koordinate, drugi pa meritve, na osnovi katerih smo ocenjevali kakovost koordinat, določenih z različnimi metodami RTK.

3.2.1 Statična metoda izmere

Za določitev referenčnih koordinat smo izbrali statično metodo izmere GNSS. Statična metoda omogoča visoko, nekaj milimetrsko natančnost določitve koordinat z visoko zanesljivostjo. Zanesljivost določitve koordinat temelji na trajanju meritev, ki potekajo 30 minut ali več. Pridobljene podatke meritev je za določitev relativnega položaja dveh točk potrebno tudi kakovostno obdelati (Stopar, 2014). Statična metoda je bila izvedena na betonskih stebrih FGG1 in FGG4. Na obeh stebrih sta bila instrumenta GNSS prisilno centrirana ob višini instrumenta enaki 0,000 m. Meritve so na obeh stebrih potekale približno 6 ur. Na stebri FGG1 od 8:21 do 14:59, na stebri FGG4 pa od 8:23 do 14:58, dne 5. 5. 2015. Minimalni višinski kot satelitov je bil 15° , interval registracije meritev pa je bil 1 sekunda.

3.2.2 Metoda izmere RTK

Za namene analiz kakovosti določitve koordinat v načinu RTK z različnimi mrežnimi koncepti smo opravili več meritev z metodo RTK na točkah FGG1 in FGG4. Meritve so bile opravljene s tremi različnimi instrumenti v treh različnih dneh.

Preglednica 3: Uporabljeni sprejemniki ter datumi testnih meritev RTK.

Termin	Instrument
19.05.2015	Trimble R8 GNSS
19.06.2015	Leica Viva GS 15
20.06.2015	Javad TRIUMPH-VS

Osnovni namen meritev je bil ocena kakovosti koordinat, določenih z različnimi koncepti RTK. Kakovost koordinat določenih z različnimi koncepti RTK, smo primerjali z referenčnimi oziroma tistimi, ki so bile določene s statično izmero. Za preizkus kakovosti koordinat določenimi z različnimi koncepti RTK, smo izbrali postopek, ki je sicer predviden za ugotavljanje kakovosti instrumentov v izmeri RTK po standardu ISO-17123. Preizkus smo opravili po prilagojenem poenostavljenem preizkusu omenjenega standarda. Prilagodili smo ga zato, ker preizkus kakovosti določitve koordinat z različnimi koncepti mrežne določitve koordinat ni ista naloga kot preizkus instrumentov, ki ga opredeljuje standard ISO 17123-8.

3.2.3 Poenostavljeni preizkus po ISO standardu 17123-8

Poenostavljeni preizkus po ISO standardu 17123-8 nam omogoča, da preverimo kakovost določitve položaja z metodo RTK z izbranim sprejemnikom na izbranem delovišču. Poenostavljeni preizkus se navezuje na izbrano delovišče na katerem imamo določene testne točke. Potrebujemo tudi bazno postajo oziroma referenčni sprejemnik, ki je lahko najbližja permanentna postaja ali referenčna VRS postaja. Bazno postajo lahko izberemo poljubno saj standard ne definira točne izbire. Na delovišču se nahajata 2 testni točki, ki sta oddaljeni med seboj od 2 do 20 m.

Poenostavljeni preizkus obsega le eno serijo meritev. Serija pa je sestavljena iz 5 zaporednih nizov določitve koordinat na posamezni testni točki. Vsaka določitve koordinat je opravljena v vsaj 5 epohah. Nizi so opravljene v časovnem razmiku 5 minut torej preizkus traja 20 minut (Prešeren Pavlovčič in sod., 2010).

V našem primeru smo preizkus zastavili tako, da smo v enem nizu na enem stebru izvedli 5 zaporednih meritev, vsako v trajanju vsaj 5 epoh. Med zaporednimi meritvami smo meritve prekinili in na novo opravili določitve fazne nedoločenosti oziroma opravili inicializacijo faznih

meritev. Takoj po opravljenih meritvah na prvem stebru so sledile meritve na drugem približno 22,5 m oddaljenem stebru, kjer je bil postopek meritev enak kot na prvem. Naslednji niz meritev smo opravili po 40 minutah. Preizkus je skupaj obsegal 5 nizov in je skupaj trajal 160 minut. Z daljšim trajanjem preizkusa, kot ga zahteva standard ISO (160 minut, namesto 20 minut) smo skušali zmanjšati oziroma odstraniti vpliv večpotja oziroma vpliv na določitev koordinat zaradi odboja signala GNSS od bližnjih objektov. V 160 minutah pa se spremenijo tudi nekateri drugi časovno odvisni vplivi na opazovanja kot je geometrijska razporeditev satelitov in v manjši meri tudi vpliv ionosfere ter troposfere kar naj bi ugodno vplivalo na kakovost koordinat.

V istem dnevu sta bila z istim instrumentom opravljena dva poenostavljena preizkusa z 10 minutnimi časovnimi zamiki med nizi. En niz je obsegal 5 zaporednih meritev na obeh točkah z enim izmed mrežnih konceptov RTK. Vsak poenostavljen preizkus pa je vseboval 5 nizov meritev.

4 NAKNADNA OBDELAVA PODATKOV MERITEV

4.1 Obdelava opazovanj statične metode GNSS-izmere

Obdelava opazovanj, pridobljenih s statično metodo izmere GNSS je potekala v programskem okolju Leica Geo Office (LGO). Za samo relativno določitev koordinat le surova opazovanja z obeh instrumentov niso bila dovolj. Potrebno je bilo pridobiti tudi podatke opazovanj na referenčni postaji GSR1, precizne efemeride in podatke o vrsti-tipu antene sprejemnika GNSS. Sami podatki opazovanj na referenčni postaji GSR1 so bili pridobljeni s spletne strani omrežja SIGNAL, končne precizne efemeride (IGS) pa s spletne strani službe IGS. Podatki o kalibraciji anten so bili pridobljeni s spletne strani <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.

Pred obdelavo podatkov meritev je potrebno v programsko okolje uvoziti podatke o vrsti anten, surova opazovanja GNSS z obeh instrumentov in s permanentne postaje ter končne precizne efemeride IGS v formatu .sp3. Pri obdelavi podatkov meritev smo uporabili opazovanja nad višinskim kotom 15° ter model troposfere Hopfield. Rezultat obdelave je bazni vektor med referenčno postajo in točko, katere koordinate določamo. Kot smo omenili smo v našem primeru določali koordinate točk FGG1 in FGG4, ki bodo predstavljale referenčne vrednosti za koordinate določene z različnimi koncepti RTK.

4.2 Naknadna obdelava podatkov meritev metode RTK

Poleg koordinat, določenih z metodo RTK v realnem času, smo koordinate določili tudi z naknadno obdelavo podatkov meritev za kar smo uporabili iste meritve, kot jih je sprejemnik uporabil za določitev koordinat v realnem času. Pri določanju koordinat v realnem času smo uporabili način meritev, ki je omogočal tudi shranjevanje surovih meritev za naknadno obdelavo. Meritve za naknadno obdelavo je instrument shranil kot statične in kinematične. Ko smo opravljali meritve na točki so se shranile kot statične, ko smo meritve prekinili in s tem prekinili tudi določanje koordinat v načinu RTK pa so se shranile kot kinematične. Naknadno obdelavo smo opravili tako, da smo meritve obdelali kot kinematične. Podobno kot pri naknadni obdelavi statičnih meritev smo tudi tukaj potrebovali še dodatne vhodne podatke kot so podatki o antenah, končne natančne efemeride ter podatki meritev na permanentni postaji GSR1. Sama obdelava podatkov meritev je potekala s programsko opremo LGO.

4.3 Izračun dolžin in višinskih razlik

Analizo kakovosti koordinat določenih z metodo RTK želimo opraviti na osnovi koordinat, ki niso grobo pogrešene. Prisotnost grobo pogrešenih koordinat ocenimo s poenostavljenim preizkusom po ISO standardu 17123-8. Če hočemo odkriti grobo pogrešene določitve koordinat potrebujemo referenčne vrednosti, ki sta v tem primeru dolžina D^* in višinska razlika Δh^* med točkama FGG1 in FGG4. Standard zahteva, da sta referenčni vrednosti določeni z natančnostjo vsaj 3 mm in z drugo metodo izmere. Te vrednosti bi lahko zagotovili s pomočjo koordinat, ki smo jih določili s pomočjo statične metode izmere GNSS. Ker pa smo hoteli, da se referenčne vrednosti določijo neodvisno od meritev GNSS smo referenčne vrednosti dolžine in višinske razlike med FGG1 in FGG4 prevzeli po (Mencin, 2011). Višinske razlike so bile določene s pomočjo geometričnega nivelmana, dolžine pa s pomočjo elektrooptičnega razdaljemera. Za določitev grobo pogrešenih koordinat točk, določenih z metodo RTK potrebujemo še dolžine in višinske razlike, ki jih izračunamo iz koordinat, pridobljenih z metodo RTK. Izračun dolžine in višinske razlike opravimo po naslednjih enačbah (Mencin, 2011):

$$D_j = \sqrt{(e_{j,FGG4} - e_{j,FGG1})^2 + (n_{j,FGG4} - n_{j,FGG1})^2} \quad (1)$$

$$\Delta h_j = h_{j,FGG1} - h_{j,FGG4} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{D_j} = D_j - D^* \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\Delta h_j} = \Delta h_j - \Delta h^* \quad (4)$$

$$j = 1, \dots, 5$$

kjer so:

$e_{j,k}$, $n_{j,k}$ položajni koordinati v koordinatnem sistemu D96/TM za niz j in točko k (FGG1 ali FGG4), katere so izračunane kot povprečje petih zaporednih meritev za niz j na točki k

$h_{j,k}$ elipsoidna višina za serijo in niz j na točki k (FGG1 ali FGG4)

D_j , Δh_j izračunani vrednosti horizontalne dolžine in višinske razlike med FGG1 in FGG4 za niz j

D^* , Δh^* referenčni vrednosti horizontalne dolžine in višinske razlike med FGG1 in FGG4

ε_{D_j} , $\varepsilon_{\Delta h_j}$ odstopanji izračunane dolžine in višinske razlike glede na referenčni vrednosti

Za ugotavljanje grobo pogrešenih meritev standard definira merili:

$$|\varepsilon_{D_j}| \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{e,n} \quad (5)$$

$$|\varepsilon_{\Delta h_j}| \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{\Delta h} \quad (6)$$

Kjer sta $\sigma_{e,n}$ in $\sigma_{\Delta h}$ vrednosti standardnih odklonov kot jih podaja proizvajalec.

4.4 Rezultati predizmere

V predizmeri smo določili referenčne koordinate, ki so nam služile kot izhodišče za definiranje kakovosti določitve položaja z različnimi metodami RTK. Referenčne vrednosti smo določili na dva različna načina. Prvi način nam zagotovi referenčne vrednosti, ki so namenjene definiranju odstopanj samih koordinat točk od njihovih referenčnih vrednosti. Drugi pa bo zagotovil referenčne vrednosti za oceno prisotnosti grobo pogrešenih relativnih položajev oziroma dolžin in višinskih razlik med točkama FGG1 in FGG4.

4.4.1 Referenčne vrednosti za določitev točnosti koordinat, določenih z metodo RTK

Za namene ocene kakovosti koordinat, ki smo jih določili z metodo RTK, moramo določiti referenčne (prave) vrednosti koordinat. Statična metoda izmere GNSS omogoča določitev koordinat točk z natančnostjo nekaj milimetrov, zato smo tako določene vrednosti koordinat uporabili kot referenčne za ocenjevanje koordinat določenih z metodo RTK. Referenčne vrednosti koordinat točk FGG1 in FGG4 smo s statičnimi opazovanji in ustrezno obdelavo določili z milimetrsko natančnostjo. Koordinate smo določili v ETRS 89 koordinatnem sistemu oziroma geodetskem datumu D96.

Preglednica 4: Koordinate točk v ETRS 89 koordinatnem sistemu.

Točka	φ	σ [mm]	λ	σ [mm]	h [m]	σ [mm]
FGG1	46°02'44,66681" N	0,5	14°29'40,21263" E	0,4	367,5435	1,0
FGG4	46°02'44,00707" N	0,4	14°29'40,66079" E	0,3	367,5338	0,9

Elipsoidne koordinate smo nato pretvorili v ravninske koordinate v koordinatnem sistemu D96/TM s pomočjo programa SitraNet (Kozmus-Trajkovski, Stopar, 2008).

Preglednica 5: Koordinate točk v ravninskem koordinatnem sistemu D96/TM.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
FGG1	460878,785	100784,216	321,128
FGG4	460888,288	100763,786	321,119

4.4.2 Referenčne vrednosti za oceno prisotnosti grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik

Po analizah točnosti koordinat bomo ocenili prisotnost morebiti grobo pogrešenih relativnih koordinat oziroma dolžin in višinskih razlik med točkama FGG1 in FGG4.

5 ANALIZA

Analizo kakovosti določitve koordinat z metodo RTK smo razdelili na dva dela. V prvem delu smo analizirali koordinate pridobljene s pomočjo več metod RTK. Nato v drugem delu pa smo s pomočjo teh koordinat izračunali dolžine in višinske razlike s katerimi smo ugotavljali prisotnost morebiti grobo pogrešenih koordinat.

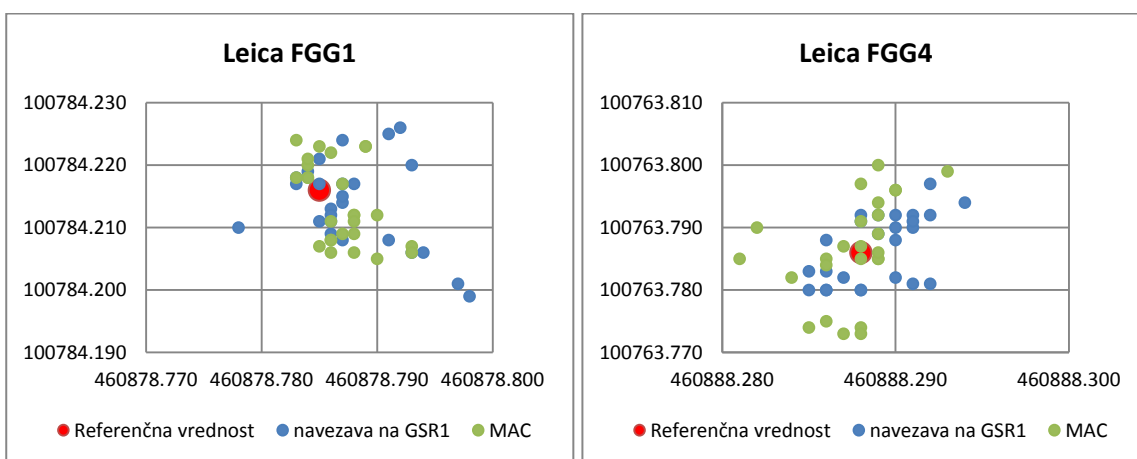
5.1 Točnost metode izmere RTK

Izvedli smo analizo točnosti izmere RTK, ki smo jo opravili na osnovi razlik med referenčnimi koordinatami in koordinatami, določenimi z izmero RTK. Pri analizi smo kot referenčne koordinate uporabili tiste določene s statično izmero. Določitev koordinat z metodo RTK je bila izvedena na osnovi petih epoh meritev. Meritve z malo epohami pa nam po navadi zagotavljajo rezultate slabše točnosti.

Za različne sprejemnike in različne koncepte določitve koordinat z metodo RTK smo opravili analizo kakovosti določitve koordinat.

5.1.1 Analiza točnosti določitve koordinat s sprejemnikom Leica Viva GS 15

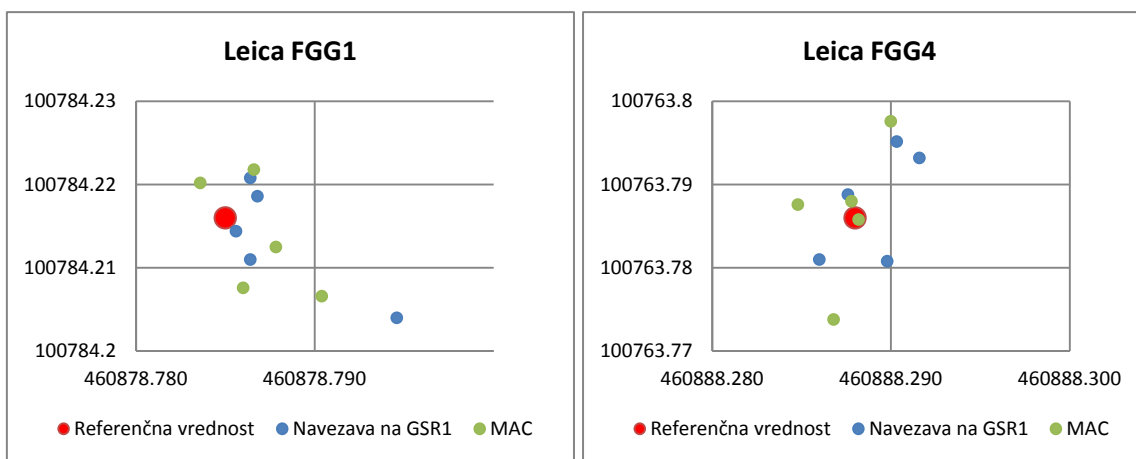
S sprejemnikom Leica Viva GS 15 smo opravili izmero na točkah FGG1 in FGG4 z navezavo na najbližjo postajo GSR1 in mrežnim konceptom MAC. Sama vrednost odstopanj se pri obeh konceptih določitve položaja za obe točki razlikuje kot je razvidno iz slike 6.



Slika 6: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Leica Viva GS 15 od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.

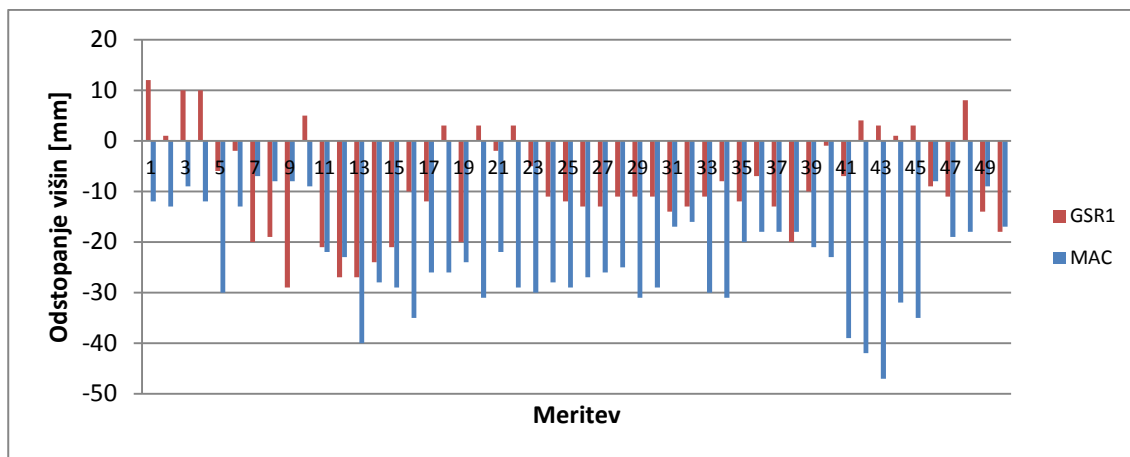
Največje odstopanje horizontalnih koordinat je pri navezavi na GSR1 in znaša 21 mm. Če izračunamo povprečje petih določitvev koordinat v posameznem nizu (Slika 7) vidimo, da se

točnost horizontalnega položaja izboljša. Točnost horizontalnega položaja, merjena z največjim odstopanjem koordinat, se pri navezavi na GSR1 izboljša iz 21 mm na 15 mm. Pri mrežnem konceptu MAC dosežemo nekoliko boljšo točnost horizontalnega položaja saj odstopanja znašajo do 14 mm. S povprečji petih določitev koordinat v posameznem nizu pa se največje odstopanje zmanjša na 10 mm. Meritve so se izvedle skoraj brez časovnega zamika in pred vsako določitvijo koordinat je bila opravljena nova inicializacija. Rečemo lahko, da so meritve izvedene pod istimi pogoji vendar nam je več meritev oziroma več epoh omogočilo boljšo točnost določitve horizontalnih koordinat. Ker je med posameznimi nizi preteklo po 40 minut lahko rečemo, da so meritve med nizi neodvisne. Povprečje vseh določitev koordinat nam da največje odstopanje od prave vrednosti 4 mm, kar kaže na izboljšanje točnosti določitve koordinat. Vidimo torej, da se odstopanje manjša z naraščanjem števila epoh in naraščanjem števila neodvisnih določitev koordinat. Naraščanje točnosti določitve koordinat lahko pripišemo dejstvu, da se v 30 minutah spremenijo nekateri časovno odvisni vplivi na opazovanja GNSS.



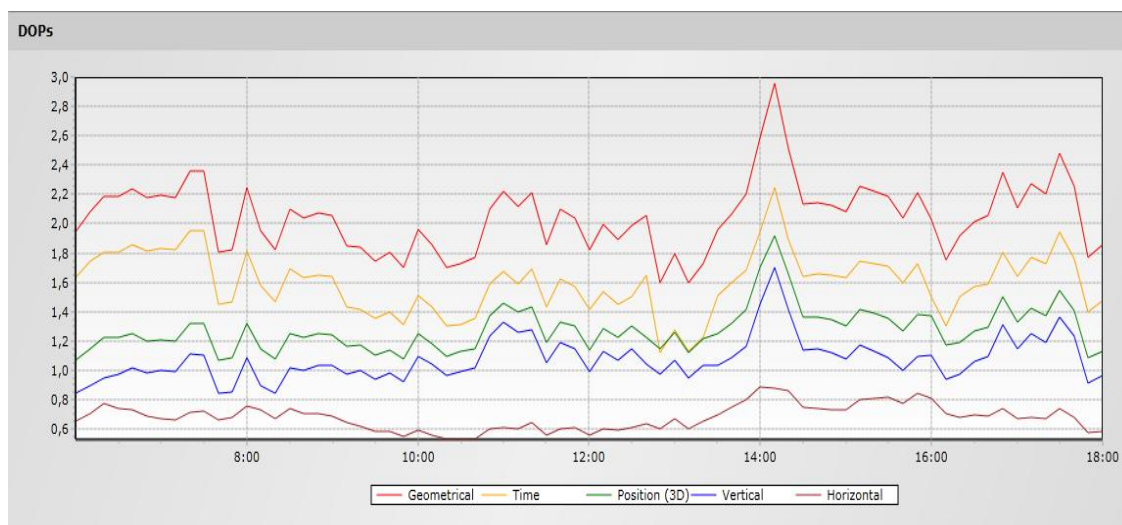
Slika 7: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat od referenčnih za sprejemnik Leica Viva 15 določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.

Pri točnosti določitve elipsoidne višine pridemo do podobnih ugotovitev kot pri točnosti določitve horizontalnega položaja z izjemo, da so višine pri konceptu MAC določene kot prenizke vrednosti (Slika 8). Z naraščanjem števila epoh ter števila neodvisnih določitev koordinat narašča tudi njena točnost. Največje odstopanje višine pri konceptu MAC je na točki FGG4 znašalo 47 mm. Vendar se je s povprečji vseh meritev pri konceptu MAC največje odstopanje zmanjšalo na 27 mm. Na točki FGG1 je povprečje vseh določitev višin odstopalo do 20 mm. Najverjetnejši razlog za razliko v točnosti koordinat na FGG1 in FGG4 je ovira na južni strani točke FGG4.



Slika 8: Odstopanje višin sprejemnika Leica Viva GS 15 od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom MAC in navezavo na GSR1.

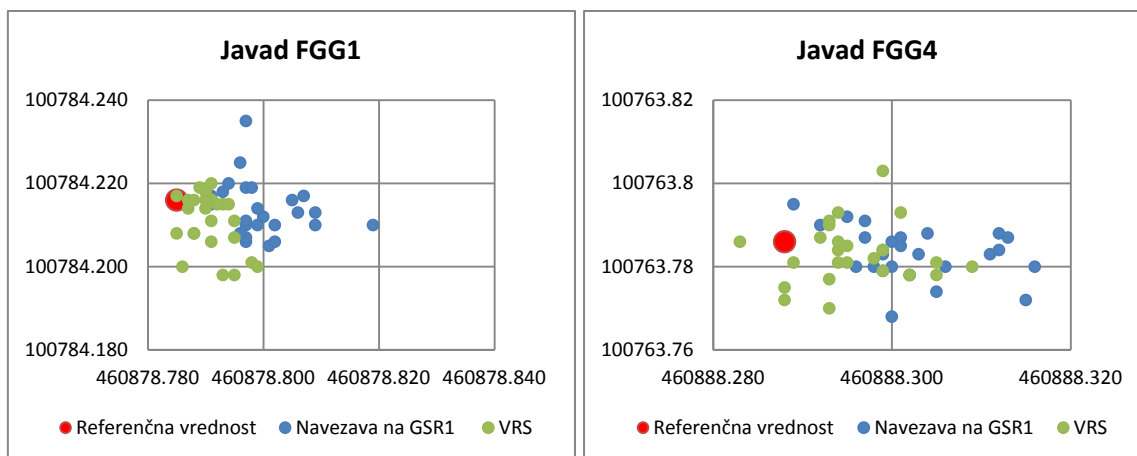
Skušali smo tudi oceniti kateri koncept določitve položaja v načinu RTK zagotavlja točnejše vrednosti koordinat. V tem primeru je šlo za primerjavo med določitvijo koordinat z navezavo na najbližjo postajo GNSS ter mrežnim konceptom MAC. Največja odstopanja so pri obeh podobna in tako težko rečemo kateri koncept je boljši. Tukaj moramo poudariti da je razdalja do referenčne postaje GSR1 kratka (4 km), da so vplivi na opazovanja dobro določeni in s tem je dobra tudi točnost določitve horizontalnih koordinat. Pri konceptu MAC je bila dosežena slabša točnost določitve višine (Slika 8), čeprav so bile razmere enake kot pri navezavi na GSR1. Enake razmere so bile zagotovljene tako, da je bil časovni zamik med obema konceptoma določitve položaja majhen (10 min). Pri konceptu MAC je največje odstopanje višine posameznega niza znašalo 39 mm pri navezavi na GSR1 pa 24 mm. Vzroki za omenjeno odstopanje so vplivi na opazovanja, premajhno število epoh, premajhno (manj kakor 4) število opazovanih satelitov in velik faktor DOP.



Slika 9: DOP faktorji, dne 19.6.2015 (Trimble, 2015).

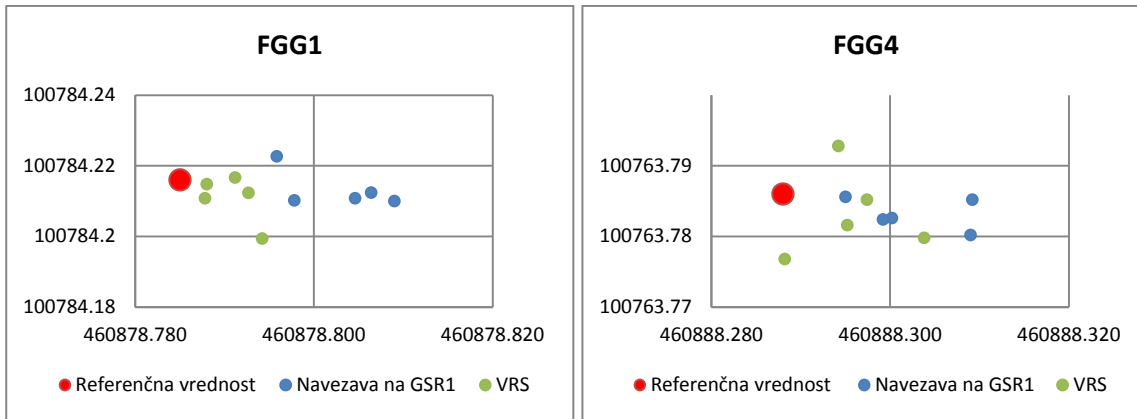
5.1.2 Analiza točnosti določitve koordinat s sprejemnikom Javad TRIUMPH-VS

S sprejemnikom TRIUMPH-VS znamke Javad smo določili koordinate točk FGG1 in FGG4 s pomočjo navezave na najbližjo postajo GSR1 in mrežnim konceptom VRS. Odstopanja koordinat od njihovih točnih vrednosti so prikazana na sliki 10.



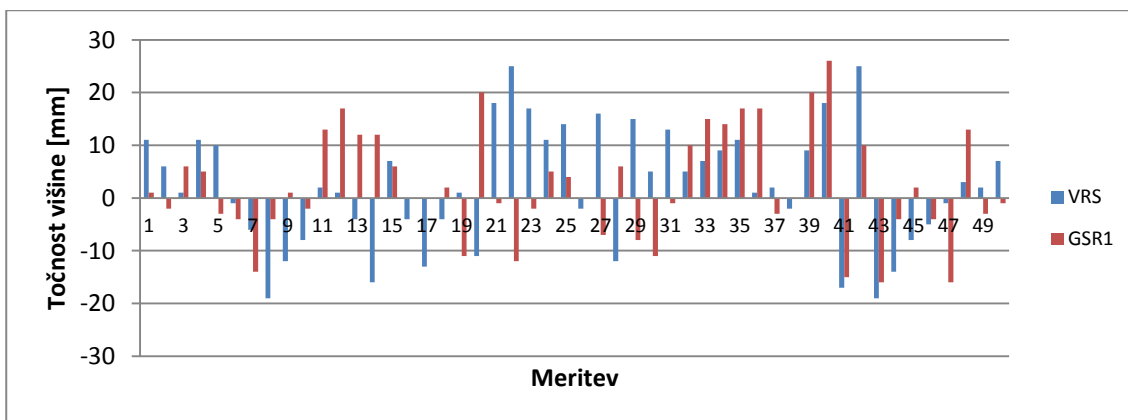
Slika 10: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Javad TRIUMPH-VS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.

Iz analiz je bila odstranjena tretja določitev koordinat v prvem nizu na točki FGG1, katera je bila določena z navezavo na GSR1 saj je njeno odstopanje od referenčne vrednosti preveliko. Njeno odstopanje je znašalo 81 mm kar je preveč, če govorimo o nekaj centimetrski točnosti položaja. Ostale določitve horizontalnih koordinat ne presegajo odstopanja od prave vrednosti za več kot 30 mm. Iz slike 10 je razvidno, da so koordinate pri obeh metodah izmere premaknjene na vzhod. Razlog so najverjetneje neodstranjeni sistematični vplivi na opazovanja. Koordinate, določene s konceptom VRS so bližje prave vrednosti kar pomeni, da so bile v tem primeru horizontalne koordinate s pomočjo mrežnega koncepta VRS določene točneje kot z navezavo na GSR1. Razlika odstopanj med koordinatami določenimi z navezavo na GSR1 in mrežnim konceptom VRS je 6 mm. Pri navezavi na GSR1 vrednost odstopanj znaša 16 mm, pri konceptu VRS pa 10 mm. Zaradi enakih vzrokov kot so bili omenjeni pri določitvi točnosti koordinat s sprejemnikom Leica Viva GS 15 naredimo povprečje koordinat posameznih nizov. Največje odstopanje se s povprečno vrednostjo koordinat, določenih v posameznih nizih (Slika 11) zmanjša s 30 na 25 mm. Najbolj točne koordinate točk FGG1 in FGG4 pa pridobimo s povprečno vrednostjo vseh koordinat določenih na posamezni točki. Največje odstopanje tokrat znaša 17 mm za točko FGG1 in 15 mm za točko FGG4.



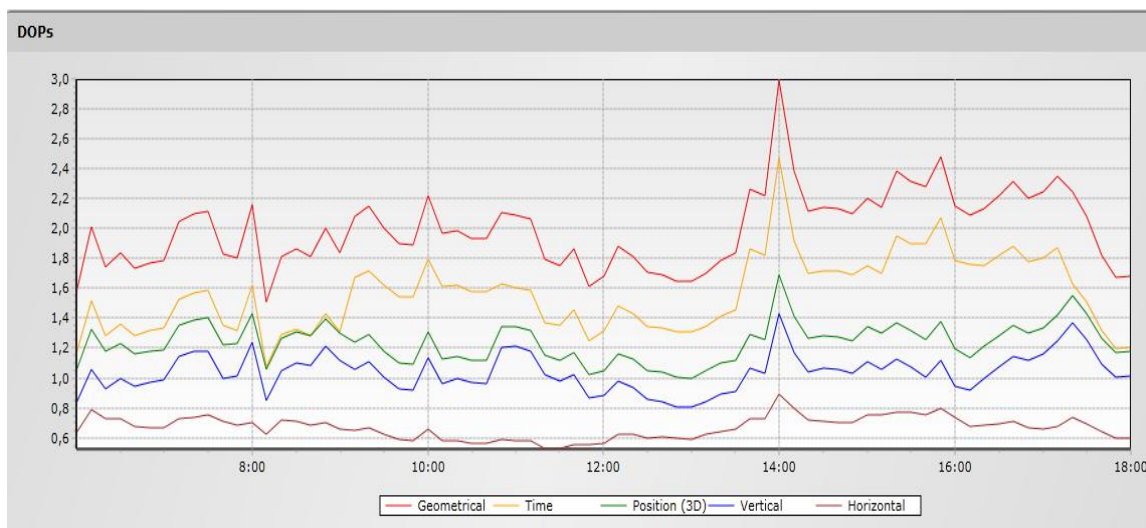
Slika 11: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat od referenčnih za instrument Javad TRIUMPH-VS določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.

Odstopanje višine od prave vrednosti pri obeh konceptih določitve položaja ni bila slabša kakor 25 mm (Slika 12). Torej je s tem načinom zagotovljena nekaj centimetrska točnost višin. Spet se je pri obeh konceptih določitve položaja poznal vpliv ovire na točki FGG4 v smeri proti jugu in s tem tudi slabša vrednost faktorja DOP. Višine so bile na točki FGG4 slabše določene kot na točki FGG1.



Slika 12: Odstopanje višin sprejemnika Javad TRIUMPH-VS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnim konceptom VRS in navezavo na GSR1.

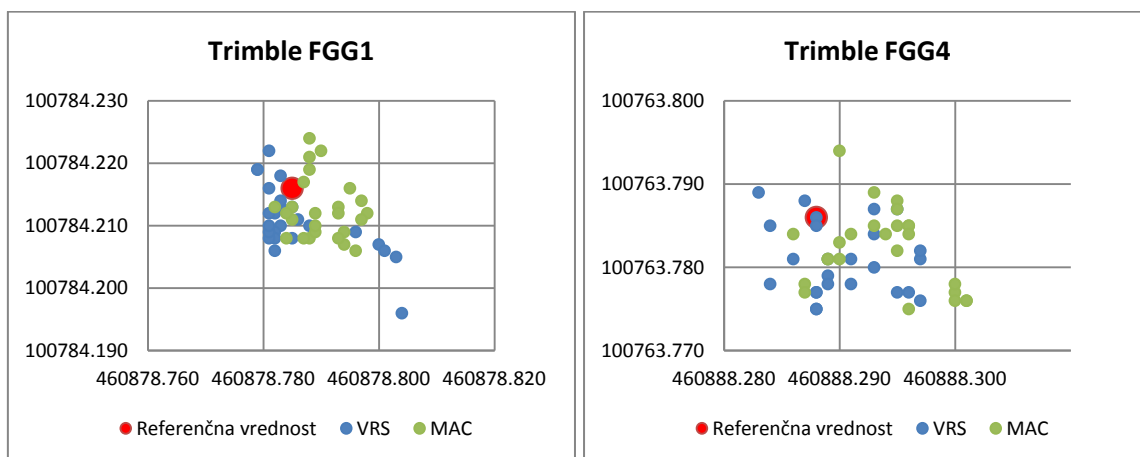
Največje odstopanje višine od njene prave vrednosti, ki je bila dosežena z navezavo na GSR1 se giblje okrog vrednosti 25 mm in je približno enaka določeni z mrežnim konceptom VRS. Pri določitvi horizontalnih koordinat so odstopanja določitve koordinat v konceptu VRS manjša in znašajo okrog 15 mm. Horizontalne koordinate točk FGG1 in FGG4, določene na oba načina so zamaknjene glede na pravo vrednosti v smeri proti zahodu (Slika 10).



Slika 13: DOP faktorji, dne 20.6.2015 (Trimble 2015).

5.1.3 Analiza točnosti določitve koordinat sprejemnika Trimble R8 GNSS

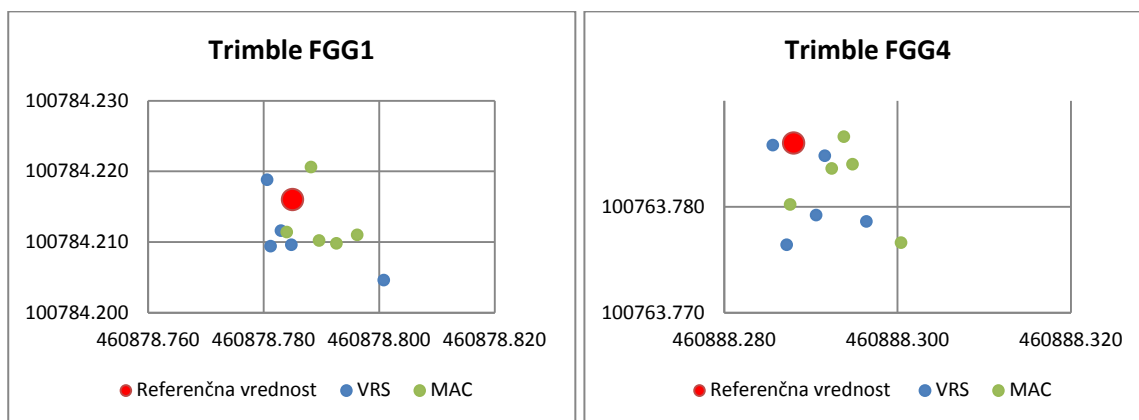
S sprejemnikom Trimble R8 GNSS smo določali koordinate točk FGG1 in FGG4 s pomočjo mrežnih konceptov VRS in MAC. Odstopanja koordinat določenih z mrežnima konceptoma od njenih referenčnih vrednosti so prikazana na sliki 14.



Slika 14: Odstopanje horizontalnih koordinat sprejemnika Trimble R8 GNSS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC.

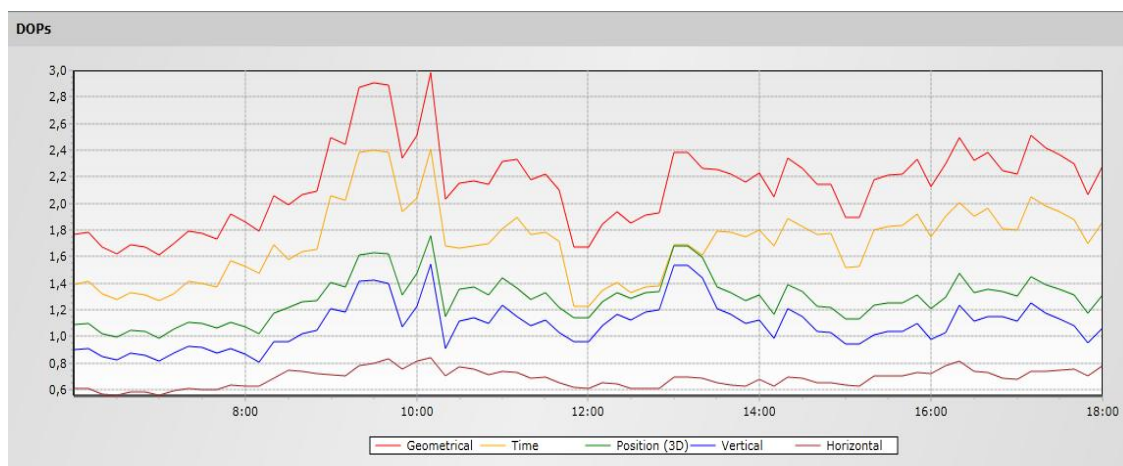
S sprejemnikom Trimble R8 GNSS smo pridobili s konceptoma VRS in MAC horizontalne koordinate majhnih odstopanj od njihovih pravih vrednosti. Manjša odstopanja od prave vrednosti so bila zagotovljena s konceptom MAC, kjer odstopanja od prave vrednosti ne presegajo vrednosti 16 mm. Pri konceptu VRS pride pri eni določitvi koordinat do največjega odstopanja 28 mm, druge določitve koordinat pa ne presegajo vrednosti odstopanj večjih kot

20 mm. Povprečje nizov nam da vrednost največjega odstopanja 17 mm (Slika 15). Povprečje vseh meritev pa nam da vrednost največjega odstopanja okrog 6 mm.



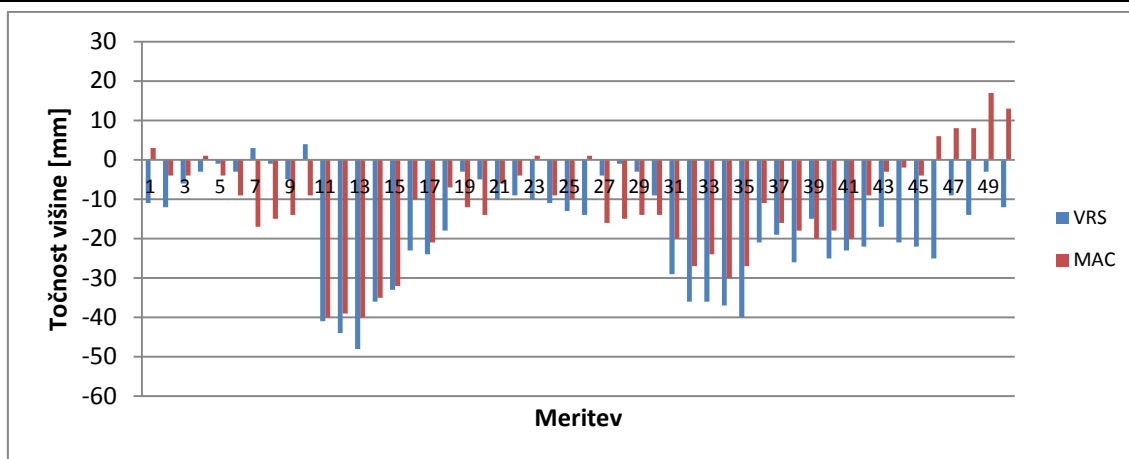
Slika 15: Odstopanje povprečnih vrednosti horizontalnih koordinat, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC od referenčnih za instrument Trimble R8 GNSS.

Pri določitvi višine pa pride do večjih odstopanj. Višine so v drugem in četrtem nizu slabše določene za obe točki. Drugi niz se je izvajal okrog 10 ure, četrti niz pa okrog pol 12 ure. Če pogledamo sliko 16 vidimo, da je bil ob prej omenjenih terminih DOP faktor visok. Največji je bil okrog 10 ure in v tistem nizu so višine dokaj slabo določene celo z odstopanji do 48 mm (Slika 17).



Slika 16: Faktorji DOP dne 19.5.2015 (Trimble, 2015).

S povprečno vrednostjo višin za posamezen niz je največje odstopanje od prave vrednosti 40 mm, kar nam še vedno ne zagotavlja nekaj centimetrsko točnosti koordinat. Kriterij za nekaj centimetrsko točnost je da odstopanje ne presega meje $3 \times$ odstopanje = 10 cm (Mozetič in sod., 2006). S povprečno vrednostjo vseh višin za posamezno točko dosežemo največje odstopanje 23 mm, kar pa že zagotavlja nekaj centimetrsko točnost določitve višine.



Slika 17: Odstopanje višin sprejemnika Trimble R8 GNSS od referenčnih vrednosti, določenih z mrežnima konceptoma VRS in MAC.

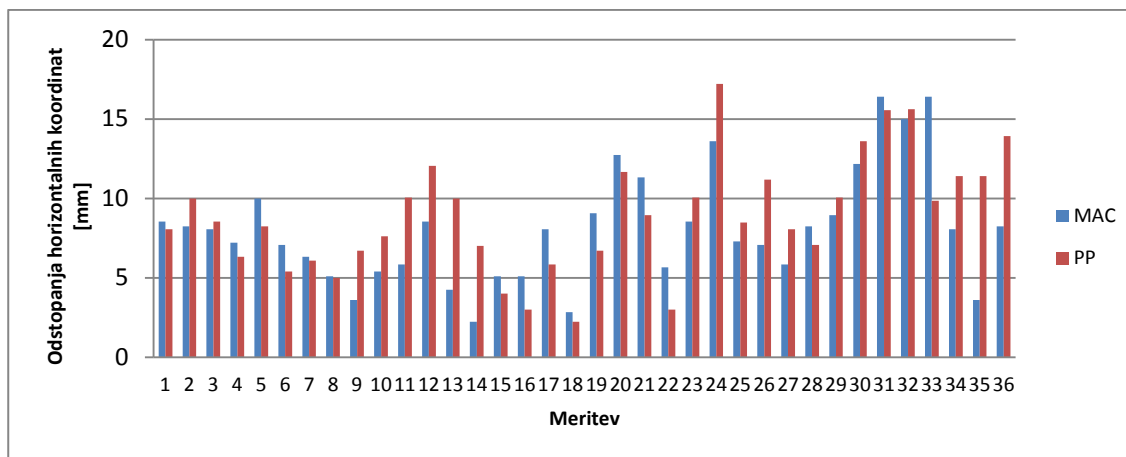
5.1.4 Analiza točnosti določitve koordinat z naknadno obdelavo izmere RTK

Za potrebe dodatnih analiz točnosti določitve koordinat točk FGG1 in FGG4 smo opazovanja v času izmere RTK shranjevali v sprejemniku. Surova opazovanja smo nato naknadno obdelali kot je razloženo v poglavju 4.2. Kot rezultat naknadne obdelave smo pridobili koordinate točk FGG1 in FGG4. Nato smo izračunali njihova odstopanja od referenčnih vrednosti pridobljenih s statično metodo izmere in jih primerjali z odstopanji koordinat (Slika 14) pridobljenih s pomočjo RTK meritev s sprejemnikom Trimble R8 GNSS.

S programsko opremo Leica Geo Office nismo uspeli za nekatera fazna opazovanja pri sprejemniku Trimble R8 GNSS določiti fazne nedoločenosti. Glavni vzroki so vplivi na opazovanja, premajhno število epoh opazovanj, premajhno število opazovanih satelitov in velik faktor DOP. Koordinate točk, ki so bile posledično določene le s pomočjo kodnih meritev so bile odstranjene iz nadaljnjih analiz.

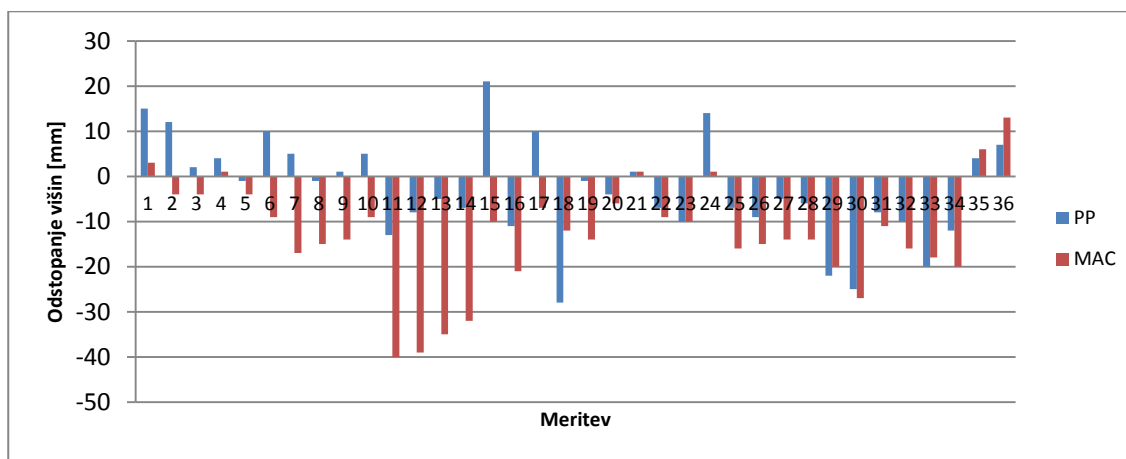
Primerjali smo torej točnost koordinat točk določeno z največjimi odstopanji od pravih vrednosti, določenih z naknadno obdelavo, s točnostjo koordinat točk določenih z izmero RTK, katerih točnost je bila prav tako določena z največjimi odstopanji (Slika 18).

Odstopanja horizontalnih koordinat naknadno določenih koordinat je pri konceptu MAC še večje kot je bil pri sami izmeri RTK, in sicer v povprečju za 1 mm. Ugotovimo lahko, da je točnost horizontalnih koordinat, določenih z naknadno obdelavo praktično enaka koordinatam, določenih z izmero RTK.



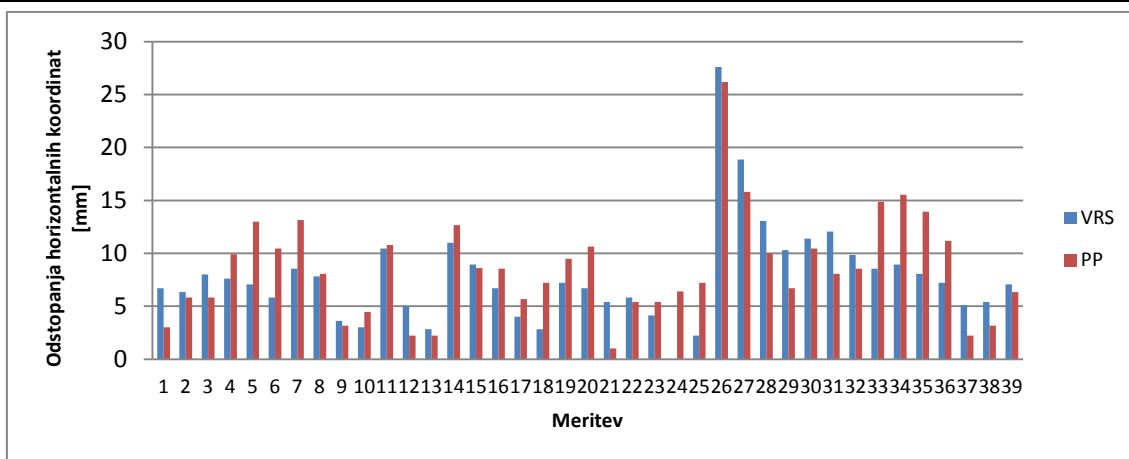
Slika 18: Primerjava odstopanj horizontalnega položaja pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept MAC).

Z naknadno obdelavo smo določili višine, ki nekoliko manj odstopajo od referenčnih vrednosti kot tiste, določene z izmero RTK v konceptu MAC (Slika 19). Pri RTK določitvi višin smo pridobili odstopanja do 40 mm, pri naknadni obdelavi pa do 28 mm. V povprečju so odstopanja višin pridobljena z naknadno obdelavo za 5 mm manjša od tistih, ki smo jih pridobili z izmero RTK.



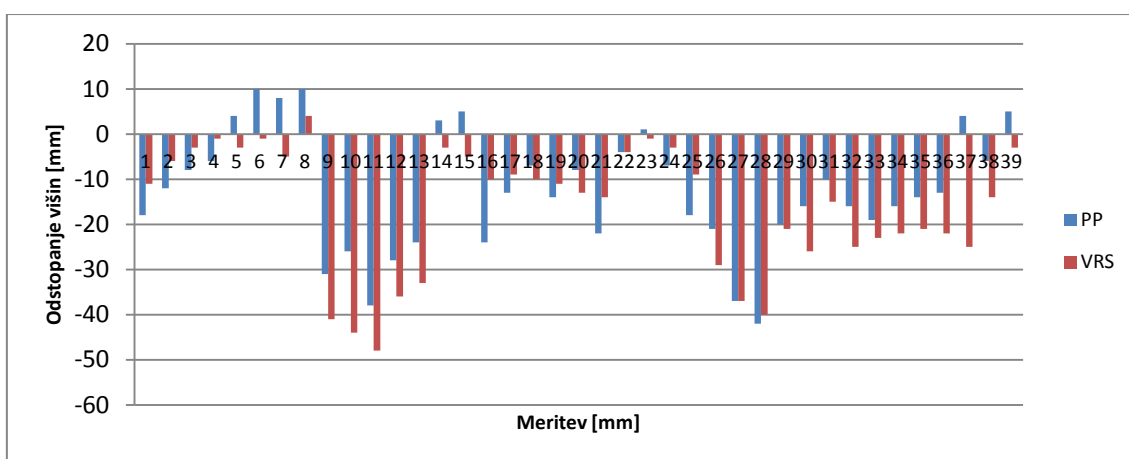
Slika 19: Primerjava odstopanj višin pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept MAC).

Tudi pri VRS konceptu pridemo do enakih ugotovitev kot pri konceptu MAC. Sama točnost horizontalnih koordinat določenih z naknadno obdelavo je enaka kot pri konceptu MAC in VRS (Slika 20). Vrednost odstopanj horizontalnih koordinat se med konceptoma MAC ter VRS in naknadno obdelavo v povprečju razlikuje le za 1 mm.



Slika 20: Primerjava odstopanj horizontalnega položaja pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept VRS).

Največje odstopanje višin pri nakladni obdelavi je 42 mm. Če jo primerjamo z odstopanji višine, ki smo jih pridobili s konceptom VRS (Slika 21) opazimo, da se razlikuje za 6 mm v prid nakladne obdelave.



Slika 21: Primerjava odstopanj višin pridobljenih z naknadno obdelavo (PP) in izmero RTK (koncept VRS).

5.2 Iskanje grobo pogrešenih koordinat

Za analize točnosti koordinat, določenih z različnimi metodami izmere RTK potrebujemo koordinate, ki niso grobo pogrešene. Pri analizi točnosti določitve koordinat sprejemnika Javad smo v poglavju 5.1.2 že odstranili koordinate, ki bi naj bile grobo pogrešene. Za vrednost, ki nam je podajala vrednost na katero naj bi bile koordinate grobo pogrešene smo izbrali vrednost odstopanj večjo od 30 mm. V tem poglavju pa bomo s pomočjo prilagojenega poenostavljenega preizkusa iz ISO standarda 17123-8 poiskali grobo pogrešene dolžine in višinske razlike med dvema točkama. Izračunane so bile horizontalne dolžine in višinske razlike med točkama FGG1 in FGG4 z namenom iskanja grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik. Dolžine in višinske razlike smo izračunali s pomočjo koordinat, ki smo jih pridobili z različnimi koncepti mrežne določitve položaja RTK in določitvijo položaja RTK z navezavo na najbližjo referenčno postajo.

Iz koordinat točk, ki smo jih pridobili z izmero RTK smo izračunali dolžine in višinske razlike med točkama. Nato smo horizontalne dolžine in višinske razlike primerjali z referenčnimi vrednostmi, ki so bile privzete od (Mencin, 2011) in tako pridobili odstopanja, ki so osnova za določitev grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik. Horizontalne dolžine in višinske razlike so izračunane za vsak par meritev v posameznem nizu. Za vsak niz bomo pridobili 5 dolžin in 5 višinskih razlik, ki smo jih primerjali z referenčnimi vrednostmi.

Rezultati izračunov dolžin, višinskih razlik ter njihovih odstopanj so predstavljeni v prilogah v obliki ravninskih koordinat v D96/TM koordinatnem sistemu in elipsoidnimi višinami. Poleg teh vrednosti so navedene še horizontalne dolžine D in višinske razlike Δh ter odstopanja ε_{D_j} , $\varepsilon_{\Delta h_j}$ od referenčnih vrednosti D^* , Δh^* .

5.2.1 Sprejemnik Trimble R8 GNSS

S sprejemnikom Trimble R8 GNSS smo določili koordinate točk FGG1 in FGG4 s pomočjo mrežnih konceptov VRS in MAC.

V poglavju 5.1.3 smo preverili ali se v koordinatah, določenih s sprejemnikom Trimble R8 GNSS v konceptu VRS nahajajo grobo pogrešene koordinate. Ker so bile vrednosti največjih odstopanj horizontalnih koordinat in višin manjše od 30 mm smo lahko sum za grobo pogrešene koordinate zavrgli. V tem podpoglavju pa bomo preverili ali pride do grobo pogrešenih dolžin višinskih razlik med točkama FGG1 in FGG4.

Dovoljeni odstopanji sta definirani kot (Prešeren Pavlovčič in sod., 2010):

$$|\varepsilon_{D_j}| \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{e,n}$$

$$|\varepsilon_{\Delta h_j}| \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_h$$

Proizvajalec za sprejemnik Trimble R8 GNSS navaja vrednosti standardnih odklonov (Trimble, 2015):

$$\sigma_{e,n} = 8 \text{ mm}; 1 \text{ ppm}$$

$$\sigma_h = 15 \text{ mm}; 1 \text{ ppm},$$

kjer nam vrednost ppm pove za koliko se poslabša natančnost določitve položaja z oddaljevanjem od referenčne postaje. Zaradi oddaljenosti (okrog 4 km) izbranega delovišča od referenčne postaje GSR1 je vrednost ppm v izračunu dovoljenih odstopanj prinesla vrednost 4 mm, vendar te vrednosti nismo upoštevali. Upoštevali smo le konstantni del. To smo storili zato, ker je pri mrežnih konceptih določitve koordinat težko nedvoumno določiti vrednost razdalje, ki bi bila enakovredna razdalji med premičnim sprejemnikom in referenčno postajo pri RTK metodi z navezavo na eno referenčno postajo.

Dovoljeni odstopanji za dolžino $|\varepsilon_{D_j}|$ in višinsko razliko $|\varepsilon_{\Delta h_j}|$ med dvema točkama sta, po enačbah (5) in (6):

$$|\varepsilon_{D_j}| \leq 28 \text{ mm}$$

$$|\varepsilon_{\Delta h_j}| \leq 53 \text{ mm}$$

Iz priloge 1 lahko razberemo, da do grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik izračunanih iz koordinat, določenih s konceptom VRS in s sprejemnikom Trimble ni prišlo. Vse izračunane horizontalne dolžine in višinske razlike so znotraj dovoljenega odstopanja. Največje odstopanje horizontalne dolžine se pojavi pri prvi meritvi v četrtem nizu in znaša 22 mm. Višinska razlika pa največ odstopa v drugem nizu četrte meritve in znaša 19 mm.

Nato sledi analiza, kjer za isti instrument preverjamo ali so koordinate grobo pogrešene, s to razliko, da so koordinate točk tokrat določene s konceptom MAC. Vrednost dovoljenih odstopanj je sedaj enaka kot v prvem primeru, saj se ta nanaša na sprejemnik in ne na sam koncept določitve koordinat.

Iz priloge 2 lahko razberemo, da tudi pri konceptu MAC ni prišlo do grobo pogrešenih določitvev koordinat. Vsa odstopanja horizontalnih dolžin in višinskih razlik so znotraj dovoljenega odstopanja. Največje odstopanje horizontalne dolžine se pojavi pri peti meritvi v

tretjem nizu in zanaša 17 mm. Višinska razlika pa največ odstopa v tretjem nizu tretje meritve in znaša 30 mm.

5.2.2 Sprejemnik Leica Viva GS 15

Enaki analizi smo opravili tudi za ostala dva sprejemnika. Pri sprejemniku Leica Viva GS 15 smo za določitev položaja točk FGG1 in FGG4 uporabili navezavo na najbližjo referenčno postajo GSR1 in mrežni koncept MAC.

Proizvajalec za sprejemnik Leica Viva GS 15 navaja vrednosti standardnih odklonov (Leica Geosystems, 2015):

$$\sigma_{e,n} = 8 \text{ mm}; 1 \text{ ppm}$$

$$\sigma_h = 15 \text{ mm}; 1 \text{ ppm}$$

Torej sta dovoljeni odstopanji po enačbah (5) in (6):

$$|\varepsilon_{D_j}| \leq 28 \text{ mm}$$

$$|\varepsilon_{\Delta h_j}| \leq 53 \text{ mm}$$

Pri določitvi koordinat z navezavo na najbližjo referenčno postajo ni bilo grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik. Iz priloge 3 lahko razberemo, da so vsa odstopanja horizontalnih dolžin in višinskih razlik pri navezavi na GSR1 znotraj dopustnega odstopanja. Pride pa do kar velikih odstopanj v drugi in peti določitvi koordinat drugega niza. Odstopanje pri horizontalnih dolžinah znaša do 19 mm pri višinskih razlikah pa v primeru navezave na GSR1 do 38 mm oziroma pri konceptu MAC do 44 mm.

Tudi pri določitvi položaja z mrežnim konceptom MAC ni prišlo do določitve grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik. Sama odstopanja so podobna kot pri navezavi na najbližjo referenčno postajo GSR1 in zanašajo v tretji meritvi petega niza do 21 mm pri horizontalnih dolžinah in do 43 mm pri višinskih razlikah (Priloga 4).

5.2.3 Sprejemnik Javad TRIUMPH-VS

Tretji sprejemnik, ki smo ga preizkusili je sprejemnik TRIUMPH-VS proizvajalca Javad. Tudi tokrat smo najprej preverili prisotnost morebiti grobo pogrešenih dolžin in višinskih razlik. S tem sprejemnikom smo določili koordinate točk FGG1 in FGG4 z navezavo na najbližjo referenčno postajo, to je GSR1 in mrežnim konceptom VRS.

Dovoljeno odstopanje za sprejemnik Javad TRIUMPH-VS je definirano z drugačnimi vrednostmi kot pri predhodnih dveh sprejemnikih. Sam proizvajalec za sprejemnik Javad TRIUMPH-VS podaja naslednje vrednosti standardnih odklonov koordinat (Javad, 2013).

$$\sigma_{e,n} = 10 \text{ mm}; 1 \text{ ppm}$$

$$\sigma_h = 15 \text{ mm}; 1,5 \text{ ppm}$$

Torej sta dovoljeni odstopanja glede na enačbi (5) in (6):

$$|\varepsilon_{D_j}| \leq 35 \text{ mm}$$

$$|\varepsilon_{\Delta h_j}| \leq 53 \text{ mm}$$

Iz priloge 5 lahko vidimo, da je pri izmeri z navezavo na GSR1 s tem sprejemnikom prišlo do grobo pogrešene določitve koordinatnih razlik oziroma dolžin in višinskih razlik med točkami. Pri navezavi na najbližjo referenčno postajo GSR1, znaša v tretji meritvi prvega niza odstopanje horizontalne dolžine 48 mm kar je več kot znaša dopustno odstopanje. Določitev koordinatnih razlik (in tudi dolžine) med točkama zato označimo kot grobo pogrešeno. Ali je na grobi pogrešek vplivala določitev koordinat točke FGG1 ali FGG4 lahko ugotovimo iz analize točnosti določitve koordinat sprejemnika Javad TRIUMPH-VS, ki nam poda odgovor, da so bile horizontalne koordinate točke FGG1 grobo pogrešene saj je njihovo odstopanje od referenčnih vrednosti preveliko, ker znaša 81 mm.

Pri konceptu VRS ni prišlo do določitve grobo pogrešenih koordinat. Iz priloge 6 lahko razberemo, da so največja odstopanja pri konceptu VRS v tretji meritvi v petem nizu in zanašajo pri horizontalni dolžini 13 mm pri višinski razliki pa 36 mm. Navedena odstopanja so manjša od dopustnih.

5.2.4 Končne ugotovitve in analize točnosti določitve koordinat

Pri analizah točnosti določitve koordinat smo se osredotočili na določitev koordinat z različnimi koncepti metode RTK in njihova največja odstopanja od pravih vrednosti. Za končne primerjave med samimi sprejemniki in različnimi koncepti RTK za določitev položaja smo izbrali vrednost RMS (ang. root mean square), ki nam bo predstavljal splošno mero točnosti. RMS je koren vsote kvadratov odstopanj koordinat na posamezni točki. To smo storili zato, ker nam večkratne meritve na eni točki podajo bolj realne rezultate kot posamezna določitev koordinat, ki vključuje le meritve v 5 epohah. V preglednicah 7 in 8 so predstavljene vrednosti RMS(P) (mera za točnost horizontalnih koordinat) in RMS(h) (mera za točnost višine). Na podlagi teh vrednosti lahko vidimo, da nam vsi sprejemniki, ki smo jih

vključili v analize kakovosti določitve položaja, dajejo dobre točnosti horizontalnih koordinat. To lahko sklepamo zato, ker največja vrednost RMS(P) znaša 18 mm, dogovorno sprejeti kriterij točnosti geodetske izmere za nekaj centimetrski nivo natančnosti horizontalnih koordinat pa je $3 \times \text{RMS}(P) = 10 \text{ cm}$ (Mozetič in sod., 2006). Tudi višine so določene z dobro točnostjo saj vrednosti RMS(h) ne presegajo 27 mm. Dogovorno sprejeti kriterij za potrebe geodetske izmere pa znaša za nekaj centimetrski nivo natančnosti višin $3 \times \text{RMS}(h) = 10 \text{ cm}$ (Mozetič in sod, 2006).

Pri sprejemnikih znamke Trimble in Leica je točnost horizontalnih koordinat (RMS(P)) okrog centimetra oziroma 11 mm. Centimetrsko natančnost določitve položaja zagotavlja tudi sam proizvajalec. Pri sprejemniku Javad TRIUMPH-VS z navezavo na najbližjo postajo GSR1 pa pride vrednost RMS(P) doseže 18 mm. Zanimivo je, da je največje odstopanje v koordinati e, v koordinati n pa je največje odstopanje pod 1 centimetrom. Ker so odstopanja enakega predznaka in velikosti na obeh točkah sumimo, da so ostali v koordinatah prisotni neodstranjeni sistematični vplivi.

Pri točnosti določitve višin, z navezavo na GSR1 in konceptom MAC, zagotavlja sprejemnik Javad TRIUMPH-VS rezultate visoke točnosti. Vrednost RMS(h) na točki FGG1 je 10 mm na točki FGG4 pa 13 mm. Dobro točnost smo definirali pod mejo vrednosti standardnih odklonov za natančnost določitve položaja, ki jo za posamezni sprejemnik definira proizvajalec. Dobljena točnost presega natančnost, ki jo zagotavlja proizvajalec.

Pri sprejemniku Leica Viva GS 15 z navezavo na najbližjo referenčno postajo GSR1 dosežemo vrednost RMS(h) 13 mm. Odstopanje je znotraj natančnosti, ki jo navaja proizvajalec. Pri določitvi koordinat v mrežnem konceptu MAC pa je prišlo do sistematičnega pogreška koordinat.

Med meritvami GNSS s sprejemnikom Trimble R8 je bil v dveh nizih faktor DOP visok. Ravno ta dva niza poslabšata končno točnost višine na FGG1, kjer vrednost RMS(h) znaša 27 mm. Točnost višine, določene na točki FGG1 interpretiramo kot posledico neodstranjenih vplivov na opazovanja GNSS. Na točki FGG4 dosežemo 14 mm točnost določitve višine kar je znotraj natančnosti, ki jo navaja proizvajalec.

Preglednica 6: Primerjava točnosti določitve koordinat točke FGG1 z različnimi koncepti.

Sprejemnik	Leica Viva GS 15		Javad TRIUMPH-VS		Trimble R8 GNSS	
Koncept	GSR1	MAC	GSR1	VRS	VRS	MAC
RMS(P) [mm]	9	8	17	11	11	9

Žula, B. 2015. Analiza kakovosti metod za določanje položaja v aktivnih omrežjih GNSS.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje, Geodezija in geoinformatika.

RMS(h) [mm]	13	21	10	9	27	21
-------------	----	----	----	---	----	----

Preglednica 7: Primerjava točnosti določitve koordinat točke FGG4 z različnimi koncepti.

Sprejemnik	Leica Viva GS 15		Javad TRIUMPH-VS		Trimble R8 GNSS	
	GSR1	MAC	GSR1	VRS	VRS	MAC
RMS(P) [mm]	6	8	18	12	8	9
RMS(h) [mm]	13	28	11	13	14	14

Največje težave so praviloma pri določitvi višine, manj jih je pri določitvi horizontalnega položaja.

Splošno pa o mrežnih konceptih določitve koordinat z metodo RTK lahko trdimo, da nam vsi testirani sprejemniki zagotavljajo določitev koordinat s primerljivo točnostjo, čeprav obstajajo med sprejemniki majhne razlike.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo analizirali kakovost določitve koordinat z različnimi koncepti določitve položaja z metodo RTK. Vse analize smo opravili v omrežju SIGNAL. Analiza kakovosti konceptov določitve koordinat je temeljila na vrednotenju točnosti koordinat. Ker pa smo želeli v analizo vključiti le koordinate, ki niso grobo pogrešene, smo slednje odstranili na osnovi prevelikega odstopanja koordinat od referenčnih vrednosti in postopka opredeljenega v poenostavljenem preizkusu GNSS RTK instrumentov po standardu ISO 17123-8.

Vse meritve so potekale brez večjih nevšečnosti. Manjšo težavo nam je predstavljalo le samo spoznavanje z mersko opremo, kjer ima vsak proizvajalec drugačne možnosti nastavitve parametrov za izvedbo meritev.

Pri iskanju grobo pogrešenih koordinat smo naleteli le na eno in sicer pri sprejemniku Javad TRIUMPH-VS. Ta določitev koordinat je najverjetneje obremenjena z vplivom večpotja pa še ta je bila posledica nastavitve v sprejemniku s katerimi smo določili naj se koordinate shranijo kljub njihovi neustrezni oziroma slabi natančnosti. Grobo pogrešene koordinate bi torej ob ustreznih nastavitvah zaznali ter odstranili že pri samem terenskem delu.

Nedvoumnega odgovora na vprašanje katera metoda RTK določitve koordinat in kateri sprejemnik GNSS zagotavlja boljše rezultate ne moremo podati. Glavno težavo pri vseh metodah predstavljajo neodstranjeni sistematični vplivi. Kljub temu pa lahko rečemo, da nam omrežje SIGNAL omogoča z metodo RTK določitev koordinat z nekaj centimetrsko točnostjo ob uporabi sprejemnikov različnih proizvajalcev.

V našem primeru se je izkazalo, da na kratki razdalji, (približno 4 km) med referenčno postajo in premičnim sprejemnikom, sama točnost položaja določenega z metodo RTK z navezavo na najbližjo postajo ne zaostaja za nobeno od mrežnih rešitev. To pomeni, da lahko ob nekaj kilometrskih razdaljah od referenčne postaje uporabimo ali rešitev z navezavo na eno postajo ali kateregakoli od mrežnih konceptov metode RTK.

Z naknadno obdelavo podatkov meritev pa smo ugotovili, da so horizontalne koordinate in tudi višina zelo dobro določene že z metodo RTK. Poudariti pa je potrebno, da morajo biti koordinate vsake točke določene večkrat neodvisno. Le tako lahko pridobimo koordinate visoke točnosti ne le visoke natančnosti.

VIRI

El-Mowafy, A. 2012. Precise Real-Time Positioning Using Network RTK.

<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/27714.pdf> (Pridobljeno 26.7.2015)

Javad, 2013. Javad TRIUMPH-VS.

http://www.javad.com/downloads/javadgnss/sheets/TRIUMPH-VS_Datasheet.pdf

(Pridobljeno 22.8.2015)

Kozmus-Trajkovski, K., Stopar, B. 2008. SiTraNet 2.10.

<http://193.2.92.129/> (Pridobljeno 17.8.2015)

Leica Geosystems, 2008. RTK Networks – Different Methods. System 1200 Newsletter – No. 53.

http://incors.in.gov/System1200_53_RTK_Networks_-_The_Different_Methods.pdf

(Pridobljeno 26.7.2015)

Leica Geosystems, 2015. Leica Viva GS 15.

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GS15/brochures-datasheet/Leica_Viva_GS15_DS_en.pdf (Pridobljeno 22.8.2015)

Mencin, A. 2011. Preizkus RTK-GNSS instrumentov po ISO standardu 17123-8. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Mencin)

Mozetič, B., Komadina, Ž., Radovan, D., Berk, S., Mesner, N., Klanjšček, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. Kozmus, K. 2006. Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu.

[http://www.e-](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_GNSS-izmero-v2.pdf)

[prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_GNSS-izmero-v2.pdf](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_GNSS-izmero-v2.pdf) (Pridobljeno 21.8.2015)

NGS, 2015. Antenna Calibration FAQ.

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/FAQ.jsp> (Pridobljeno 19.8.2015)

Prešeren Pavlovčič, P., Mencin, A., Stopar, B. 2010. ANALIZA PREIZKUSA INSTRUMENTARIJA GNSS-RTK PO NAVODILIH STANDARDA ISO 17123-8. Geodetski vestnik, 54, 4: 607-626.

http://www.geodetski-vestnik.com/54/4/qv54-4_607-626.pdf (Pridobljeno 24.7.2015)

SIGNAL, 2015a. Omrežje SIGNAL.

<http://www.gu-signal.si/node/1> (Pridobljeno 15.8.2015)

SIGNAL, 2015b. Oprema na postajah.

<http://www.gu-signal.si/node/6> (Pridobljeno 19.8.2015)

Stopar, B. 2014. GNSS v geodeziji.

[http://ucilnica1314.fgg.uni-](http://ucilnica1314.fgg.uni-lj.si/pluginfile.php/23615/mod_resource/content/1/GNSS%20v%20geodeziji_13_Geodetska_i)

[lj.si/pluginfile.php/23615/mod_resource/content/1/GNSS%20v%20geodeziji_13_Geodetska_i_zmera_GNSS_SEC.pdf](http://ucilnica1314.fgg.uni-lj.si/pluginfile.php/23615/mod_resource/content/1/GNSS%20v%20geodeziji_13_Geodetska_i_zmera_GNSS_SEC.pdf) (Pridobljeno 24.7.2015)

Takac, F., Lienhart, W. 2008. SmartRTK: A Novel Method Of Processing Standardised RTCM Network RTK Information For High Precision Positioning.

[http://www.leica-](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/general/gps1200/tech_paper/SmartRTK_April2008_en.pdf)

[geosystems.com/downloads123/zz/general/gps1200/tech_paper/SmartRTK_April2008_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/general/gps1200/tech_paper/SmartRTK_April2008_en.pdf) (Pridobljeno 26.7.2015)

Trimble, 2015. Trimble R8 GNSS System.

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079/022543-](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079/022543-079N_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf)

[079N_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079/022543-079N_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf) (Pridobljeno 22.8.2015)

Vodopivec, F., Kogoj, D. 2005. NOV NAČIN PRECIZNE STABILIZACIJE GEODETSKIH TOČK ZA OPAZOVANJE PREMIKOV. Geodetski vestnik, 49, 1: 9-17.

http://www.geodetski-vestnik.com/49/1/qv49-1_009-017.pdf (Pridobljeno 17.8.2015)

Wanninger, L. 2008. Introduction to Network RTK.

<http://www.wasoft.de/e/iagwg451/intro/introduction.html> (Pridobljeno 25.7.2015)

VIRI SLIK

Geoservis, 2015a. Mrežni koncepti.

http://www.gnss.si/images/kako-deluje/mrezni-koncepti/mrezni-koncepti_master-auxiliary-koncept.png (Pridobljeno 6.8.2015)

Geoservis, 2015b. Referenčna postaja GNSS.

http://www.gnss.si/images/kako-deluje/stalna-postaja-gnss/stalna-postaja-gnss_koncept.png
(Pridobljeno 6.8.2015)

SIGNAL, 2015c. Omrežje SIGNAL.

http://www.gu-signal.si/sites/all/themes/corporateclean/mockup/omrezje_mala.jpg (6.8.2015)

Trimble, 2013. Virtual reference station. GIS resources.

http://www.gisresources.com/wp-content/uploads/2013/09/trimble_lg.jpg (Pridobljeno
5.8.2015)

Trimble, 2015. GNSS Planning Online.

<http://www.trimble.com/gnssplanningonline/#/Dops> (Pridobljeno 8.8.2015)

PRILOGE

PRILOGA 1: Koordinate določene s sprejemnikom Trimble R8 GNSS in konceptom VRS v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ε_{D_j} [mm]	$\varepsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,289	100763,779	367,531	22,532	0,001	-4	6
1	1	FGG1	460878,788	100784,210	367,532				
1	2	FGG4	460888,289	100763,778	367,537	22,535	-0,006	-2	-1
1	2	FGG1	460878,786	100784,211	367,531				
1	3	FGG4	460888,291	100763,781	367,533	22,533	0,004	-3	9
1	3	FGG1	460878,783	100784,210	367,537				
1	4	FGG4	460888,291	100763,778	367,529	22,533	0,011	-3	16
1	4	FGG1	460878,785	100784,208	367,540				
1	5	FGG4	460888,293	100763,780	367,538	22,534	0,004	-2	9
1	5	FGG1	460878,782	100784,209	367,542				
2	1	FGG4	460888,288	100763,777	367,511	22,538	-0,009	2	-4
2	1	FGG1	460878,783	100784,213	367,502				
2	2	FGG4	460888,288	100763,775	367,510	22,539	-0,011	3	-6
2	2	FGG1	460878,785	100784,213	367,499				
2	3	FGG4	460888,288	100763,777	367,516	22,532	-0,021	-4	-16
2	3	FGG1	460878,782	100784,206	367,495				
2	4	FGG4	460888,288	100763,775	367,531	22,540	-0,024	3	-19
2	4	FGG1	460878,782	100784,212	367,507				
2	5	FGG4	460888,284	100763,778	367,529	22,537	-0,019	0	-14
2	5	FGG1	460878,783	100784,214	367,510				
3	1	FGG4	460888,286	100763,781	367,520	22,541	0,013	5	18
3	1	FGG1	460878,779	100784,219	367,533				
3	2	FGG4	460888,283	100763,789	367,530	22,529	0,004	-8	9
3	2	FGG1	460878,781	100784,216	367,534				
3	3	FGG4	460888,284	100763,785	367,533	22,534	0,000	-3	5
3	3	FGG1	460878,783	100784,218	367,533				
3	4	FGG4	460888,288	100763,786	367,531	22,539	0,001	3	6
3	4	FGG1	460878,781	100784,222	367,532				
3	5	FGG4	460888,287	100763,788	367,525	22,535	0,005	-1	10
3	5	FGG1	460878,779	100784,219	367,530				
4	1	FGG4	460888,297	100763,781	367,513	22,514	0,001	-22	6
4	1	FGG1	460878,804	100784,196	367,514				
4	2	FGG4	460888,297	100763,776	367,515	22,527	-0,008	-9	-3
4	2	FGG1	460878,803	100784,205	367,507				
4	3	FGG4	460888,295	100763,777	367,508	22,529	-0,001	-8	4
4	3	FGG1	460878,800	100784,207	367,507				
4	4	FGG4	460888,296	100763,777	367,519	22,528	-0,013	-9	-8
4	4	FGG1	460878,801	100784,206	367,506				
4	5	FGG4	460888,297	100763,782	367,509	22,528	-0,006	-8	-1
4	5	FGG1	460878,796	100784,209	367,503				
5	1	FGG4	460888,289	100763,781	367,509	22,531	0,011	-5	16
5	1	FGG1	460878,782	100784,208	367,520				
5	2	FGG4	460888,288	100763,785	367,525	22,527	-0,004	-9	1
5	2	FGG1	460878,781	100784,208	367,521				
5	3	FGG4	460888,293	100763,784	367,520	22,534	0,006	-2	11
5	3	FGG1	460878,781	100784,212	367,526				
5	4	FGG4	460888,295	100763,787	367,531	22,529	-0,009	-7	-4
5	4	FGG1	460878,781	100784,209	367,522				
5	5	FGG4	460888,293	100763,787	367,522	22,529	-0,001	-7	4
5	5	FGG1	460878,781	100784,210	367,521				

PRILOGA 2: Koordinate določene s sprejemnikom Trimble R8 GNSS in konceptom MAC v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ϵ_{D_j} [mm]	$\epsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,295	100763,785	367,525	22,527	0,021	-9	26
1	1	FGG1	460878,788	100784,208	367,546				
1	2	FGG4	460888,294	100763,784	367,517	22,528	0,022	-8	27
1	2	FGG1	460878,787	100784,208	367,539				
1	3	FGG4	460888,293	100763,785	367,519	22,527	0,02	-9	25
1	3	FGG1	460878,789	100784,209	367,539				
1	4	FGG4	460888,290	100763,783	367,520	22,528	0,024	-8	29
1	4	FGG1	460878,789	100784,210	367,544				
1	5	FGG4	460888,290	100763,781	367,525	22,533	0,014	-3	19
1	5	FGG1	460878,795	100784,216	367,539				
2	1	FGG4	460888,289	100763,781	367,524	22,540	-0,021	4	-16
2	1	FGG1	460878,788	100784,221	367,503				
2	2	FGG4	460888,289	100763,781	367,513	22,543	-0,009	7	-4
2	2	FGG1	460878,788	100784,224	367,504				
2	3	FGG4	460888,287	100763,778	367,527	22,542	-0,024	6	-19
2	3	FGG1	460878,790	100784,222	367,503				
2	4	FGG4	460888,286	100763,784	367,522	22,534	-0,014	-2	-9
2	4	FGG1	460878,788	100784,219	367,508				
2	5	FGG4	460888,287	100763,777	367,520	22,540	-0,009	3	-4
2	5	FGG1	460878,787	100784,217	367,511				
3	1	FGG4	460888,296	100763,775	367,535	22,533	0,002	-3	7
3	1	FGG1	460878,794	100784,207	367,537				
3	2	FGG4	460888,295	100763,788	367,518	22,523	0,021	-13	26
3	2	FGG1	460878,794	100784,209	367,539				
3	3	FGG4	460888,295	100763,787	367,519	22,523	0,025	-13	30
3	3	FGG1	460878,793	100784,208	367,544				
3	4	FGG4	460888,293	100763,789	367,520	22,526	0,014	-10	19
3	4	FGG1	460878,789	100784,212	367,534				
3	5	FGG4	460888,290	100763,794	367,520	22,520	0,013	-17	18
3	5	FGG1	460878,793	100784,213	367,533				
4	1	FGG4	460888,301	100763,776	367,523	22,540	0	3	5
4	1	FGG1	460878,793	100784,212	367,523				
4	2	FGG4	460888,300	100763,777	367,518	22,536	-0,002	0	3
4	2	FGG1	460878,798	100784,212	367,516				
4	3	FGG4	460888,300	100763,778	367,516	22,531	0,003	-6	8
4	3	FGG1	460878,796	100784,206	367,519				
4	4	FGG4	460888,300	100763,776	367,514	22,537	-0,001	0	4
4	4	FGG1	460878,797	100784,211	367,513				
4	5	FGG4	460888,301	100763,776	367,516	22,540	0	3	5
4	5	FGG1	460878,797	100784,214	367,516				
5	1	FGG4	460888,291	100763,784	367,540	22,528	-0,017	-8	-12
5	1	FGG1	460878,784	100784,208	367,523				
5	2	FGG4	460888,295	100763,782	367,542	22,536	-0,008	-1	-3
5	2	FGG1	460878,785	100784,213	367,534				
5	3	FGG4	460888,296	100763,785	367,542	22,532	-0,002	-5	3
5	3	FGG1	460878,785	100784,211	367,540				
5	4	FGG4	460888,296	100763,785	367,551	22,535	-0,01	-2	-5
5	4	FGG1	460878,782	100784,213	367,541				
5	5	FGG4	460888,296	100763,784	367,547	22,534	-0,008	-2	-3
5	5	FGG1	460878,784	100784,212	367,539				

PRILOGA 3: Koordinate določene s sprejemnikom Leica Viva GS 15 in navezavo na GSR1 v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ϵ_{D_j} [mm]	$\epsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,290	100763,792	367,546	22,528	-0,005	-9	0
1	1	FGG1	460878,793	100784,220	367,541				
1	2	FGG4	460888,286	100763,788	367,535	22,532	-0,012	-4	-7
1	2	FGG1	460878,783	100784,218	367,523				
1	3	FGG4	460888,288	100763,792	367,544	22,526	-0,020	-10	-15
1	3	FGG1	460878,788	100784,217	367,524				
1	4	FGG4	460888,289	100763,789	367,544	22,531	-0,030	-6	-25
1	4	FGG1	460878,785	100784,217	367,514				
1	5	FGG4	460888,285	100763,783	367,528	22,538	0,020	2	25
1	5	FGG1	460878,785	100784,221	367,548				
2	1	FGG4	460888,288	100763,780	367,513	22,525	0,020	-12	25
2	1	FGG1	460878,794	100784,206	367,533				
2	2	FGG4	460888,288	100763,780	367,507	22,525	0,024	-11	29
2	2	FGG1	460878,793	100784,206	367,531				
2	3	FGG4	460888,290	100763,782	367,507	22,518	0,039	-19	44
2	3	FGG1	460878,797	100784,201	367,546				
2	4	FGG4	460888,291	100763,781	367,510	22,528	0,013	-8	18
2	4	FGG1	460878,791	100784,208	367,523				
2	5	FGG4	460888,292	100763,781	367,513	22,517	0,033	-19	38
2	5	FGG1	460878,798	100784,199	367,546				
3	1	FGG4	460888,291	100763,790	367,532	22,525	-0,002	-12	3
3	1	FGG1	460878,786	100784,211	367,530				
3	2	FGG4	460888,291	100763,792	367,530	22,520	0,000	-17	5
3	2	FGG1	460878,787	100784,208	367,530				
3	3	FGG4	460888,290	100763,790	367,529	22,526	0,003	-10	8
3	3	FGG1	460878,786	100784,213	367,532				
3	4	FGG4	460888,288	100763,791	367,523	22,525	0,009	-12	14
3	4	FGG1	460878,787	100784,214	367,532				
3	5	FGG4	460888,290	100763,788	367,522	22,524	0,010	-12	15
3	5	FGG1	460878,786	100784,209	367,532				
4	1	FGG4	460888,289	100763,792	367,520	22,530	0,016	-6	21
4	1	FGG1	460878,784	100784,219	367,536				
4	2	FGG4	460888,291	100763,791	367,521	22,535	0,009	-1	14
4	2	FGG1	460878,787	100784,224	367,530				
4	3	FGG4	460888,292	100763,792	367,523	22,534	0,000	-3	5
4	3	FGG1	460878,791	100784,225	367,523				
4	4	FGG4	460888,292	100763,797	367,526	22,530	0,007	-7	12
4	4	FGG1	460878,792	100784,226	367,533				
4	5	FGG4	460888,294	100763,794	367,522	22,525	0,020	-12	25
4	5	FGG1	460878,778	100784,210	367,542				
5	1	FGG4	460888,286	100763,783	367,527	22,536	0,007	-1	12
5	1	FGG1	460878,783	100784,217	367,534				
5	2	FGG4	460888,285	100763,780	367,538	22,534	-0,006	-2	-1
5	2	FGG1	460878,787	100784,215	367,532				
5	3	FGG4	460888,286	100763,780	367,537	22,532	0,014	-4	19
5	3	FGG1	460878,785	100784,211	367,551				
5	4	FGG4	460888,286	100763,780	367,535	22,533	-0,006	-4	-1
5	4	FGG1	460878,786	100784,212	367,529				
5	5	FGG4	460888,287	100763,782	367,537	22,535	-0,012	-1	-7
5	5	FGG1	460878,787	100784,217	367,525				

PRILOGA 4: Koordinate določene s sprejemnikom Leica Viva GS 15 in konceptom MAC v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ϵ_{D_j} [mm]	$\epsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,288	100763,797	367,522	22,525	0,008	-12	13
1	1	FGG1	460878,783	100784,218	367,530				
1	2	FGG4	460888,290	100763,796	367,521	22,526	0,015	-10	20
1	2	FGG1	460878,784	100784,218	367,536				
1	3	FGG4	460888,289	100763,800	367,525	22,524	0,010	-13	15
1	3	FGG1	460878,784	100784,220	367,535				
1	4	FGG4	460888,293	100763,799	367,522	22,530	0,013	-6	18
1	4	FGG1	460878,783	100784,224	367,535				
1	5	FGG4	460888,290	100763,796	367,504	22,529	0,030	-8	35
1	5	FGG1	460878,784	100784,221	367,534				
2	1	FGG4	460888,286	100763,775	367,512	22,531	-0,004	-6	1
2	1	FGG1	460878,788	100784,206	367,508				
2	2	FGG4	460888,288	100763,774	367,511	22,531	0,006	-6	11
2	2	FGG1	460878,790	100784,205	367,517				
2	3	FGG4	460888,285	100763,774	367,494	22,530	0,023	-6	28
2	3	FGG1	460878,793	100784,207	367,517				
2	4	FGG4	460888,288	100763,773	367,506	22,531	0,013	-5	18
2	4	FGG1	460878,793	100784,206	367,519				
2	5	FGG4	460888,287	100763,773	367,505	22,536	0,007	-1	12
2	5	FGG1	460878,788	100784,209	367,512				
3	1	FGG4	460888,289	100763,785	367,512	22,528	0,004	-8	9
3	1	FGG1	460878,788	100784,212	367,516				
3	2	FGG4	460888,288	100763,787	367,505	22,526	0,012	-10	17
3	2	FGG1	460878,788	100784,212	367,517				
3	3	FGG4	460888,288	100763,785	367,504	22,527	0,014	-9	19
3	3	FGG1	460878,790	100784,212	367,518				
3	4	FGG4	460888,289	100763,785	367,506	22,533	0,006	-3	11
3	4	FGG1	460878,787	100784,217	367,512				
3	5	FGG4	460888,287	100763,787	367,505	22,526	0,009	-11	14
3	5	FGG1	460878,786	100784,211	367,514				
4	1	FGG4	460888,288	100763,791	367,517	22,533	0,008	-4	13
4	1	FGG1	460878,786	100784,222	367,525				
4	2	FGG4	460888,289	100763,792	367,518	22,533	0,007	-3	12
4	2	FGG1	460878,785	100784,223	367,525				
4	3	FGG4	460888,289	100763,786	367,504	22,535	0,021	-2	26
4	3	FGG1	460878,784	100784,218	367,525				
4	4	FGG4	460888,284	100763,782	367,503	22,539	0,019	2	24
4	4	FGG1	460878,789	100784,223	367,522				
4	5	FGG4	460888,289	100763,789	367,514	22,534	0,006	-2	11
4	5	FGG1	460878,789	100784,223	367,520				
5	1	FGG4	460888,281	100763,785	367,495	22,522	0,040	-14	45
5	1	FGG1	460878,786	100784,208	367,535				
5	2	FGG4	460888,282	100763,790	367,492	22,519	0,032	-18	37
5	2	FGG1	460878,787	100784,209	367,524				
5	3	FGG4	460888,289	100763,794	367,487	22,516	0,038	-21	43
5	3	FGG1	460878,786	100784,206	367,525				
5	4	FGG4	460888,286	100763,785	367,502	22,524	0,032	-12	37
5	4	FGG1	460878,785	100784,207	367,534				
5	5	FGG4	460888,286	100763,784	367,499	22,525	0,027	-11	32
5	5	FGG1	460878,786	100784,208	367,526				

PRILOGA 5: Koordinate določene s sprejemnikom Javad TRIUMPH-VS in navezavo na GSR1 v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ϵ_{D_j} [mm]	$\epsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,300	100763,768	367,535	22,539	0,004	3	9
1	1	FGG1	460878,797	100784,206	367,539				
1	2	FGG4	460888,289	100763,795	367,532	22,523	-0,003	-14	2
1	2	FGG1	460878,791	100784,217	367,529				
1	3	FGG4	460888,292	100763,790	367,540	22,488	0,007	-48	12
1	3	FGG1	460878,865	100784,207	367,547				
1	4	FGG4	460888,295	100763,792	367,539	22,526	0,000	-10	5
1	4	FGG1	460878,791	100784,215	367,539				
1	5	FGG4	460888,299	100763,783	367,531	22,523	0,013	-14	18
1	5	FGG1	460878,801	100784,205	367,544				
2	1	FGG4	460888,297	100763,787	367,532	22,522	0,017	-15	22
2	1	FGG1	460878,797	100784,207	367,549				
2	2	FGG4	460888,303	100763,783	367,547	22,533	-0,004	-3	1
2	2	FGG1	460878,799	100784,214	367,543				
2	3	FGG4	460888,302	100763,778	367,551	22,535	-0,008	-2	-3
2	3	FGG1	460878,797	100784,210	367,543				
2	4	FGG4	460888,299	100763,779	367,546	22,531	-0,001	-5	4
2	4	FGG1	460878,796	100784,208	367,545				
2	5	FGG4	460888,300	100763,786	367,546	22,527	-0,014	-9	-9
2	5	FGG1	460878,800	100784,212	367,532				
3	1	FGG4	460888,301	100763,787	367,554	22,534	-0,007	-2	-2
3	1	FGG1	460878,797	100784,219	367,547				
3	2	FGG4	460888,296	100763,780	367,533	22,538	0,010	2	15
3	2	FGG1	460878,798	100784,219	367,543				
3	3	FGG4	460888,300	100763,780	367,522	22,541	0,014	5	19
3	3	FGG1	460878,793	100784,218	367,536				
3	4	FGG4	460888,298	100763,780	367,532	22,545	0,017	9	22
3	4	FGG1	460878,796	100784,225	367,549				
3	5	FGG4	460888,301	100763,785	367,539	22,538	-0,004	2	1
3	5	FGG1	460878,794	100784,220	367,535				
4	1	FGG4	460888,306	100763,780	367,533	22,529	0,027	-8	32
4	1	FGG1	460878,802	100784,206	367,560				
4	2	FGG4	460888,313	100763,787	367,544	22,533	-0,004	-3	1
4	2	FGG1	460878,807	100784,217	367,540				
4	3	FGG4	460888,312	100763,788	367,549	22,527	-0,006	-9	-1
4	3	FGG1	460878,809	100784,213	367,543				
4	4	FGG4	460888,311	100763,783	367,548	22,536	0,015	0	20
4	4	FGG1	460878,805	100784,216	367,563				
4	5	FGG4	460888,304	100763,788	367,551	22,521	0,018	-15	23
4	5	FGG1	460878,809	100784,210	367,569				
5	1	FGG4	460888,305	100763,774	367,519	22,540	0,020	4	25
5	1	FGG1	460878,797	100784,211	367,539				
5	2	FGG4	460888,315	100763,772	367,544	22,545	-0,017	8	-12
5	2	FGG1	460878,806	100784,213	367,527				
5	3	FGG4	460888,297	100763,791	367,518	22,512	0,038	-25	43
5	3	FGG1	460878,819	100784,210	367,556				
5	4	FGG4	460888,312	100763,784	367,530	22,531	0,010	-5	15
5	4	FGG1	460878,802	100784,210	367,540				
5	5	FGG4	460888,316	100763,780	367,536	22,538	0,006	2	11
5	5	FGG1	460878,799	100784,210	367,542				

PRILOGA 6: Koordinate določene s sprejemnikom Javad TRIUMPH-VS in konceptom VRS v D96/TM z elipsoidnimi višinami ter dolžine in višinske razlike z njihovimi odstopanji.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]	D [m]	Δh [m]	ϵ_{D_j} [mm]	$\epsilon_{\Delta h_j}$ [mm]
1	1	FGG4	460888,293	100763,770	367,545	22,542	-0,003	5	2
1	1	FGG1	460878,791	100784,211	367,542				
1	2	FGG4	460888,288	100763,775	367,540	22,530	-0,003	-7	2
1	2	FGG1	460878,795	100784,207	367,537				
1	3	FGG4	460888,289	100763,781	367,535	22,533	-0,006	-3	-1
1	3	FGG1	460878,790	100784,214	367,529				
1	4	FGG4	460888,283	100763,786	367,545	22,525	-0,021	-11	-16
1	4	FGG1	460878,794	100784,215	367,524				
1	5	FGG4	460888,288	100763,772	367,544	22,536	-0,013	0	-8
1	5	FGG1	460878,795	100784,211	367,531				
2	1	FGG4	460888,293	100763,790	367,536	22,519	0,003	-17	8
2	1	FGG1	460878,791	100784,206	367,539				
2	2	FGG4	460888,294	100763,793	367,535	22,527	-0,005	-9	0
2	2	FGG1	460878,787	100784,216	367,530				
2	3	FGG4	460888,293	100763,791	367,530	22,528	0,009	-8	14
2	3	FGG1	460878,788	100784,216	367,539				
2	4	FGG4	460888,299	100763,803	367,518	22,522	0,026	-14	31
2	4	FGG1	460878,789	100784,219	367,544				
2	5	FGG4	460888,292	100763,787	367,541	22,534	-0,009	-3	-4
2	5	FGG1	460878,785	100784,217	367,532				
3	1	FGG4	460888,299	100763,784	367,552	22,536	-0,011	-1	-6
3	1	FGG1	460878,787	100784,214	367,541				
3	2	FGG4	460888,294	100763,784	367,559	22,534	0,000	-3	5
3	2	FGG1	460878,791	100784,216	367,559				
3	3	FGG4	460888,301	100763,793	367,551	22,524	-0,020	-12	-15
3	3	FGG1	460878,785	100784,208	367,531				
3	4	FGG4	460888,299	100763,784	367,545	22,530	0,013	-6	18
3	4	FGG1	460878,788	100784,208	367,558				
3	5	FGG4	460888,294	100763,781	367,548	22,531	0,000	-6	5
3	5	FGG1	460878,788	100784,208	367,548				
4	1	FGG4	460888,294	100763,786	367,547	22,532	-0,003	-4	2
4	1	FGG1	460878,791	100784,216	367,544				
4	2	FGG4	460888,295	100763,781	367,539	22,535	0,006	-1	11
4	2	FGG1	460878,793	100784,215	367,545				
4	3	FGG4	460888,295	100763,785	367,541	22,537	0,000	1	5
4	3	FGG1	460878,791	100784,220	367,541				
4	4	FGG4	460888,293	100763,777	367,543	22,538	0,009	2	14
4	4	FGG1	460878,792	100784,215	367,552				
4	5	FGG4	460888,299	100763,779	367,545	22,541	0,016	4	21
4	5	FGG1	460878,790	100784,216	367,561				
5	1	FGG4	460888,298	100763,782	367,517	22,521	0,021	-16	26
5	1	FGG1	460878,798	100784,201	367,538				
5	2	FGG4	460888,302	100763,778	367,559	22,525	-0,017	-11	-12
5	2	FGG1	460878,793	100784,198	367,542				
5	3	FGG4	460888,305	100763,781	367,515	22,523	0,031	-13	36
5	3	FGG1	460878,799	100784,200	367,546				
5	4	FGG4	460888,309	100763,780	367,520	22,526	0,025	-11	30
5	4	FGG1	460878,795	100784,198	367,545				
5	5	FGG4	460888,305	100763,778	367,526	22,532	0,024	-5	29
5	5	FGG1	460878,786	100784,200	367,550				

PRILOGA 7: Ravninske koordinate v D96/TM k.s. in elipsoidne višine, pridobljene s sprejemnikom Trimble R8 GNSS z naknadno obdelavo izmere RTK z VRS konceptom.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]
1	1	FGG1	460878,785	100784,213	367,525
1	3	FGG1	460878,782	100784,211	367,531
1	4	FGG1	460878,782	100784,211	367,535
1	5	FGG1	460878,778	100784,209	367,537
2	1	FGG1	460878,782	100784,215	367,512
2	2	FGG1	460878,783	100784,212	367,517
2	3	FGG1	460878,781	100784,206	367,505
2	4	FGG1	460878,783	100784,215	367,515
2	5	FGG1	460878,783	100784,215	367,519
3	1	FGG1	460878,782	100784,224	367,519
3	2	FGG1	460878,781	100784,220	367,530
3	3	FGG1	460878,781	100784,222	367,536
3	4	FGG1	460878,782	100784,225	367,529
3	5	FGG1	460878,777	100784,223	367,535
4	1	FGG1	460878,804	100784,198	367,522
4	4	FGG1	460878,800	100784,211	367,506
4	5	FGG1	460878,795	100784,216	367,501
5	1	FGG1	460878,780	100784,202	367,524
5	2	FGG1	460878,781	100784,201	367,527
5	4	FGG1	460878,780	100784,203	367,529
5	5	FGG1	460878,780	100784,206	367,530
1	1	FGG4	460888,283	100763,774	367,538
1	3	FGG4	460888,285	100763,776	367,544
1	4	FGG4	460888,286	100763,773	367,542
1	5	FGG4	460888,289	100763,778	367,544
2	4	FGG4	460888,284	100763,774	367,537
2	5	FGG4	460888,283	100763,779	367,539
3	1	FGG4	460888,288	100763,787	367,512
3	2	FGG4	460888,286	100763,791	367,530
3	3	FGG4	460888,286	100763,791	367,535
3	4	FGG4	460888,292	100763,791	367,527
3	5	FGG4	460888,292	100763,792	367,516
4	1	FGG4	460888,294	100763,783	367,514
4	3	FGG4	460888,291	100763,776	367,518
4	4	FGG4	460888,292	100763,779	367,524
4	5	FGG4	460888,296	100763,783	367,518
5	1	FGG4	460888,287	100763,784	367,538
5	3	FGG4	460888,287	100763,783	367,528
5	4	FGG4	460888,294	100763,788	367,539

PRILOGA 8: Ravninske koordinate v D96/TM k.s. in elipsoidne višine, pridobljene s sprejemnikom Trimble R8 GNSS z naknadno obdelavo izmere RTK z MAC konceptom.

Niz	Meritev	Točka	e [m]	n [m]	h [m]
1	1	FGG1	460878,784	100784,208	367,558
1	2	FGG1	460878,785	100784,206	367,555
1	3	FGG1	460878,788	100784,208	367,545
1	4	FGG1	460878,787	100784,210	367,547
1	5	FGG1	460878,793	100784,218	367,542
2	1	FGG1	460878,786	100784,226	367,530
2	2	FGG1	460878,786	100784,228	367,535
2	4	FGG1	460878,785	100784,226	367,538
2	5	FGG1	460878,785	100784,223	367,536
3	1	FGG1	460878,795	100784,210	367,539
3	3	FGG1	460878,793	100784,212	367,544
3	4	FGG1	460878,788	100784,216	367,536
3	5	FGG1	460878,795	100784,215	367,533
4	1	FGG1	460878,795	100784,215	367,521
4	5	FGG1	460878,798	100784,212	367,518
5	1	FGG1	460878,782	100784,205	367,531
1	1	FGG4	460888,290	100763,781	367,544
1	2	FGG4	460888,289	100763,780	367,539
1	3	FGG4	460888,288	100763,781	367,533
1	4	FGG4	460888,285	100763,780	367,535
1	5	FGG4	460888,285	100763,779	367,539
2	1	FGG4	460888,284	100763,786	367,555
2	2	FGG4	460888,288	100763,783	367,523
2	3	FGG4	460888,283	100763,783	367,544
2	4	FGG4	460888,289	100763,788	367,506
2	5	FGG4	460888,285	100763,780	367,533
3	1	FGG4	460888,298	100763,772	367,548
3	2	FGG4	460888,294	100763,792	367,527
3	3	FGG4	460888,293	100763,796	367,525
3	4	FGG4	460888,292	100763,793	367,529
3	5	FGG4	460888,289	100763,793	367,528
4	1	FGG4	460888,299	100763,775	367,526
4	2	FGG4	460888,298	100763,774	367,524
4	5	FGG4	460888,297	100763,782	367,514
5	1	FGG4	460888,291	100763,775	367,538
5	5	FGG4	460888,293	100763,773	367,541