

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:

Vidmar, G., 2016. Ocena kakovosti določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B.): 57 str.

Datum arhiviranja: 29-09-2016

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:

Vidmar, G., 2016. Ocena kakovosti določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B.): 57 pp.

Archiving Date: 29-09-2016

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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GEODEZIJA  
SMER ZA PROSTORSKO  
INFORMATIKO**

Kandidat:

**GREGA VIDMAR**

**OCENA KAKOVOSTI DOLOČITVE KOORDINAT V  
OMREŽJU SIGNAL NA VEČJIH NADMORSKIH  
VIŠINAH**

Diplomska naloga št.: 446/PI

**POSITIONING QUALITY ESTIMATION IN THE  
SIGNAL NETWORK AT HIGHER ELEVATIONS**

Graduation thesis No.: 446/PI

**Mentor:**

prof. dr. Bojan Stopar

Ljubljana, 19. 09. 2016

## **POPRAVKI**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Spodaj podpisani študent Grega Vidmar, vpisna številka 26201754, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »Ocena kakovosti določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah.«

**IZJAVLJAM**1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani

Datum: 26.08.2016

Podpis študenta:

\_\_\_\_\_

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:**

**Avtor:** Vidmar Grega

**Mentor:** prof. dr. Bojan Stopar

**Naslov:** Ocena kakovosti določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah

**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – Visokošolski strokovni študij

**Obseg in oprema:** 57 str., 20 pregl., 28 sl.

**Ključne besede:** statična metoda izmere, RTK metoda izmere, koncept VRS in MAC, SIGNAL

### **Izvleček**

V nalogi smo analizirali kakovost določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah s tremi metodami izmere GNSS: statično, VRS in MAC. v realnem času in z naknadno obdelavo opazovanj. Vsa opazovanja smo opravili na območju Krvavca na nadmorski višini približno 1500 m.

V prvi fazi smo primerjali koordinate določene z VRS in MAC metodama izmere s koordinatami določenimi s statično metodo izmere. V drugi fazi pa smo primerjali koordinate določene z naknadno obdelavo opazovanj za virtualne referenčne postaje, določene na različnih nadmorskih višinah.

Kakovost koordinat smo obravnavali kot merilo kakovosti modeliranja troposferske refrakcije v omrežju SIGNAL, ter tudi kot merilo uporabnosti metod izmere na večjih nadmorskih višinah. Z analizo naših meritev smo ugotovili, da je kakovost koordinat, določenih s konceptom MAC primerljiva s kakovostjo koordinat določenih s statično metodo, ter da je kakovost koordinat določenih s konceptom MAC višja od koordinat določenih s konceptom VRS. Pokazali smo tudi, da sta modela troposferske refrakcije Hopfield in Saastamoinen primerna za uporabo na višjih nadmorskih višinah.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION****UDC:****Author:** Vidmar Grega**Supervisor:** prof. dr. Bojan Stopar**Title:** Positioning quality estimation in the SIGNAL network at higher elevations**Document type:** Thesis – Professional higher education study programme**Notes:** 57 p., 20 tab., 28 fig.**Key words:** static surveying method, RTK surveying method, VRS and MAC concepts, SIGNAL**Abstract**

In the thesis we analyse the quality of coordinate determination in the SIGNAL network at higher elevations with three GNSS surveying methods: static, VRS and MAC, in real time as well as with post-processing. All the observations were taken at Krvavec area at the height of approximately 1500 m above sea level.

Firstly we compare the coordinates obtained with the VRS and MAC surveying methods with coordinates computed on the basis of post-processing of static observations. Secondly we compare the coordinates computed on the basis of post-processing virtual reference station data generated for different heights above sea level.

The quality of coordinates we use as a measure of tropospheric refraction modelling quality in the SIGNAL network and also as a criterion of applicability of surveying methods at higher elevations. On the basis of our analysis, we may say that the MAC concept enables coordinates at the quality level of static method and that MAC concept enables coordinates of higher quality than VRS concept. We have also shown that Hopfield and Saastamoinen models of tropospheric refraction are suitable at higher elevations above sea level.

## **ZAHVALA**

Najprej iskrena in posebna zahvala mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju za motivacijo, uporabne napotke in koristne nasvete.

Zahvaljujem se tudi g. Albinu Mencinu za pomoč pri izvajanju terenskih meritev in pridobivanju podatkov za to diplomsko nalogo.

Največja zahvala pa gre mojim staršem, za vso pomoč in podporo, ki so mi jo izkazovali tekom mojih študijskih let.

**KAZALO VSEBINE**

IZJAVE .....	II
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....	IV
ZAHVALA .....	V
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNA IZHODIŠČA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Metode geodetske GNSS-izmere .....	3
2.1.1 Statična metoda izmere .....	4
2.1.2 Koncept virtualne referenčne postaje VRS .....	4
2.1.3 Delovanje sistema VRS.....	4
2.1.4 Koncept Master-Auxiliary (MAC).....	7
2.2 Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS - SIGNAL .....	8
2.3 Vplivi atmosfere na GNSS-opazovanja.....	10
2.3.1 Troposferska refrakcija.....	11
2.3.2 Ionosferska refrakcija .....	14
<b>3 IZBIRA DELOVIŠČA IN TERENSKA IZMERA .....</b>	<b>15</b>
3.1 Izbira delovišča.....	15
3.2 Terenska izmera .....	16
3.2.1 Uporabljena merska oprema.....	16
3.2.2 Izvedba meritev .....	18
<b>4 OBDELAVA IN ANALIZA REZULTATOV MERITEV.....</b>	<b>23</b>
4.1 Obdelava statičnih opazovanj.....	23
4.1.1 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200.....	25
4.1.2 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200, z enim baznim vektorjem .....	27
4.1.3 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200 za 50 minutne serije opazovanj .....	28
4.2 Rezultati določitve koordinat z RTK metodo s konceptom MAC .....	29
4.2.1 Primerjava koordinat določenih z RTK MAC in statično metodo .....	33
4.3 Rezultati določitve koordinat z RTK metodo s konceptom VRS.....	35
4.3.1 Primerjava koordinat določenih z RTK VRS in statično metodo .....	38
4.4 Naknadna obdelava VRS opazovanj .....	41
4.4.1 Primerjava koordinat, določenih z obdelavo VRS opazovanj s statično izmero .....	48
<b>5 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>51</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>54</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Terenski zapisnik .....	19
Preglednica 2: Časovni potek opazovanj.....	20
Preglednica 3: Terenski zapisnik niveliranja .....	22
Preglednica 4: Koordinate pridobljene s statičnimi meritvami z uporabo preciznih efemerid .....	23
Preglednica 5: Višine dobljene z geometričnim nivelmanom .....	24
Preglednica 6: Primerjava koordinat točke 1008 določenih leta 2014 in leta 2016 .....	25
Preglednica 7: Rezultat naknadne obdelave za vsako serijo statičnih opazovanj .....	26
Preglednica 8: Razlike med skupnimi opazovanji in posameznimi serijami .....	26
Preglednica 9: Rezultati obdelave z enim baznim vektorjem .....	27
Preglednica 10: Primerjava koordinat dobljenih iz mreže in z enim baznim vektorjem.....	27
Preglednica 11: Koordinate določene za 50 minutne serije opazovanj .....	28
Preglednica 12: Razlike med skupnimi opazovanji in posameznimi serijami, z enim vektorjem .....	29
Preglednica 13: Rezultati MAC meritev .....	29
Preglednica 14: Primerjava aritmetične sredine koordinat določenih s koceptom MAC in s statično izmero.....	33
Preglednica 15: Primerjava koordinat določenih s koceptom MAC in statično izmero .....	34
Preglednica 16: Rezultati VRS meritev.....	36
Preglednica 17: Primerjava aritmetične sredine koordinat določenih s konceptom VRS in s statično izmero.....	39
Preglednica 18: Primerjava koordinat določenih s koceptom VRS in statično izmero .....	40
Preglednica 19: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Hopfield.....	42
Preglednica 20: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Saastamoinen.....	44
Preglednica 21: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Essen and Froome .....	46
Preglednica 22: Koordinate referenčne točke .....	48

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Princip relativne določitve koordinat z GNSS (GPS Positioning Modes Part 1, 2016).....	3
Slika 2: Pošiljanje približnega položaja (Landau, Vollath in Chen, 2002).....	5
Slika 3: Prenos podatkov iz omrežja permanentnih postaj (Landau, Vollath in Chen, 2002).....	5
Slika 4: Izmera RTK v sistemu VRS (Landau, Vollath in Chen, 2002).....	6
Slika 5: Napaka v določitvi VRS- postaje (Vollath in sod., 2000).....	6
Slika 6: Koncept MAC (Bilban, 2014).....	7
Slika 7: Omrežje permanentnih postaj SIGNAL (Omrežje, 2016).....	9
Slika 8: Plasti atmosfere (Pavlovčič, 2000).....	11
Slika 9: Vpliv troposfere na elektromagnetno valovanje (Pavlovčič, 2000).....	12
Slika 10: Vpliv mokre in suhe troposferske refrakcije (Pavlovčič, 2000).....	13
Slika 11: Potovanje signala različnih frekvenc skozi ionosfero (Kenyon, 2008).....	14
Slika 12: Izbrano delovišče (Portal Geopedia, 2016).....	15
Slika 13: Položaj merjenih točk v naravi (iz leve proti desni; 1200, 1008, 1100).....	16
Slika 14: Leica Viva GS15 (Leica Viva GS15, 2016).....	17
Slika 15: Optični nivelir NA-720 (Leica Gradbeni nivelir NA-720 Optični, 2016).....	17
Slika 16: Stativ (Geo servis: Originalni pribor Leica Geosystems, 2016).....	17
Slika 17: Nivelmanska lata (Nedo nivelmanske late iz steklenih vlaken, 2016).....	17
Slika 18: Postavitev sprejemnikov na merjenih točkah.....	19
Slika 19: Prikaz različnih mrežnih konceptov (Geo servis: Vprašanja in odgovori, 2016).....	21
Slika 20: Metoda niveliranja iz sredine (Zupančič, 2008).....	22
Slika 21: Skica mreže baznih vektorjev za izračun koordinat točke 1008.....	24
Slika 22: Natančnost koordinat, določenih s konceptom RTK-MAC.....	32
Slika 23: Točnost metode RTK-MAC.....	33
Slika 24: Natančnost metode RTK-VRS.....	38
Slika 25: Točnost metode RTK-VRS.....	39
Slika 26: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Hopfield.....	43
Slika 27: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Saastamoinen.....	45
Slika 28: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Essen and Froome.....	47
Slika 29: Grafični prikaz odstopanj koordinat, določenih s posameznimi modeli troposferske refrakcije, od referenčnih koordinat.....	49

## **RAZLAGA OKRAJŠAV IN SIMBOLOV**

GLONASS	rus. Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GNSS	ang. Global Navigation Satellite System
GPS	ang. Global Positioning System
MAC	ang. Master-Auxiliary Concept
RTCM	ang. Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	ang. Real-time kinematic
SIGNAL	Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija
VRS	ang. Virtual Reference System



## 1 UVOD

Z napredkom na področju tehnologije GNSS izmere (angl. Global Navigation Satellite System) je prišlo v zadnjih letih do korenitih sprememb tudi v geodetski izmeri, oziroma pri postopkih določanja koordinat točk. Tako so danes v uporabi različne metode in koncepti GNSS izmere, ki nam močno olajšajo določitev koordinat točk že med terenskim delom. Za potrebe geodezije, se uporabljajo metode določitve relativnih koordinat GNSS, saj edino te omogočajo določitev koordinat z dovolj visoko natančnostjo. Relativnih metod je več, vendar se bomo osredotočili na tri, ki se v geodeziji trenutno pogosto uporabljajo in sicer na statično metodo, ter RTK metodo s konceptoma VRS (Virtual Reference System) in MAC (Master Auxiliary Concept).

Statična metoda velja za najnatančnejšo metodo določitve koordinat točk, vendar pa je zaradi določenih omejitev (potrebno je opraviti dolgotrajne terenske meritve, precizne efemeride so dostopne 8 do 10 dni po datumu meritev) skorajda neprimerna za običajne naloge geodetske izmere. V praksi je tako najbolj uporabna metoda izmere GNSS RTK metoda izmere, oziroma njeni mrežni inačici VRS in MAC metoda. Slednji ponujata rešitev oziroma določitev koordinat točk na terenu v realnem času, kar je veliko bolj sprejemljivo, tako v ekonomskem kot v časovnem smislu.

V diplomski nalogi smo primerjali kakovost določitve koordinat z obema konceptoma RTK metode (VRS in MAC) s statično izmero in sicer na višji nadmorski višini (približno 1500m). Namen tega je pridobitev ugotovitev, katera izmed omenjenih metod je najprimernejša pri geodetski izmeri na višjih nadmorskih višinah. GNSS opazovanja so namreč obremenjena s številnimi vplivi, ki jih z metodo terenskega dela in obstoječimi modeli lahko v znatni meri izničimo. Pri modeliranju vplivov na opazovanja GNSS z izvorom v zemljini atmosferi pa je problem dejstvo, da so atmosferski vplivi dobro modelirani za tiste vrednosti nadmorskih višin, na katerih se nahajajo referenčne postaje omrežja stalno delujočih postaj GNSS. Zato so koordinate točk, ki se nahajajo na višjih nadmorskih višinah kot so referenčne postaje, slabše kakovosti zaradi slabo modeliranih vplivov na opazovanja.

Poleg tega smo z naknadno obdelavo VRS opazovanj primerjali tudi koordinate deločene z različnimi modeli troposferske refrakcije in sicer modele Hopfield, Saastamoinen Essen - Froome. S primerjavo koordinat smo lahko določili kateri izmed modelov je naprimernejši v omrežju SIGNAL, na višjih nadmorskih višinah.

Pred samo izmero in obdelavo podatkov smo pričakovali, da bo kakovost koordinat (predvsem višin točk) z RTK metodo slabša kot pri določitvi s statično izmero. Prav tako smo pričakovali, da bo kakovost koordinat, določenih z VRS metodo slabša kot z MAC metodo, saj se pri slednji uporabljajo vsa

razpoložljiva opazovanja tako v omrežju postaj GNSS kot na samem mobilnem sprejemniku, katerega koordinate določamo.

Glede kakovosti določitve koordinat želimo v nalogi preveriti naslednje hipoteze:

1. Koordinate točke, določene v omrežju SIGNAL se med seboj razlikujejo, če so določene z različnimi metodami (v našem primeru gre za RTK metodo in statično metodo določitve koordinat).
2. Koordinate točk, določene z uporabo koncepta MAC so višje točnosti od koordinat določenih z uporabo koncepta VRS.
3. Višina točke je slabše določena od horizontalnih koordinat točk.
4. Koordinate točke, določene v omrežju SIGNAL se med seboj razlikujejo, če pri naknadni obdelavi podatkov uporabimo različne modele troposferske refrakcije.

Za potrebe testiranja teh hipotez bomo v prvem koraku obdelali podatke statičnih opazovanj, ki smo jih opravili na treh točkah na območju Krvavca. S tem bomo pridobili referenčne koordinate, ki nam bodo služile za nadaljnje analize. Naknadno bomo celotna 6 urna statična opazovanja razdelili na 5 serij v trajanju po 50 minut in jih naknadno obdelali za vsako serijo posebej.

V drugem koraku bomo naknadno obdelali ista statična opazovanja, vendar samo z enim baznim vektorjem. To pomeni, da bomo določili koordinate točk 1100 in 1200 z baznim vektorjem iz točke 1008. Tako bomo ugotovili ali je točnost določitve koordinat z enim vektorjem kaj slabša od določitve z več baznimi vektorji. Prav tako bomo tudi tokrat celotni čas trajanja statičnih opazovanj razdelili na 5 serij v trajanju po 50 minut in jih za vsako serijo posebej naknadno obdelali.

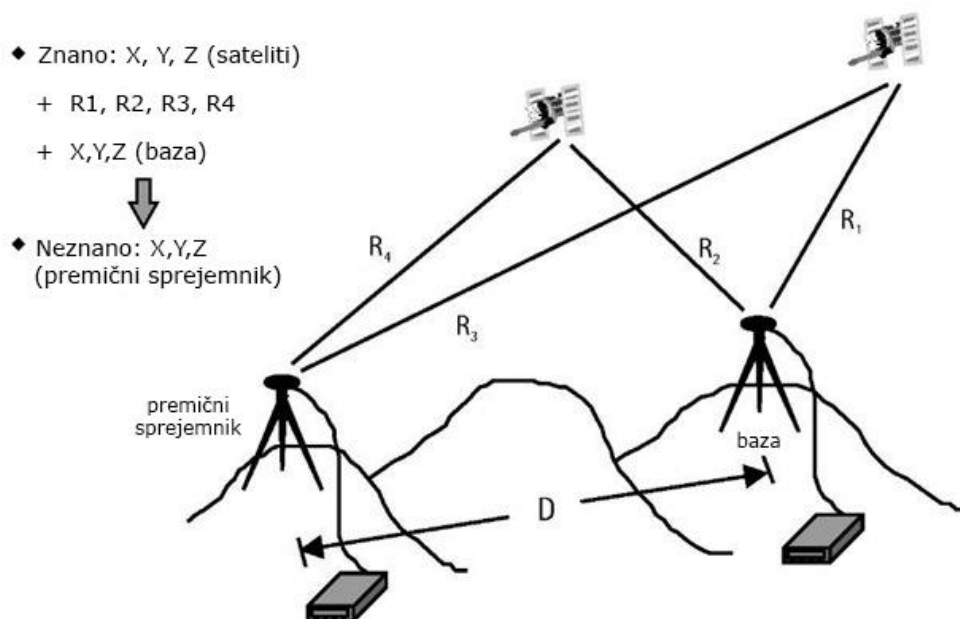
V tretjem koraku bomo koordinate pridobljene z naknadno obdelavo statičnih opazovanj primerjali s koordinatami pridobljenimi z RTK-metodo in sicer za oba koncepta (MAC in VRS) posebej.

V četrtem koraku bomo obdelali naknadno generirana opazovanja virtualnih referenčnih postaj, na različnih višinah, s tremi različnimi modeli troposferske refrakcije. Obdelavo bomo opravili za virtualne referenčne postaje, ki se nahajajo na vsakih 100 m elipsoidne višine in sicer med 0,00 m, do 3000 m.

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

### 2.1 Metode geodetske GNSS-izmere

V osnovi metode GNSS-izmere delimo na relativne in absolutne. Vendar pa zgolj relativne metode zagotavljajo dovolj veliko točnost določitve koordinat za potrebe geodezije. Za relativne metode je značilno, da sta za določitev koordinat potrebna najmanj dva sprejemnika, od katerih je eden lociran na točki z znanimi koordinatami, drugi pa na novi točki. Relativne metode izmere se delijo naprej glede na vrste efemerid, ki se uporabljajo pri določitvi koordinat sprejemnika. Delimo jih tudi glede na čas pridobitve koordinat in sicer na izmero v dejanskem času in izmero z naknadno obdelavo podatkov opazovanj. Za slednjo so značilne statična, hitra statična in kinematična metoda izmere. Za pridobivanje rezultatov meritev v dejanskem času izmere, pa poznamo RTK (angl. Real-Time-Kinematic) in tako imenovano Stop-And-Go metodo izmere. Relativne metode izmere med seboj delimo tudi glede na to, ali se sprejemnik med samo izmero premika ali ne. Od tu izhaja delitev na statične in kinematične metode izmere (Kogoj, Stopar, 2009).



Slika 1: Princip relativne določitve koordinat z GNSS (GPS Positioning Modes Part 1, 2016)

Glede na način modeliranja in predstavitev vplivov na opazovanja v aktivnih omrežjih postaj GNSS, poznamo različne koncepte RTK-določitve koordinat:

- z navidezno referencno postajo – Virtual Reference Station (VRS),
- s psevdo referenčnimi postajami – Pseudo-Reference Station (PRS),
- s ploskovnimi popravki – Flächenkorrekturparameter (FKP),
- s konceptom Master-Auxiliary (MAC) z mrežnimi popravki MAX

- s konceptom z individualiziranimi mrežnimi popravki i-MAX.

Vsi koncepti zmanjšujejo prostorsko odvisne vplive na opazovanja in tako omogočajo večje dolžine baznih vektorjev med referenčno postajo in sprejemnikom, vendar vsak na svoj način (Bilban, 2014).

V sami nalogi smo uporabili statično metodo izmere in RTK metodo izmere v konceptu VRS in MAC.

### **2.1.1 Statična metoda izmere**

Statična GNSS-izmera je osnovna metoda za določitev relativnega položaja oziroma relativnih koordinat. Določitev koordinat pri tej metodi temelji na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Matematični modeli (linearne kombinacije opazovanj) za modeliranje in odstranitev ionosferske refrakcije ter zanesljivi algoritmi za določitev fazne nedoločenosti, omogočajo pridobitev položajev točk z relativno natančnostjo 1mm/10km. Za doseganje tako visoke natančnosti pa je, poleg kakovostne izvedbe opazovanj in uporabe natančnih efemerid satelitov, potrebno ustrezno izvesti tudi obdelavo opazovanj. Končne rezultate statične izmere običajno pridobimo z izravnavo baznih vektorjev v GNSS-mreži (Kogoj, Stopar, 2009).

### **2.1.2 Koncept virtualne referenčne postaje VRS**

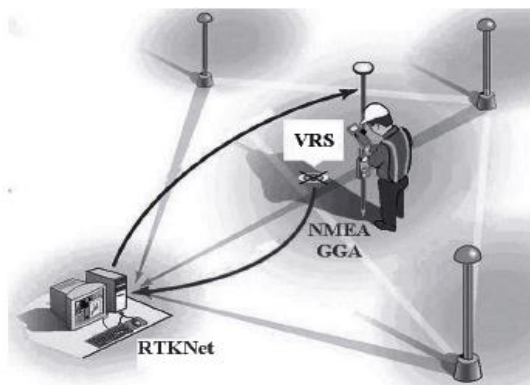
Kot pove že sama kratica VRS (angl. Virtual Reference Station), gre tukaj za metodo določitve položaja, na podlagi vzpostavitve virtualne referenčne postaje. VRS lahko uporabljamo v omrežju stalnih GNSS postaj v realnem času, lahko pa opazovanja virtualne referenčne postaje generiramo v omrežju postaj GNSS tudi naknadno.

Navidezna referenčna postaja je računalniško simuliran niz podatkov opazovanj, ki nadomešča fizično permanentno postajo GNSS v bližini lokacije uporabnika. V tako generiranih podatkih so upoštevani vplivi na opazovanja, ki so pridobljeni iz modelov, vzpostavljenih v omrežju postaj GNSS. Koncept VRS omogoča določitev zelo natančnih koordinat v realnem času tudi na območjih, ki so od lokacije fizične referenčne postaje GNSS oddaljena več kot 20 km (Landau, Vollath in Chen, 2002).

### **2.1.3 Delovanje sistema VRS**

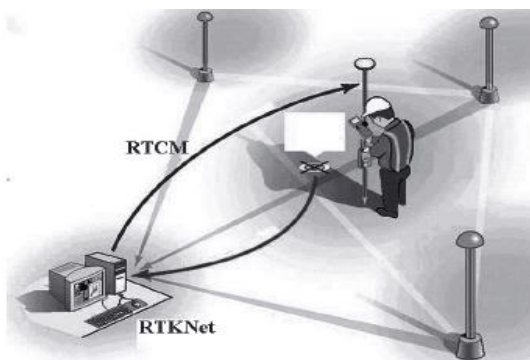
Premični sprejemnik (rover), katerega koordinate določamo, najprej pošlje centralnemu strežniku omrežja postaj GNSS svoje približne koordinate z uporabo standardnega sporočila NMEA GGA (slika 2), (Landau, Vollath in Chen, 2002).





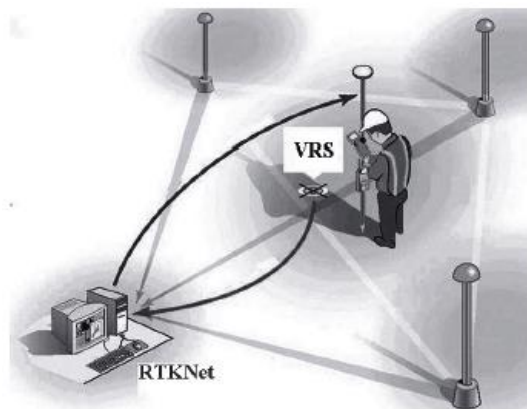
Slika 2: Pošiljanje približnega položaja (Landau, Vollath in Chen, 2002)

Centralni strežnik za prejete koordinate generira opazovanja (kodne psevdo razdalje in fazne nedoločene psevdo razdalje med sateliti in sprejemnikom, kakršna bi pridobil dejanski sprejemnik na isti lokaciji) in jim doda popravke opazovanj, ki jih določi za lokacijo mobilnega sprejemnika na osnovi modelov vplivov na opazovanja. Tako generirana opazovanja imenujemo opazovanja virtualne referenčne postaje. VRS opazovanja so posredovana uporabniku v obliki formata RTCM SC 104 (slika 3), (Landau, Vollath in Chen, 2002).



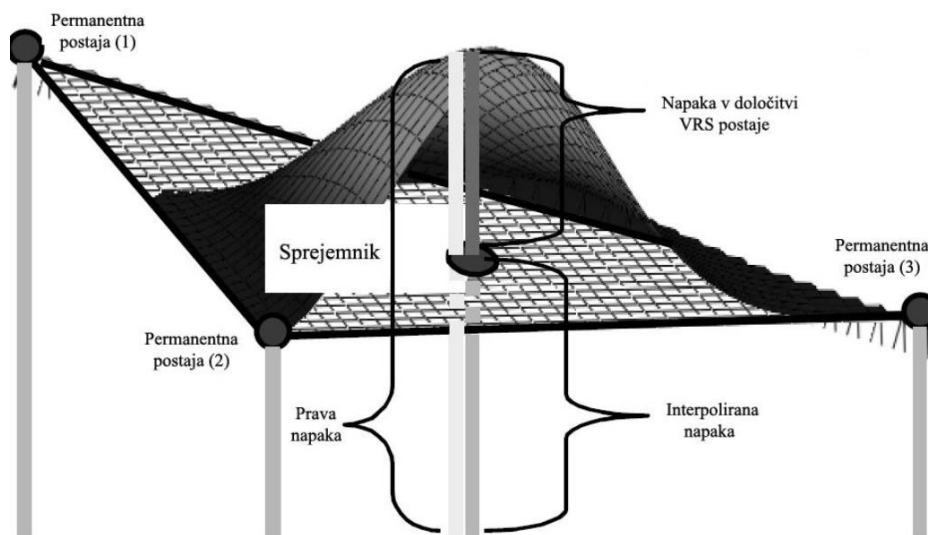
Slika 3: Prenos podatkov iz omrežja permanentnih postaj (Landau, Vollath in Chen, 2002)

Uporabnik sedaj opravlja izmero enako kot pri RTK metodi izmere GNSS, koordinate mobilnega sprejemnika pa so določene glede na lokacijo virtualne referenčne postaje (slika 4), (Landau, Vollath in Chen, 2002).



Slika 4: Izmera RTK v sistemu VRS (Landau, Vollath in Chen, 2002)

Pri izmeri na višjih nadmorskih višinah, kot so nadmorske višine referenčnih postaj omrežja GNSS, obstaja možnost slabše kakovosti modeliranih vplivov na opazovanja, kot jih določajo modeli vplivov na opazovanja GNSS. V primeru VRS, mrežna programska oprema ustvari opazovanja, ki so optimalna za položaj navidezne referenčne postaje v bližini premičnega sprejemnika. Glede na višinsko oddaljenost od najbližje fizične referenčne postaje, so tudi višinski koti ter azimuti satelitov za izbrano opazovališče na višji nadmorski višini drugačni kot za fizično referenčno postajo GNSS. Zato je poleg geometričnega premika potrebno upoštevati tudi različne velikosti vplivov troposfere med referenčnimi postajami in navidezno postajo. Pri večjih višinskih razlikah troposferska refrakcija najbolj vpliva na višino točke in lahko doseže tudi več cm (Bilban, 2014).



Slika 5: Napaka v določitvi VRS- postaje (Vollath in sod., 2000)

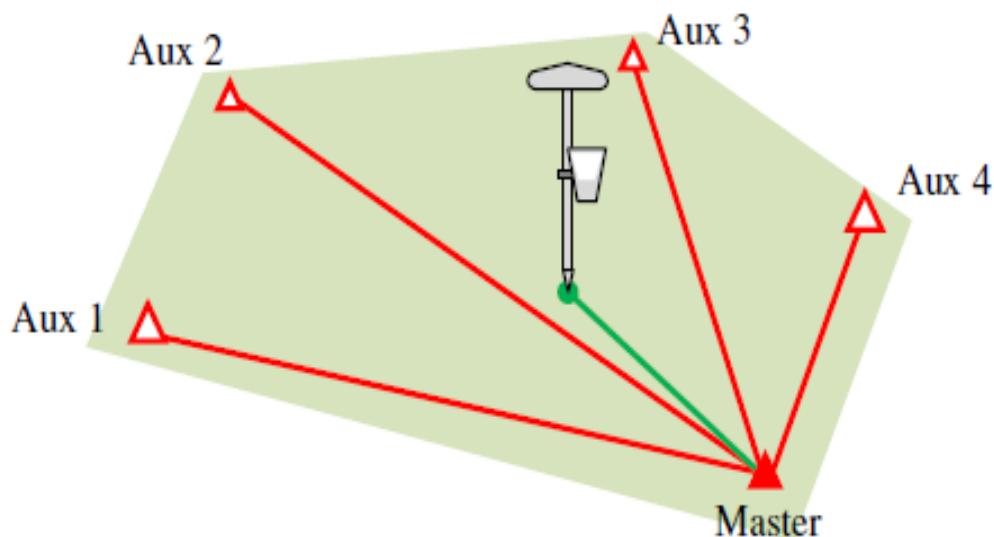
Na sliki 5, predstavlja ravnina med 3 referenčnimi postajami ploskev modela vplivov na opazovanja GNSS. Znotraj tega trikotnika se nahaja položaj virtualne referenčne postaje. Vrednosti vplivov na opazovanja so za lokacijo virtualne referenčne postaje pridobljene z interpolacijo iz modela (ravnine)

vplivov. Interpolirane vrednosti vplivov na opazovanja pa lahko odstopajo od dejanskih, kar prikazuje slika 5.

#### 2.1.4 Koncept Master-Auxiliary (MAC)

MAC (Master Auxiliary Concept) je edina standardizirana RTK metoda. MAC je standardiziran pod okriljem organizacije RTCM in sicer v obliki sporočil RTCM 3.1. Čeprav tudi drugi mrežni koncepti uporabljajo sporočila RTCM za prenos podatkov, slednja niso skladna s standardom, saj vsebujejo modelirane informacije. Pri metodi MAC mobilni sprejemnik prejme iz računskega centra omrežja postaj GNSS vse razpoložljive podatke opazovanj z referenčnih postaj, ter sam izračuna svoj položaj.

Pri mrežnih rešitvah določitve položaja lahko pride do tega, da se za določitev položaja mobilnega sprejemnika lahko uporabijo podatki prevelikega števila referenčnih postaj in tako tudi podatki preveč oddaljenih referenčnih postaj, ki ne prispevajo ustrezne informacije o lokalnih vplivih na opazovanja v bližini mobilnega sprejemnika. Zato se pri konceptu MAC uporablja le del podatkov opazovanj celotnega omrežja za pripravo mrežnih popravkov, ki so posredovani mobilnemu sprejemniku. Podмноžico referenčnih postaj predstavlja celica, ki jo sestavljajo glavna postaja (ang. Master) in k pomožnih postaj (ang. Auxiliary), pri čemer gre za pazljivo izbrane najbližje okoliške referenčne postaje (slika 6), (Bilban. 2014).



Slika 6: Koncept MAC (Bilban, 2014)

Celoten niz surovih opazovanj se pri konceptu MAC prenese samo za glavno postajo, za pomožne postaje pa se prenesejo le razlike opazovanj relativno na glavno postajo. Premični sprejemnik nato na podlagi vseh prejetih podatkov (originalnih opazovanj faze nosilnega valovanja glavne postaje, razlik opazovanj pomožnih postaj, koordinat glavne postaje in razlik koordinat pomožnih postaj), rekonstruira

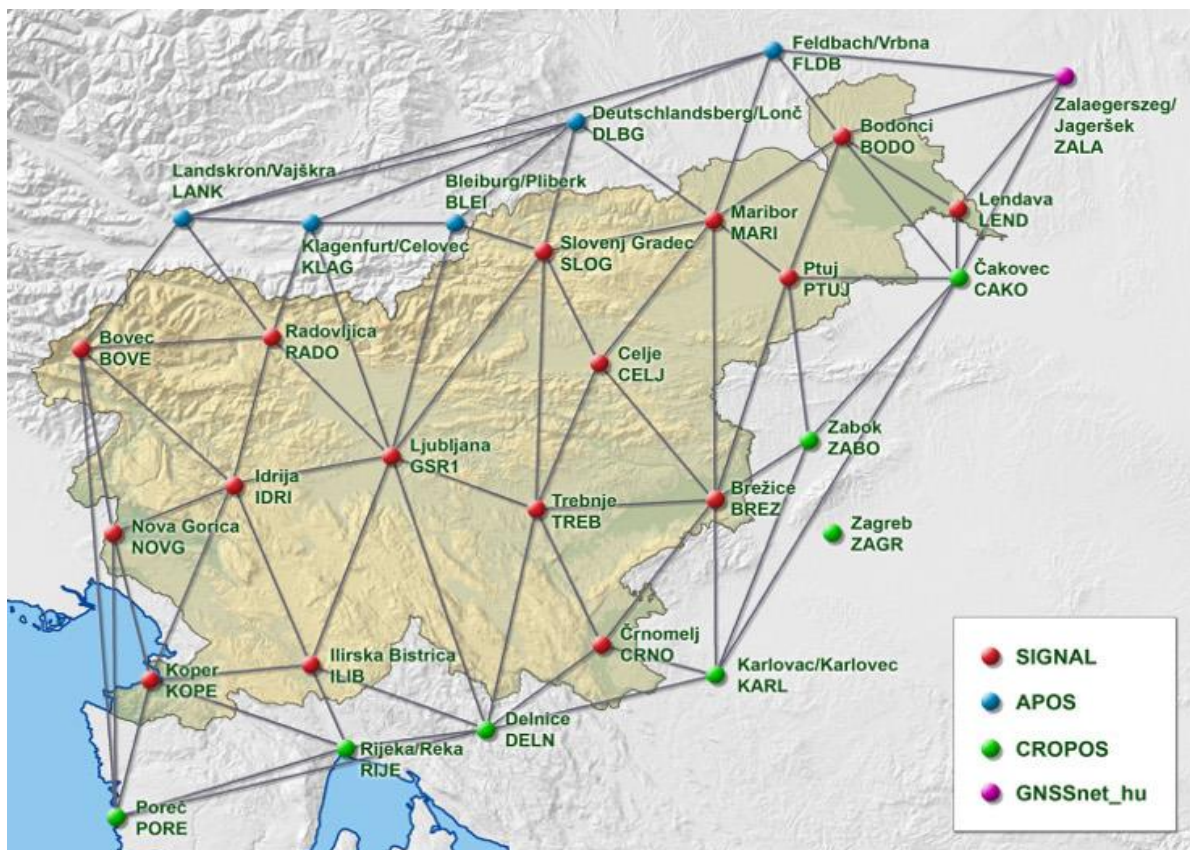
originalna opazovanja vseh referenčnih postaj. Mobilni sprejemnik lahko za določitev svojega natančnega položaja uporabi rešitev, ki se zdi najprimernejša (uporabi opazovanja vseh referenčnih postaj, ali pa uporabi opazovanja le ene referenčne postaje). Bistvena razlika med MAC in drugimi koncepti je v tem, da je pri konceptu MAC, velik del računskih operacij iz računskega centra omrežja GNSS preseljen na premični sprejemnik. Saj le premični sprejemnik razpolaga z lastnimi opazovanji kar mu omogoča pridobitev najkakovostnejšega položaja.

Velika prednost koncepta MAC pred drugimi koncepti je v tem, da lahko ob izgubi podatkov opazovanj glavne referenčne postaje ali ob velikih premikih premičnega sprejemnika, slednji kadar koli preide na drugo glavno postajo in njej pripadajoče pomožne postaje. To pa zato, ker so vse referenčne postaje v omrežju GNSS na istem nivoju fazne nedoločenosti, zato za celotno omrežje velja en skupen nabor začetnih vrednosti celih valov.

Kot slabost koncepta MAC, bi lahko omenili veliko količino podatkov prenesenih iz glavne in referenčnih postaj. Vendar pa ima koncept MAC že vgrajene postopke za avtomatsko zmanjševanje podatkov, učinkovito pa izkorišča tudi kompaktnost zapisa RTCM 3 (Bilban, 2014).

## **2.2 Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS - SIGNAL**

SIGNAL (SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija) je državno omrežje stalnih GNSS-postaj. Tvori ga 16 postaj, enakomerno razporejenih po vsej državi. Je osnova državne geoinformacijske infrastrukture in predstavlja ogrodje novega slovenskega državnega koordinatnega sistema. Za njegovo delovanje skrbi služba za GNSS (Omrežje SIGNAL: služba za GPS, 2016).



Slika 7: Omrežje permanentnih postaj SIGNAL (Omrežje, 2016)

Na obmejnem pasu omrežja dopolnjujejo stalne postaje sosednjih držav, trenutno prejemamo podatke petih avstrijskih, ene madžarske in šestih hrvaških postaj. Omrežje postaj GNSS je za uporabnika pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja lastnega sprejemnika v omrežju. Tako določen položaj je neprimerljivo natančnejši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Omrežje torej omogoča racionalnejšo izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik; za izmero rabi le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema sistem omrežja SIGNAL (Omrežje SIGNAL: služba za GPS, 2016).

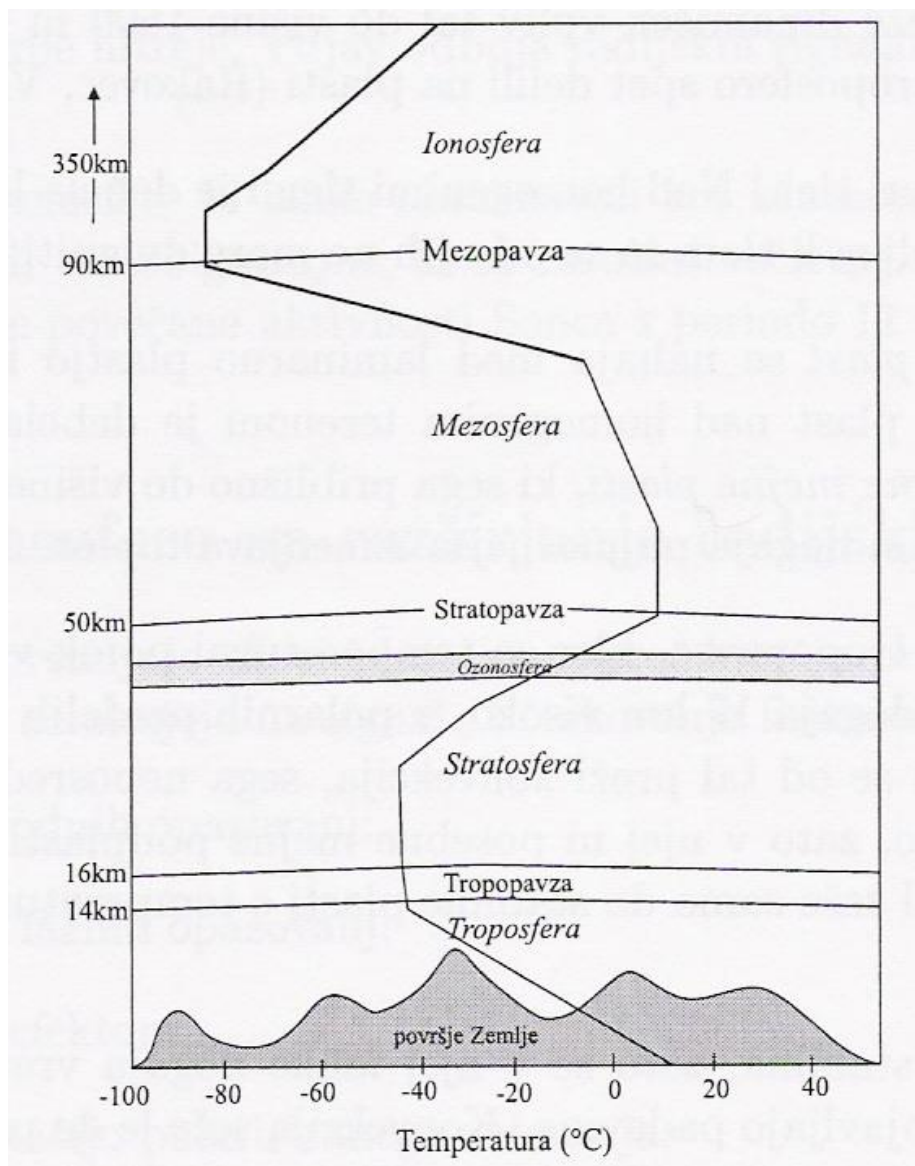
Na vseh postajah omrežja so postavljeni dvofrekvenčni GNSS-sprejemniki z antenami, ki izvajajo opazovanja neprekinjeno 24 ur na dan in 365 dni na leto. Lokacija postaj je izbrana tako, da so le-te približno enakomerno razporejene po območju države in da so maksimalne oddaljenosti med postajami manjše od 70 km. S tako izbranimi oddaljenostmi med stalnimi GNSS postajami lahko uporabnik doseže visoko natančnost določitve položaja na celotnem območju države ob uporabi koncepta VRS. Izračun koordinat premičnega sprejemnika v konceptu VRS in MAC je možen samo v omrežjih, ki so centralno vodena. Služba za GNSS vodi in upravlja omrežje SIGNAL iz centra omrežja. Le-ta s pomočjo programske opreme za centralno vodenje omrežja (Trimble Pivot Platform) zbira in obdeluje opazovanja vseh postaj GNSS v omrežju, ki se stekajo v center v realnem času (Omrežje SIGNAL: služba za GPS, 2016).

### 2.3 Vplivi atmosfere na GNSS-opazovanja

GNSS signal (elektromagnetno valovanje) je pri potovanju skozi Zemljino atmosfero podvržen različnim vplivom in sicer refrakciji (ukrivljanje poti), prehitevanju faze nosilnega valovanja in zakasnjevanju moduliranega signala (Bilban, 2014).

Tako moramo pri razširjanju elektromagnetnega valovanja skozi atmosfero, opredeliti značilnosti posameznih plasti atmosfere. Lastnosti posameznih plasti predstavljajo izhodišče obravnavanja fizikalnih dogajanj, ki vplivajo na spremembo v dolžini poti razširjanja signala.

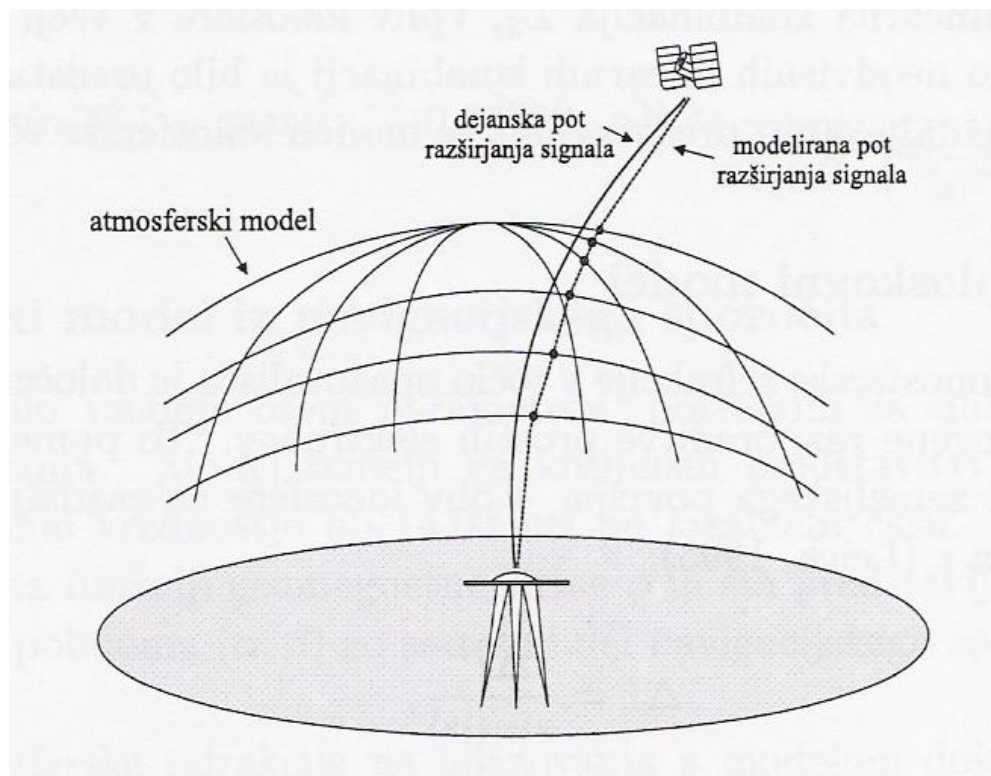
Prvi del atmosfere nad zemeljskim površjem se imenuje troposfera. Slednja sega nekje do 18 km (različno na ekvatorju kot na polih) in predstavlja približno 75% celotne mase atmosfere. Skoraj vsa vodna para atmosfere se nahaja v troposferi. Gibanje zraka tu poteka v vseh smereh, najmočnejše pa je gibanje v navpični smeri, zato temperatura z višino močno pada. Temperatura v troposferi znaša od  $-45^{\circ}\text{C}$  do  $-80^{\circ}\text{C}$ . Troposferi sledi tropopavza, debelina katere znaša 1 do 3 km. V tropopavzi z višino hitro upada količina vodne pare. Tropopavzi sledi stratosfera, ki sega do višine približno 50 km. Tu višina narašča in doseže najvišjo vrednost v stratopavzi in sicer  $+17^{\circ}\text{C}$ . Sledi mezosfera, kjer temperatura zopet pada in doseže najnižjo vrednost  $-80^{\circ}\text{C}$  v mezopavzi, na višini približno 85 km. Zadnji del atmosfere imenujemo ionosfera, ki se razteza od 85 km vse do 1500 km višine (Stopar, Kozmus Trajkovski in Pavlovčič Prešeren, 2001).



Slika 8: Plasti atmosfere (Pavlovčič, 2000)

### 2.3.1 Troposferska refrakcija

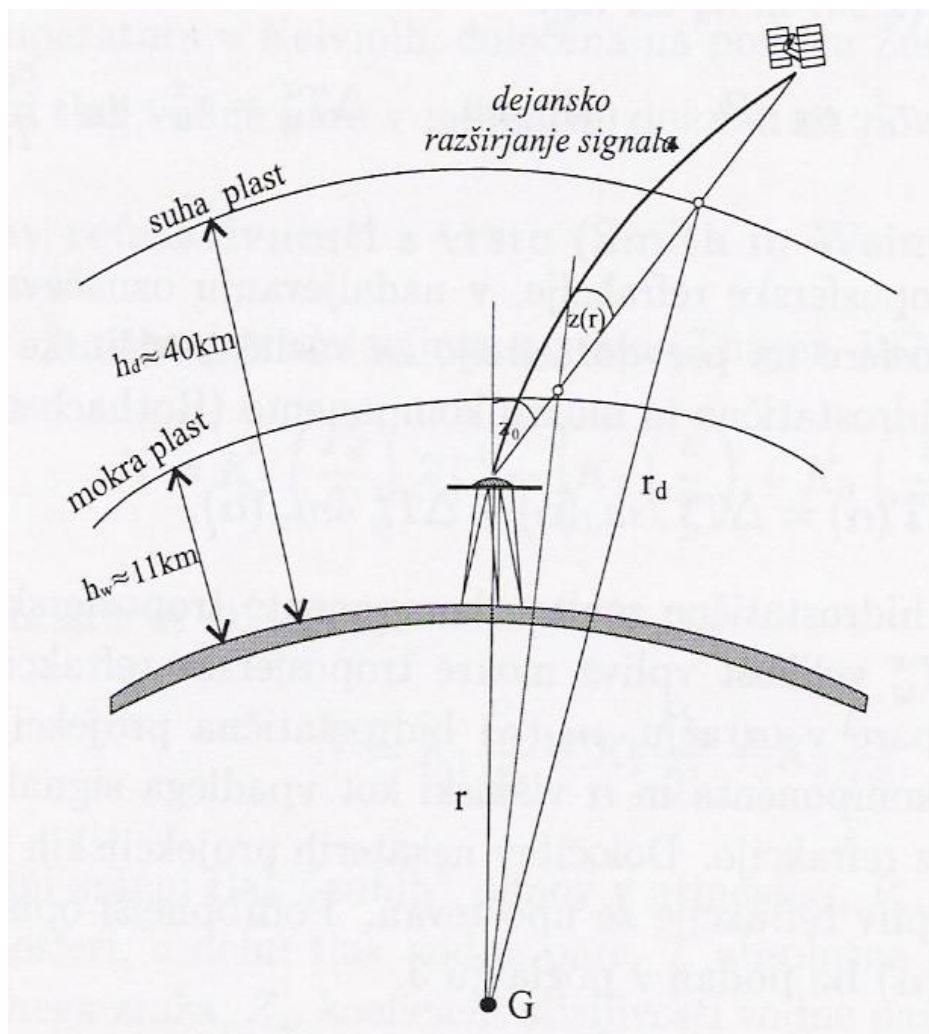
Vpliv nevtralne (neionizirane) atmosfere na GNSS-opazovanja imenujemo troposferska refrakcija. Neioniziran del atmosfere je sestavljen iz troposfere in stratosfere. Vendar največji del pri atmosferski refrakciji predstavlja troposfera, zato je za vpliv troposfere in stratosfere na razširjanje signala GNSS uveden pojem troposferska refrakcija. Zaradi troposferske refrakcije, potuje elektromagnetno valovanje od satelita do sprejemnika po krivulji in ne po premici, zato valovanje opravi daljšo pot kot bi ga opravilo v vakuumu (slika 9), (Stopar, Kozmus Trajkovski in Pavlovčič Prešeren, 2001).



Slika 9: Vpliv troposfere na elektromagnetno valovanje (Pavlovčič, 2000)

Troposferska refrakcija se deli na suho in mokro komponento. Suha komponenta predstavlja 90% celotne troposferske refrakcije in se jo da dokaj dobro modelirati. Mokra komponenta predstavlja 10% troposferske refrakcije. Nastane kot posledica prisotnosti vodne pare, ki se nahaja v troposfere. Zaradi neenakomerne porazdelitve ter velikega časovnega in prostorskega spreminjanja količine vodne pare, je težavna za modeliranje (slika10), (Bilban, 2014).





Slika 10: Vpliv mokre in suhe troposferske refrakcije (Pavlovčič, 2000)

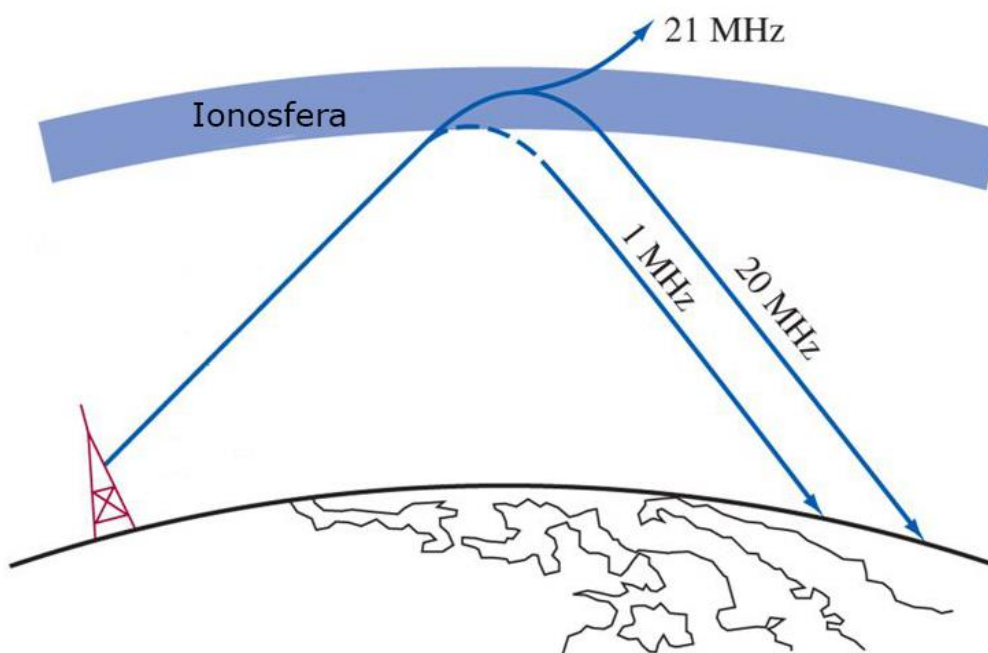
Signali s satelitov ki so nizko nad obzorjem, opravijo daljšo pot skozi atmosfero kot je geometrijska razdalja, zato vrednost troposferske refrakcije z zenitno razdaljo narašča. Ta vpliv lahko znaša tudi več deset metrov.

V zvezi z vplivom troposfere na razširjanje GNSS-signala je bilo opravljeno veliko študij, rezultat katerih so različni modeli troposferske refrakcije. Najbolj znani modeli so Hopfieldov, modificirani Hopfieldov, Goad – Goodmanov in Saastamoinenov. To so t. i. zenitni modeli troposferske refrakcije. Obstajajo pa še modeli projekcijske komponente troposferske refrakcije, katerih osnovni namen je predstaviti vpliv troposfere na psevdorazdaljo, ko je bil signal oddan s satelita, ki se nahaja izven zenita. Modeli projekcijske komponente troposferske refrakcije, ki so najpogosteje uporabljeni pri obdelavi GNSS-opazovanj so Niellova, Davisova, Marinijeva in Chaova (Požun, Lavrič, 2012).

### 2.3.2 Ionosferska refrakcija

Ionosfera je sestavljena iz prostih elektronov, ionov, atomov in molekul atmosferskih plinov. V ionosfere pride do disperzije signala GNSS, zato slednja različno vpliva na fazna in kodna opazovanja. Ionosfera različno vpliva na razširjanje elektromagnetnega valovanja kot takega in na razširjanje energije elektromagnetnega valovanja, zato se kodirano (modulirano) valovanje razširja z zmanjšano hitrostjo glede na razširjanje v vakuumu, samo elektromagnetno valovanje (nemodulirano) pa je obremenjeno s prehitevanjem faze valovanja (Bilban, 2014).

Obremenitev signala z ionosfero je odvisna od frekvence nosilnega valovanja. Višja kot je frekvenca, manjši je vpliv. Valovanja frekvenc pod 30 MHz so močno podvržena vplivom ionosfere, oziroma se od nje odbijejo. Tako lahko v ionosfero normalno prehajajo samo valovanja (signali) z višjimi frekvencami (slika 11).



Slika 11: Potovanje signala različnih frekvenc skozi ionosfero (Kenyon, 2008)

Vpliv ionosfere je na območjih srednjih geografskih širin zanemarljiv. Vpliv ionosfere je bolj izrazit za območja na manjših geografskih širinah, neposredno po lokalnem poldnevu, ko je učinek Sončnega sevanja največji. Pri razmerah v ionosferi je ključna tudi aktivnost Sonca, ki se spreminja v ciklih. Perioda med posameznimi cikli ni popolnoma konstantna, prav tako posamezni cikli niso povsem simetrični in trajajo približno 11,1 leto (Čadež, 2010). Kot smo omenili je vpliv ionosfere na razširjanje elektromagnetnega valovanja odvisen od frekvence, zato se z opazovanji obeh nosilnih valovanj (L1, L2) in tvorjenjem faznih razlik ta vpliv v veliki meri odstrani (Bilban, 2014).

### 3 IZBIRA DELOVIŠČA IN TERENSKA IZMERA

V nalogi smo analizirali kakovost določitve koordinat v omrežju SIGNAL na večjih nadmorskih višinah, zato smo temu primerno izbrali delovišče.

Na izbranem delovišču smo na treh stabiliziranih točkah izvajali statične in RTK meritve s konceptom VRS in MAC.

#### 3.1 Izbira delovišča

Glede nato, da smo testirali kakovost določitve koordinat točk v omrežju SIGNAL, na višjih nadmorskih višinah, je bil pogoj, da se delovišče nahaja na večjih nadmorskih višinah kot referenčne bazne postaje. Zaradi količine opreme, ki smo jo potrebovali pri sami izmeri, smo morali izbrati tudi lahko dostopno delovišče, do katerega se lahko pripeljemo z avtomobilom. Zato smo se odločili, da bomo meritve izvajali na Krvavcu, na nadmorski višini 1425 m.



Slika 12: Izbrano delovišče (Portal Geopedia, 2016)

Na delovišču smo že imeli stabilizirano eno točko in sicer 1008. Dodatno smo stabilizirali dve novi in sicer 1100 in 1200, ki sta bili od točke 1008 oddaljeni 3-4 m levo in desno, približno v smeri vzhod-zahod (slika 12).



Slika 13: Položaj merjenih točk v naravi (iz leve proti desni; 1200, 1008, 1100)

## 3.2 Terenska izmera

Terensko izmero smo opravili 17. 05. 2016 in sicer med 10:00 in 16:00 lokalnega poletnega časa. V tem poglavju bomo predstavili uporabljeno mersko opremo, sam postopek izvedbe meritev in uporabljene metode.

### 3.2.1 Uporabljena merska oprema

Za izvedbo GNSS-meritev smo uporabili naslednji instrumentarij:

- 3 komplete instrumentov Leica Viva GS15
- 3 komplete stativov in podnožij
- 3 akumulatorje

Za niveliranje smo uporabili:

- optični nivelir NA-720
- nivelmansko lato



Slika 14: Leica Viva GS15  
(Leica Viva GS15, 2016)



Slika 15: Optični nivelir NA-720 (Leica  
Gradbeni nivelir NA-720 Optični, 2016)



Slika 16: Stativ (Geo servis: Originalni pribor  
Leica Geosystems, 2016)



Slika 17: Nivelmanska lata (Nedo nivelmanske  
late iz steklenih vlaken, 2016)

Po podatkih proizvajalca zagotavlja sprejemnik Leica Viva GS15 pri statični metodi, z daljšim intervalom opazovanj, horizontalno natančnost  $3 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm}$  in vertikalno natančnost  $3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm}$ . Pri mrežnem konceptu RTK pa horizontalno natančnost  $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$  in vertikalno natančnost  $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ . (Leica Viva GNSS: GS15 receiver Datasheet, 2016)

Tehnični podatki za Nivelir NA 720 (Optični nivelir NA-720, 2016):

- Povečava: 20x
- Premer objektiva: 30 mm

- Najkrajša razdalja merjenja: 0.5 m

#### **Natančnost**

- Srednji pogrešek na km dvojnega nivelmana: 2.5 mm
- Posamezna meritev na 30mrazdalje: 1.5 mm

#### **Kompenzator**

- Natančnost: <0.5"
- Razpon delovanja: ±15'

Ko je bilo delovišče pripravljeno za izmero, smo izvedli meritve.

#### **3.2.2 Izvedba meritev**

Kot je bilo že povedano, smo meritve izvedli dne 17. 05. 2016 na Krvavcu. Na vse tri točke (1008, 1100, 1200), smo postavili sprejemnike Leica Viva GS15, ki smo jih s pomočjo stativa in podnožij centralizirali in horizontalizirali. Medtem, ko smo na točkah 1100 in 1200 s 50 minutnimi prekinitvami (med katerimi smo izvajali statične meritve) izvajali meritve v konceptu MAC (točka 1100) oziroma VRS (točka 1200), smo na točki 1008 neprekinjeno izvajali statične meritve. Interval registracije je bil nastavljen na 1 sekundo, minimalni višinski kot za registracijo signala GNSS pa na 10°. Za takšno vrednost višinskega kota smo se odločili, ker večina sprejemnikov za določanje položaja v konceptu RTK sprejema le signal satelitov pri višinskem kotu nad 10°, ker so sateliti na manjšem višinskem kotu bolj podvrženi vplivom atmosfere, kar neugodno vpliva na kakovost koordinat.

Pridobljene koordinate točke 1008, nam bodo služile kot referenca za primerjavo kakovosti (točnosti) določitve koordinat z ostalima dvema metodama.



Slika 18: Postavitev sprejemnikov na merjenih točkah

Preglednica 1: Terenski zapisnik

Točka	1008	1100	1200
mesto izmere	Krvavec	Krvavec	Krvavec
datum izmere	17.05.2016	17.05.2016	17.05.2016
operater	Grega/Albin	Albin	Grega
metoda izmere	statična	statična + MAC	statična + VRS
proizvajalec instrumentarija	Leica	Leica	Leica
tip sprejemnika	Leica Viva	Leica Viva	Leica Viva
tip antene	Leica Viva GS15	Leica Viva GS15	Leica Viva GS15
serijska številka antene	1500642	1500509	1500617
višina antene	1,469	1,139	1,203
ime podatkovne datoteke	krvavec A	krvavec C	krvavec B
interval beleženja signala	1"	1"	1"
višinski kot	10°	10°	10°

Nato smo na točkah 1100 in 1200 hkrati začeli z določitvijo koordinat na osnovi RTK metode s konceptoma MAC in VRS, in sicer v časovnem trajanju približno treh minut, oziroma v trajanju, potrebnem za izvedbo 10 neodvisnih inicializacij.

Ko smo s prvo serijo MAC in VRS meritev zaključili, smo na obeh točkah začeli s statično metodo izmere in sicer v trajanju 50 minut. Po 50 minutah smo statične meritve prekinili in začeli z drugo serijo MAC in VRS meritev, prav tako z 10 neodvisnimi inicializacijami. Vse skupaj smo ponovili v 6 serijah, tako da smo dobili 5x50 min. podatkov statičnih opazovanj na obeh točkah in 6x10 določitve koordinat s konceptom MAC na točki 1100 in konceptom VRS na točki 1200.

Preglednica 2: Časovni potek opazovanj

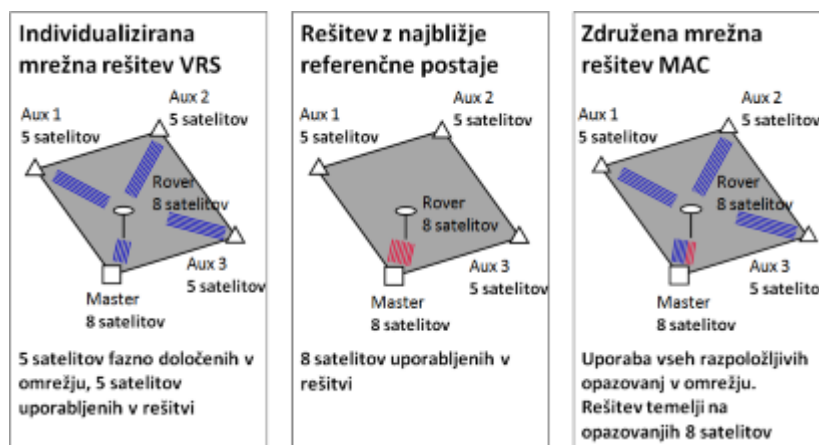
	MAC	VRS	T (°C)	Vlažnost (%)
<b>1. serija</b>	<b>C1-C10</b>	<b>B1-B5</b>	8,1	49
začetek	10:05	10:05		
konec	10:10	10:15		
trajanje opazovanj	5'	10'		
<b>2. serija</b>	<b>C11-C20</b>	<b>B11-B15</b>	9,3	51
začetek	11:10	11:15		
konec	11:14	11:25		
trajanje opazovanj	4'	10'		
<b>3. serija</b>	<b>C21-C30</b>	<b>B21-B25</b>	7,7	66
začetek	12:17	12:25		
konec	12:20	12:33		
trajanje opazovanj	3'	8'		
<b>4. serija</b>	<b>C31-C40</b>	<b>B31-B35</b>	14,4	62
začetek	13:27	13:36		
konec	13:30	13:46		
trajanje opazovanj	3'	10'		
<b>5. serija</b>	<b>C41-C50</b>	<b>B41-B55</b>	18	59
začetek	14:37	14:42		
konec	14:39	14:50		
trajanje opazovanj	2'	8'		
<b>6. serija</b>	<b>C51-C60</b>	<b>B51-B55</b>	12,7	61
začetek	15:42	15:49		
konec	15:44	15:54		
trajanje opazovanj	2'	5'		

Gornji načrt izvedbe opazovanj je bilo na terenu mogoče realizirati le deloma. Med izmero se je namreč izkazalo, da se pri konceptu VRS pojavljajo velike težave z določitvijo fazne nedoločenosti (inicializacija). V primerjavi s konceptom MAC, kjer je bila inicializacija izvedena v nekaj sekundah, je bilo pri konceptu VRS potrebno za inicializacijo počakati tudi več minut. Zato smo se naknadno odločili, da bomo pri določitvi koordinat v konceptu VRS opravili samo po 5 inicializacij v vsaki seriji, namesto 10. Tako smo z VRS-izmero pridobili  $6 \times 5 = 30$  neodvisno določenih trojic koordinat točke 1200.

Kot je moč razbrati iz preglednice 2, so meritve v konceptu MAC trajale v povprečju 3 minute, medtem ko so meritve v konceptu VRS trajale povprečno kar 8,5 minut. Razlog za tako različno trajanje meritev je v času potrebnem za inicializacijo. Zakaj pa je koncept VRS potreboval toliko daljši čas inicializacije v primerjavi s konceptom MAC?



Eden izmed razlogov leži v sami metodi določitve položaja. VRS koncept je vezan na celotno omrežje referenčnih postaj in iste satelite, ki jim sledi (spremlja signal) premični sprejemnik (rover), morajo slediti tudi referenčne postaje. Tako lahko pride do situacije, kjer sicer premični sprejemnik sledi 5 satelitov (min. število potrebno za inicializacijo), vendar pa ostale referenčne postaje vidijo samo 4 skupne satelite in tako ne pride do inicializacije (slika 19).

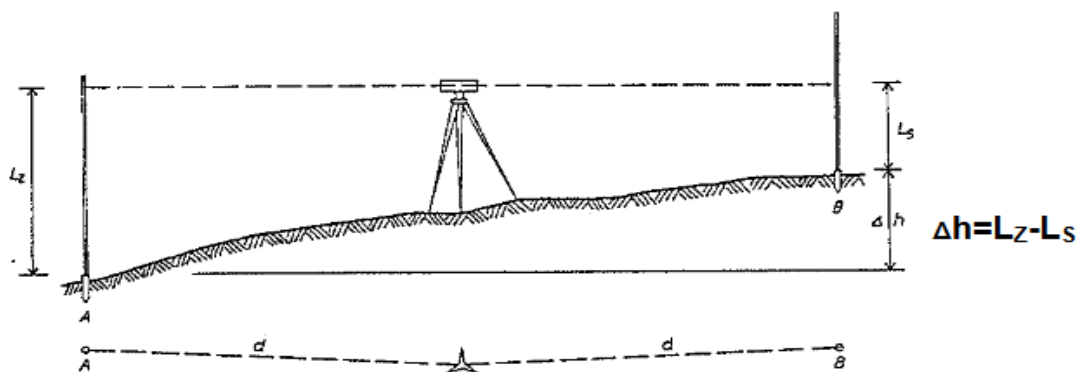


Slika 19: Prikaz različnih mrežnih konceptov (Geo servis: Vprašanja in odgovori, 2016)

MAC koncept je glede števila spremljanih satelitov veliko bolj prilagodljiva. Tudi tukaj premični sprejemnik sprejema podatke več referenčnih postaj, vendar pa je veliki del računskih operacij iz računskega centra omrežja prenešen na premični sprejemnik, ki sam izračunava katera rešitev je v dani situaciji optimalna za določitev položaja. Lahko uporabi opazovanja ene ali več referenčnih postaj in pridobi rešitev (svoje koordinate) na osnovi enega ali več baznih vektorjev, ali pa interpolira vplive na opazovanja na svoj položaj in določi svoje koordinate s t. i. mrežno rešitvijo (slika 19). Ker lahko premični sprejemnik v vsakem trenutku rekonstruira opazovanja vseh okoliških postaj, tudi ni občutljiv na izpad posamezne postaje, tako je rešitev z najbližjo referenčno postajo vedno na voljo (Geo servis: Vprašanja in odgovori, 2016).

Ker lahko pri opazovanju točk, ki so na večji nadmorski višini kot referenčne postaje pride do slabše kakovosti modeliranih vplivov in posledično slabše določitve koordinat in predvsem višine točk, smo med točkami 1100, 1200 in 1008 določili višinsko razliko z geometričnim nivelmanom.

Uporabili smo metodo niveliranja iz sredine, saj s to metodo eliminiramo pogrešek horizontalnosti vizurne osi (slika 20).



Slika 20: Metoda niveliranja iz sredine (Zupančič, 2008)

Preglednica 3: Terenski zapisnik niveliranja

Vizura na točko		Lata zadaj = Lz		Lata spredaj = Ls		Višinska razlika Lz – Ls
zadaj	spredaj	odčitek	sredina	odčitek	sredina	
1100	1008	961	936	803	781	0,155
		911		760		
1100	1008	905	879	747	723	0,156
		854		702		
1008	1200	1054	1033	602	580	0,453
		1012		558		
1008	1200	999	978	548	525	0,453
		957		502		

Pridobljene podatke opazovanj bomo v nadaljevanju obdelali in analizirali.

## 4 OBDELAVA IN ANALIZA REZULTATOV MERITEV

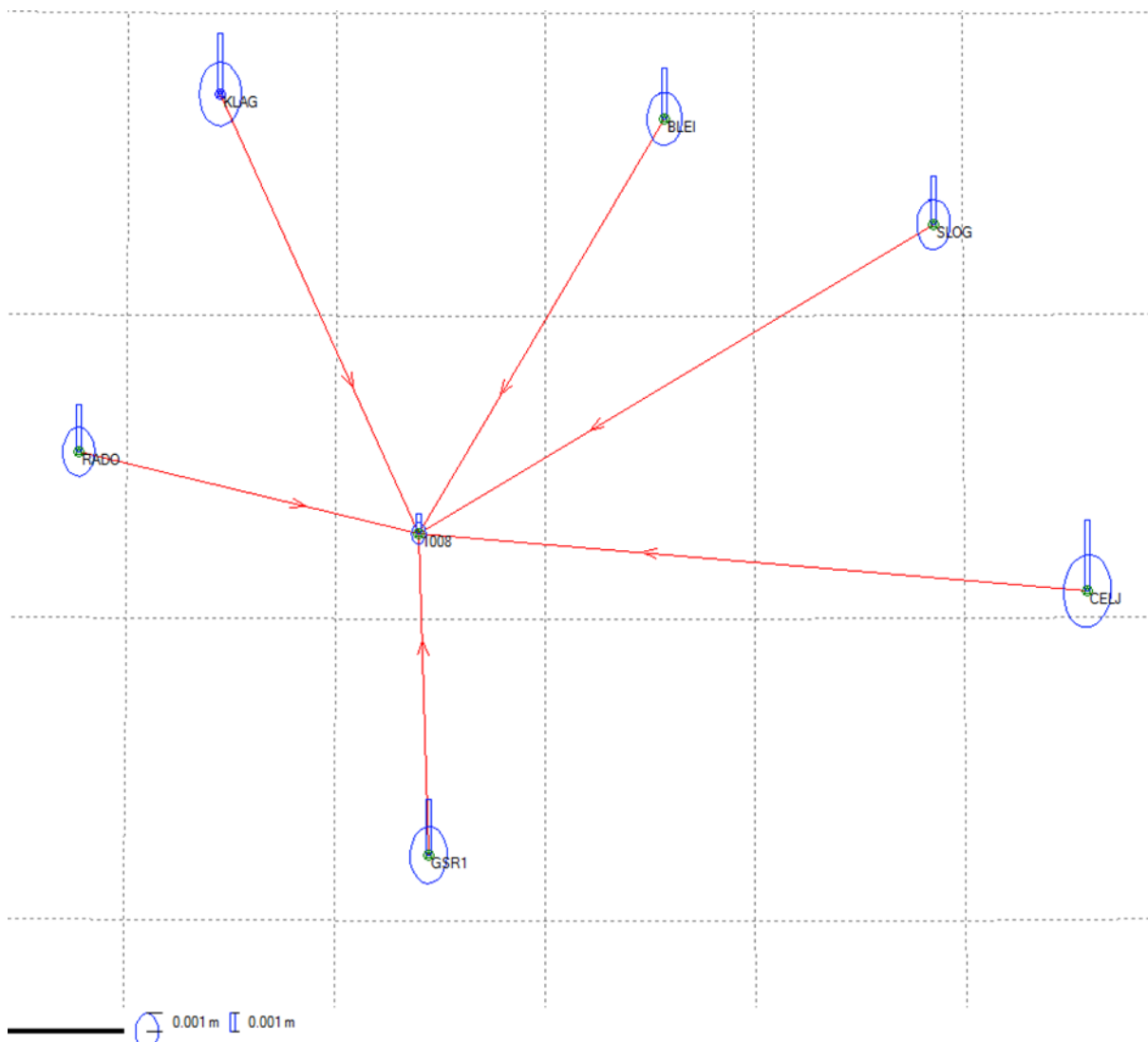
### 4.1 Obdelava statičnih opazovanj

Koordinate pridobljene s statično metodo na točkah 1100 in 1200, bomo uporabili kot referenčne za primerjavo s konceptoma MAC in VRS. Koordinate točke 1008 so bile predhodno že enkrat določene in sicer leta 2014, zato bomo opravili tudi primerjavo naših koordinat s predhodno določenimi.

Naknadno obdelavo statičnih opazovanj, ki smo jih izvajali na točkah 1008, 1100 in 1200, smo opravili v programskem paketu Leica Geo Office. Da bi pridobili karseda kakovostne koordinate, smo pri obdelavi uporabili precizne efemeride satelitov. Koordinate točk 1100 in 1200 smo izračunali z navezavo na GNSS-postaje omrežja SIGNAL in APOS. In sicer smo v omrežju SIGNAL uporabili podatke opazovanj GNSS-postaj Slovenj Gradec (SLOG), Celje (CELJ), Ljubljana (GSR1) in Radovljica (RADO), v omrežju APOS pa postaji Celovec (KLAG) in Pliberk (BLEI). Opazovanja z omenjenih permanentnih postaj smo pridobili s spletnega portala Službe za GPS in sicer v formatu RINEX. Med GNSS-postajami in novimi točkami smo tvorili bazne vektorje in tako pridobili zaključene like, ki so nam omogočili izravnavo. Tako smo dobili koordinate točk 1008, 1100 in 1200 na osnovi statičnih opazovanj, ki nam bodo služile kot referenčne pri kasnejših primerjavah (preglednica 4).

Preglednica 4: Koordinate pridobljene s statičnimi meritvami z uporabo preciznih efemerid

Točka		koordinate (m)	$\sigma$ (m)
	e	464013,390	0,0006
1008	n	127368,731	0,0004
	h	1473,138	0,0011
	e	464010,647	0,0017
1100	n	127370,360	0,0011
	h	1472,985	0,0033
	e	464017,671	0,0019
1200	n	127366,290	0,0012
	h	1473,591	0,0036



Slika 21: Skica mreže baznih vektorjev za izračun koordinat točke 1008

Kot smo že omenili, smo na terenu med točkami določili višinsko razliko z geometričnim nivelmanom. Če vzamemo višino točke 1008 za referenčno, dobimo na podlagi izmerjenih višinskih razlik naslednje rezultate (preglednica 5).

Preglednica 5: Višine dobljene z geometričnim nivelmanom

	H	$\Delta H$
Točka 1008	1473,138	
<b>referenca 1100 (statična meritev)</b>	<b>1472,985</b>	
nivelirana višina 1100 (-0,155m)	1472,983	-0,002
<b>referenca 1200 (statična meritev)</b>	<b>1473,591</b>	
nivelirana višina 1200 (+0,453m)	1473,591	0,000

Kot vidimo iz preglednice 5, sta razliki višinskih razlik med točkama 1008 in 1100 ter 1008 in 1200 pridobljeni s statičnimi opazovanji in z geometričnim nivelmanom, skorajda enaki nič. Pri točki 1100 znaša 2 mm, pri točki 1200 pa razlike ni. Rezultati so nekoliko presenetljivi, saj smo pričakoval da bo razlika v izračunanih višinah in posledično višinskih razlikah med točkami, večja.

Točka 1008 je bila s statično izmero GNSS že določena v letu 2104. Opazovanja so takrat trajala 6 do 8 ur z intervalom registracije 5 sekund in minimalnim višinskim kotom  $15^\circ$ . Naknadna obdelava opazovanj je potekala z uporabo preciznih efemerid, mreža baznih vektorjev pa je bila izravnana. Teoretično bi morale biti koordinate točke 1008, ki smo jih pridobili z našo izmero in tiste, ki so bile predhodno določene, enake.

Preglednica 6: Primerjava koordinat točke 1008 določenih leta 2014 in leta 2016

Točka 1008	e (m)	n (m)	H (m)	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta H$ (m)
iz leta 2104	464013,397	127368,737	1473,108			
iz leta 2016	464013,390	127368,731	1473,138	0,007	0,006	-0,030

Kot vidimo iz zgornje preglednice, se po horizontalnem položaju naše izmerjene koordinate razlikujejo od predhodno določenih za 6 do 7 mm. Po višini pa je razlika malo večja in sicer znaša 3 cm. Kaj je razlog za tako odstopanje je težko določiti. Lahko pa rečemo da je verjetno razlogov več. Od tega, da je bila meritev opravljena v drugačnih pogojih in so zato bila opazovanja podvržena različnim prostorskim vplivom (troposfere, ionosfere), do samega postopka naknadne obdelave in izravnave mreže.

#### 4.1.1 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200

Pri statičnih meritvah izvajamo dolgotrajna opazovanja z namenom in za potrebe zanesljive določitve fazne nedoločenosti. Pri statičnih opazovanjih tako znaša običajna dolžina serije opazovanj od 30 minut do 2 uri. Na točki 1008 smo izvajali 6 urna opazovanja neprekinjeno, na točkah 1100 in 1200 pa smo izvedli 5 serij po 50 minut. V prejšnjem poglavju so koordinate izračunane na podlagi skupne obdelave vseh 5 serij, torej so uporabljena opazovanja vseh 250 minut, oziroma 360 minut za točko 1008. Nas pa je zanimalo, do kakšnih razlik pride, če v izračunu uporabimo opazovanja posamezne serije, torej 50 minutna statična opazovanja v posameznih serijah (preglednica 7).

Preglednica 7: Rezultat naknadne obdelave za vsako serijo statičnih opazovanj

Točka 1008	e (m)	n (m)	h (m)
1. serija	464013,390	127368,730	1473,140
2. serija	464013,389	127368,729	1473,138
3. serija	464013,391	127368,732	1473,137
4. serija	464013,391	127368,730	1473,138
5. serija	464013,389	127368,731	1473,139
Točka 1100	e (m)	n (m)	h (m)
1. serija	464010,646	127370,362	1472,985
2. serija	464010,648	127370,361	1472,987
3. serija	464010,648	127370,360	1472,984
4. serija	464010,646	127370,359	1472,985
5. serija	464010,646	127370,360	1472,983
Točka 1200	e (m)	n (m)	h (m)
1. serija	464017,670	127366,290	1473,593
2. serija	464017,672	127366,289	1473,591
3. serija	464017,672	127366,291	1473,593
4. serija	464017,670	127366,291	1473,592
5. serija	464017,671	127366,290	1473,590

Če primerjamo rezultate posamezne serije z rezultati celotnega niza opazovanj, vidimo da pride pri vseh točkah do razlik velikosti 2 mm (preglednica 8).

Preglednica 8: Razlike med skupnimi opazovanji in posameznimi serijami

Točka 1008	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
1. serija	0,000	-0,001	0,002
2. serija	-0,001	-0,002	0,000
3. serija	0,001	0,001	-0,001
4. serija	0,001	-0,001	0,000
5. serija	-0,001	0,000	0,001
Točka 1100	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
1. serija	-0,001	0,002	0,000
2. serija	0,001	0,001	0,002
3. serija	0,001	0,000	-0,001
4. serija	-0,001	-0,001	0,000
5. serija	-0,001	0,000	-0,002
Točka 1200	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
1. serija	-0,001	0,000	0,002
2. serija	0,001	-0,001	0,000
3. serija	0,001	0,001	0,002
4. serija	-0,001	0,001	0,001
5. serija	0,000	0,000	-0,001

Iz tega lahko zaključimo, da na dan izvajanja meritev, 50 minutna opazovanja omogočajo določitev položaja z ustrezno natančnostjo in točnostjo. Opazovanja v trajanju 250 minut (oziroma 360 minut), ne zagotavljajo bistveno večje točnosti določitve položaja v primerjavi s 50 minutnimi opazovanji.

#### 4.1.2 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200, z enim baznim vektorjem

Pri obdelavi opazovanj v omrežju GNSS-postaj, je v modeliranju troposferske refrakcije posredno prisotna vrednost nadmorskih višin na katerih se nahajajo GNSS-postaje. Modelirana vrednost troposferske refrakcije je zato značilna za vrednosti nadmorskih višin GNSS-postaj. To je razlog, da lahko pride do slabše določenih koordinat točk, ki se nahajajo na nadmorskih višinah, ki se bistveno razlikujejo od nadmorskih višin baznih postaj saj je model troposferske refrakcije določen na osnovi opazovanj GNSS-postaj. V našem primeru se točke, katerih koordinate določamo nahajajo na nadmorski višini približno 1425 m, GNSS-postaje pa na višinah od 248 m (CELJ), do 507 m (RADO).

Zanimalo nas je kakšne rezultate bi dobili, če bi pri obdelavi uporabili točko, ki se nahaja na isti nadmorski višini kot merjene točke. Tako smo koordinate točk 1100 in 1200 izračunali z enim baznim vektorjem. Koordinate točke 1008 smo poznali, saj smo jih pridobili z izravnavo kot je opisano v poglavju 4.1, točki 1100 in 1200 pa sta bili neznani. Za izračun koordinat točk 1100 in 1200 smo vzeli en bazni vektor od točke 1008 do točke 1100 in en bazni vektor od točke 1008 do točke 1200 (preglednica 9).

Preglednica 9: Rezultati obdelave z enim baznim vektorjem

Točka	e (m)	n (m)	h (m)
1100	464010,647	127370,362	1472,987
1200	464017,668	127366,292	1473,593

Če sedaj primerjamo rezultate točk 1100 in 1200 dobljene iz mreže baznih vektorjev kot je opisano v poglavju 4.1 in dobljene z enim baznim vektorjem, vidimo, da v koordinatah ni bistvenih razlik (preglednica 10).

Preglednica 10: Primerjava koordinat dobljenih iz mreže in z enim baznim vektorjem

Točka	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
<b>1100 (referenca)</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
<b>1200 (referenca)</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
1100	464010,647	127370,362	1472,987	0,000	0,002	0,002
1200	464017,668	127366,292	1473,593	-0,003	0,002	0,002

Referečno vrednost koordinat (referenca) predstavljajo koordinate doblje z naknadno obdelavo statičnih opazovanj in izravnavo baznih vektorjev, kot je opisano v poglavju 4.1.

Kot vidimo iz preglednice 10, znaša razlika med referenčno vrednostjo koordinat in koordinatami dobljenimi z enim baznim vektorjem, v horizontalnem položaju do 3 mm, v višini pa do 2 mm. Razlog, da so razlike tako majhne je v tem, da so bile za določitev koordinat točk 1008, 1100 in 1200 v omrežju GNSS-postaj uporabljene enake vrednosti troposferske refrakcije saj se točke nahajajo na praktično isti nadmorski višini. Pri določitvi koordinat točk 1100 in 1200 glede na točko 1008 pa gre za določitev koordinat na zelo kratkih razdaljah, na katerih so vrednosti troposferske refrakcije za točki 1100 in 1200 praktično enake kot za točko 1008.

#### 4.1.3 Obdelava statičnih opazovanj točk 1100 in 1200 za 50 minutne serije opazovanj

Tudi pri izračunu točk 1100 in 1200 z enim baznim vektorjem, smo v prejšnjem poglavju uporabili celoten niz opazovanj v trajanju 250 minut. Zanimalo nas je kakšne rezultate zagotavljajo opazovanja v trajanju 50 minut, zato smo obdelali vse 50 minutne serije opazovanj. Pridobljene koordinate predstavljamo v preglednici 11.

Preglednica 11: Koordinate določene za 50 minutne serije opazovanj

Točka 1100	e (m)	n (m)	h (m)
1. serija	464010,646	127370,361	1472,987
2. serija	464010,647	127370,361	1472,987
3. serija	464010,648	127370,362	1472,987
4. serija	464010,646	127370,362	1472,988
5. serija	464010,647	127370,361	1472,987
Točka 1200	e (m)	n (m)	h (m)
1. serija	464017,669	127366,292	1473,592
2. serija	464017,668	127366,291	1473,593
3. serija	464017,669	127366,293	1473,593
4. serija	464017,668	127366,293	1473,594
5. serija	464017,669	127366,291	1473,594

Če sedaj primerjamo koordinate določene na osnovi 250 minutnih opazovanj s koordinatami določenimi v 50 minutnih serijah, vidimo da se koordinate minimalno razlikujejo (preglednica 12).



Preglednica 12: Razlike med skupnimi opazovanji in posameznimi serijami, z enim vektorjem

Točka 1100	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
1. serija	-0,001	-0,001	0,000
2. serija	0,000	-0,001	0,000
3. serija	0,001	0,000	0,000
4. serija	-0,001	0,000	0,001
5. serija	0,000	-0,001	0,000
Točka 1200	$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
1. serija	0,001	0,000	-0,001
2. serija	0,000	-0,001	0,000
3. serija	0,001	0,001	0,000
4. serija	0,000	0,001	0,001
5. serija	0,001	-0,001	0,001

Zaključimo lahko, da bi bilo na dotični dan izvajanja meritev dovolj, če bi opravili opazovanja v trajanju 50 minut, saj pridobimo z 250 minutnimi opazovanji skoraj identične koordinate točk 1100 in 1200.

#### 4.2 Rezultati določitve koordinat z RTK metodo s konceptom MAC

Na točki 1100 smo v 6 serijah določali koordinate točke na osnovi koncepta MAC. Serije meritev v načinu MAC smo izvajali na vsakih 50 minut. Znotraj posamezne serije smo naredili 10 neodvisnih inicializacij. To pomeni, da smo po vsaki meritvi znotraj serije prekinili sprejem signala GNSS, tako da je instrument v vsaki seriji moral ponovno izvesti inicializacijo. Pridobljene koordinate so podane v preglednici 13.

Preglednica 13: Rezultati MAC meritev

Točka 1100 (C)						
1. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C1	464010,647	127370,350	1472,913	0,004	-0,003	-0,007
C2	464010,643	127370,339	1472,933	0,000	-0,014	0,013
C3	464010,646	127370,349	1472,931	0,003	-0,004	0,011
C4	464010,644	127370,357	1472,916	0,001	0,004	-0,004
C5	464010,646	127370,354	1472,904	0,003	0,001	-0,016
C6	464010,641	127370,359	1472,921	-0,002	0,006	0,001
C7	464010,637	127370,360	1472,917	-0,006	0,007	-0,003
C8	464010,641	127370,355	1472,921	-0,002	0,002	0,001
C9	464010,640	127370,354	1472,926	-0,003	0,001	0,006
C10	464010,646	127370,356	1472,917	0,003	0,003	-0,003
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,643</b>	<b>127370,353</b>	<b>1472,920</b>			
$\sigma$	0,003	0,006	0,009			
2. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C11	464010,639	127370,367	1472,970	-0,002	0,015	0,022

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 13

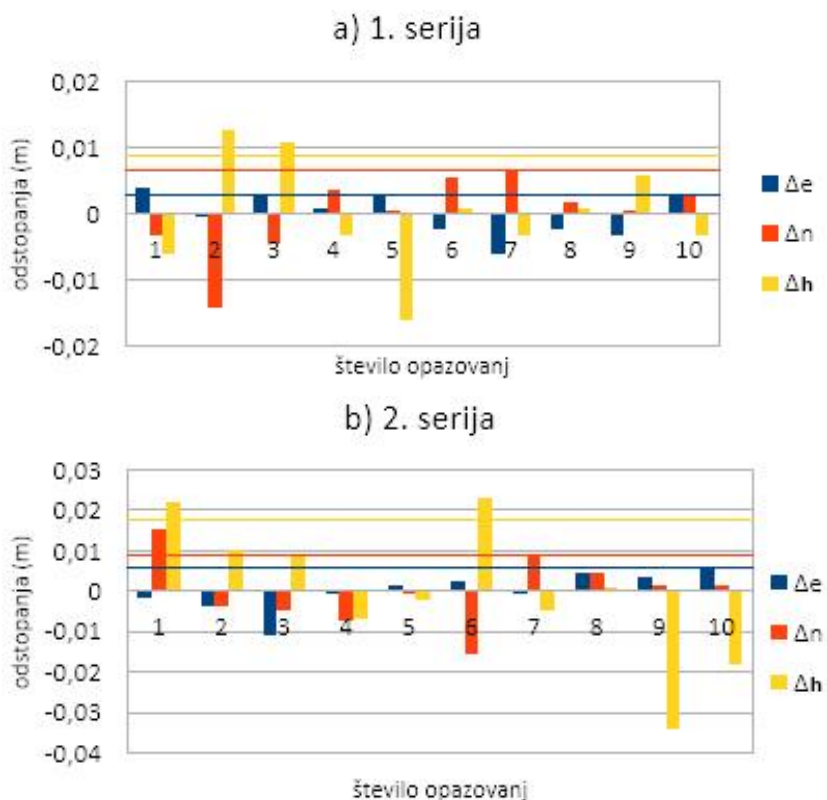
C12	464010,637	127370,348	1472,958	-0,004	-0,004	0,010
C13	464010,630	127370,347	1472,956	-0,011	-0,005	0,008
C14	464010,640	127370,344	1472,940	-0,001	-0,008	-0,008
C15	464010,642	127370,351	1472,946	0,001	-0,001	-0,002
C16	464010,643	127370,336	1472,971	0,002	-0,016	0,023
C17	464010,640	127370,360	1472,943	-0,001	0,008	-0,005
C18	464010,645	127370,356	1472,949	0,004	0,004	0,001
C19	464010,644	127370,353	1472,914	0,003	0,001	-0,034
C20	464010,646	127370,353	1472,929	0,005	0,001	-0,019
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,641</b>	<b>127370,352</b>	<b>1472,948</b>			
$\sigma$	0,005	0,009	0,018			
3. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C21	464010,642	127370,336	1473,003	0,013	0,006	0,011
C22	464010,632	127370,344	1472,945	0,003	0,014	-0,047
C23	464010,630	127370,331	1473,023	0,001	0,001	0,031
C24	464010,633	127370,333	1473,027	0,004	0,003	0,035
C25	464010,622	127370,341	1472,930	-0,007	0,011	-0,062
C26	464010,626	127370,321	1473,017	-0,003	-0,009	0,025
C27	464010,628	127370,324	1472,996	-0,001	-0,006	0,005
C28	464010,622	127370,319	1472,997	-0,007	-0,011	0,005
C29	464010,631	127370,328	1473,000	0,002	-0,002	0,008
C30	464010,624	127370,324	1472,977	-0,005	-0,006	-0,014
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,629</b>	<b>127370,330</b>	<b>1472,992</b>			
$\sigma$	0,006	0,008	0,032			
4. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C31	464010,645	127370,260	1472,886	-0,001	-0,038	-0,034
C32	464010,677	127370,249	1472,880	0,031	-0,049	-0,040
C33	464010,667	127370,253	1472,890	0,021	-0,045	-0,030
C34	464010,652	127370,268	1472,886	0,006	-0,030	-0,034
C35	464010,637	127370,279	1472,848	-0,009	-0,019	-0,072
C36	464010,634	127370,349	1472,978	-0,012	0,051	0,058
C37	464010,640	127370,342	1472,965	-0,006	0,044	0,045
C38	464010,634	127370,338	1472,974	-0,012	0,040	0,054
C39	464010,643	127370,294	1472,916	-0,003	-0,004	-0,004
C40	464010,634	127370,350	1472,976	-0,012	0,052	0,056
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,646</b>	<b>127370,298</b>	<b>1472,920</b>			
$\sigma$	0,015	0,042	0,049			
5. serija	e (m)	n (m)	H (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C41	464010,636	127370,364	1472,959	0,003	0,014	-0,006
C42	464010,633	127370,352	1472,968	0,000	0,002	0,003
C43	464010,620	127370,338	1472,970	-0,013	-0,012	0,005
C44	464010,621	127370,335	1472,965	-0,012	-0,015	0,000
C45	464010,639	127370,349	1472,947	0,006	-0,001	-0,018
C46	464010,637	127370,352	1472,967	0,004	0,002	0,002
C47	464010,634	127370,352	1472,977	0,001	0,002	0,012
C48	464010,636	127370,360	1472,979	0,003	0,010	0,014
C49	464010,634	127370,352	1472,958	0,001	0,002	-0,007
C50	464010,637	127370,350	1472,963	0,004	0,000	-0,002
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,633</b>	<b>127370,350</b>	<b>1472,965</b>			
$\sigma$	0,007	0,009	0,009			

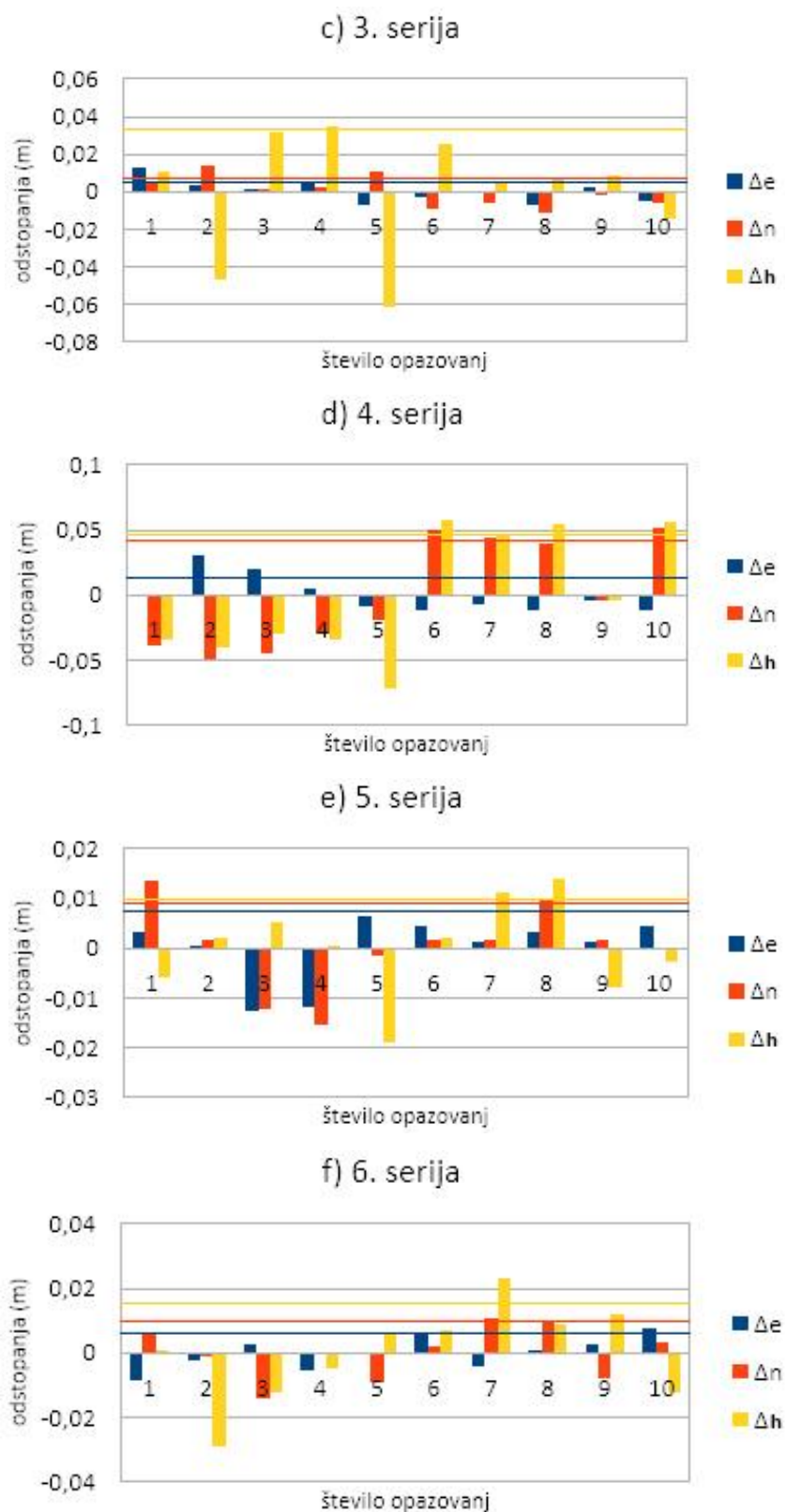
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 13

6. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C51	464010,630	127370,335	1472,932	-0,008	0,006	0,001
C52	464010,636	127370,328	1472,902	-0,002	-0,001	-0,029
C53	464010,641	127370,315	1472,918	0,003	-0,014	-0,013
C54	464010,633	127370,329	1472,926	-0,005	0,000	-0,005
C55	464010,638	127370,320	1472,937	0,000	-0,009	0,006
C56	464010,644	127370,331	1472,938	0,006	0,002	0,007
C57	464010,634	127370,340	1472,954	-0,004	0,011	0,023
C58	464010,639	127370,339	1472,939	0,001	0,010	0,008
C59	464010,641	127370,321	1472,942	0,003	-0,008	0,011
C60	464010,646	127370,332	1472,918	0,008	0,003	-0,013
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464010,638</b>	<b>127370,329</b>	<b>1472,931</b>			
$\sigma$	0,005	0,008	0,015			

V preglednici 13 predstavljajo vrednosti  $\Delta e$ ,  $\Delta n$  in  $\Delta h$  razliko med posamezno določitvijo koordinat znotraj serije in aritmetično sredino koordinat v posamezni seriji. Vrednosti  $\sigma$  pa predstavljajo standardne odklone v posamezni seriji. Na sliki 22 so  $\sigma$  označene, in sicer z modro črto za koordinato e, rdečo črto za koordinato n in rumeno črto za višino h.





Slika 22: Natančnost koordinat, določenih s konceptom RTK-MAC

Kot vidimo iz slike 22, je položajno odstopanje znotraj 1,5 centimetra. Večje razlike so samo pri meritvah v 4 seriji, kjer je odstopanje koordinate e 3,1 cm in n 5,2 cm. Višinska komponenta pa je za približno faktor 2 slabše določljiva kot horizontalni položaj. Po višini ponovno odstopa 4. serija in tudi

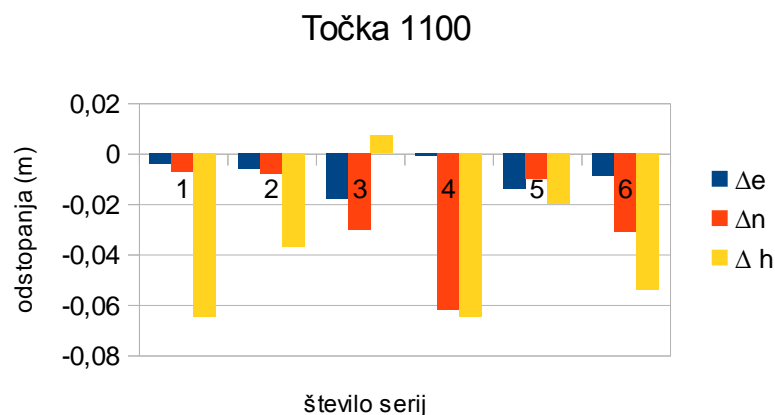
3. serija, kjer je višinska komponenta za faktor 3 slabše določena v primerjavi s horizontalnim položajem. Razlog za slabšo določitev višine je verjetno v slabši kakovosti modelirane troposferske refrakcije. Slednja namreč najbolj vpliva na določitev višinske komponente.

#### 4.2.1 Primerjava koordinat določenih z RTK MAC in statično metodo

Ker nas zanima ali obstaja razlika koordinat določenih s konceptom MAC in s statično izmero, smo primerjali vrednosti koordinat določenih z obema metodama (preglednica 14).

Preglednica 14: Primerjava aritmetične sredine koordinat določenih s konceptom MAC in s statično izmero

Točka 1100 (C)	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
<b>Referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
1. MAC meritev (C1-C10)	464010,643	127370,353	1472,920	-0,004	-0,007	-0,065
2. MAC meritev (C11-C20)	464010,641	127370,352	1472,948	-0,006	-0,008	-0,037
3. MAC meritev (C21-C30)	464010,629	127370,330	1472,992	-0,018	-0,030	0,007
4. MAC meritev (C31-C40)	464010,646	127370,298	1472,920	-0,001	-0,062	-0,065
5. MAC meritev (C41-C50)	464010,633	127370,350	1472,965	-0,014	-0,010	-0,020
6. MAC meritev (C51-C60)	464010,638	127370,329	1472,931	-0,009	-0,031	-0,054



Slika 23: Točnost metode RTK-MAC

Kot vidimo so razlike v horizontalnem položaju minimalne. V smeri koordinate e so manjše od centimetra, prav tako po smeri n koordinate, z izjemo koordinat, določenih v 3., 4. in 6. seriji. Po višini pa so razlike večje. Kot vidimo, je višinska komponenta najbolj kakovostno določena v 3. seriji, kjer so odstopanja znotraj centimetra. V ostalih serijah, pa se odstopanja višin gibljejo od 2 cm, pa vse do 7 cm.

Poleg primerjave aritmetične sredine koordinat, določene za posamezno serijo opazovanj, smo primerjali tudi posamezne koordinate določene s konceptom MAC in s statično izmero (preglednica 15).

Preglednica 15: Primerjava koordinat določenih s koceptom MAC in statično izmero

Točka 1100 (C)						
1. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C1	464010,647	127370,350	1472,913	0,000	-0,010	-0,072
C2	464010,643	127370,339	1472,933	-0,004	-0,021	-0,052
C3	464010,646	127370,349	1472,931	-0,001	-0,011	-0,054
C4	464010,644	127370,357	1472,916	-0,003	-0,003	-0,069
C5	464010,646	127370,354	1472,904	-0,001	-0,006	-0,081
C6	464010,641	127370,359	1472,921	-0,006	-0,001	-0,064
C7	464010,637	127370,360	1472,917	-0,010	0,000	-0,068
C8	464010,641	127370,355	1472,921	-0,006	-0,005	-0,064
C9	464010,640	127370,354	1472,926	-0,007	-0,006	-0,059
C10	464010,646	127370,356	1472,917	-0,001	-0,004	-0,068
<b>referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
r.m.s.1	0,005	0,009	0,066			
2. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C11	464010,639	127370,367	1472,970	-0,008	0,007	-0,015
C12	464010,637	127370,348	1472,958	-0,010	-0,012	-0,027
C13	464010,630	127370,347	1472,956	-0,017	-0,013	-0,029
C14	464010,640	127370,344	1472,940	-0,007	-0,016	-0,045
C15	464010,642	127370,351	1472,946	-0,005	-0,009	-0,039
C16	464010,643	127370,336	1472,971	-0,004	-0,024	-0,014
C17	464010,640	127370,360	1472,943	-0,007	0,000	-0,042
C18	464010,645	127370,356	1472,949	-0,002	-0,004	-0,036
C19	464010,644	127370,353	1472,914	-0,003	-0,007	-0,071
C20	464010,646	127370,353	1472,929	-0,001	-0,007	-0,056
<b>referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
r.m.s.2	0,008	0,012	0,041			
3. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C21	464010,642	127370,336	1473,003	-0,005	-0,024	0,018
C22	464010,632	127370,344	1472,945	-0,015	-0,016	-0,040
C23	464010,630	127370,331	1473,023	-0,017	-0,029	0,038
C24	464010,633	127370,333	1473,027	-0,014	-0,027	0,042
C25	464010,622	127370,341	1472,930	-0,025	-0,019	-0,055
C26	464010,626	127370,321	1473,017	-0,021	-0,039	0,032
C27	464010,628	127370,324	1472,996	-0,019	-0,036	0,011
C28	464010,622	127370,319	1472,997	-0,025	-0,041	0,012
C29	464010,631	127370,328	1473,000	-0,016	-0,032	0,015
C30	464010,624	127370,324	1472,977	-0,023	-0,036	-0,008
<b>referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
r.m.s.3	0,019	0,031	0,033			
4. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C31	464010,645	127370,260	1472,886	-0,002	-0,100	-0,099
C32	464010,677	127370,249	1472,880	0,030	-0,111	-0,105
C33	464010,667	127370,253	1472,890	0,020	-0,107	-0,095
C34	464010,652	127370,268	1472,886	0,005	-0,092	-0,099
C35	464010,637	127370,279	1472,848	-0,010	-0,081	-0,137
C36	464010,634	127370,349	1472,978	-0,013	-0,011	-0,007
C37	464010,640	127370,342	1472,965	-0,007	-0,018	-0,020
C38	464010,634	127370,338	1472,974	-0,013	-0,022	-0,011

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 15

C39	464010,643	127370,294	1472,916	-0,004	-0,066	-0,069
C40	464010,634	127370,350	1472,976	-0,013	-0,010	-0,009
<b>referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
r.m.s.4	0,015	0,075	0,081			
5. serija	e (m)	n (m)	H (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C41	464010,636	127370,364	1472,959	-0,011	0,004	-0,026
C42	464010,633	127370,352	1472,968	-0,014	-0,008	-0,017
C43	464010,620	127370,338	1472,970	-0,027	-0,022	-0,015
C44	464010,621	127370,335	1472,965	-0,026	-0,025	-0,020
C45	464010,639	127370,349	1472,947	-0,008	-0,011	-0,038
C46	464010,637	127370,352	1472,967	-0,010	-0,008	-0,018
C47	464010,634	127370,352	1472,977	-0,013	-0,008	-0,008
C48	464010,636	127370,360	1472,979	-0,011	0,000	-0,006
C49	464010,634	127370,352	1472,958	-0,013	-0,008	-0,027
C50	464010,637	127370,350	1472,963	-0,010	-0,010	-0,022
<b>referenca 1100</b>	<b>464010,647</b>	<b>127370,360</b>	<b>1472,985</b>			
r.m.s.5	0,016	0,013	0,022			
6. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
C51	464010,630	127370,335	1472,932	-0,017	-0,025	-0,053
C52	464010,636	127370,328	1472,902	-0,011	-0,032	-0,083
C53	464010,641	127370,315	1472,918	-0,006	-0,045	-0,067
C54	464010,633	127370,329	1472,926	-0,014	-0,031	-0,059
C55	464010,638	127370,320	1472,937	-0,009	-0,040	-0,048
C56	464010,644	127370,331	1472,938	-0,003	-0,029	-0,047
C57	464010,634	127370,340	1472,954	-0,013	-0,020	-0,031
C58	464010,639	127370,339	1472,939	-0,008	-0,021	-0,046
C59	464010,641	127370,321	1472,942	-0,006	-0,039	-0,043
C60	464010,646	127370,332	1472,918	-0,001	-0,028	-0,067
referenca 1100	464010,647	127370,360	1472,985			
r.m.s.6	0,010	0,032	0,056			

Iz preglednice 15 vidimo, da so odstopanja koordinat, določenih s konceptom MAC zelo različna. Po koordinati e znašajo od 1 mm pa do 3 cm, po koordinati n pa od 0 mm do 4,5 cm. Tudi višine so pri nekaterih opazovanjih visoke kakovosti (6 mm), medtem ko so pri nekaterih opazovanjih izrazito slabše kakovosti (13,7 cm). Vrednosti r.m.s. predstavljajo mero točnosti koordinat, določenih v posamezni seriji. Nekatere razlike so dokaj velike, vendar pa nam primerjava pokaže, da je možno s konceptom MAC določiti koordinate, ki so po kakovosti primerljive s statično metodo.

#### 4.3 Rezultati določitve koordinat z RTK metodo s konceptom VRS

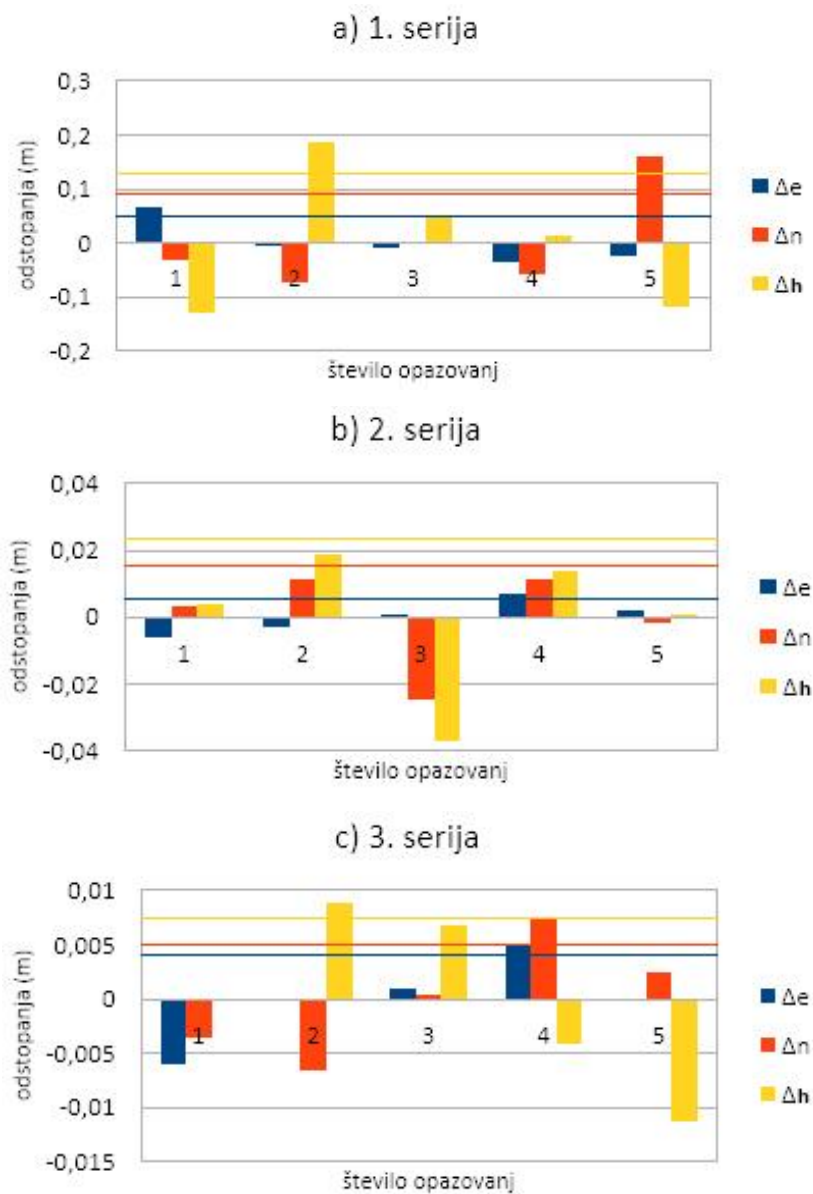
Na točki 1200 smo v 6 serijah določali koordinate točke na osnovi koncepta VRS. Serije meritev v načinu VRS smo izvajali na vsakih 50 minut. Znotraj posamezne serije smo naredili 5 neodvisnih inicializacij. To pomeni, da smo po vsaki meritvi znotraj serije prekinili sprejem signala GNSS, tako da je instrument v vsaki seriji moral ponovno izvesti inicializacijo. Rezultati so podani v preglednici 16.

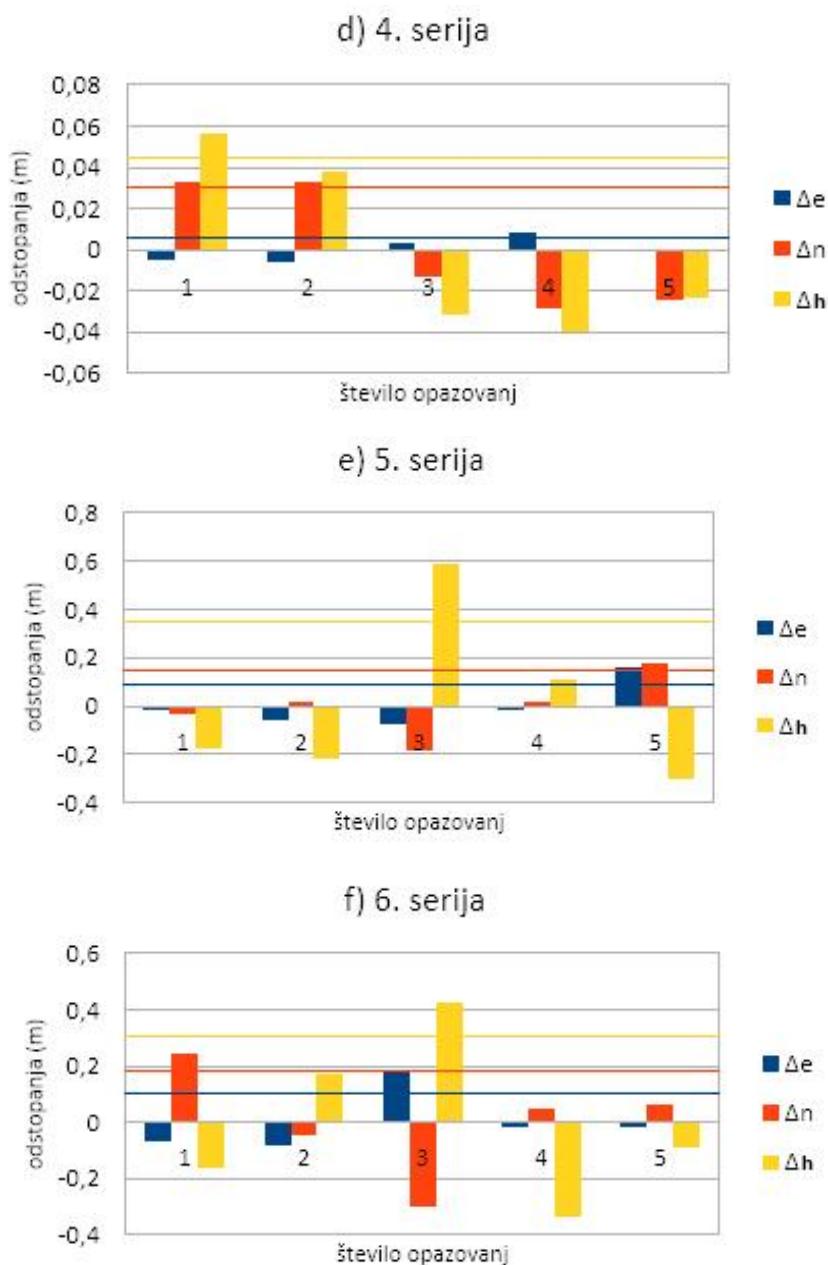
Preglednica 16: Rezultati VRS meritev

Točka 1200 (B)						
1. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B1	464017,730	127366,335	1473,216	0,068	-0,032	-0,129
B2	464017,661	127366,294	1473,531	-0,001	-0,073	0,186
B3	464017,654	127366,368	1473,394	-0,008	0,001	0,049
B4	464017,628	127366,308	1473,357	-0,034	-0,059	0,012
B5	464017,638	127366,529	1473,228	-0,024	0,162	-0,117
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,662</b>	<b>127366,367</b>	<b>1473,345</b>			
$\sigma$	0,040	0,095	0,130			
2. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B11	464017,664	127366,289	1473,529	-0,006	0,003	0,003
B12	464017,667	127366,297	1473,545	-0,003	0,011	0,019
B13	464017,671	127366,261	1473,489	0,001	-0,025	-0,037
B14	464017,677	127366,297	1473,540	0,007	0,011	0,014
B15	464017,672	127366,284	1473,527	0,002	-0,002	0,001
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,670</b>	<b>127366,286</b>	<b>1473,526</b>			
$\sigma$	0,005	0,015	0,022			
3. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B21	464017,660	127366,265	1473,566	-0,006	-0,004	0,000
B22	464017,666	127366,262	1473,575	0,000	-0,007	0,009
B23	464017,667	127366,269	1473,573	0,001	0,000	0,007
B24	464017,671	127366,276	1473,562	0,005	0,007	-0,004
B25	464017,666	127366,271	1473,555	0,000	0,002	-0,011
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,666</b>	<b>127366,269</b>	<b>1473,566</b>			
$\sigma$	0,004	0,005	0,008			
4. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B31	464017,659	127366,279	1473,577	-0,005	0,033	0,056
B32	464017,658	127366,279	1473,559	-0,006	0,033	0,038
B33	464017,668	127366,233	1473,489	0,004	-0,013	-0,032
B34	464017,673	127366,217	1473,482	0,009	-0,029	-0,039
B35	464017,664	127366,221	1473,497	0,000	-0,025	-0,024
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,664</b>	<b>127366,246</b>	<b>1473,521</b>			
$\sigma$	0,006	0,031	0,044			
5. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B41	464017,707	127366,425	1472,803	-0,017	-0,032	-0,178
B42	464017,670	127366,478	1472,762	-0,054	0,021	-0,219
B43	464017,650	127366,273	1473,567	-0,074	-0,184	0,586
B44	464017,709	127366,473	1473,093	-0,015	0,016	0,112
B45	464017,884	127366,636	1472,679	0,160	0,179	-0,302
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,724</b>	<b>127366,457</b>	<b>1472,981</b>			
$\sigma$	0,093	0,130	0,363			
6. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B51	464017,694	127366,549	1473,121	-0,070	0,241	-0,165
B52	464017,681	127366,261	1473,460	-0,083	-0,047	0,174
B53	464017,952	127366,007	1473,709	0,188	-0,301	0,423
B54	464017,750	127366,354	1472,946	-0,014	0,046	-0,340
B55	464017,745	127366,367	1473,195	-0,019	0,059	-0,091
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464017,764</b>	<b>127366,308</b>	<b>1473,286</b>			
$\sigma$	0,109	0,198	0,300			



V preglednici 16, vrednosti  $\Delta e$ ,  $\Delta n$  in  $\Delta h$  predstavljajo razliko med posamezno meritvijo znotraj serije in aritmetično sredino serije. Vrednosti  $\sigma$  pa predstavljajo standardne odklone v posamezni seriji. Na sliki 24 so  $\sigma$  označene, in sicer z modro črto za koordinato e, rdečo črto za koordinato n in rumeno črto za višino h.





Slika 24: Natančnost metode RTK-VRS

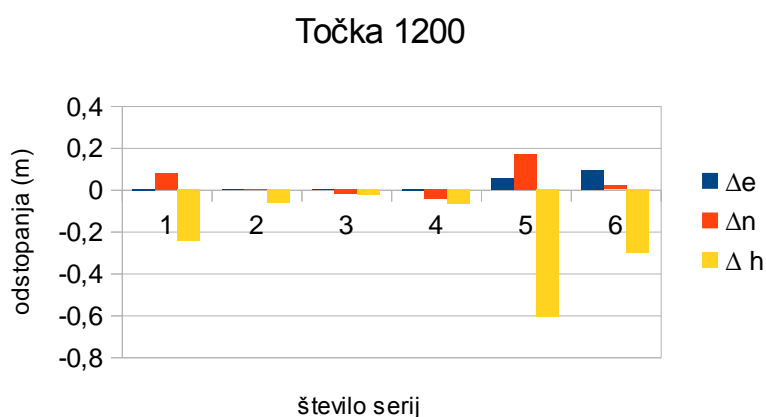
Kot vidimo iz preglednice 16, se sedaj zelo spreminjajo tudi vrednosti horizontalnih koordinat. Največja odstopanja so v 6. seriji, kjer znašajo po koordinati e 18,8cm in po n 30,1 cm. Prav tako so odstopanja v višini največja v 6. seriji, kjer znašajo celo 42,3 cm. To dokazuje, da RTK VRS koncept ni najbolj primeren za določanje koordinat na višjih nadmorskih višinah, ker je troposferska refrakcija slabše modelirana.

#### 4.3.1 Primerjava koordinat določenih z RTK VRS in statično metodo

Ker nas zanima ali obstaja razlika koordinat določenih s konceptom VRS in s statično izmero, smo primerjali vrednosti koordinat določenih z obema metodama (preglednica 17).

Preglednica 17: Primerjava aritmetične sredine koordinat določenih s konceptom VRS in s statično izmero

Točka 1200 (B)	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
<b>Referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
1. VRS meritev (B1-B5)	464017,662	127366,367	1473,345	-0,009	0,077	-0,246
2. VRS meritev (B11-B15)	464017,670	127366,286	1473,526	-0,001	-0,004	-0,065
3. VRS meritev (B21-B25)	464017,666	127366,269	1473,566	-0,005	-0,021	-0,025
4. VRS meritev (B31-B35)	464017,664	127366,246	1473,521	-0,007	-0,044	-0,070
5. VRS meritev (B41-B45)	464017,724	127366,457	1472,981	0,053	0,167	-0,610
6. VRS meritev (B51-B55)	464017,764	127366,308	1473,286	0,093	0,018	-0,305



Slika 25: Točnost metode RTK-VRS

Kot lahko vidimo, so rezultati v 1., 5. in 6. seriji izrazito slabši. Pri ostalih treh serijah vidimo, da so razlike glede na referenčne koordinate v horizontalnem položaju znotraj centimetra, z izjemo n koordinate v 3. in 4. seriji, kjer je razlika 2,1 cm, oziroma 4,4 cm. Po pričakovanju pa so po višini razlike večje in sicer znašajo do 61 cm. To dokazuje, da je pri VRS konceptu troposferska refrakcija slabše modelirana.

Poleg aritmetične sredine koordinat, določenih v posamezni seriji opazovanj, smo primerjali tudi koordinate, določene s konceptom VRS in statično izmero (preglednica 18).

Preglednica 18: Primerjava koordinat določenih s koceptom VRS in statično izmero

Točka 1200 (B)						
1. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B1	464017,730	127366,335	1473,216	0,059	0,045	-0,375
B2	464017,661	127366,294	1473,531	-0,010	0,004	-0,060
B3	464017,654	127366,368	1473,394	-0,017	0,078	-0,197
B4	464017,628	127366,308	1473,357	-0,043	0,018	-0,234
B5	464017,638	127366,529	1473,228	-0,033	0,239	-0,363
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.1	0,041	0,122	0,278			
2. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B11	464017,664	127366,289	1473,529	-0,007	-0,001	-0,062
B12	464017,667	127366,297	1473,545	-0,004	0,007	-0,046
B13	464017,671	127366,261	1473,489	0,000	-0,029	-0,102
B14	464017,677	127366,297	1473,540	0,006	0,007	-0,051
B15	464017,672	127366,284	1473,527	0,001	-0,006	-0,064
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.2	0,005	0,016	0,069			
3. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B21	464017,660	127366,265	1473,566	-0,011	-0,025	-0,025
B22	464017,666	127366,262	1473,575	-0,005	-0,028	-0,016
B23	464017,667	127366,269	1473,573	-0,004	-0,021	-0,018
B24	464017,671	127366,276	1473,562	0,000	-0,014	-0,029
B25	464017,666	127366,271	1473,555	-0,005	-0,019	-0,036
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.3	0,006	0,022	0,026			
4. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B31	464017,659	127366,279	1473,577	-0,012	-0,011	-0,014
B32	464017,658	127366,279	1473,559	-0,013	-0,011	-0,032
B33	464017,668	127366,233	1473,489	-0,003	-0,057	-0,102
B34	464017,673	127366,217	1473,482	0,002	-0,073	-0,109
B35	464017,664	127366,221	1473,497	-0,007	-0,069	-0,094
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.4	0,009	0,054	0,083			
5. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B41	464017,707	127366,425	1472,803	0,036	0,135	-0,788
B42	464017,670	127366,478	1472,762	-0,001	0,188	-0,829
B43	464017,650	127366,273	1473,567	-0,021	-0,017	-0,024
B44	464017,709	127366,473	1473,093	0,038	0,183	-0,498
B45	464017,884	127366,636	1472,679	0,213	0,346	-0,912
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.5	0,107	0,212	0,710			
6. serija	e (m)	n (m)	h (m)	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
B51	464017,694	127366,549	1473,121	0,023	0,259	-0,470
B52	464017,681	127366,261	1473,460	0,010	-0,029	-0,131
B53	464017,952	127366,007	1473,709	0,281	-0,283	0,118
B54	464017,750	127366,354	1472,946	0,079	0,064	-0,645
B55	464017,745	127366,367	1473,195	0,074	0,077	-0,396
<b>referenca 1200</b>	<b>464017,671</b>	<b>127366,290</b>	<b>1473,591</b>			
r.m.s.6	0,143	0,199	0,428			

Tukaj vidimo (preglednica 18), da so odstopanja koordinat, določenih v posameznih serijah zelo različna. Po koordinati e znašajo odstopanja od 0,00 mm do 28,1 cm, po koordinati n pa od 1 mm do 34,6 cm. Tudi višine so zelo različnih kakovosti, od referenčnih vrednosti odstopajo od 1,4 cm, do 91,2 cm. Vrednosti r.m.s. predstavljajo mero točnosti koordinat, določenih v posamezni seriji.

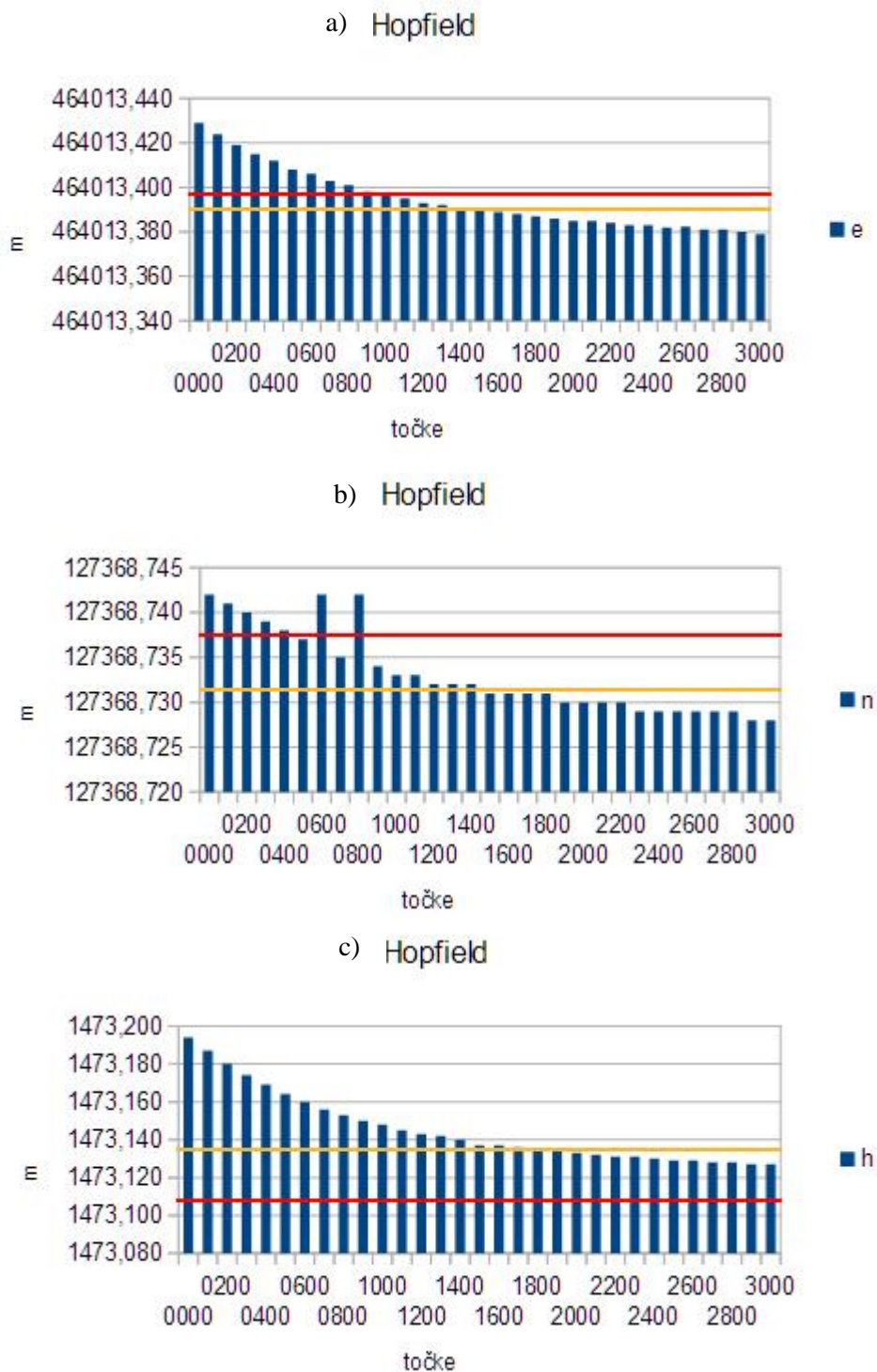
Iz tega lahko zaključimo, da s konceptom VRS praviloma lahko določimo horizontalne koordinate, ki so primerljive s koordinatami, določenimi s statično metodo, vendar pa so odstopanja koordinat lahko tudi dokaj velika, kar zahteva previdnost pri uporabi koncepta VRS pri določitvi koordinat s cm točnostjo.

#### **4.4 Naknadna obdelava VRS opazovanj**

Poleg določitve koordinat na višjih nadmorskih višinah, z uporabo različnih konceptov RTK, smo določili tudi koordinate točk v omrežju SIGNAL s konceptom VRS z naknadno obdelavo. Za to nalogo smo na spletnem strežniku Službe za GNSS pridobili umetno ustvarjena opazovanja virtualne referenčne postaje, ki se je nahajala na različnih nadmorskih višinah, v horizontalnem smislu pa se je nahajala v bližini naših opazovanih točk. Generirali smo VRS opazovanja za 31 točk, ki so imele iste vrednosti horizontalnih koordinat, višine pa so znašale od 0,00 m do 3000 m in sicer za vsakih 100 m elipsoidne višinske razlike. Tako pridobljene točke smo naknadno obdelali in sicer tako, da smo slednje vzeli kot referenčne in določali koordinate točke 1008. Obdelave smo naredili za tri različne modele troposferske refrakcije in sicer za model Hopfield (preglednica 19), model Saastamoinen-ov (preglednica 20) in model Essen and Froome (preglednica 21).

Preglednica 19: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Hopfield

iz točke	Točka 1008 (model Hopfield)			$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
	e (m)	n (m)	h (m)			
0000	464013,429	127368,742	1473,194	0,035	0,009	0,049
0100	464013,424	127368,741	1473,187	0,030	0,008	0,042
0200	464013,419	127368,740	1473,180	0,025	0,007	0,035
0300	464013,415	127368,739	1473,174	0,021	0,006	0,029
0400	464013,412	127368,738	1473,169	0,018	0,005	0,024
0500	464013,408	127368,737	1473,164	0,014	0,004	0,019
0600	464013,406	127368,742	1473,160	0,012	0,009	0,015
0700	464013,403	127368,735	1473,156	0,009	0,002	0,011
0800	464013,401	127368,742	1473,153	0,007	0,009	0,008
0900	464013,398	127368,734	1473,150	0,004	0,001	0,005
1000	464013,397	127368,733	1473,148	0,003	0,000	0,003
1100	464013,395	127368,733	1473,145	0,001	0,000	0,000
1200	464013,393	127368,732	1473,143	-0,001	-0,001	-0,002
1300	464013,392	127368,732	1473,142	-0,002	-0,001	-0,003
1400	464013,391	127368,732	1473,140	-0,003	-0,001	-0,005
1500	464013,391	127368,731	1473,137	-0,003	-0,002	-0,008
1600	464013,389	127368,731	1473,137	-0,005	-0,002	-0,008
1700	464013,388	127368,731	1473,136	-0,006	-0,002	-0,009
1800	464013,387	127368,731	1473,135	-0,007	-0,002	-0,010
1900	464013,386	127368,730	1473,134	-0,008	-0,003	-0,011
2000	464013,385	127368,730	1473,133	-0,009	-0,003	-0,012
2100	464013,385	127368,730	1473,132	-0,009	-0,003	-0,013
2200	464013,384	127368,730	1473,131	-0,010	-0,003	-0,014
2300	464013,383	127368,729	1473,131	-0,011	-0,004	-0,014
2400	464013,383	127368,729	1473,130	-0,011	-0,004	-0,015
2500	464013,382	127368,729	1473,129	-0,012	-0,004	-0,016
2600	464013,382	127368,729	1473,129	-0,012	-0,004	-0,016
2700	464013,381	127368,729	1473,128	-0,013	-0,004	-0,017
2800	464013,381	127368,729	1473,128	-0,013	-0,004	-0,017
2900	464013,380	127368,728	1473,127	-0,014	-0,005	-0,018
3000	464013,379	127368,728	1473,127	-0,015	-0,005	-0,018
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464013,394</b>	<b>127368,733</b>	<b>1473,145</b>			
$\sigma$	0,014	0,005	0,019			



Slika 26: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Hopfield

Preglednica 20: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Saastamoinen

iz točke	Točka 1008 (model Saastamoinen)			$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
	e (m)	n (m)	h (m)			
0000	464013,432	127368,743	1473,198	0,037	0,010	0,051
0100	464013,427	127368,741	1473,189	0,032	0,008	0,042
0200	464013,422	127368,740	1473,182	0,027	0,007	0,035
0300	464013,417	127368,739	1473,175	0,022	0,006	0,028
0400	464013,413	127368,738	1473,170	0,018	0,005	0,023
0500	464013,409	127368,737	1473,165	0,014	0,004	0,018
0600	464013,405	127368,736	1473,160	0,010	0,003	0,013
0700	464013,403	127368,735	1473,156	0,008	0,002	0,009
0800	464013,400	127368,734	1473,153	0,005	0,001	0,006
0900	464013,398	127368,734	1473,150	0,003	0,001	0,003
1000	464013,396	127368,733	1473,147	0,001	0,000	0,000
1100	464013,395	127368,733	1473,145	0,000	0,000	-0,002
1200	464013,393	127368,732	1473,143	-0,002	-0,001	-0,004
1300	464013,392	127368,732	1473,141	-0,003	-0,001	-0,006
1400	464013,391	127368,732	1473,140	-0,004	-0,001	-0,007
1500	464013,389	127368,731	1473,140	-0,006	-0,002	-0,007
1600	464013,389	127368,731	1473,137	-0,006	-0,002	-0,010
1700	464013,388	127368,731	1473,136	-0,007	-0,002	-0,011
1800	464013,387	127368,731	1473,135	-0,008	-0,002	-0,012
1900	464013,387	127368,730	1473,135	-0,008	-0,003	-0,012
2000	464013,386	127368,730	1473,134	-0,009	-0,003	-0,013
2100	464013,385	127368,730	1473,133	-0,010	-0,003	-0,014
2200	464013,385	127368,730	1473,133	-0,010	-0,003	-0,014
2300	464013,384	127368,730	1473,132	-0,011	-0,003	-0,015
2400	464013,384	127368,730	1473,132	-0,011	-0,003	-0,015
2500	464013,384	127368,730	1473,132	-0,011	-0,003	-0,015
2600	464013,383	127368,729	1473,131	-0,012	-0,004	-0,016
2700	464013,383	127368,729	1473,131	-0,012	-0,004	-0,016
2800	464013,382	127368,729	1473,130	-0,013	-0,004	-0,017
2900	464013,382	127368,729	1473,130	-0,013	-0,004	-0,017
3000	464013,382	127368,729	1473,130	-0,013	-0,004	-0,017
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464013,395</b>	<b>127368,733</b>	<b>1473,147</b>			
$\sigma$	0,014	0,004	0,019			

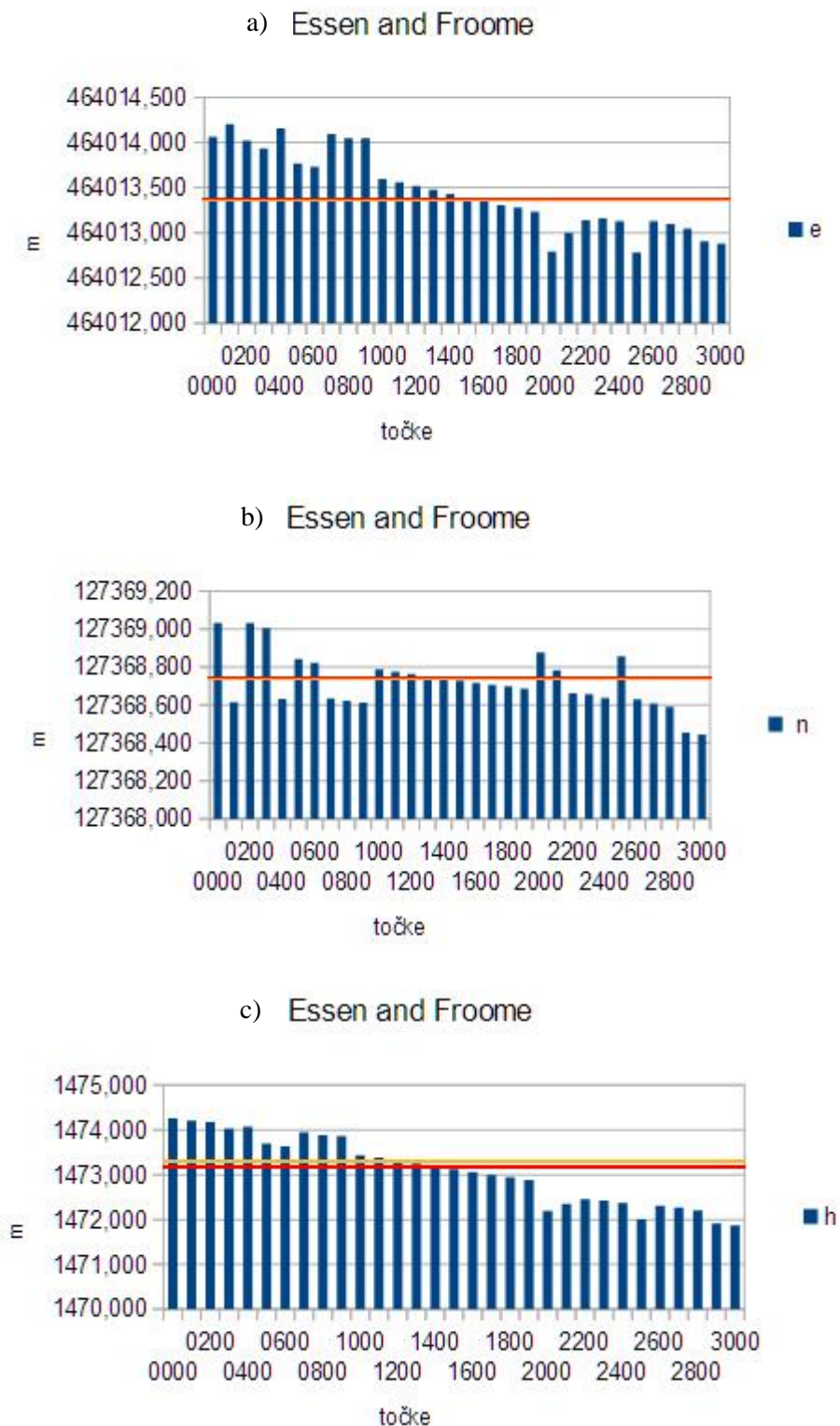




Slika 27: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Saastamoinen

Preglednica 21: Vrednosti koordinat točke 1008 glede na različno višino virtualne referenčne postaje, z modelom Essen and Froome

iz točke	Točka 1008 (model Essen and Froome)			$\Delta e$ (m)	$\Delta n$ (m)	$\Delta h$ (m)
	e (m)	n (m)	h (m)			
0000	464014,060	127369,031	1474,254	0,601	0,309	1,167
0100	464014,199	127368,614	1474,208	0,740	-0,108	1,121
0200	464014,019	127369,031	1474,177	0,560	0,309	1,090
0300	464013,931	127369,004	1474,029	0,472	0,282	0,942
0400	464014,154	127368,631	1474,065	0,695	-0,091	0,978
0500	464013,766	127368,842	1473,695	0,307	0,120	0,608
0600	464013,728	127368,822	1473,633	0,269	0,100	0,546
0700	464014,094	127368,633	1473,948	0,635	-0,089	0,861
0800	464014,047	127368,623	1473,883	0,588	-0,099	0,796
0900	464014,045	127368,613	1473,862	0,586	-0,109	0,775
1000	464013,598	127368,787	1473,437	0,139	0,065	0,350
1100	464013,561	127368,775	1473,381	0,102	0,053	0,294
1200	464013,518	127368,763	1473,316	0,059	0,041	0,229
1300	464013,474	127368,751	1473,251	0,015	0,029	0,164
1400	464013,431	127368,739	1473,186	-0,028	0,017	0,099
1500	464013,388	127368,727	1473,123	-0,071	0,005	0,036
1600	464013,346	127368,716	1473,060	-0,113	-0,006	-0,027
1700	464013,307	127368,706	1473,002	-0,152	-0,016	-0,085
1800	464013,281	127368,697	1472,943	-0,178	-0,025	-0,144
1900	464013,230	127368,686	1472,886	-0,229	-0,036	-0,201
2000	464012,794	127368,875	1472,196	-0,665	0,153	-0,891
2100	464013,000	127368,781	1472,354	-0,459	0,059	-0,733
2200	464013,137	127368,662	1472,458	-0,322	-0,060	-0,629
2300	464013,162	127368,656	1472,420	-0,297	-0,066	-0,667
2400	464013,129	127368,637	1472,369	-0,330	-0,085	-0,718
2500	464012,782	127368,856	1472,007	-0,677	0,134	-1,080
2600	464013,129	127368,629	1472,306	-0,330	-0,093	-0,781
2700	464013,099	127368,606	1472,272	-0,360	-0,116	-0,815
2800	464013,044	127368,589	1472,199	-0,415	-0,133	-0,888
2900	464012,904	127368,455	1471,916	-0,555	-0,267	-1,171
3000	464012,879	127368,445	1471,872	-0,580	-0,277	-1,215
<b>aritmetična sredina</b>	<b>464013,459</b>	<b>127368,722</b>	<b>1473,087</b>			
$\sigma$	0,440	0,142	0,762			



Slika 28: Grafični prikaz spreminjanja vrednosti koordinat za model troposferske refrakcije Essen and Froome

Za vse tri modele troposferske refrakcije smo naknadno obdelavo opazovanj, opravili v programskem paketu Leica Geo Office. Da bi dobili kar se da kakovostne rezultate smo uporabili precizne efemeride.

Opazovanja, ki smo jih obdelali so trajala 6 ur, višinski kot registracije je bil  $10^0$ , interval beleženja signala pa 1 sekundo.

V preglednicah 19, 20 in 21 predstavljajo vrednosti  $\Delta e$ ,  $\Delta n$  in  $\Delta h$  razliko med posamezno koordinato in aritmetično sredino vseh koordinat. Vrednost  $\sigma$  pa predstavljajo standardne odklone. Standardni odklon koordinat je pri modelih Hopfield in Saastamoinen enak, pri modelu Essen and Froome pa je bistveno večji od preostalih modelov troposferske refrakcije.

Kot lahko vidimo iz zgornjih grafičnih prikazov, dobimo z modeloma Hopfield in Saastamoinen zelo podobne rezultate, medtem, ko pri modelu Essen and Froome prihaja do velikih razlik. Rdeča črta na grafih predstavlja koordinate točke 1008, ki je bila določena leta 2014, oranžna črta pa predstavlja koordinate iste točke določene leta 2016.

Če pogledamo razlike v položaju točke 1008, določene glede na VRS točko, ki se nahaja na višini 0,000 m in VRS točko, ki se nahaja na višini 3000 m, vidimo da ta pri obeh modelih (Hopfield, Saastamoinen) znaša po koordinati e 5 cm in po koordinati n 1,4 cm. Višinsko pa je razlika pri Hopfield-u 6,7 cm in pri Saastamoinen-u 6,8 cm. Pri modelu Essen and Froome, pa so razlike med točko na 0,000 m in točko na 3000 m bistveno večje. Po koordinati e 1,181 m, po koordinati n 0,586 m in po višini 2,065 m.

Moramo pa se zavedati, da smo tukaj obdelovali 6 urna opazovanja, kar vodi do povprečenja in zato praviloma do koordinat boljše kakovosti. Če bi obdelovali krajša opazovanja (npr. 50 minutna), bi bile razpršenosti koordinat verjetno večje.

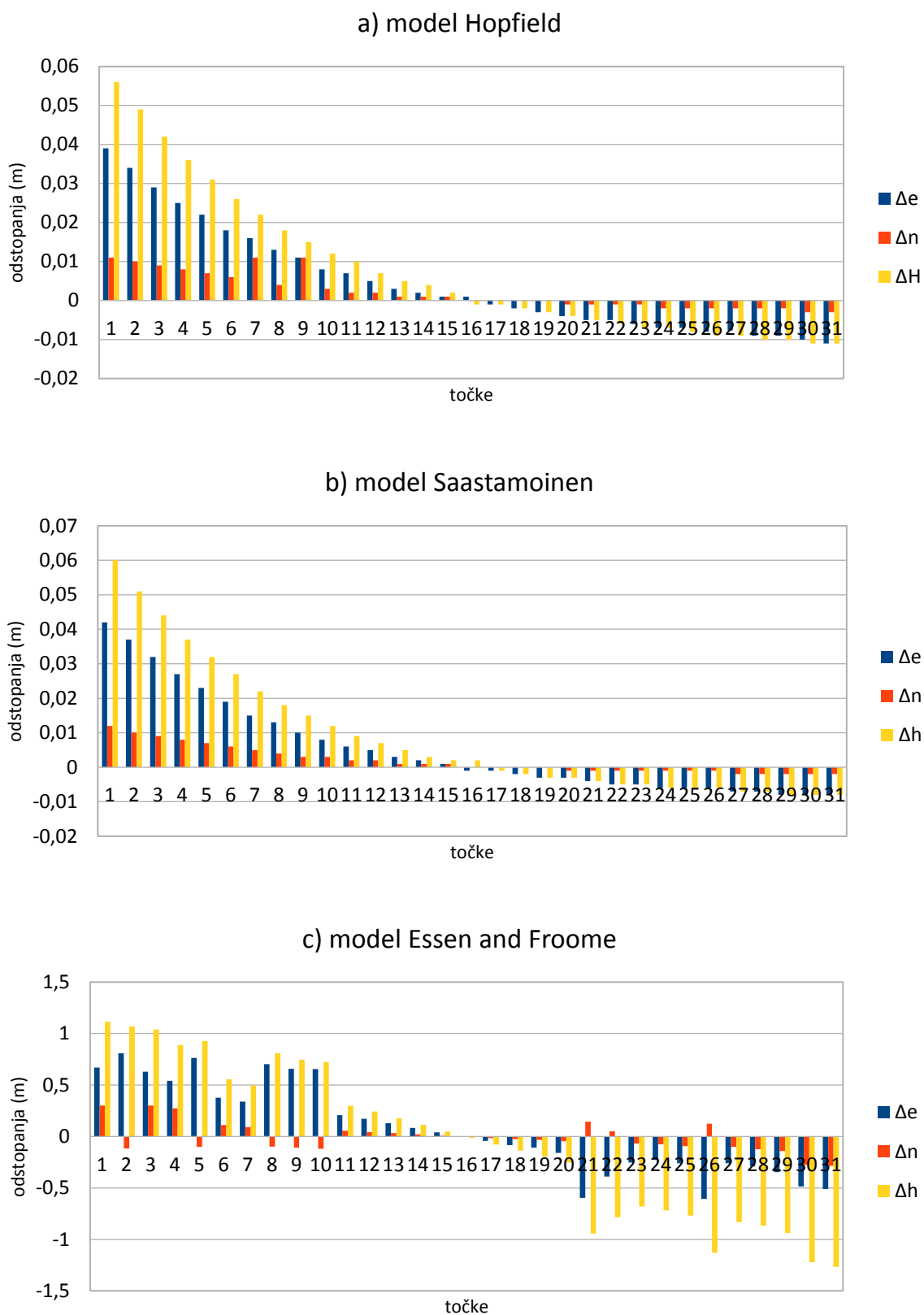
Tako lahko zaključimo, da je model Essen and Froome praviloma neuporaben za določitev koordinat na višjih nadmorskih višinah.

#### 4.4.1 Primerjava koordinat, določenih z obdelavo VRS opazovanj s statično izmero

Da bi lahko ocenili kakovost koordinat, določenih s posameznim modelom troposferske refrakcije, jih moramo primerjati s koordinatami, določenimi s statično izmero. Koordinate referenčne točke 1008, dobljene s statično izmero so podane v preglednici 22.

Preglednica 22: Koordinate referenčne točke

Točka	e (m)	n (m)	h (m)
1008	464013,390	127368,731	1473,138



Slika 29: Grafični prikaz odstopanj koordinat, določenih s posameznimi modeli troposferske refrakcije, od referenčnih koordinat

Kot lahko vidimo iz gornjih prikazov, je odstopanje koordinat, določenih z modeloma troposferske refrakcije Hopfield in Saastamoinen skorajda enako. Položajno znaša razlika med modeloma do 3 mm, po višini pa do 4 mm.

Iz slike 29 lahko vidimo, da je odstopanje koordinat modela Hopfield in Saastamoinen največje na prvi točki, ki se nahaja na elipsoidni višini 0,00 m. Pri modelu Hopfield znaša odstopanje koordinate  $e$  3,9 cm, koordinate  $n$  1,1 cm in višine  $h$  5,6 cm. Pri modelu Saastamoinen je odstopanje podobno in sicer znaša za koordinato  $e$  4,2 cm, za koordinato  $n$  1,2 cm in višino  $h$  6,0 cm. Pri obeh modelih troposferske refrakcije je odstopanje najmanjše na točkah, ki se nahajajo na elipsoidnih višinah od 1300 m do 1700 m in sicer je tu odstopanje vseh treh koordinat znotraj 2 mm.

Pri modelu Essen and Froome pa je odstopanje koordinat največje pri prvi točki, ki se nahaja na elipsoidni višini 0,00 m in zadnji točki, ki se nahaj na elipsoidni višini 3000 m. Pri točki na višini 0,00 m znaša po koordinati  $e$  67 cm, po koordinati  $n$  30 cm in po višini  $h$  1,12 m. Pri točki na višini 3000 m pa znaša po koordinati  $e$  51 cm, po koordinati  $n$  29 cm in po višini  $h$  1,27 m. Kot pri ostalih dveh modelih troposferske refrakcije je tudi pri modelu Essen and Froome odstopanje najmanjše pri točkah, ki se nahajajo na elipsoidnih višinah od 1300 m do 1700 m, kjer je po horizontalnem položaju znotraj 5 cm, po višini pa znotraj 10 cm.

Vidimo tudi, da pri vseh treh modelih troposferske refrakcije kakovost koordinat narašča z naraščanjem višine vse do elipsoidne višine 1500 m, nato pa začne ponovno padati. Tako je kakovost najboljša ravno na višini, na kateri se nahaja naša točka 1008, katere koordinate določamo.

Zanimivo je tudi, da je tako za položaj kot za višino kakovost koordinat za modela Hopfield in Saastamoinen boljša na višjih nadmorskih višinah kot na nižjih. Medtem ko je pri modelu Essen and Froome kakovost približno enaka tako na nižjih kot na višjih elipsoidnih višinah.

Naše ugotovitve temeljijo samo na enem nizu opazovanj, zato bo potrebno za bolj resne zaključke, izvesti več dodatnih analiz...

## 5 ZAKLJUČEK

V nalogah določitve položaja s pomočjo globalnih navigacijskih sistemov GNSS, se nam vedno poraja vprašanje, katero metodo uporabiti. Odločitev je odvisna od več parametrov, kot so zahtevana točnost koordinat, namen uporabe pridobljenih koordinat (katastrska izmera, zakoličba itd.), čas ki ga imamo na voljo za izvedbo meritev, stroški meritev, konfiguracija terena kjer izvajamo meritve,... Relativne metode izmere GNSS izmere so bile v preteklosti že velikokrat obravnavane, tako da odgovore na zgornja vprašanja že poznamo. Nas je pa zanimalo, če ti veljajo tudi pri GNSS izmerah na višjih nadmorskih višinah.

Tako lahko na osnovi opravljenih meritev ter obdelave opazovanj, odgovorimo na hipoteze, ki smo jih zastavili na začetku.

1. *Položaj točk se v okviru omrežja SIGNAL med seboj razlikujejo, če so določeni z različnimi metodami izmere (v našem primeru je šlo za RTK metodo izmere in statično metodo).*

Kakor smo predvidevali, je kakovost koordinat, določenih s statično metodo boljša od kakovosti koordinat točk določenih z RTK metodo. S statično metodo smo dosegli identično kakovost koordinat ne glede na to, ali smo obdelali podatke za celotni čas opazovanj ali samo za posamezne 50 minutne serije, ali smo uporabili več baznih vektorjev ali pa samo enega. V vseh primerih so znašale razlike koordinat od 1 mm do 2 mm. Pri metodah določitve položaja v realnem času (RTK), pa lahko govorimo o centimetrski točnosti pridobitve položaja. Pri konceptu MAC so bila odstopanja od referenčne točke po horizontalnem položaju znotraj 1,5 cm, z izjemo ene serije, kjer je bilo odstopanje 6 cm. Pri konceptu VRS so bila odstopanja od referenčne točke po horizontalnem položaju znotraj 2 cm, z izjemo dveh serij, kjer so znašala odstopanja do 16,7 cm. Tako da to hipotezo lahko potrdimo.

2. *Položaj točk z uporabo koncepta MAC je višje točnosti od uporabe koncepta VRS.*

Izkazalo se je, da je tako natančnost kot točnost koordinat pri konceptu MAC boljša kot pa pri konceptu VRS. Pri konceptu MAC, je bila vrednost r.m.s. po koordinati e znotraj 1 centimetra, z izjemo 4 serije kjer je r.m.s. znašal 1,5 cm. Po koordinati n je bila vrednost r.m.s. prav tako znotraj 1 centimetra, z izjemo 4 serije kjer je r.m.s. znašal 4,2 cm. Pri višini je bil r.m.s. znotraj 1,8 cm, z izjemo 4 serije, kjer je r.m.s. znašal 4,9 cm. Pri konceptu VRS so bile r.m.s. vrednosti večje. Po koordinati e je bila vrednost r.m.s. pri treh serijah znotraj 1 centimetra, pri treh serijah pa je r.m.s. znašal od 4 cm do 10,9 cm. Po koordinati n je bila vrednost r.m.s. v treh serijah znotraj 3,1 cm, pri treh serijah pa je r.m.s. znašal od 9,5 cm do 19,8 cm. Pri višinah je bila vrednost r.m.s. pri treh serijah znotraj 4,4 cm, pri treh pa se je vrednost

r.m.s. gibala od 13 cm do 36,3 cm. Poleg tega, so same meritve na terenu s konceptom MAC potekale veliko hitreje v primerjavi s konceptom VRS.

3. *Višinska komponenta točk bo slabše določena od horizontalne komponente položaja točk.*

Če pogledamo natančnost uporabljenega instrumentarija, ki jo zagotavlja proizvajalec v mrežnem konceptu RTK, vidimo, da slednji zagotavlja horizontalno natančnost  $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$  in višinsko natančnost  $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ . Med analizo naših opazovanj smo ugotovili, da je bila natančnost v nekaterih primerih slabša kot jo navaja proizvajalec opreme. Po podatkih proizvajalca je višinska natančnost za približno faktor 2 slabša od horizontalne. Pri naši analizi pa je bila v nekaterih primerih višinska natančnost celo za faktor 3 slabša od horizontalne. Razlog, da je višinska komponenta slabše določena, leži v geometrijski razporeditvi satelitov (nahajajo se le nad sprejemnikom) in uporabljenih modeli troposferske refrakcije. Slabše modelirane razmere v troposferi pa imajo največji vplivi na višino točk.

4. *Položaji točk se v omrežju SIGNAL med seboj razlikujejo, če pri naknadni obdelavi podatkov uporabimo različne modele troposfere.*

To drži, vendar je potrebno to trditev nekoliko podrobneje predstaviti. Pri uporabi vseh modelov troposferske refrakcije se pojavljajo razlike izračunanih koordinat točk. Vendar pa so razlike bistveno manjše pri modelih Hopfield in Saastamoinen kot pri modelu Essen and Froome. Prav tako je točnost višin pri modelih Hopfield in Saastamoinen bistveno večja kot pri modelu Essen and Froome, predvsem pri večjih nadmorskih višinah.

Če bi se odločali, katero metodo uporabiti za določitev koordinat točk na visokih nadmorskih višinah, zgolj na podlagi natančnosti in točnosti, bi uporabili statično metodo izmere. Vendar pa je v današnjem času, ko smo velikokrat podvrženi pritiskom (tako v časovnem kot v finančnem smislu), je uporaba statične metode ekonomsko vprašljiva. Dejstvo je, da so pri statični metodi potrebna opazovanja v daljšem časovnem trajanju, med izmero na terenu nimamo možnosti kontrole kakovosti koordinat, precizne efemeride so dosegljive šele po 14-17 dneh, kar pomeni da preteče kar nekaj časa preden dobimo koordinate merjene točke. Za to metodo bi se zato odločili le v primeru, ko bi res potrebovali koordinate visoke točnosti.

V večini primerov se zato odločimo za RTK metodo, ki je bistveno hitrejša, rezultate pa zagotavlja v realnem času. Kot smo pokazali, je za višje nadmorske višine bolje uporabiti RTK metodo s konceptom MAC. Slednja nam zagotavlja hitrejšo določitev položaja kot VRS, ker je postopek inicializacije hitrejši, kar pomeni hitrejša in cenejša meritve. Četudi smo pokazali, da je natančnost in točnost določitve



položaja točk boljša pri uporabi koncepta MAC, moramo na to gledati nekoliko z rezervo saj vidimo, da je znotraj posamezne serije tudi pri konceptu VRS natančnost in točnost položaja točk znotraj 1 centimetra. To pomeni, da lahko z obema konceptoma dosežemo primerljive rezultate, če imamo dovolj nadštevilnih opazovanj, ki nam omogočajo ustrezno kontrolo pridobljenih koordinat.

Eden izmed razlogov, da so rezultati VRS koncepta slabši je tudi ta, da premični sprejemnik uporabi podatke za izračun troposferske refrakcije kot jih zagotavljajo algoritmi ter programska oprema, ki se nahaja v računskem centru omrežja postaj GNSS.

Kar se tiče modelov troposferske refrakcije smo pokazali, da sta za višje nadmorske višine primerna modela Hopfield in Saastamoinen. Za resnejše zaključke, kateri izmed uporabljenih modelov je primernejši pa bi potrebovali obsežne nadaljnje analize. V okviru podatkov opazovanj, ki smo jih imeli na razpolago v okviru te naloge, sta se omenjena modela troposferske refrakcije izkazala za približno enako dobra.

## VIRI

Bilban, G. 2014. Analiza kakovosti določitve položaja v omrežjih postaj GNSS. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Bilban): 215 str.

Čadež, P. 2010. Analiza metod geodetske GNSS izmere. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Čadež): 119 str.

Geo servis: Originalni pribor Leica Geosystems.

<http://www.geoservis.si/produkti/72-pribor-za-geodezijo/103-originalni-prbor-leica-geosystems>

(Pridobljeno 28.06.2016)

Geo servis: Vprašanja in odgovori.

<http://www.geoservis.si/podpora/vprasanja-in-odgovori> (Pridobljeno 28. 05. 2016)

GPS Positioning Modes Part 1.

<http://what-when-how.com/gps/gps-positioning-modes-part-1/> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)

Kenyon, B. 2008. Wave propagation: K8LJ CRES Amateur Radio Club.

<http://slideplayer.com/slide/8828332> (pridobljeno 25. 07. 2106.)

Kogoj, D., Stopar, B. 2009. Geodetska izmera.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Geodetska\\_izmera\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf)

(Pridobljeno 26.06.2016)

Landau, H., Vollath, U., Chen, X. 2002. Virtual Reference Station Systems. *Journal of Global Positioning Systems* 1, 2: 137–143.

Leica Gradbeni nivelir NA-720 Optični.

[http://www.1meritev.si/art/0/Nivelir\\_optici\\_gradbeni\\_LEICA\\_NA-720](http://www.1meritev.si/art/0/Nivelir_optici_gradbeni_LEICA_NA-720) (Pridobljeno 28.06.2016)

Leica Viva GNSS: GS15 receiver Datasheet.

[http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GNSS/brochures-](http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GNSS/brochures-datasheet/Leica_Viva_GNSS_GS15_receiver_DS_en.pdf)

[datasheet/Leica\\_Viva\\_GNSS\\_GS15\\_receiver\\_DS\\_en.pdf](http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GNSS/brochures-datasheet/Leica_Viva_GNSS_GS15_receiver_DS_en.pdf) (Pridobljeno 28. 06. 2016)

Leica Viva GS15.

<http://surveyequipment.com/leica-viva-gs15/> (Prdobljeno 28. 5. 2016.)

Nedo nivelmanske late iz steklenih vlaken.

<http://www.geoshop.si/p/3-2-1-3/Nivelmanske-late-iz-steklenih-vlaken> (Pridobljeno 15. 06. 2016)

Omrežje SIGNAL: služba za GPS. Omrežje SIGNAL: Slovenija-Geodezija-NAVigacija-Lokacija.

<http://www.gu-signal.si/node/1> (Pridobljeno 24. 7. 2016)

Omrežje.

<http://www.gu-signal.si/sites/default/files/omrezje.jpg> (Pridobljeno 15.06.2016)

Ovčar, D. 2015. Ocena kakovosti določitve položaja z RTK- metodo izmere na višjih nadmorskih višinah. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Ovčar): 32 str.

Pavlovčič, P. 2000. Vpliv troposfere na GPS opazovanja. Magistrski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Pavlovič): 109 str.

Portal Geopedia.

[http://www.geopedia.si/#T105\\_F1238:83\\_x464406.25\\_y126791\\_s18\\_b2](http://www.geopedia.si/#T105_F1238:83_x464406.25_y126791_s18_b2) (Pridobljeno 15. 06. 2016)

Požun, T., Lavrič, M. 2012. Vpliv troposfere na opazovanja GNSS. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Samozaložba T. Požun): 26 str.

Stopar B., Kozmus Trajkovski, K., Pavlovčič Prešeren, P. 2001. GPS v geodetski praksi. Ljubljana: ISG – Izobraževalno središče za geomatiko: 87 str.

System 1200 Newsletter – No. 54 RTK Networks – A Case Study.

[http://incors.in.gov/System1200\\_54\\_RTK\\_Networks\\_-\\_A\\_Case\\_Study.pdf](http://incors.in.gov/System1200_54_RTK_Networks_-_A_Case_Study.pdf) (Pridobljeno 28. 5. 2016.)

Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C., Wagner, W. 2000. Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations. V: 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Salt Lake City, September 19–22, 2000. Salt Lake City, ION: p. 123–131.

Zupančič, P. 2008. Sanacija mestne nivelmanske mreže Trbovlje. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Zupančič): 43 str.

**OSTALI VIRI**

[http://www.can-net.ca/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36&Itemid=230](http://www.can-net.ca/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=230)

(Pridobljeno 20.06.2016)

I-MAX and Virtual Reference Station.

[http://www.smartnet-eu.com/i-max-and-virtual-reference-station\\_232.htm](http://www.smartnet-eu.com/i-max-and-virtual-reference-station_232.htm) (Pridobljeno 05. 07. 2016.)

Kislig, L. 2011. What is a virtual reference station and how does it work?

<http://www.insidegnss.com/node/2687> (Pridobljeno 17.05.2016)

Kočila, J. 2014. Vzpostavitev koordinatne osnove z GNSS ob uporabi omrežij SIGNAL in CROPOS na območju Razkrižja, Šafarskega in Gibine. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Kočila): 30 str.

Petovello, M., Dabove, P., De Agostino, M. 2011. Network RTK and Reference Station Configuration.

<http://www.insidegnss.com/node/2840> (Pridobljeno 09.07.2016)

VRS Explained.

[http://water.usgs.gov/osw/gps/real-time\\_network.html](http://water.usgs.gov/osw/gps/real-time_network.html) (Pridobljeno 05.07.2016)