

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:

Ovčar, D., 2015. Ocena kakovosti določitve položaja z RTK - metode izmere na višjih nadmorskih višinah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Kuhar, M.): 32 str.

Datum arhiviranja: 29-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Ovčar, D., 2015. Ocena kakovosti določitve položaja z RTK - metode izmere na višjih nadmorskih višinah. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Kuhar, M.): 32 pp.

Archiving Date: 29-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE TEHNIČNO
UPRAVLJANJE
NEPREMIČNIN**

Kandidat:

DOMEN OVČAR

**OCENA KAKOVOSTI DOLOČITVE POLOŽAJA Z RTK
- METODE IZMERE NA VIŠJIH NADMORSKIH
VIŠINAH**

Diplomska naloga št.: 45/TUN

**RTK POSITION QUALITY EVALUATION
BY POSITIONING AT BIGGER ALTITUDES**

Graduation thesis No.: 45/TUN

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 08. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

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

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani DOMEN OVČAR izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »OCENA KAKOVOSTI DOLOČITVE POLOŽAJA Z RTK-METODO IZMERE NA VIŠJIH NADMORSKIH VIŠINAH«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 8. 9. 2015

Domen Ovčar

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.715:528.2/.3(043.2)
Avtor:	Domen Ovčar
Mentor:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	doc. dr. Miran Kuhar
Naslov:	Ocena kakovosti določitve položaja z RTK-metodo izmere na višjih nadmorskih višinah
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – Visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	32 str., 6 pregl., 28 sl.
Ključne besede:	RTK-metoda, VRS, SIGNAL, statična izmera GNSS

IZVLEČEK

V nalogi obravnavamo kakovost določitve 3D položajev točk na višjih nadmorskih višinah, ki smo jih določili z RTK-metodo izmere. Izmero smo naredili na območju med Cerkljami na Gorenjskem in Krvavcem, ki smo ga izbrali zaradi velike višinske razlike med točkami, katerim smo določali položaj. Najprej smo določili položaje točk z RTK-metodo izmere ob uporabi storitve VRS omrežja SIGNAL, nato smo vzporedno izvajali še hitro statično metodo izmere GNSS, kjer smo na eno izmed točk na delovišču sami postavili bazno stojišče. Rezultate izmere smo primerjali s predhodno izvedeno statično izmero GNSS, ter nadalje primerjali koordinat točk, ki smo jih določili na različne načine. Cilj naloge je bil pokazati, kako se skladajo 3D položaji točk različnih izmer, ter raziskati, ali na višjih nadmorskih višinah z RTK-metodo izmere ob uporabi opazovanj omrežja SIGNAL pridobimo dovolj dobre rezultate določitve položajev točk.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.715:528.2/.3(043.2)
Author: Domen Ovčar
Supervisor: assoc. prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co – advisor: assoc. prof. Miran Kuhar, Ph. D.
Title: RTK position quality evaluation by positioning at higher altitudes
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 32 p., 6 tab., 28 fig.
Key words: RTK method, VRS, Network RTK, local station, SIGNAL

ABSTRACT

The graduation thesis deals with the quality of 3D point determination using RTK method on higher altitude points' locations. The field work was bound up with the areas between Cerklje on Carniola and Kravavec. This area was chosen by virtue of the large difference in heights between the points that GNSS-positioning has been performed. First the position of the points was determined with the VRS RTK-method in the national GNSS continuously operating reference network SIGNAL. Furthermore fast static method for point position determination has been performed to acquire positions for points included in the comparison study. We compared positions from RTK where previously static GNSS method results were used as the reference. The goal of the thesis was to show the consistency of 3D positions of points at different altitudes. Finally, the experience of point positioning at higher altitudes of the SIGNAL network has been gained with first assessment of position quality of points from higher altitudes.

ZAHVALA

Najprej iskrena hvala mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren za motivacijo ter za vso strokovno pomoč in koristne informacije v času nastajanja diplomske naloge. Zahvala za strokovno pomoč gre tudi somentorju doc. dr. Miranu Kuharju.

Prav tako se zahvaljujem tudi g. Albinu Mencinu za strokovno pomoč pri izvajanju terenskih meritev.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Delovne hipoteze	1
1.2	Struktura naloge.....	2
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA V ZVEZI Z RTK-METODO IZMERE	3
2.1	Metoda RTK z lastnim baznim stojiščem.....	3
2.2	Osnove mrežnega koncepta izmere RTK.....	4
2.2.1	Komunikacija med uporabnikom in računskim centrom	6
2.2.2	Rešitve mrežnega koncepta	6
2.2.3	Metoda virtualne referenčne postaje VRS.....	7
2.3	Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS SIGNAL	8
3	OPIS DELOVIŠČA IN TERENSKA IZMERA	10
3.1	Izbrano delovišče.....	10
3.2	Terenska izmera	12
3.2.1	Težave med terensko izmero	13
3.2.2	Uporabljen instrumentarij.....	13
4	OBDELAVA IN ANALIZA REZULTATOV IZMERE.....	15
4.1	Grafični prikaz rezultatov	16
4.1.1	Točka 1001	16
4.1.2	Točka 1003	17
4.1.3	Točka 1004	18
4.1.4	Točka 1005	19
4.1.5	Točka 1006	20
4.1.6	Točka 1007	21
4.1.7	Točka 1008	22
4.1.8	Točka 1009	23
4.1.9	Točka 1010	24
4.2	Primerjava koordinat iz VRS RTK-metode izmere	25
4.3	Primerjava koordinat lastnega baznega stojišča.....	26
5	IDEJE ZA NADGRADNJO NALOGE	28
6	ZAKLJUČEK.....	29
	VIRI.....	31

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Položaji točk v koordinatnem sistemu ETRS 89.	11
Preglednica 2: Položaji točk, pretvorjeni v koordinatni sistem D96/TM. Za izračun nadmorskih višin smo uporabili model geoida SLOG2000.	11
Preglednica 3: Koordinate točk v D96/TM koordinatnem sistemu, pridobljene z RTK-metodo izmere. Za bazno stojišče smo uporabili v omrežju SIGNAL vzpostavljeno virtualno točko VRS.....	15
Preglednica 4: Koordinate točk v D96/TM koordinatnem sistemu, pridobljene z metodo lastnega baznega stojišča.	15
Preglednica 5: Razlika, natančnost in točnost koordinat pridobljenih z VRS RTK-metodo.....	26
Preglednica 6: Razlika, natančnost in točnost koordinat pridobljenih z metodo lastnega baznega stojišča.	27

KAZALO SLIK

Slika 1: Delovanje mrežnega koncepta s prikazom napake med modelirano ter dejansko vrednostjo ..	4
Slika 2: Princip delovanja VRS-postaje	7
Slika 3: Napaka v določitvi VRS- postaje.....	8
Slika 4: Skica omrežja SIGNAL z dodanimi nadmorskimi višinami postaj	9
Slika 5: Izbrano delovišče (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)	10
Slika 6: Skica prečnega prereza delovišča	12
Slika 7: Skica prečnega prereza delovišča s točkami baznega stojišča ter pripadajočimi baznimi vektorji	13
Slika 8: Postavitev instrumenta nad točko 1006	14
Slika 9: Postavitev instrumenta nad točko 1002	14
Slika 10: Leica Viva GS15	14
Slika 11: Horizontalni položaj registracij na točki 1001	16
Slika 12: Višinsko odstopanje na točki 1001	17
Slika 13: Horizontalni položaj registracij na točki 1003	17
Slika 14: Višinsko odstopanje na točki 1003	18
Slika 15: Horizontalni položaj registracij na točki 1004	18
Slika 16: Višinsko odstopanje na točki 1004	19
Slika 17: Horizontalni položaj registracij na točki 1005	19
Slika 18: Višinsko odstopanje na točki 1005	20
Slika 19: Horizontalni položaj registracij na točki 1006	20
Slika 20: Višinsko odstopanje na točki 1006	21
Slika 21: Horizontalni položaj registracij na točki 1007	21
Slika 22: Višinsko odstopanje na točki 1007	22
Slika 23: Horizontalni položaj registracij na točki 1008	23
Slika 24: Višinsko odstopanje na točki 1008	23
Slika 25: Horizontalni položaj registracij na točki 1009	24
Slika 26: Višinsko odstopanje na točki 1009	24
Slika 27: Horizontalni položaj registracij na točki 1010	25
Slika 28: Višinsko odstopanje na točki 1010	25

SEZNAM KRATIC

APOS	angl. Austrian Positioning Service
CROPOS	angl. Croatian Positioning System
D96/TM	Datum 1996 / transverzalna Mercatorjeva projekcija – državni koordinatni sistem v veljavi od 31. 12. 2007
ETRS89/TM	angl. European Terrestrial Reference System 1989 / Transversal Mercator
FKP	nem. Flächenkorrekturparameter
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
GPRS	angl. General Packet Radio Service
GSM	angl. Global System for Mobile Communications
IGS	angl. International GNSS Service
iMAX	angl. individualised Master- Auxiliary corrections
MAC	angl. Master-Auxiliary concept
NMEA	angl. National Electronics Association Marine
PRS	angl. Pseudo-Reference station
RTCM	angl. Radio Technical Commissionfor Maritime Services
RTK	angl. Real Time Kinematic
SIGNAL	Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija
UHF	angl. Ultra High Frequency
UMTS	angl. Universal Mobile Telecommunications System
VHF	angl. Very high frequency
VRS	angl. Virtual Reference Station

1 UVOD

Določitev položaja s pomočjo globalnih navigacijskih sistemov satelitov GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) ne uporabljamo le za potrebe navigacije, ampak tudi v geodeziji. V zadnjem desetletju je prišlo do velikega razvoja tehnologije GNSS. Začelo se je povsem novo obdobje, ki spreminja običajne postopke geodetske izmere. Tehnologija GNSS poenostavlja meritve na terenu in omogoča veliko točnost določitve položajev v globalnem koordinatnem sistemu. Poleg horizontalne točnosti je danes vse bolj pomembna tudi dobra določitev višinske komponente. Dobra določitev višinske komponente je odvisna od pogojev izvedbe opazovanj. Vemo namreč, da z GNSS lahko določimo geometrično določene elipsoidne višine, ki so za faktor 1,5 ali slabše določene kot horizontalni položaj. V zadnjem času se tehnologija GNSS uporablja tudi za potrebe višinomerstva, vendar moramo tudi tu biti pazljivi pri interpretaciji višinske komponente. Višina točke, pridobljena na osnovi opazovanj GNSS, ni primerna za praktično uporabo, saj je za pridobitev ortometrične (nadmorske) višine potrebno poznati obliko ploskve geoida. Hkrati vplivi na opazovanja GNSS in način obdelave opazovanj (izbira višinskega kota) vplivajo na točnost določitve višinske komponente položaja.

RTK-metoda je ena izmed GNSS-metod določitve položaj. Metoda nam omogoča določitev položaja visoke točnosti (centimeter) položaja objekta na površini Zemlje ali v njeni bližini. Je enostavna za uporabo, hkrati pa omogoča hitro pridobitev rezultatov izmere, saj le-te pridobimo že v času izmere. Prav kakovost meritev v povezavi s porabljenim časom je povzročilo vse večjo uporabo RTK-metode izmere. Metoda nam namreč omogoča kar 3–6-krat hitrejšo izvedbo meritev v primerjavi s klasičnimi geodetskimi metodami določitve položaja (Stopar in sod., 2006).

Kljub takojšnji možnosti določitve položajev v globalnem koordinatnem sistemu se je potrebno zavedati, da je lahko položaj obremenjen z vplivi na opazovanja. Določitev položaja s pomočjo GNSS temelji na trilateraciji – postopku določitve položaja z merjenjem razdalj od točk z znanim položajem, to je od satelitov GNSS. Razdalje med sateliti in sprejemniki se pri uporabi GNSS lahko določijo na osnovi opazovanj različnih količin v okviru satelitskega signala – merskih kod, faz nosilnega valovanja in Dopplerjeve frekvence sprejetega valovanja (Bilban, 2014). Opazovane količine so pod velikim vplivom pogreškov, ki so prisotni v različnih medijih in jih v pogreške z izvorom v satelitih, mediju razširjanja signala in sprejemniku ter njegovi okolici (Stopar in sod., 2006).

1.1 Delovne hipoteze

V diplomski nalogi bomo ocenili kakovost določitve 3D-položaja z RTK-metodo na višjih nadmorskih višinah. Na terenu je bila pred tem opravljena statična metoda izmere GNSS, tako da smo imeli že na voljo referenčne koordinate za primerjavo. V okviru dane naloge smo na istih točkah ponovili določitev položaja, vendar tokrat z VRS RTK-metodo izmere. Zanimalo nas je, v kakšni meri se skladajo položaji točk. Pri tem smo si postavili naslednje delovne hipoteze:

1. hipoteza

Predpostavljamo, da je določitev položaja z RTK-metodo izmere ob uporabi virtualnega baznega stojišča VRS slabše kakovosti na višjih nadmorskih višinah.

2. hipoteza

Pričakujemo, da bo višinska komponenta določitve položaja slabša v primerjavi s horizontalno.

3. hipoteza

Iskali bomo odgovor na vprašanje, ali je smiselno na višjih nadmorskih višinah s predhodno statično metodo izmere vzpostaviti lastno bazno stojišče.

Glavni cilj diplomske naloge je bil raziskati, ali na višjih nadmorskih višinah RTK-metoda nudi dovolj dobre rezultate določitve položaja, predvsem se to nanaša na višinsko komponento določitve položaja. Tekom naloge smo želeli poiskati izhodišča za nadaljnjo izboljšavo določitve položaja z RTK-metodo izmere na višjih nadmorskih višinah.

1.2 Struktura naloge

V drugem poglavju opisujemo teoretična izhodišča v zvezi z RTK-metodo izmere, ki se nanašajo na praktično delo, ki smo ga naredili v okviru naloge. Predstavili smo izvedbo metode izmere RTK s postavitvijo lastnega baznega stojišča, mrežni koncept, ter storitev omrežij stalnih postaj VRS.

V tretjem poglavju bolj podrobno opišemo delovišče ter izbiro točk, kjer smo naredili terenske meritve. Predstavimo koncept terenske izmere, uporabljen instrumentarij, ter težave, ki so se pojavile med terensko izmero.

V četrtem poglavju številsko in grafično predstavimo rezultate različnih izmer GNSS. Sledi primerjava koordinat iz VRS RTK-metodo izmere, ter z metodo lastnega baznega stojišča.

Ideje za nadaljnjo nadgradnjo naloge podajamo v petem poglavju.

V šestem poglavju podamo strnjen povzetek naloge ter odgovore na zastavljene hipoteze.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA V ZVEZI Z RTK-METODO IZMERE

Trenutno vse metode izmere GNSS, ki so v uporabi v geodeziji, temeljijo na relativni določitvi položaja s faznimi opazovanjih, čeprav čedalje bolj v uporabo prihaja tudi absolutna metoda določitve s faznimi opazovanji PPP (angl. Precise Point Positioning) (Sterle in sod., 2015). Pri relativnih metodah položaj določamo z opazovanji z dveh instrumentov, ki istočasno sprejemata opazovanja z istih satelitov GNSS. Enega izmed njih postavimo na točko z znanim položajem v globalnem koordinatnem sistemu (imenujemo ga bazno stojišče), z drugim instrumentom sprejemamo opazovanja GNSS na novi točki. Za bazno stojišče lahko uporabimo tudi katerokoli postajo omrežja stalno delujočih postaj GNSS ali v omrežju vzpostavljeno virtualno postajo VRS.

Druga delitev metod določitve položaja s pomočjo tehnologije GNSS se nanaša na premikanje sprejemnika v času izmere, kjer poznamo statično in kinematično metodo izmere. V zadnjih letih se je razvilo kar nekaj metod izmere, ki v večji meri prevzemajo značilnosti ene ali druge osnovne metode izmere GNSS.

RTK-metoda (angl. Real Time Kinematic) spada med relativne in kinematične metode izmere GNSS. Deluje na osnovi prenosa podatkov opazovanj GNSS preko komunikacijske povezave (radijska, GSM, GPRS...) od referenčnega do premičnega sprejemnika. Pri RTK-metodi obdelava podatkov opazovanj poteka v realnem času s pridobitvijo natančnega podatka o položaju in kakovosti določitve položaja v času izmere (Geoservis, 2015). Uporaba dvofrekvenčnih instrumentov nam omogoča točnost določitve položaja pri RTK-metodi izmere $1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ horizontalno in $2 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ vertikalno (Saghravani in sod. 2009). Pri tem instrumenta GNSS na baznem stojišču in na premikajoči enoti pridobivata opazovanja skupnega niza satelitov, istočasno pa se z bazne postaje pošiljajo opazovanja in popravki opazovanj proti premikajočemu sprejemniku. Ko premikajoči sprejemnik sprejme podatke, se fazna opazovanja združijo z lastnimi opazovanji, sledi obdelava opazovanj in določitev položaja v realnem času. Glavna slabost RTK-metode izmere se pojavi pri večji oddaljenosti od baznega stojišča. Dobra določitev položaja je omejena le na 10-kilometrsko od referenčne postaje (Bilban, 2014), nekateri avtorji navajajo tudi 20 kilometrov. Z večanjem razdalje med baznim in premičnim stojiščem so opazovanja čedalje bolj obremenjena z vplivi na opazovanja na krajiščih baznega vektorja. Pri RTK izmeri včasih tudi najnaprednejši algoritmi ne odstranijo vseh vplivov na opazovanja. Razlog je v opazovanjih, ki jih opravimo v kratkem časovnem intervalu.

2.1 Metoda RTK z lastnim baznim stojiščem

V kolikor imamo na voljo dva sprejemnika GNSS, med katerima je omogočen pretok podatkov v realnem času preko standarda RTCM SC 104, referenčno bazno stojišče lahko postavimo sami. V tem primeru moramo zagotoviti dovolj kakovostne koordinate referenčnega baznega stojišča v izbranem globalnem sistemu. Tak pristop se razlikuje od prej opisanega mrežnega koncepta, saj se podatki ne obdelujejo v omrežnem centru.

Pridobiti popravek v smislu koordinat je precej enostavna metoda, saj se med samo izravnavo koordinate kalibracijske bazne postaje obravnavajo kot koordinate stalne postaje oziroma v našem primeru lastnega baznega stojišča. Model popravkov je ocenjen med višinami referenčnih postaj. Faktor je odvisen le od znanega razmerja med referenčnimi postajami.

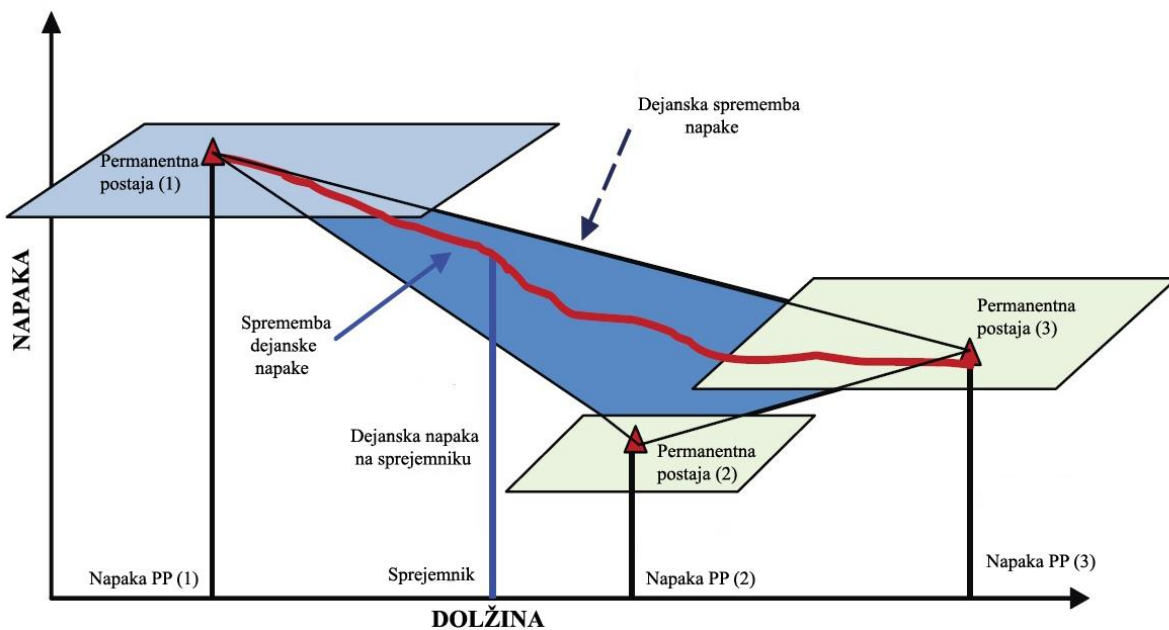
Nekoliko bolj prilagodljiv je model popravkov s pomočjo opazovanj, pri katerem je potrebno izvesti še model prilagajanja, oziroma Kalmanovega filtra. Tu se poleg popravkov v koordinatnem smislu

ustvarijo še stohastični modeli vseh opazovanj. Tako je določena višinska komponenta bazne postaje, tako da bazno stojišče prispeva večinski delež k oceni v koeficienta troposferske refrakcije.

Analiza avtorjev (Schön in sod., 2005) je pokazala, da oba pristopa zmanjšata vpliv troposfere na približno enako raven. Natančnost višinske komponente z uporabo teh modelov se iz 6 cm zmanjša na velikost enega centimetra.

2.2 Osnove mrežnega koncepta izmere RTK

Glavni namen mrežnih konceptov je zmanjšati vplive na opazovanja, ki nastanejo zaradi prevelike oddaljenosti med baznim stojiščem in premikajočim se sprejemnikom. RTK v omrežju stalnih postaj GNSS zagotavlja homogeno in visoko točnost ter zanesljivost določitve položaja. Hkrati zagotavlja tudi razpoložljivost popravkov s pomočjo skupne obdelave opazovanj z vseh referenčnih sprejemnikov v omrežju in modeliranje sistematičnih vplivov na opazovanja, ki jih predstavijo kot popravke RTK za premične sprejemnike. Mogoče je tudi, da je tudi v primeru izpadov opazovanj GNSS z določene referenčne stalne postaje rešitev še vedno dosegljiva, saj v tem primeru opazovanja z drugih postaj GNSS nadomestijo vrzel v izpadu opazovanj določene referenčne postaje.



Slika 1: Delovanje mrežnega koncepta s prikazom napake med modelirano ter dejansko vrednostjo (El-Mowafy, 2011)

Na sliki 1 prikazujemo delovanje koncepta s prikazom napake med modelirano ter dejansko vrednostjo. Napake s posameznih referenčnih postaj so prikazane vsaka v svoji ravnini. Mrežni koncept zagotavlja modeliranje vplivov na opazovanja glede na pridobljene vplive stalnih postaj GNSS. Dejansko spremembo napake med referenčnimi postajami prikazujemo rdeče. Če je premikajoči se sprejemnik blizu katerekoli stalne postaje ter ob predpostavki, da je vrednost vplivov na opazovanja zelo podobna vplivom na stalni postaji, bo sprejemnik sprejel zelo majhen popravek in posledično pridobil smiselno točnost določitve položaja. Če se razdalja do stalne postaje GNSS poveča, se vrednosti vplivov med dejansko vrednostjo in vrednostjo na postaji povečajo. Po drugi strani pa se dejanski vplivi v obliki napake in napaka omrežja interpolira glede na položaj sprejemnika ter se tako najmanj zmanjša.

V osnovi je mrežni koncept RTK sestavljen iz štirih segmentov (El-Mowafy, 2011):

- zbiranje podatkov na referenčni postaji;
- interpretacija podatkov ter generiranje popravkov v omrežnem računskem centru;
- pošiljanje popravkov;
- končna določitev položaja sprejemnika z uporabo informacij iz računskega centra.

V prvem segmentu več referenčnih postaj hkrati zbira opazovanja GNSS od satelitov in jih pošilja v računski center omrežja, kjer se preko internetnega omrežja zbirajo podatki opazovanj z vseh referenčnih postaj. Sledi pregled in analiza kakovosti opazovanj, sprejetih z vseh referenčnih postaj. Kontrolni center nadalje uporabi opazovanja za mrežno rešitev ali pa jih shrani za naknadno obdelavo. Podatke opazovanj s stalnih postaj nato posredujejo uporabniku (sprejemniku GNSS na terenu). Mrežne informacije, ki jih pošiljajo sprejemniku, so odvisne od algoritma obdelave opazovanj GNSS in lahko vključujejo: opazovanja ene referenčne postaje (fizična ali virtualna), koeficiente za interpolacijo popravkov v območju pokritosti omrežja stalnih postaj GNSS in popravke opazovanj z več referenčnih postaj GNSS. Za povečanje zanesljivosti je priporočljivo, da v računskem centru drugi računalnik deluje v ozadju glavnega računalnika v primeru kakršnih koli motenj v delovanju.

Mrežni koncept zahteva najmanj tri referenčne postaje za ustvarjanje popravkov. Splošnih omejitev glede velikosti omrežja ni, vendar pa zaradi vse večje gostote referenčnih postaj vektorji ne presegajo 80 km, kar omogoča hiter in zanesljiv način določanja popravkov (El-Mowafy, 2011). Z večanjem števila udeleženih referenčnih postaj v mrežnem konceptu so boljše določljivi tudi vplivi na opazovanja. Če sta ena ali dve referenčni postaji v istem trenutku nedosegljivi, se lahko njun doprinos k rešitvi odpravi z rešitvijo od ostalih referenčnih postaj. Tako so vedno na voljo popravki opazovanj GNSS, ki še vedno uporabniku zagotavljajo nadaljnjo kakovostno določitev položaja.

Glavne prednosti mrežnega RTK-koncepta (El-Mowafy, 2011) so:

- zmanjšanje delovnega časa in stroškov, saj ni potrebe po lastni vzpostavitvi baznega stojišča za vsakega uporabnika,
- točnost izračuna položaja sprejemnika je bolj homogena ter dosledna, saj se napaka nanaša na eno programsko opremo, ki uporablja enak funkcionalni in stohastični model modeliranja vplivov na opazovanja,
- točnost določitve položaja se ohranja tudi pri večji oddaljenosti od baznega stojišča,
- isto območje je mogoče pokriti z manj referenčnimi postajami, glede na določitev položaja z navezavo na eno referenčno postajo GNSS. Običajno je oddaljenost med posameznimi referenčnimi postajami nekaj deset kilometrov,
- mrežni RTK zagotavlja večjo zanesljivost in razpoložljivost RTK-popravkov. Če je določena stalna postaja tekom meritev nedosegljiva, se popravki določijo na osnovi drugih referenčnih postaj,
- mrežni RTK je sposoben nuditi podporo več uporabnikom in načinom izmere hkrati.

Slabosti mrežnega RTK-koncepta:

- stroški »naročnine« pri ponudniku storitev omrežja stalnih postaj,
- stroški prenosa podatkov opazovanj, ki velikokrat poteka preko mobilnega omrežja,
- odvisnost glede zunanjih vplivov na opazovanja.

2.2.1 Komunikacija med uporabnikom in računskim centrom

Pogoj za delovanje in uporabo RTK-metode izmere je komunikacija med uporabnikom in računskim centrom. Poznamo dvosmerno in enosmerno komunikacijo, vendar je v praksi nekoliko bolj v uporabi dvosmerna komunikacija. Komunikacija poteka preko GPRS (angl. General Packet Radio Service) ali GSM (angl. Global System for Mobile Communications). GPRS-prenos podatkov je nekoliko bolj stabilen in zanesljiv in ima časovno zakasnitev manj kot eno sekundo (El-Mowafy, 2011). Omogoča, da lahko računski center sam pridobi informacije glede na sprejemnikov približni položaj. Dvosmerna komunikacija ima omejitve v številu uporabnikov ob istem času. To se pozna v večji časovni zakasnitvi pridobljenih podatkov opazovanj. Za omejeno število uporabnikov časovna zakasnitev znaša običajno manj kot tri sekunde (El-Mowafy, 2011).

Enosmerna komunikacija temelji na uporabi VHF ali UHF oddajanju ali kodiranju RTK-poprakov. Za oddajanje VHF moramo pridobiti licenco, ki se nanaša na frekvenco oddanih radijskih valov. Glavna prednost enosmerne komunikacije je, da ni omejitve v številu uporabnikov mrežnega RTK-ja. Slabost so visoki stroški za »izgradnjo« celotnega sistema. Pogosto se pojavi tudi problem sprejete različne jakosti signala, ki je odvisen od topografije terena. Vrsto let so se za potrebe določitve položaja z RTK-metodo uporabljale enosmerne komunikacijske povezave. Z razvojem globalnih mobilnih komunikacijskih sistemov (GSM) ter z njihovo nadgradnjo za paketni prenos podatkov (GPRS, UMTS) pa je predvsem na področju geodetske izmere praktično prevladal dvosmerni način komunikacije (Bilban, 2014).

Vrsta komunikacije lahko vpliva na mrežni algoritem in količino potrebnih izračunov v računskem centru kot tudi v programu GNSS-uporabnika. Na primer, pri uporabi dvosmerne komunikacije lahko računski center individualizira informacije glede na uporabnikov približen položaj. Pri enosmerni komunikaciji pa mora uporabnik sam interpolirati napako na svoji lokaciji in za uporabo izbrati primerno referenčno postajo.

Informacije za prenos RTK-poprakov od referenčne postaje do kontrolnega centra in od kontrolnega centra do uporabnika poteka preko internetnega prenosa po standardu RTCM SC 104 (angl. Radio Technical Commission for Maritime Services).

2.2.2 Rešitve mrežnega koncepta

Trenutno uporabljamo več metod rešitve v omrežjih (Bilban, 2014):

- virtualno referenčna postaja VRS (ang. Virtual reference station),
- psevdo-referenčna postaja PRS (angl. Pseudo-Reference station),
- ploskovni popravki FKP (nem. Flächenkorrekturparameter),
- koncept MAC (angl. Master-Auxiliary concept) z mrežnimi popravki MAX,
- koncept MAC z individualiziranimi mrežnimi popravki iMAX (angl. individualised Master-Auxiliary corrections).

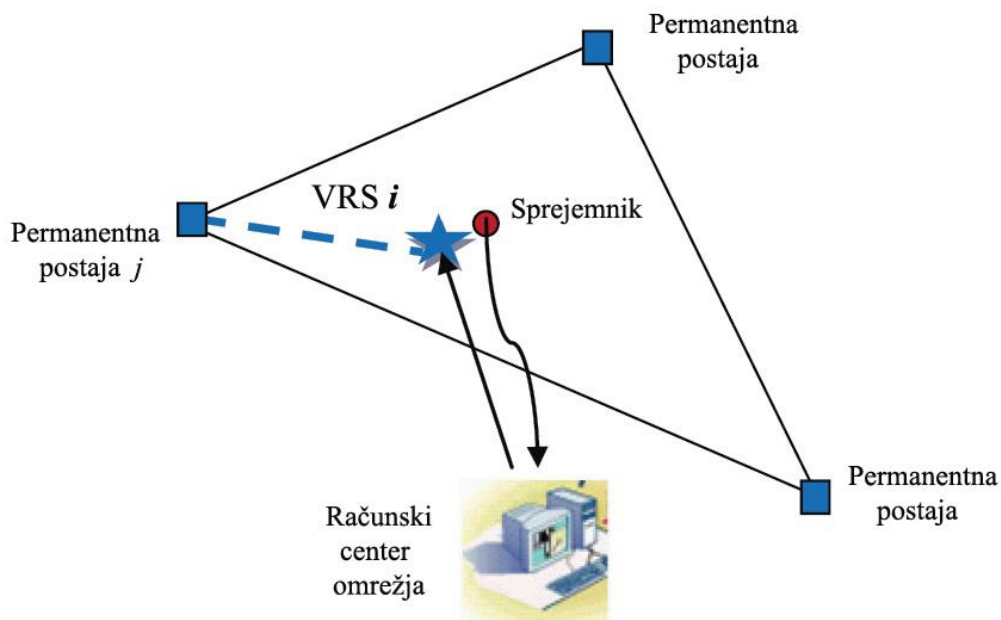
Našteti koncepti omogočajo večjo oddaljenost od referenčnih postaj GNSS kot v primeru izvedbe RTK-metode izmere z uporabo opazovanj referenčnega baznega stojišča. Pri VRS, PRS in iMAX govorimo o nefizični obliki referenčnega baznega stojišča. To pomeni, da referenčno bazno stojišče v naravi ne obstaja, ampak je virtualno vzpostavljeno v bližini delovišča. Uporabnik nima informacij o velikosti vplivov na opazovanja (napak) GNSS, ki so nadalje vključeni v določitvi položaja. Koncepta FKP in MAC oddajata ločeno opazovanja GNSS z referenčnih postaj in informacije o omrežju. Informacije iz računskega centra pridobimo kot popravke opazovanj GNSS. V programu za obdelavo

opazovanj GNSS v sprejemniku na osnovi različnih kriterijev poteka odločitev, katere informacije bodo vključene v končno rešitev določitve položaja. VRS-metoda je najbolj razširjena metoda določitve položaja v mrežnih konceptih in jo je mogoče v omrežju SIGNAL uporabljati vse od postavitve prvih treh postaj v omrežju. Novost v slovenskem državnem omrežju SIGNAL je metoda MAC, ki je uporabnikom na voljo od novembra 2014.

2.2.3 Metoda virtualne referenčne postaje VRS

Metoda z VRS je trenutno najbolj razširjena metoda mrežnega koncepta, saj ne zahteva sprememb v programski opremi uporabnika RTK-metode izmere. To pomeni, da je združljiva z obstoječo programsko opremo za izvedbo RTK-metode izmere s postavitvijo lastnega baznega stojišča. Glavni namen stojišča VRS je zmanjšati izhodiščno razdaljo med sprejemnikom in bazo za učinkovito odpravo prostorsko koreliranih napak ter vključiti vse napake, ki so generirane/pridobljene na referenčni postaji. Osnovni princip prikazujemo na sliki 2.

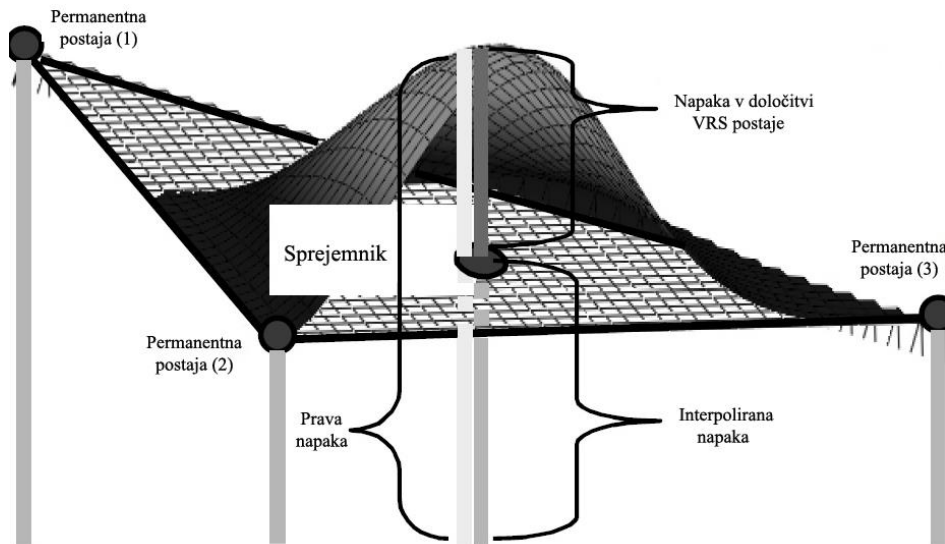
Sprejemnik, ki ga uporabljamo na terenu, najprej s pomočjo absolutne določitve položaja s kodnimi opazovanji pridobi približni položaj ter informacijo posreduje preko stavka GGA standarda NMEA 0183 (ang. National Electronics Association Marine) centru omrežja stalnih postaj GNSS. Računski center sprejme opazovanja z ostalih stalnih postaj GNSS, interpolira napake glede na pridobljene podatke ter v bližini sprejemnika ustvari virtualno referenčno postajo VRS. Ustvari opazovanja in popravke na opazovanja GNSS, ki jih pošlje nazaj uporabniku preko standarda RTCM SC 104. Dolžina baznega vektorja pri VRS navadno znaša le nekaj metrov. V kolikor se po inicializaciji od virtualno vzpostavljenega baznega stojišča preveč oddaljimo, lahko ponovno vzpostavimo novo virtualno bazno stojišče.



Slika 2: Princip delovanja VRS-postaje (El-Mowafy, 2011)

Pri izmeri na višjih nadmorskih višinah, kot so nadmorske višine referenčnih postaj omrežja GNSS, obstaja možnost slabše kakovosti modeliranih vplivov na opazovanja, ki jih navadno vključujejo popravki opazovanj 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 upoštevati tudi različne velikosti vplivov troposfere med referenčnimi postajami in navidezno postajo. Pri večjih višinskih razlikah (900 m) troposferska refrakcija vpliva na višinsko komponento določitve položaja, ki lahko doseže tudi 14 mm (Bilban, 2014).

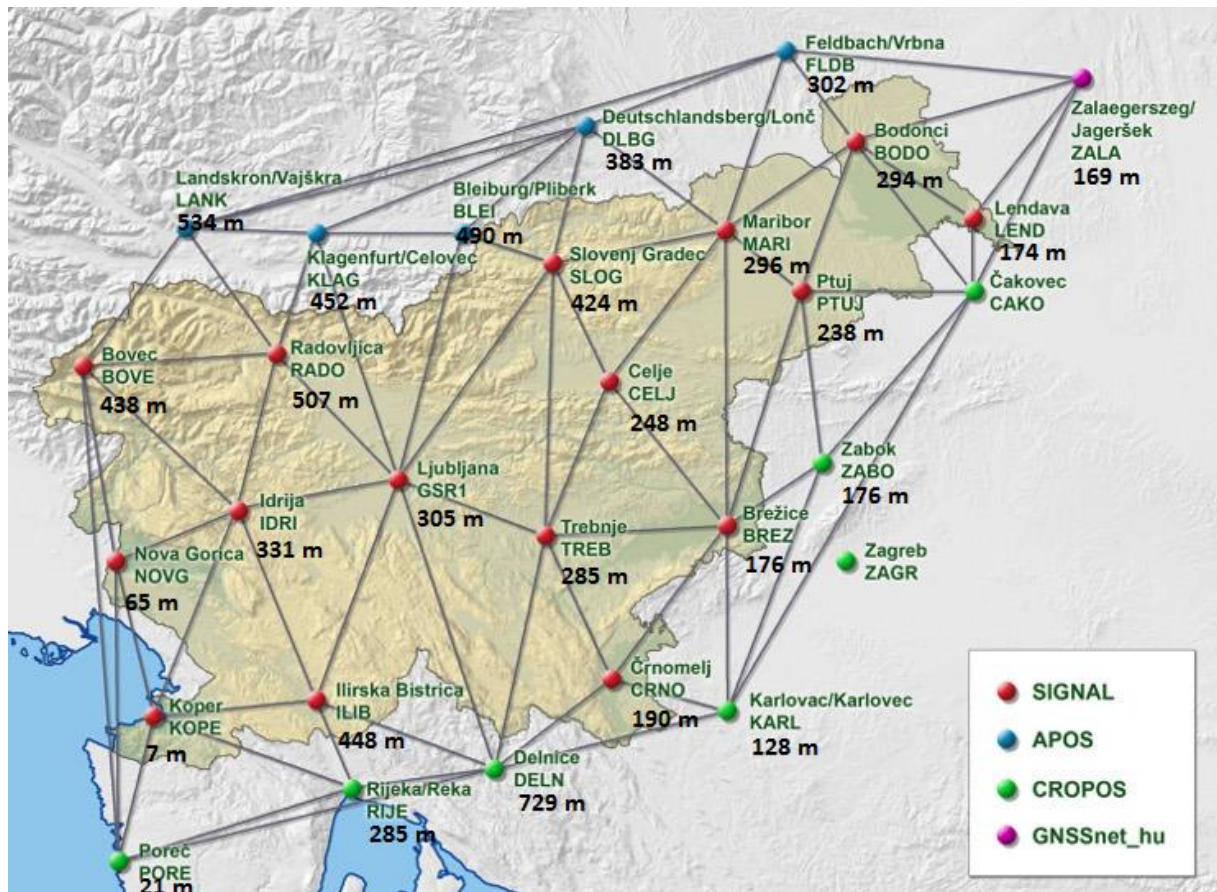


Slika 3: Napaka v določitvi VRS- postaje (Vollath in sod., 2000)

Na sliki 3 prikazujemo trikotno ploskev med referenčnimi postajami, ki predstavlja osnovo za interpolacijo modeliranih vplivov na opazovanja GNSS. Znotraj trikotnika se bo ustvarila virtualna referenčna postaja z interpoliranimi napakami glede na opazovanja z referenčnih postaj GNSS. Vendar prava napaka lahko odstopa od izračunane napake, prikazane s ploskvami (prava napaka). Razlika med napako ravnine in pravo napako bo ostala v napaki določitve virtualne referenčne postaje. Napaka bo še večja, če smo od referenčnih stalnih postaj precej oddaljeni.

2.3 Slovensko omrežje stalnih postaj GNSS SIGNAL

Omrežje stalnih postaj GNSS sestavljajo tri ali več stalnih postaj. V Sloveniji omrežje SIGNAL sestavlja 16 stalnih postaj, ki so enakomerno porazdeljene po vsej državi. Na sliki 4 prikazujemo razporeditev stalnih postaj GNSS omrežja SIGNAL, ob vsaki stalni postaji podajamo njeno nadmorsko višino.



Slika 4: Skica omrežja SIGNAL z dodanimi nadmorskimi višinami postaj (SIGNAL, 2015, <http://www.gu-signal.si/sites/default/files/omrezje.jpg>)

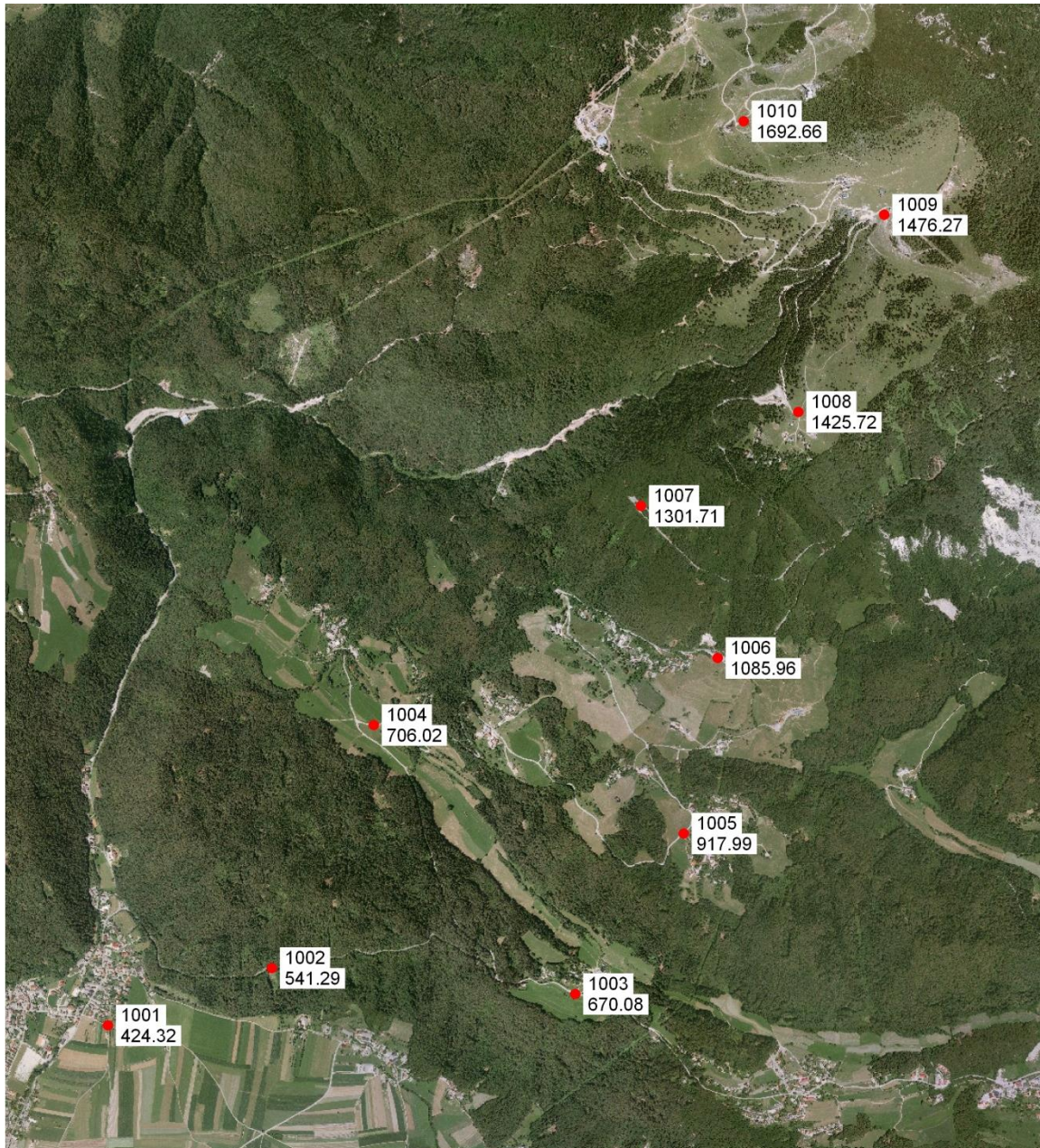
Na obmejnem pasu omrežje dopolnjujejo stalne postaje sosednjih držav. Trenutno je v omrežje SIGNAL vključenih pet avstrijskih (omrežje APOS), ena madžarska (omrežje GNSSnet_hu) in šest hrvaških postaj (omrežje CROPOS). Omrežje postaj GNSS je za uporabnika pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja lastnega sprejemnika glede na izbrano postajo GNSS v omrežju. Tako določen položaj je neprimerljivo boljši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Omrežje uporabniku omogoča, da določa relativni položaj z uporabo le enega premičnega instrumenta GNSS, vlogo referenčnega sprejemnika prevzema sistem omrežja SIGNAL. (SIGNAL, 2015)

Povprečna nadmorska višina vseh postaj omrežja SIGNAL na območju Slovenije znaša okrog 276 m. Najnižja referenčna postaja na območju Slovenije se nahaja v Kopru (7 m), najvišja pa v Radovljici (507 m). Ker se praktičen preizkus v dani nalogi nanaša na določitev položaja z RTK-metodo izmere ob uporabi VRS na višjih nadmorskih višinah, nam višine stalnih postaj omrežja SIGNAL predstavljajo pomembno izhodišče za razmislek. Menimo namreč, da na višjih nadmorskih višinah uporaba določitve položaja z VRS ni optimalna.

3 OPIS DELOVIŠČA IN TERENSKA IZMERA

3.1 Izbrano delovišče

Za delovišče smo si izbrali območje med Cerkljami na Gorenjskem in Krvavcem. Razlog za izbiro delovišča je bila lažja dostopnost, predvsem pa velika višinska razlika med točkami, katerim smo določali položaj z različnimi metodami izmere GNSS. Delovišča z dodanimi točkami ter pripadajočimi nadmorskimi višinami predstavljamo na sliki 5.



Slika 5: Izbrano delovišče (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)

V letu 2014 je bila na točkah predhodno opravljena statična izmera GNSS. Opazovanja so trajala 6–8 ur z intervalom registracije 5 sekund ter upoštevanjem minimalnega višinskega kota registracij 15°. Obdelava opazovanj je potekala z uporabo preciznih efemerid službe IGS (angl. International GNSS

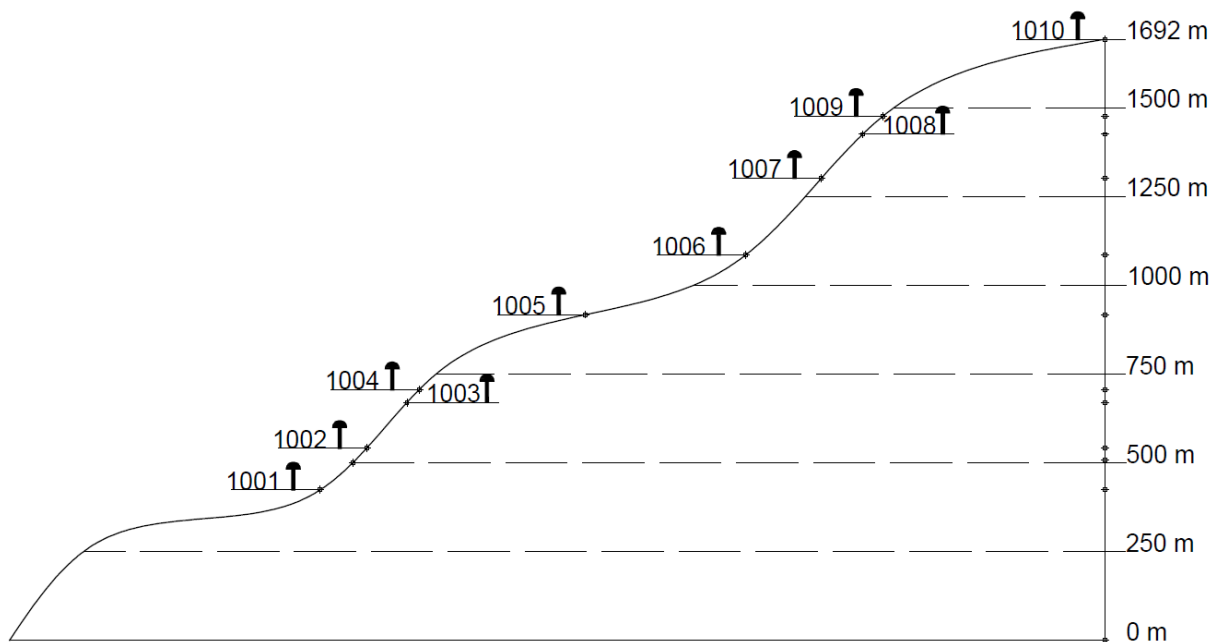
Service), mreža je bila kakovostno izravnana. Pri izravnavi je bila izvedena navezava točk 1001 in 1010 na najbližjo stalno postajo omrežja SIGNAL v Radovljici. Koordinate točk iz obdelave statične metode izmere GNSS smo v dani nalogi privzeli kot osnovo za primerjavo (preglednici 1, 2).

Preglednica 1: Položaji točk v koordinatnem sistemu ETRS 89.

	Φ	λ	h [m]
1001	46° 15' 37,99049" S	14° 29' 37,05088" V	471,360
1002	46° 15' 46,34733" S	14° 30' 10,85497" V	588,378
1003	46° 15' 42,88706" S	14° 31' 13,38657" V	717,192
1004	46° 16' 21,17786" S	14° 30' 31,53223" V	753,212
1005	46° 16' 05,92873" S	14° 31' 35,55330" V	965,186
1006	46° 16' 31,04448" S	14° 31' 42,34889" V	1.133,240
1007	46° 16' 52,75086" S	14° 31' 26,36316" V	1.349,041
1008	46° 17' 06,34531" S	14° 31' 58,74843" V	1.473,108
1009	46° 17' 34,58453" S	14° 32' 16,26458" V	1.523,749
1010	46° 17' 47,88609" S	14° 31' 47,12195" V	1.740,153

Preglednica 2: Položaji točk, pretvorjeni v koordinatni sistem D96/TM. Za izračun nadmorskih višin smo uporabili model geoida SLOG2000 (Pribičević, 2000).

	e [m]	n [m]	H [m]
1001	460.962,991	124.659,518	424,318
1002	461.688,495	124.912,945	541,293
1003	463.026,856	124.797,868	670,076
1004	462.137,926	125.985,532	706,014
1005	463.505,774	125.506,397	917,986
1006	463.655,888	126.280,946	1.085,963
1007	463.317,682	126.953,148	1.301,707
1008	464.013,397	127.368,737	1.425,720
1009	464.393,407	128.238,392	1.476,275
1010	463.772,145	128.652,730	1.692,661

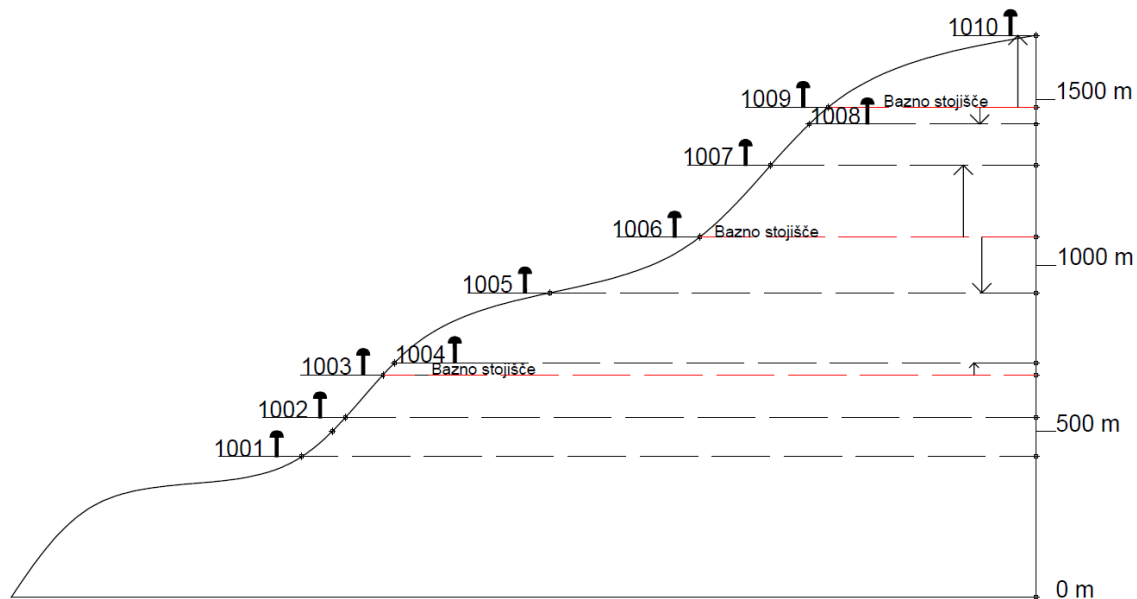


Slika 6: Skica prečnega prereza delovišča

Na sliki 6 grafično predstavljamo prečni prerez delovišča z dodanimi točkami izmere ter višinsko lestvico. Točke so enakomerno razporejene od najnižje točke 1001 z višino 424 m do najvišje točke 1010 z višino 1.693 m. Višinska razlika med najvišjo in najnižjo točko znaša 1.268 m.

3.2 Terenska izmera

Terensko izmero smo opravili v aprilu 2015. Najprej smo določili položaj točkam z RTK-metodo izmero ob uporabi VRS. Nadalje smo v istem času z drugim instrumentom izvajali hitro statično metodo izmere GNSS. Pri tem smo referenčni instrument postavili na točko, ki je bila od točke, kjer smo izvajali meritve, najmanj oddaljena (najbližja točka navzgor ali navzdol od točke izvedbe opazovanj (slika 7).



Slika 7: Skica prečnega prereza delovišča s točkami baznega stojišča ter pripadajočimi baznimi vektorji

V prvem delu smo na vsaki točki (od 1001 do 1010) določili položaj z VRS RTK-metodo izmere v treh neodvisnih serijah meritev, ločenih s časovnim intervalom vsaj 15 minut. Meritve po uspešno vzpostavljeni inicializaciji so trajale 180 sekund. Pred vsako ponovno serijo določitve položajev točkam je omrežje ponovno vzpostavilo novo točko VRS, posledično smo tudi na novo vzpostavili inicializacijo.

Nadalje smo z drugim instrumentom na isti točki opravili opazovanja hitre statične metode izmere GNSS. Bazno stojišče smo vzpostavili na točkah 1003, 1006 in 1009, na bližnjih točkah smo postavili instrument in točki na novo določali položaj. Ko smo imeli postavljeno bazno stojišče na točki 1003, smo določali položaj na točki 1004. Ko smo imeli postavljeno bazno stojišče na točki 1006, smo relativno določali položaj na točkah 1005 in 1007. Ko smo imeli bazno stojišče postavljeno na točki 1009, pa smo relativni položaj določali na točkah 1008 in 1010 (slika 7).

3.2.1 Težave med terensko izmero

Pri praktičnem delu na terenu smo imeli težave s slabim sprejemom signalov s satelitov GNSS. Predvsem se je to navezovalo na točko 1002, ki se nahaja na precej zaraščenem terenu (slika 9). V času meritev smo imeli na voljo le 4 satelite, zato nismo mogli v treh neodvisnih serijah opazovanj uspešno opraviti inicializacije. Ker smo položaj točke uspeli določiti le enkrat, točke v nadaljnje analize nismo vključili.

Ker se točke nahajajo na nekoliko bolj neposeljenem območju, smo imeli tudi težave s pretokom opazovanj v realnem času preko mobilnega omrežja.

3.2.2 Uporabljen instrumentarij

Terensko izmero smo opravili z dvema kompletoma instrumentov Leica Viva GS15 (slika 10), skupaj s karbonsko palico in togim grezilom natančnosti 8 minut ter dvema dvonožnima nogama, ki sta nam služili za lažje horizontiranje (slika 8). Po podatkih proizvajalca sprejemnik pri mrežnem konceptu

RTK-metode zagotavlja horizontalno natančnost 8 mm + 0,5 ppm in vertikalno natančnost 15 mm + 0,5 ppm (Leica Geosystem, 2015).

V nadaljevanju oziroma ob ponovni izmeri predvsem s hitro statično metodo izmere, ki omogoča boljšo točnost določitve položaja, bi bilo za bolj kakovostno določitev položaja mogoče razmisliti o uporabi stativov in optičnega grezenja. Na opisani način smo instrument postavljali zato, ker smo se v danem primeru omejili na kakovost določitve položajev točk v definicijskem območju izmere RTK (to je cm), pri čemer je tak način postavitve instrumenta dovolj. Drugi razlog pa izhaja iz naslova odboja satelitskih signalov od tal (angl. multipath). Pri GNSS namreč vemo, da se odboju signalov GNSS od tal v največji meri izognemo tako, da instrument postavimo na višino okoli 2 m, česar z uporabo stativov ne moremo zagotoviti.



Slika 8: Postavitev instrumenta nad točko 1006



Slika 9: Postavitev instrumenta nad točko 1002



Slika 10: Leica Viva GS15 (Leica Geosystem. 2015)

4 OBDELAVA IN ANALIZA REZULTATOV IZMERE

Analizo rezultatov meritev smo opravili s primerjavo koordinat iz RTK-metode izmere glede na referenčne koordinate točk, ki smo jih pridobili s statično metodo izmere GNSS. Ker smo opravili meritve v več serijah po 180 registracij po uspešni inicializaciji, smo v primerjavo vključili koordinate, izračunane iz aritmetične sredine vseh serij na posamezni točki. Koordinate predstavljamo v preglednici 3.

Preglednica 3: Koordinate točk v D96/TM koordinatnem sistemu, pridobljene z RTK-metodo izmere. Za bazno stojišče smo uporabili v omrežju SIGNAL vzpostavljeno virtualno točko VRS.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
1001	460.962,98	124.659,52	424,33
1003	463.026,85	124.797,86	670,08
1004	462.137,93	125.985,53	706,02
1005	463.505,78	125.506,39	917,98
1006	463.655,89	126.280,94	1.085,96
1007	463.317,67	126.953,15	1.301,69
1008	464.013,39	127.368,73	1.425,70
1009	464.393,41	128.238,38	1.476,33
1010	463.772,14	128.652,72	1.692,68

Preglednica 4: Koordinate točk v D96/TM koordinatnem sistemu, pridobljene z metodo lastnega baznega stojišča.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
1001	–	–	–
1003	–	–	–
1004	462.137,92	125.985,53	706,01
1005	463.505,77	125.506,39	917,98
1006	–	–	–
1007	463.317,68	126.953,16	1.301,70
1008	464.013,40	127.368,74	1.425,73
1009	–	–	–
1010	463.772,15	128.652,73	1.692,68

V preglednici 4 prikazujemo položaje točk, kjer smo opravili kinematično izmero s postavitvijo lastnega baznega stojišča. Točke 1003, 1006 in 1010 so služile kot bazno stojišče, na točki 1002 meritve niso bile opravljene zaradi pomanjkanja satelitov, točko 1001 pa smo izpustili zaradi premajhne absolutne nadmorske višine.

V nadaljevanju smo zraven povprečnih vrednosti koordinat izračunali še statistično oceno točnosti in natančnosti. Natančnost je izražena z standardnim odklonom posameznih meritev (σ) in predstavlja mero razpršenosti posameznih meritev (enačba 1), točnost pa izražena s korenem povprečne kvadratne napake (m), ki je definirana kot povprečni kvadrat razlike med izmerjeno in referenčno vrednostjo (enačba 2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n - 1}} \quad (1)$$

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ref} - X_i)^2}{n}} \quad (2)$$

kjer:

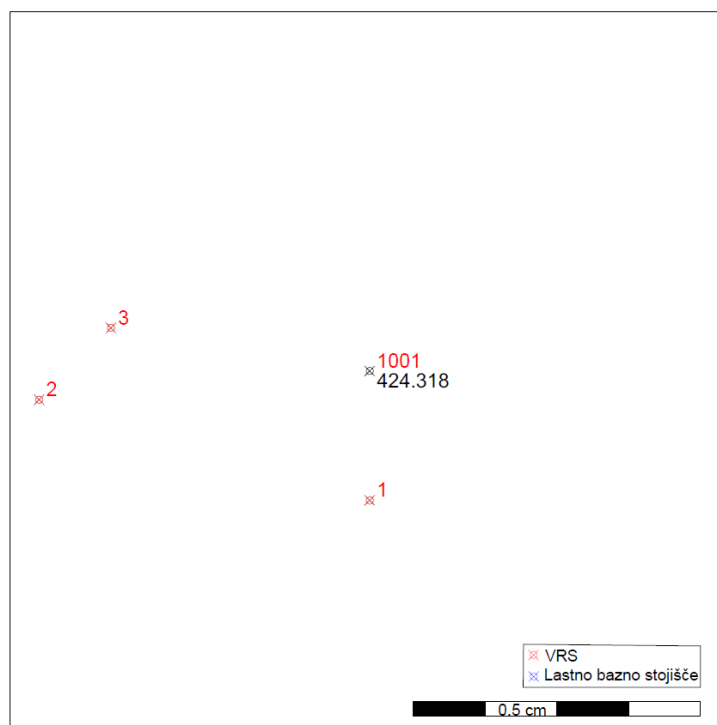
- \bar{X} predstavlja aritmetično sredino meritev vseh serij,
- X_i predstavlja posamezno meritev iz ene serije,
- X_{ref} predstavlja referenčno koordinato, pridobljeno s statično metodo izmere GNSS,
- n predstavlja število serij.

4.1 Grafični prikaz rezultatov

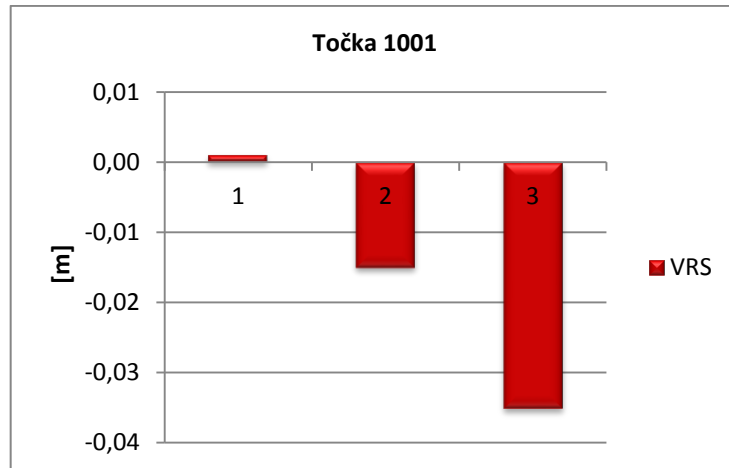
V nadaljevanju grafično za vsako točko posebej prikazujemo rezultate meritev. Prikazan je 2D položaj posamezne neodvisne določitve položaja v koordinatnem sistemu D96/TM, ter višinsko odstopanje od koordinat statične izmere. Koordinate, pridobljene z VRS-metodo prikazujemo z rdečo barvo, z modro barvo pa koordinate, pridobljene s postavitvijo lastnega baznega stojišča.

4.1.1 Točka 1001

Na sliki 11 prikazujemo horizontalne položaje posamezne določitve položaja na točki 1001. Točka 1001 se nahaja na nadmorski višini 424 m, to je 83 m nižje od stalne postaje Radovljica.



Slika 11: Horizontalni položaj registracij na točki 1001

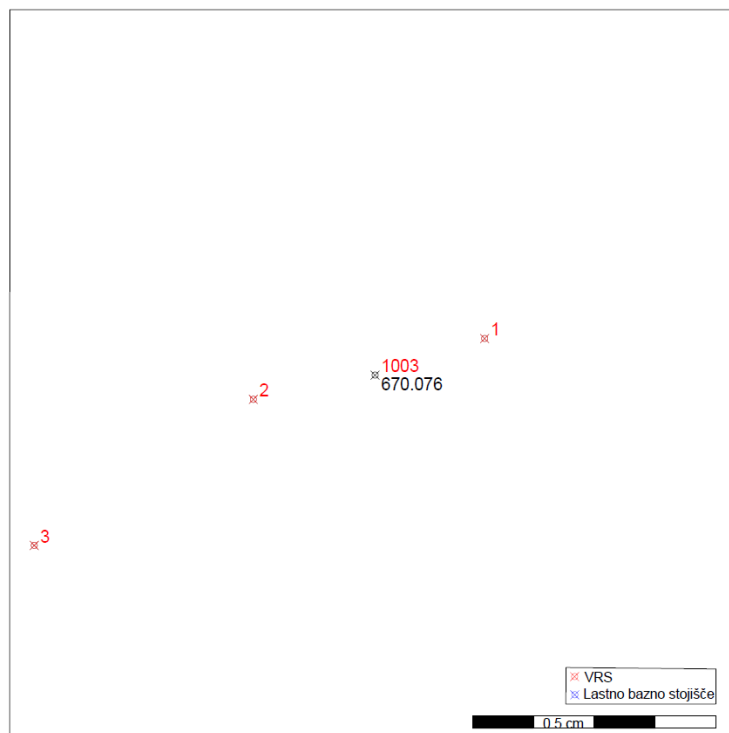


Slika 12: Višinsko odstopanje na točki 1001

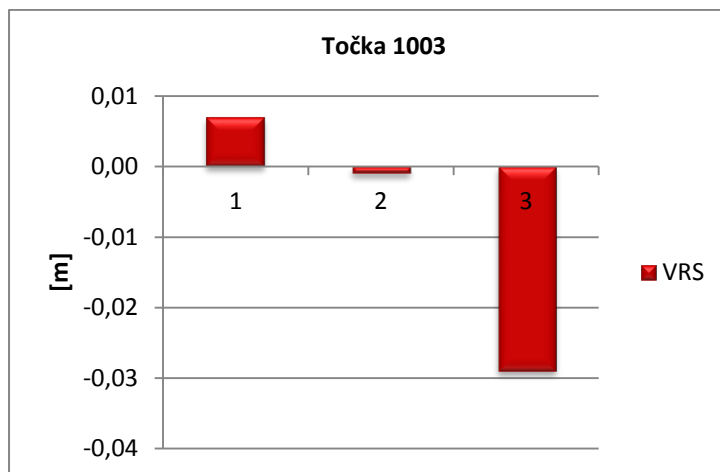
S slike 12 je razvidno, da višinsko odstopanje posamezne registracije v primerjavi s statično metodo na točki 1001 znaša do 3,5 cm.

4.1.2 Točka 1003

Točka 1003 se nahaja na nadmorski višini 670 m, kar je 163 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. S slike 13 je razvidno, da ena registracija precej odstopa od ostalih dveh.



Slika 13: Horizontalni položaj registracij na točki 1003

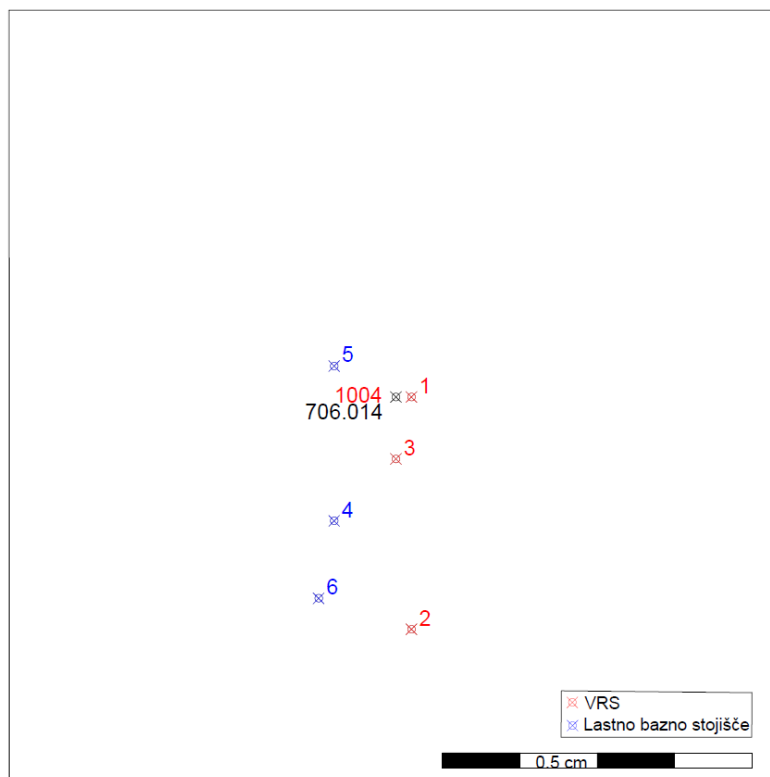


Slika 14: Višinsko odstopanje na točki 1003

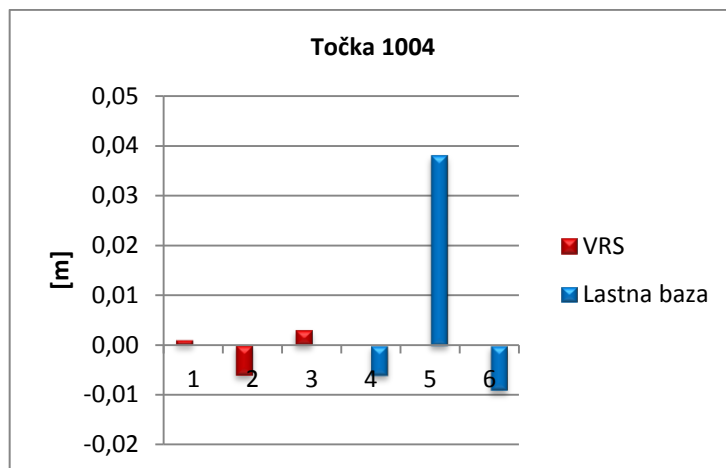
Na sliki 14 predstavljamo odstopanje višinske komponente od statične metode po posameznih registracijah. Odstopanje znaša od 1 do 3 cm.

4.1.3 Točka 1004

Točka 1004 se nahaja na nadmorski višini 706 m. Na sliki 15 so z rdečo barvo prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo, z modro pa so prikazani posamezni položaji registracij z metodo lastnega baznega stojišča. Iz slike 15 je razvidno, da odstopanja položaja ne presegajo 2 cm.



Slika 15: Horizontalni položaj registracij na točki 1004

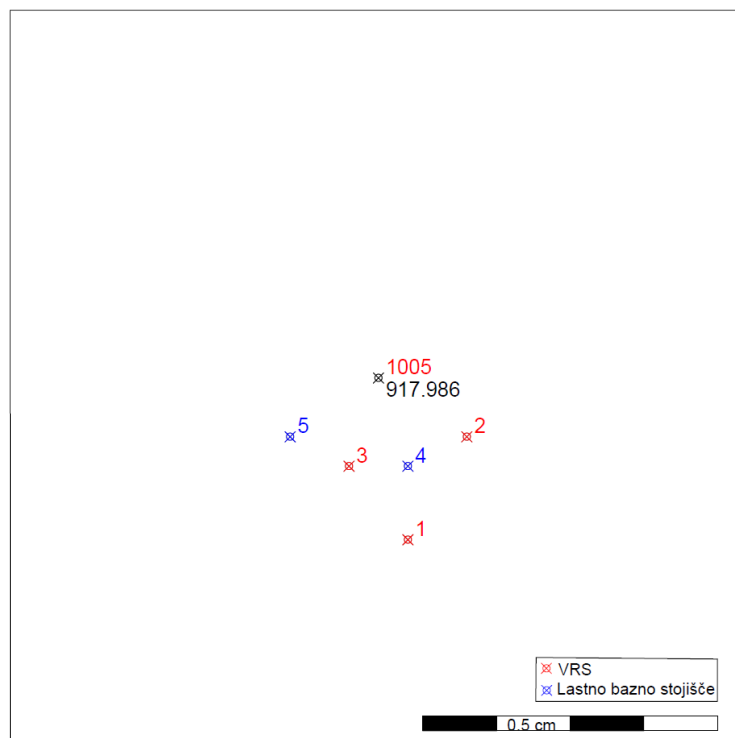


Slika 16: Višinsko odstopanje na točki 1004

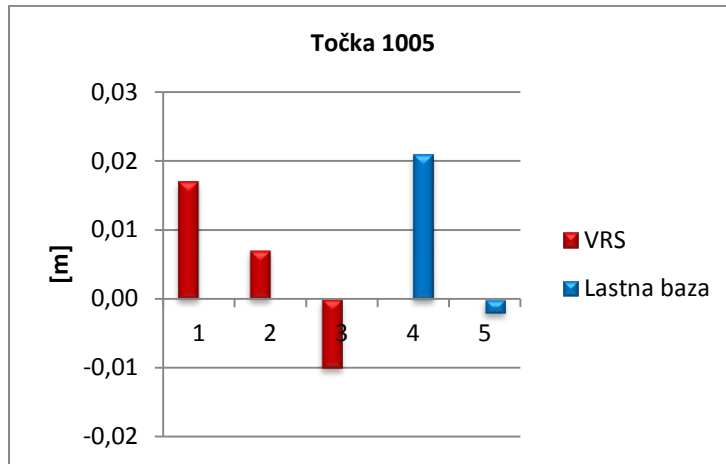
Na sliki 16 z rdečo barvo predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Z modro je prikazano višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo lastnega baznega stojišča. Odstopanja znašajo v okvirju enega centimetra, le ena registracija z metodo lastnega stojišča odstopa od povprečja (odstopanje skoraj 4 cm)

4.1.4 Točka 1005

Točka 1005 se nahaja na nadmorski višini 918 m. Na sliki 17 so z rdečo barvo prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo, z modro pa so prikazani posamezni položajni registracij z metodo lastnega baznega stojišča. Iz slike 17 je razvidno, da so odstopanja položaja v območju centimetra.



Slika 17: Horizontalni položaj registracij na točki 1005

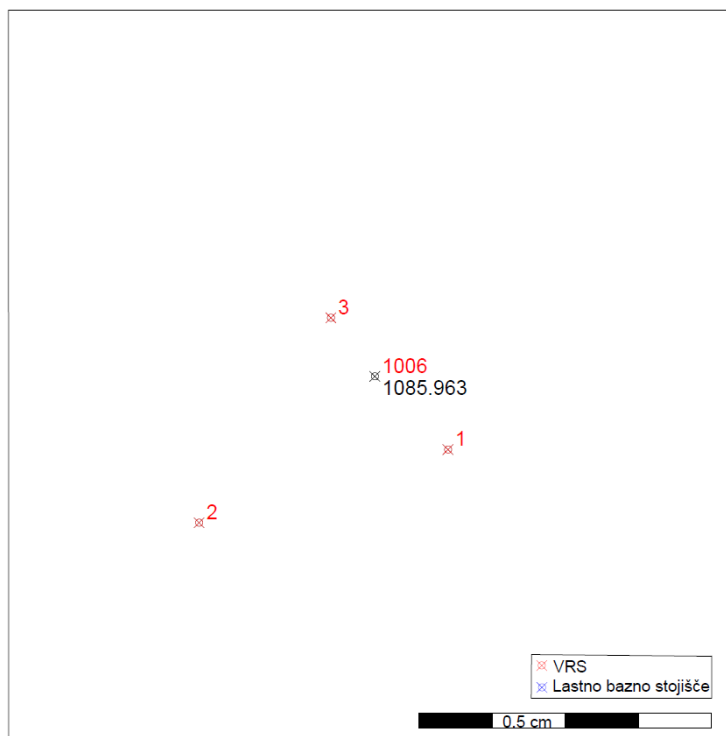


Slika 18: Višinsko odstopanje na točki 1005

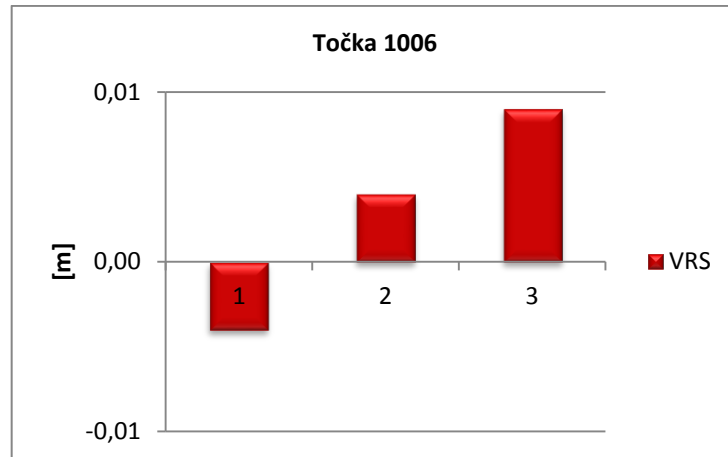
Na sliki 18 z rdečo barvo predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Z modro je prikazano višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 18 je razvidno, da vrednost odstopanj doseže 2 cm.

4.1.5 Točka 1006

Točka 1006 se nahaja na nadmorski višini 1.086 m, to je 579 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. Na sliki 19 so prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo. S slike 19 je razvidno, da so odstopanja položaja v dveh centimetrih.



Slika 19: Horizontalni položaj registracij na točki 1006

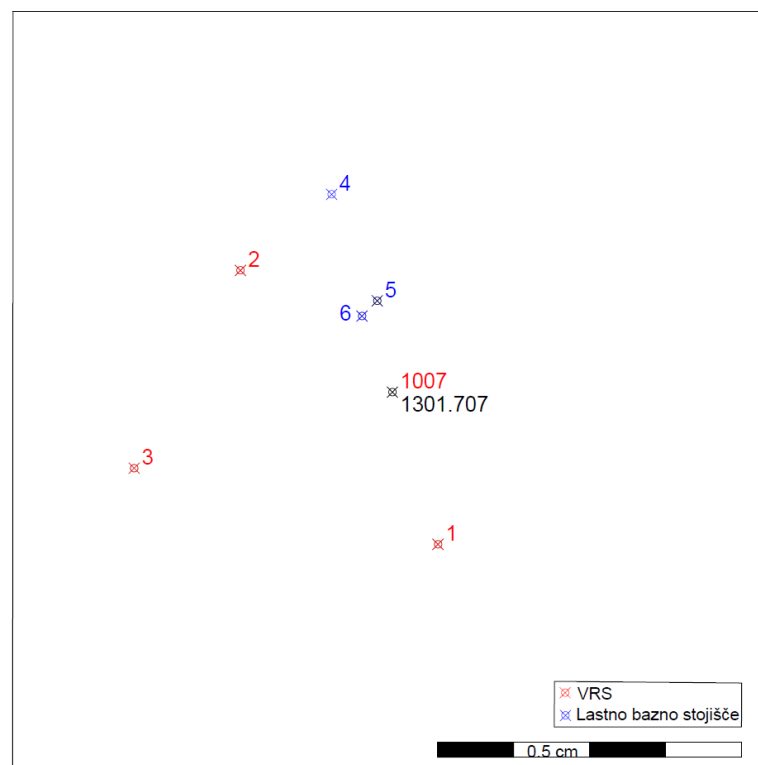


Slika 20: Višinsko odstopanje na točki 1006

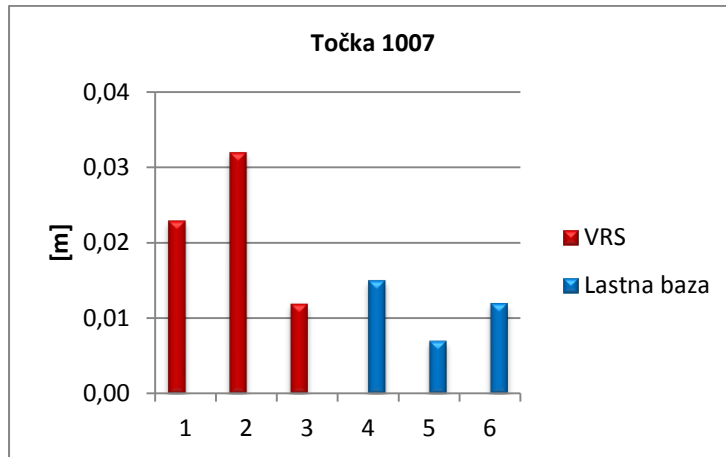
Na sliki 20 predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Višinska odstopanja so na točki 1006 majhna, saj ne presežejo centimetra.

4.1.6 Točka 1007

Točka 1007 se nahaja na nadmorski višini 1.302 m, to je 795 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. Na sliki 21 so z rdečo barvo prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo, z modro pa so prikazane posamezne položajne registracije z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 21 je razvidno, da pridobitev položaja z metodo lastnega baznega stojišča nudi točnejši horizontalni položaj. Točnost koordinat pridobljenih z metodo lastnega baznega stojišča dosega vrednost 1,5 cm, medtem ko koordinate pridobljene z VRS- metodo dosega točnost 2 cm.



Slika 21: Horizontalni položaj registracij na točki 1007

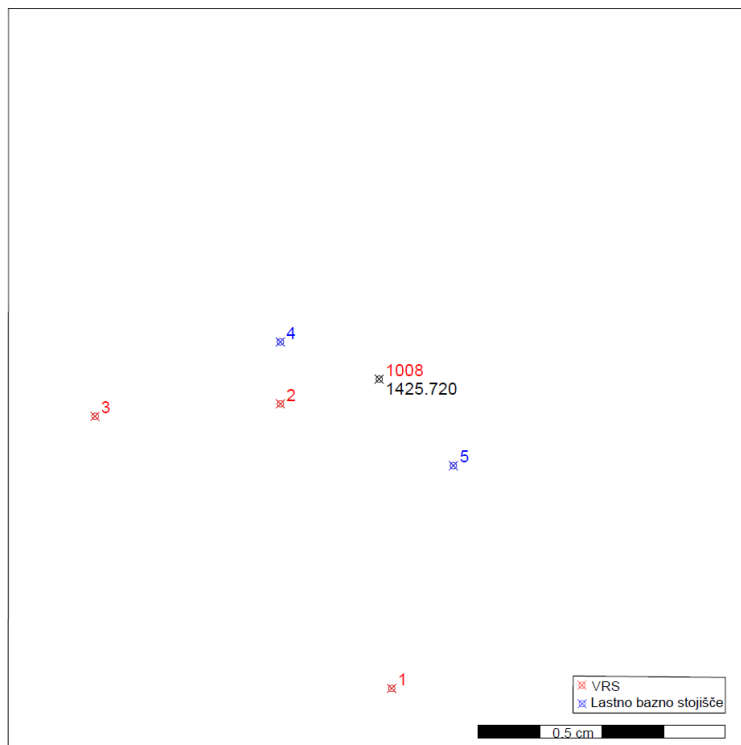


Slika 22: Višinsko odstopanje na točki 1007

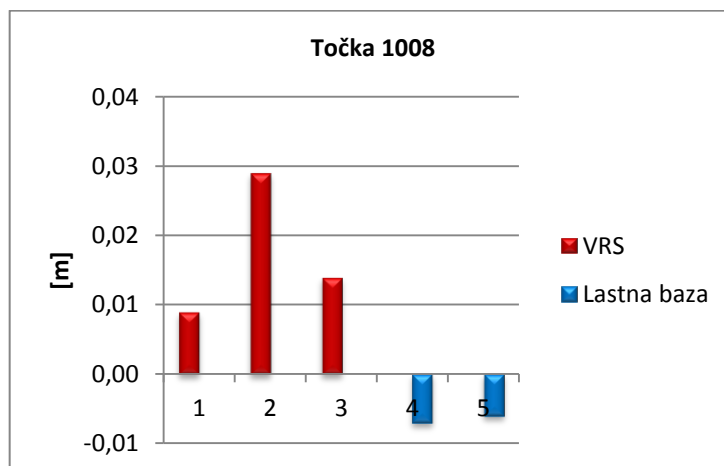
Na sliki 22 z rdečo barvo predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Z modro je prikazano višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 22 je razvidno, da pridobitev koordinat z metodo lastnega baznega stojišča nudi nekaj centimetrov boljše rezultate.

4.1.7 Točka 1008

Točka 1008 se nahaja na nadmorski višini 1.426 m, to je 919 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. Na sliki 23 so z rdečo barvo prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo, z modro pa so prikazane posamezne položajne registracije z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 23 je razvidno, da pridobitev položaja z metodo lastnega baznega stojišča nudi točnejši horizontalni položaj. Točnost koordinat pridobljenih z metodo lastnega baznega stojišča dosega vrednost 1 cm, točnost koordinat pridobljenih z VRS-metodo pa presega vrednost 2 cm.



Slika 23: Horizontalni položaj registracij na točki 1008

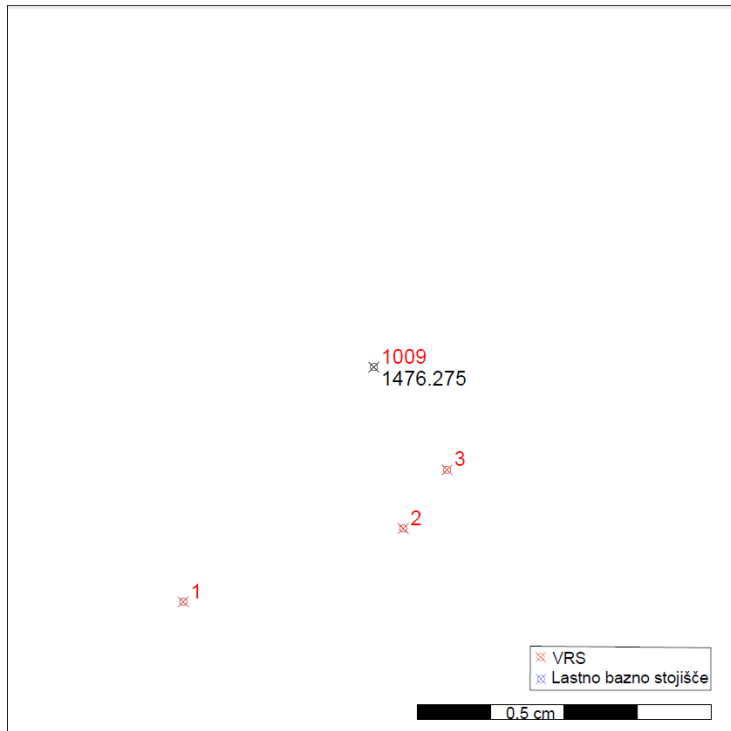


Slika 24: Višinsko odstopanje na točki 1008

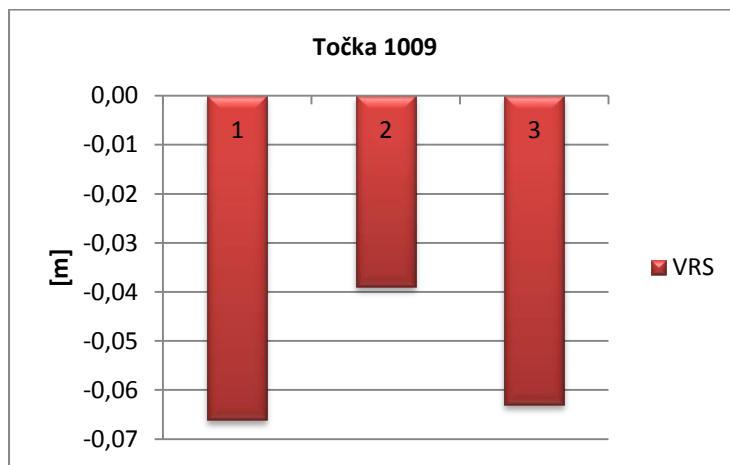
Na sliki 24 z rdečo barvo predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Z modro je prikazano višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 24 je razvidno, da odstopanje pri metodi lastnega baznega stojišča ne presega vrednost 1 cm, medtem ko odstopanje pri VRS-metodi znaša do 3 cm.

4.1.8 Točka 1009

Točka 1009 se nahaja na nadmorski višini 1.476 m, to je 969 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. Na sliki 25 so prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo. S slike 25 je razvidno, da so odstopanja položaja v okviru dveh centimetrov.



Slika 25: Horizontalni položaj registracij na točki 1009

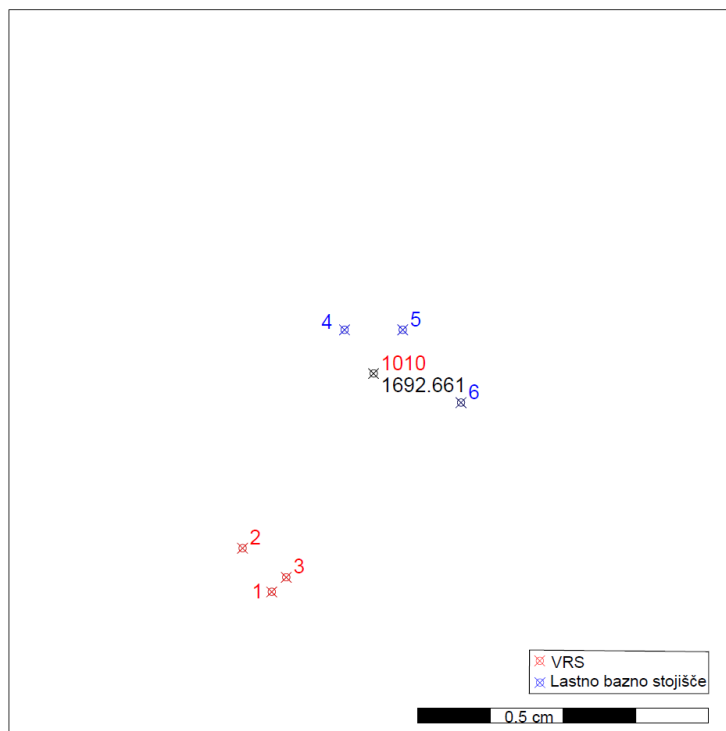


Slika 26: Višinsko odstopanje na točki 1009

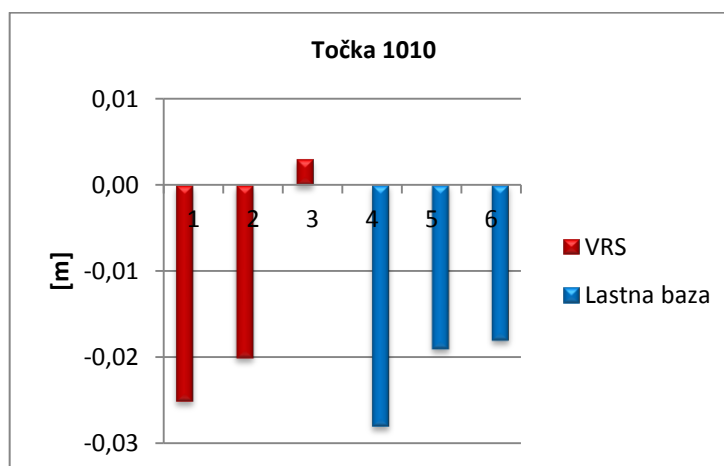
Na sliki 26 predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Iz slike 26 je razvidno, da so odstopanja na točki 1009 največja, saj presegajo vrednost 6 cm.

4.1.9 Točka 1010

Točka 1010 se nahaja na nadmorski višini 1.693 m, to je 1.186 m nad stalno postajo omrežja SIGNAL Radovljica. Na sliki 27 so z rdečo barvo prikazane posamezne položajne registracije z VRS-metodo, z modro pa so prikazane posamezne položajne registracije z metodo lastnega baznega stojišča. Iz slike 27 je razvidno, da pridobitev položaja z metodo lastnega baznega stojišča nudi precej točnejši horizontalni položaj. Vse registracije z metodo lastnega baznega stojišča so v območju 1 cm, medtem ko imajo koordinate pridobljene z metodo VRS skoraj za faktor 3 slabšo točnost.



Slika 27: Horizontalni položaj registracij na točki 1010



Slika 28: Višinsko odstopanje na točki 1010

Na sliki 28 z rdečo barvo predstavljamo višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo VRS. Z modro je prikazano višinsko odstopanje od statične metode za posamezno registracijo z metodo lastnega baznega stojišča. S slike 28 je razvidno, da odstopanja znašajo do 3 cm.

4.2 Primerjava koordinat iz VRS RTK-metode izmere

V preglednici 5 v prvih treh stolpcih prikazujemo odstopanja posameznih komponent koordinat od koordinat statične metode izmere GNSS. V drugih treh stolpcih prikazujemo standardne odklone za vsako komponento posebej (σ). V zadnjih treh stolpcih pa je prikazana statistična ocena točnosti koordinat, izračunana s korenom povprečne kvadratne napake (m).

Preglednica 5: Razlika, natančnost in točnost koordinat pridobljenih z VRS RTK- metodo.

	RAZLIKA			NATANČNOST			TOČNOST		
	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	σe [m]	σn [m]	σH [m]	m_e [m]	m_n [m]	m_H [m]
1001	0,00	0,01	-0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
1003	0,00	0,01	-0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
1004	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
1005	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
1006	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1007	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
1008	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
1009	0,01	0,00	-0,06	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,06
1010	0,01	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02

Položajne koordinate so pri izmeri z VRS-metodo razlikujejo do vrednosti 1 cm, vendar z višanjem nadmorske višine lahko opazimo trend slabšanja kakovosti položaja. Višinska komponenta je za približno za faktor 2 slabše določljiva kot horizontalni položaj (izjema točka 1009).

Natančnost koordinat znaša okoli dva centimetra. To pomeni, da so posamezne registracije točk imele vse tri komponente zelo podobno vrednost.

Točnost pridobljenih koordinat po vrednostih skoraj sovпада. Vrednosti pri koordinatah v horizontalni ravnini so okrog centimetra, točnost višinske komponente pa doseže 2 cm (izjema točka 1009).

Iz preglednice 5 lahko ocenimo, da je višinska komponenta slabše določljive kot položajna. Razlog je predvsem v pomanjkljivi določitvi modela troposfere, le ta pa najbolj vpliva na določitev višinske komponente.

4.3 Primerjava koordinat lastnega baznega stojišča

V preglednici 6 v prvih treh stolpcih prikazujemo odstopanja posameznih komponent položaja od koordinat statične metode izmere GNSS. V drugih treh stolpcih podajamo statistično oceno natančnosti posamezne komponente položaja, ki je izražena s standardnim odklonom (σ). V zadnjih treh stolpcih prikazujemo statistično oceno točnosti koordinat, izračunano s korenem povprečne kvadratne napake (m).

Preglednica 6: Razlika, natančnost in točnost koordinat pridobljenih z metodo lastnega baznega stojišča.

	RAZLIKA			NATANČNOST			TOČNOST		
	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	σe [m]	σn [m]	σH [m]	m_e [m]	m_n [m]	m_H [m]
1001									
1003									
1004	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,02
1005	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
1006									
1007	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1008	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
1009									
1010	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02

Položajne koordinate so pri izmeri z metodo lastnega baznega stojišča razlikujejo do vrednosti centimetra, vendar z višanjem nadmorske višine ni opaziti trenda slabšanja kakovosti položaja. Višinska komponenta se od statične metode razlikuje za vrednost 1 cm, le na najvišji točki doseže vrednost 2 cm.

Natančnost položajnih koordinat se giblje v območju enega centimetra. Natančnost višinske komponente na točkah 1004 in 1005 doseže do 3 cm, na višje ležečih točkah pa ne presega vrednosti 1 cm.

Točnost pridobljenih položajnih koordinat doseže vrednost 1 cm, medtem ko se točnost višinske komponente giblje med 1 cm in 2 cm.

Iz preglednice 6 lahko ocenimo, da je višinska komponenta slabše določljive kot položajna.

5 IDEJE ZA NADGRADNJO NALOGE

V drugem delu pri izmeri z RTK-metodo bi lahko izboljšali kar nekaj stvari. Osnovna stvar bi bila centriranje s pomočjo stativa. Z uporabo osnovne trigonometrične funkcije lahko izračunamo, da z uporabo palice s togim grezilom natančnosti 8 minut na višini 2 m naredimo položajno napako skoraj 5 mm. V nalogi smo se omejili na uporabo grezila glede na to, da smo določali položaj v okviru definicijskega območja centimetra, hkrati pa smo se želeli izogniti pogrešku odboja signala od tal. To je mogoče le v primeru postavitve instrumenta na višini 2 m od tal.

Izvedba meritev bi ponovili še v drugih letnih časih, predvsem pozimi v času toplotnega obrata, ko je troposfera slabše modelirana.

Prav tako bi lahko večkrat neodvisno določili položaje točk, saj bi tako dobili večji vzorec meritev, kar nam omogoča bolj reprezentativen vzorec za naknadne primerjave.

6 ZAKLJUČEK

V zadnjih letih je določitev položaja s pomočjo globalnih navigacijskih sistemov satelitov GNSS zelo poenostavila postopke pridobitve položaja v globalnih koordinatnih sistemih. Prav tako danes skoraj vsaka mobilna naprava omogoča pridobitev položaja s pomočjo satelitov, vendar moramo biti pri interpretaciji rezultatov zelo previdni. Zavedati se moramo največje možne natančnosti, ki je odvisna od uporabljene naprave, tipov opazovanj in metode določitve položaja. Koordinate objektov različne naprave z možnostjo pridobitve kodnih opazovanj nudijo tudi z izpisom na milimeter, čeprav vemo, da je dosegljiva točnost tako pridobljenega položaja nekaj metrov. Pri metodi pridobitve položaja v realnem času lahko v najboljšem primeru govorimo o centimetrski točnosti določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu.

Na višjih nadmorskih višinah se izkaže, da je uporaba metode RTK, ko bazno stojišče postavimo sami, pred tem pa koordinate določimo z bolj kakovostno statično izmero GNSS, boljša izbira. Ugotovili smo, da pridobimo bolj kakovosten položaj v horizontalni ravnini in v določitvi višinske komponente.

V zaključku lahko odgovorimo na delovne hipoteze, ki smo si jih zastavili v uvodu naloge.

1. Hipoteza

Predpostavljamo, da je določitev položaja z RTK-metodo izmere ob uporabi virtualnega baznega stojišča VRS slabše kakovosti na višjih nadmorskih višinah.

RTK-metoda izmere omogoča centimetrsko točnost določitve položaja. Na nižjih nadmorskih višinah pretirane razlike v kakovosti določitve položaja s posamezno uporabljeno metodo ni. Do razlike med uporabljeno metodo pride šele na višjih nadmorskih višinah. Od točke 1007 naprej, ki leži na nadmorski višini 1302 m, je opazen trend boljše kakovosti določitve položaja z metodo lastnega baznega stojišča, predvsem se to pokaže pri določitvi horizontalnega položaja.

2. hipoteza

Pričakujemo, da bo višinska komponenta določitve položaja slabša v primerjavi s horizontalno.

Po podatkih proizvajalca sprejemnika pri mrežnem konceptu RTK-metode zagotavlja horizontalno natančnost $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ in vertikalno natančnost $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ (Leica Geosystem, 2015). Iz podatkov proizvajalca je razvidno, da zagotavlja približno za faktor 2 slabšo določitev višinske komponente položaja. Razlog za slabšo določitev višinske komponente je predvsem v pomanjkljivi določitvi modela troposfere, ki najbolj vpliva na določitev višinske komponente. Med analizo smo prav tako opazili približno za faktor 2 slabše določeno višinsko komponento, zato lahko hipotezo potrdimo.

3. hipoteza

Iskali bomo odgovor na vprašanje, ali je smiselno na višjih nadmorskih višinah s predhodno statično metodo izmere vzpostaviti lastno bazno stojišče.

Za vzpostavitev lastnega baznega stojišča je predhodno potrebno kakovostno opraviti statično izmero GNSS. Za zanesljivo določitev koordinat je kasneje pri obdelavi opazovanj potrebno uporabiti še precizne efemeride, ki so nam na voljo s časovnim zamikom. Tako preteče kar nekaj časa, preden lahko vzpostavimo bazno stojišče. Ob določanju položaja z RTK ob uporabi lastnega baznega stojišča

moramo imeti na voljo dva instrumenta GNSS. Razlika med metodama na višjih nadmorskih višinah dosega vrednost 1 cm v prid metodi lastnega baznega stojišča. Ker je razlika majhna, bi se za vzpostavitev lastne baze odločili glede na namen izmere. V kolikor bi izmero na višjih nadmorskih višinah opravljali dlje časa (več tednov, vsakodnevno), je smiselna vzpostavitev lastne baze, vendar se moramo zavedati da RTK-metoda nudi centimetro točnost določitve položaja. Za večjo točnost določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu moramo poseči po drugih metodah določitve položaja, v mislih imamo statično ali hitro statično metodo izmere GNSS.

VIRI

Berber, M., Arslan, N. 2013. Network RTK: A case study in Florida. *Measurement* 46: 2798- 2806.

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 f.

El-Mowafy, A. 2011. *Global Navigation Satellite Systems- Signal, Theory and Applications*. V: Jin, S., *Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications*, str. 161-187.

Geoservis. 2015.

<http://www.gnss.si/kako-deluje/mrežni-koncepti> (Pridobljeno 26. 7. 2015.)

Häkli, P. 2006. Quality of Virtual Data Generated from the GNSS Reference Station Network. V: XXIII FIG Congress, Munich, 8- 13 Oktober 2006: Str. 1- 14.

Higgings, M. B., Heighting with GPS: Possibilities and limitations.

<http://www.fig.net/organisation/comm/5/activities/reports/gavle/higgins.pdf> (pridobljeno 15. 7. 2015).

Janssen, V. 2010. Network RTK adding reliability to precision agriculture. *Australian Farm Journal* 20, 8: 10- 11.

Kislig, L. 2011. What is virtual reference station and how it work?. *Inside GNSS* 6, 4: 28- 32.

Leica Geosystem. 2015.

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GS15/brochures-datasheet/Leica_Viva_GS15_DS_en.pdf (Pridobljeno 11. 8. 2015).

Omrežje SIGNAL. Geodetska uprava Republike Slovenije. 2015.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 22. 7. 2015).

Paar, R., Novaković, G., Kolovrat, D. 2014. Vertical Component Quality Comparison of GPS RTK Method in Combination with Laser System vs. Conventional Methods for Height Determination. V: INGENEO- 6th International Conference on Engineering Surveying. Prague, Czech republic, 3- 4 April 2014: str. 59- 66.

Petovello, M., Daboe, P., Manzano, A., Taglioretti, C. 2013. Network Real Time Kinematic GPS. *Inside GNSS* 8, 5: 30- 36.

Retscher, G. 2002. Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. *Journal of Global Positioning Systems* 1, 1: 40- 47.

Saghravani, S.R., bin Mustapha, S., Saghravani, S.F. 2009. Accuracy comparison of RTK-GPS and automatic level for height determination in land surveying. *MASAUM Journal Of Reviews and Surveys* 1,1: 10- 13.

Schön, S., Wieser, A., Macheiner K. 2005. Accurate Tropospheric Correction for Local GPS Monitoring Networks With Large Height Differences. V: ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach, 13-16 september 2005: str. 250- 260.

Sterle, O., Stopar, B., Prešeren, P. P. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. *Geodetski vestnik* 58, 3: 468- 481.

Stopar, B., Prešeren, P. P., Kozmus, K. 2006, GPS v geodetski praksi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 3, 31, 32, 40, 41, 42.

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 (ION GPS 2000), Salt Lake City, 19- 22 September 2000: Str. 123- 131.