

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:

Ermenc, N., 2015. Vpliv horizontalne oddaljenosti od stalne postaje GNSS na točnost določitve položaja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Kuhar, M.): 28 str.

Datum arhiviranja: 05-10-2015

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:

Ermenc, N., 2015. Vpliv horizontalne oddaljenosti od stalne postaje GNSS na točnost določitve položaja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Kuhar, M.): 28 pp.

Archiving Date: 05-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

NAC ERMENC

**VPLIV HORIZONTALNE ODDALJENOSTI OD STALNE
POSTAJE GNSS NA TOČNOST DOLOČITVE
POLOŽAJA**

Diplomska naloga št.: 104/GIG

**HORIZONTAL DISTANCE FROM CONTINUOUSLY
WORKING REFERENCE GNSS STATION INFLUENCE
ON THE POSITION ACCURACY**

Graduation thesis No.: 104/GIG

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 22. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

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

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **NAC ERMENC** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»VPLIV HORIZONTALNE ODDALJENOSTI OD STALNE POSTAJE GNSS NA TOČNOST DOLOČITVE POLOŽAJA«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, __. __. 2015

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(043.2)
Avtor:	Nac Ermenc
Mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovič Prešeren
Somentor:	doc. dr. Miran Kuhar
Naslov:	Vpliv horizontalne oddaljenosti od stalne postaje GNSS na točnost določitve položaja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	28 str., 30 pregl., 12 sl., 1 graf.
Ključne besede:	GNSS, RTK-metoda izmere, hitra statična metoda izmere, omrežje postaj, referenčna postaja, VRS

Izvleček

V diplomski nalogi smo preverili vpliv oddaljenosti od stalne postaje na točnost določitve položaja pri uporabi statičnih in kinematičnih metod izmere GNSS. Izmero smo izvajali na šestih točkah v okolici Ljubljane in Vrhnike na oddaljenostih od 5 do 25 kilometrov od stalne postaje v Ljubljani. Položaje izbranih točk smo določili po metodi hitre statične izmere ter RTK-izmere, pri čemer smo za referenčno stojišče uporabili virtualno točko VRS v bližini delovišča ter stalno postajo GSR1 v Ljubljani. Pri obdelavi opazovanj GNSS po metodi hitre statike smo kot referenčno stojišče uporabili VRS, ki je bil lociran na različnih oddaljenostih od delovišča. Pri hitri statični metodi izmere smo preverjali tudi pravilo časovnega trajanja izvedbe opazovanj: $trajanje\ opazovanj = 10\ min + 1\ min \cdot b$, pri čemer je b oddaljenost od referenčne postaje. Ugotovili smo, da je pri hitri statični metodi izmere čas opazovanj potrebno podaljšati, če smo bolj oddaljeni od referenčnega stojišča.

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.2(043.2)
Author:	Nac Ermenc
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-advisor:	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph. D.
Title:	Horizontal distance from continuously working reference GNSS station influence on the position accuracy
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	28 p., 30 tab., 12 fig., 1 graph.
Key notes:	GNSS, RTK point positioning, rapid static point positioning, GNSS network, reference station, VRS

Abstract

The aim of our thesis was to check the effect of distance from the continuously working GNSS reference station on the accuracy of positioning when using static and kinematic GNSS surveying methods. Field measurements were carried out at six points in the area near Ljubljana and Vrhnika at distances from 5 to 25 kilometres from the GNSS continuously working reference station in Ljubljana. Coordinates of selected points were determined using rapid static and RTK measuring method. In RTK method a virtual reference station VRS created near the worksite and permanent station GSR1 were used as reference stations. When processing the rapid static observations VRS located at different distances from the worksite was used as the reference. With rapid static we also examined the rule: the observation $time = 10\ min + 1\ min \cdot b$, *trajanje* where b was the distance from the reference station. We found out that the observation time needs to be longer if we are further away from the reference station.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren za pomoč in koristne nasvete pri pisanju diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem g. Albinu Mencinu za pomoč pri izvedbi terenskih meritev.

Posebna zahvala pa gre družini in prijateljem za podporo skozi celoten študij.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKASTRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO GRAFIKONOV	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD	1
1.1 Delovne hipoteze	1
1.2 Struktura naloge	1
2 SPLOŠNO O GNSS DOLOČANJU POLOŽAJA.....	2
2.1 Uporabljene metode izmere GNSS	2
2.1.1 Hitra statična metoda izmere	2
2.1.2 RTK-metoda izmere.....	3
2.2 Uporaba referenčne postaje pri relativnem določanju položaja	3
2.3 Prednosti uporabe omrežij stalnih postaj GNSS.....	5
2.3.1 VRS kot uporabljeni koncept določanja položaja v omrežju	6
2.3.2 Omrežje SIGNAL	7
2.4 Vplivi na opazovanja.....	8
3 TERENSKA IZMERA	10
3.1 Opis terenske izmere	10
3.2 Obdelava podatkov opazovanj gnss v programu Leica Geo Office	14
4. REZULTATI OBDELAVE HITRE STATIČNE IZMERE GNSS	19
4.1 Vpliv časa trajanja meritev na kakovost obdelave in določitev položaja	19
4.2 Vpliv oddaljenosti od stalne postaje na kakovost obdelave in določitev položaja	21
5. PREGLED REZULTATOV RTK-METODE IZMERE	23
5. 1. Predstavitev rezultatov RTK-metode izmere.....	24
6 ZAKLJUČEK	27
VIRI.....	28

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Princip izmere RTK-GNSS z eno referenčno postajo. (Bilban, 2014)</i>	4
<i>Slika 2: Princip izmere RTK-GNSS v omrežju referenčnih postaj (Bilban, 2014)</i>	7
<i>Slika 3: Približni položaji testnih točk (rdeče) ter referenčne postaje (zelena)</i>	10
<i>Slika 4: Sprejemnik Leica Viva CS15, terenski kontroler GS15 (levo), sprejemnik GNSS z anteno (levo)</i>	11
<i>Slika 5: Točka 1 - državni ortofoto DOF50</i>	11
<i>Slika 6: Točka 2 - državni ortofoto DOF50</i>	12
<i>Slika 7: Točka 3 - državni ortofoto DOF50</i>	12
<i>Slika 8: Točka 4 - državni ortofoto DOF50</i>	13
<i>Slika 9: Točka 5 - državni ortofoto DOF50</i>	13
<i>Slika 10: Točka 6 - državni ortofoto DOF50</i>	14
<i>Slika 11: Izmera na točki 4</i>	14
<i>Slika 12: Nastavitve za obdelavo opazovanj v Leica Geo Office</i>	15

KAZALO GRAFIKONOV

<i>Grafikon 1: Natančnost višine h izmerjene po RTK-metodi izmere.....</i>	<i>26</i>
---	-----------

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Uspešnost izračuna fazne nedoločenosti pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na stalno postajo: zeleno obarvano je uspešna rešitev (ang. Phase: fix all), rdeče obarvano je slabša rešitev (angl. float)</i>	16
<i>Preglednica 2: Uspešnost določitve fazne nedoločenosti pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na VRS točko v bližini izvajanja meritev zeleno obarvano je uspešna rešitev (ang. Phase: fix all), rdeče obarvano je slabša rešitev (angl. float)</i>	16
<i>Preglednica 3: Kakovost izračunanih položajev točk v programskem paketu LGO pri hitri statični metodi izmere in navezavi na stalno postajo</i>	17
<i>Preglednica 4: Kakovosti izračunanih položajev točk v programskem paketu LGO pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na VRS točko v bližini izvajanja meritev</i>	17
<i>Preglednica 5: rezultati izmere po metodi hitre statike pri navezavi na postajo GSR1 v koordinatnih sistemih ETRS89 in D96/TM.....</i>	17
<i>Preglednica 6: rezultati izmere po metodi hitre statike pri navezavi na VRS v bližini točke v koordinatnih sistemih ETRS89 in D96/TM.....</i>	17
<i>Preglednica 7: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 1</i>	19
<i>Preglednica 8: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 2</i>	19
<i>Preglednica 9: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 3</i>	19
<i>Preglednica 10: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 4</i>	20
<i>Preglednica 11: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 5</i>	20
<i>Preglednica 12: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 6</i>	20
<i>Preglednica 13: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 1</i>	21
<i>Preglednica 14: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 2</i>	21
<i>Preglednica 15: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 3</i>	21
<i>Preglednica 16: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 4</i>	21
<i>Preglednica 17: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 5</i>	22
<i>Preglednica 18: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 6</i>	22
<i>Preglednica 19: RTK-položaji točke 1 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	23
<i>Preglednica 20: RTK-položaji točke 2 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	23
<i>Preglednica 21: RTK-položaji točke 3 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	23
<i>Preglednica 22: RTK-položaji točke 4 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	23
<i>Preglednica 23: RTK-položaji točke 5 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	24
<i>Preglednica 24: RTK-položaji točke 6 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.....</i>	24
<i>Preglednica 25: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 1</i>	24

<i>Preglednica 26: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 2</i>	<i>25</i>
<i>Preglednica 27: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 3</i>	<i>25</i>
<i>Preglednica 28: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 4</i>	<i>25</i>
<i>Preglednica 29: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 5</i>	<i>25</i>
<i>Preglednica 30: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 6</i>	<i>25</i>

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CODE	ang. Center for Orbit Determination in Europe
GDOP	ang. Gemetric Dilution of Precision
GIM	ang. Global Ionosphere Maps
GNSS	ang. Global Navigation Satellite System
GPRS	ang. General packet radio service
IGS	ang. International GNSS Service
NGS	ang. National Geodetic Survey
RINEX	ang. Receiver INdependent Exchange format
RTK	ang. Real Time Kinematic
UHF	ang. Ultra high frequency
UMTS	ang. Universal Mobile Telecommunications System
VHF	ang. Very high frequency
VRS	ang. Virtual Reference Station

1 UVOD

V geodetskih nalogah določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu pogosto sloni na uporabi RTK (ang. Real Time Kinematic) metode izmere. Pri določanju koordinat točk z metodami izmere GNSS (ang. Global Navigation Satellite System) je poseben poudarek na odstranjevanju vplivov na opazovanja. Ti so odvisni od oddaljenosti med referenčnim in premičnim sprejemnikom in se v primeru uporabe enega referenčnega sprejemnika, ko absolutno določamo položaj, ne izničijo v celoti. V okviru diplomske naloge smo ugotavljali, kako oddaljenost med sprejemnikoma vpliva na kakovost določitve relativnega položaja.

V diplomski nalogi predstavljamo določitev koordinat točk v okolici Ljubljane in Vrhnike z uporabo metode hitre statične izmere GNSS ter RTK-metodo izmere. Zanimalo nas je, kako vpliva oddaljenost od stalne postaje na kakovost določitve položaja. Izmero smo naredili na šestih deloviščih na oddaljenostih 5 km, 10 km, 15 km, 17,5 km, 20 km in 25 km od stalne postaje GSR1 v Ljubljani. Koordinate točk, določene po metodi hitre statične izmere GNSS, smo pridobili z naknadno obdelavo opazovanj v programskem orodju Leica Geo Office. Opazovanja smo obdelali na več načinov. Uporabili smo različne referenčne postaje in s tem pridobili bazne vektorje različnih dolžin.

Pri obdelavi opazovanj hitre statične metode smo tudi preverili, ali je pri daljši oddaljenosti od stalne postaje čas opazovanj potrebno podaljšati. Preverili smo, ali velja pravilo: *trajanje opazovanj* = 10 min + 1 min · *b*, pri čemer je *b* oddaljenost od referenčne postaje.

1.1 Delovne hipoteze

Diplomska naloga se navezuje na dve hipotezi:

1. hipoteza:
Oddaljenost od stalne postaje vpliva na kakovost določitve položaja, pridobljenega s statičnimi in kinematičnimi metodami izmere GNSS. Predpostavili smo, da se kakovost določitve položaja slabša z daljšanjem baznega vektorja med stalno postajo ter premičnim sprejemnikom.
2. hipoteza:
Pri izmeri po metodi hitre statične izmere je potrebno čas opazovanj podaljšati z oddaljevanjem od stalne postaje. Pri tem velja upoštevati pravilo *trajanje opazovanj* = 10 min + 1 min · *b*, pri čemer je *b* oddaljenost od referenčne postaje.

1.2 Struktura naloge

Diplomsko nalogo poleg uvoda in zaključka sestavljajo še štiri poglavja. Drugo poglavje opisuje teoretično ozadje GNSS izmere, tretje pa predstavlja opravljeno izmero na terenu. Četrto in peto poglavje predstavljata rezultate meritev in obdelavo opazovanj.

2 SPLOŠNO O GNSS DOLOČANJU POLOŽAJA

Za doseganje točnosti položajev, ki so primerni za geodetske storitve, pri GNSS največkrat uporabljamo metode določitve relativnega položaja. Glede na način izmere GNSS metode delimo na statične in kinematične. Z navezavo na omrežje stalnih referenčnih postaj lahko določamo položaj s statično in hitro statično metodo izmere, prav tako pa lahko položaj določimo s kinematičnima metodama izmere – manj točno metodo diferencialnega GNSS-ja ter z bolj točno RTK-metodo izmere. Za potrebe diplomske naloge smo na terenu izvajali meritve po metodah hitre statične izmere, diferencialnega GNSS-ja (DGNSS) ter metode RTK.

2.1 Uporabljene metode izmere GNSS

V dani nalogi smo položaj določali s hitro statično metodo izmere in z RTK-metodo izmere. Metodi smo uporabili najprej tako, da nismo uporabili v omrežju vzpostavljenih virtualnih opazovanj, ampak le opazovanja z referenčnih postaj GNSS, nadalje pa tudi opazovanja VRS (ang. Virtual Reference Station). V splošnem se izvedba izmere in obdelava opazovanj ne razlikuje, medtem ko so rezultati obdelave enega ali drugega načina uporabe opazovanj referenčnega stojišča GNSS precej različni.

2.1.1 Hitra statična metoda izmere

Hitra statična metoda (ang. Rapid Static ali Fast static) izmere GNSS temelji na določitvi relativnega položaja s pomočjo faznih opazovanj. Izvedba metode je postala mogoča po razvoju algoritmov za hitrejšo določitev fazne nedoločenosti ali neznanega začetnega števila celih valov (Kogoj in Stopar, 2009). Hitra statična izmere ponuja meritve višje točnosti kot RTK-določitev položaja ter krajši čas izvedbe opazovanj kot statična metoda izmere. Opazovanja pri statični metodi trajajo od 30 do 120 minut, pri hitri statični metodi izmere pa od 10 do 30 minut. Točnost določitve položaja je primerljiva rezultatom iz statične metode izmere GNSS pri krajših dolžinah baznih vektorjev ob tem, da je čas izvedbe opazovanj precej krajši (Santos, 2010). Trajanje opazovanj za pridobitev dovolj točnih meritev je odvisno od razdalje med referenčno postajo ter premičnim sprejemnikom, števila vidnih satelitov, razporejenosti satelitov (GDOP) ter delovanja ionosfere (Leica Geosystems, 2000).

Iz priporočil za izvedbo statične in hitre statične metode izmere GNSS podjetja Leica Geosystems (2000) lahko razberemo, da se z vsaj petimi vidnimi sateliti in cenilki GDOP (angl. Geometric Dilution of Precision), manjši od 8, različna trajanja opazovanj GNSS nanašajo na pravilo (Leica Geosystems, 2000):

$$\text{trajanje opazovanj} = 10 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot b,$$

kjer je b oddaljenost od referenčne postaje, izražena v kilometrih.

2.1.2 RTK-metoda izmere

RTK-metoda izmere temelji na obdelavi faznih opazovanj v realnem času. Ker se eden od sprejemnikov v času izmere premika, jo uvrščamo med kinematične metode izmere. *Stop-and-Go* izmera, ki je tudi ena izmed možnosti načina izmere z RTK, pomeni, da se za nekaj časa ustavimo na točki, nato pa se premaknemo do naslednje točke.

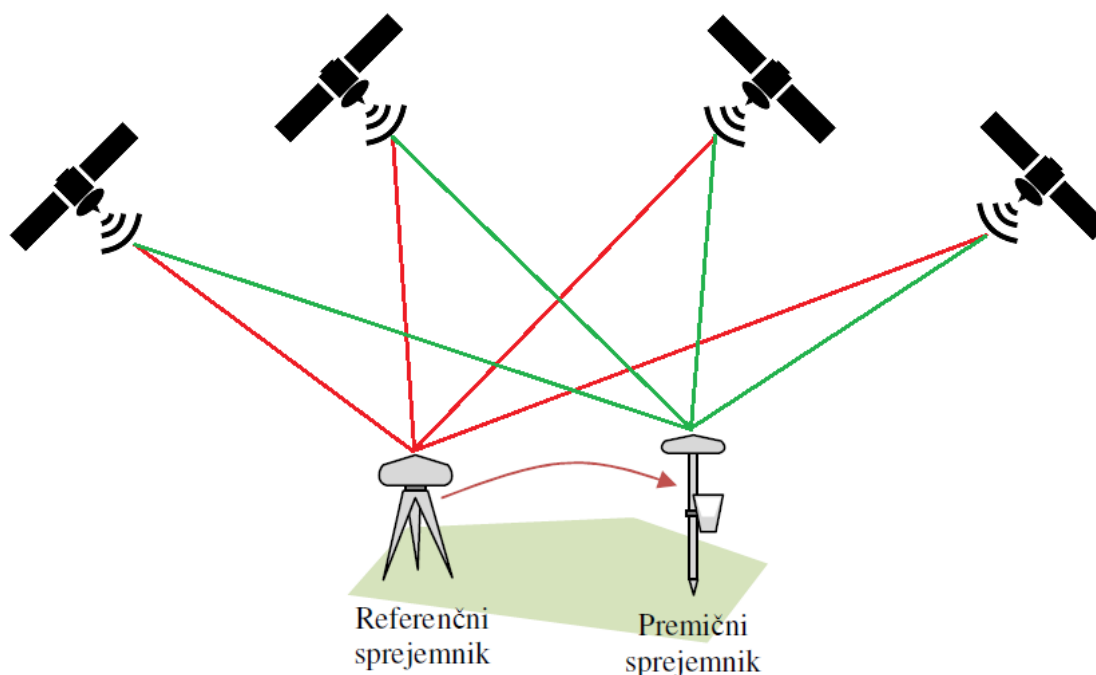
Metodo izvajamo istočasno z vsaj dvema sprejemnikoma. S premičnim sprejemnikom izvajamo meritve na terenu. Ta je povezan s sprejemnikom, postavljenim na točki s kakovostnimi koordinatami v globalnem koordinatnem sistemu, lahko pa uporabimo tudi opazovanja stalnih postaj GNSS. Relativna metoda izmere nam omogoča hitro določitev položaja točnosti do nekaj centimetrov (Kogoj in Stopar, 2009).

Pri RTK-metodi izmere že v realnem času pridobimo koordinate točk in njihovo natančnost in prav to je razlog za veliko uporabnost izmere pri veliko geodetskih storitvah. Najpomembnejša je določitev neznanega začetnega števila valov v začetnem trenutku opazovanj, kar imenujemo inicializacija. Prav tako je pomembno, da je vidnih vsaj 5 satelitov ter da so zagotovljeni pogoji, da se izognemo sistematičnim vplivom kot je odboj signala od objektov v bližini, kar imenujemo večpotje (ang. multipath).

2.2 Uporaba referenčne postaje pri relativnem določanju položaja

Povezava sprejemnika z le eno referenčno postajo (ang. Single-base RTK) in ne z omrežjem se dobro obnese v primeru, ko je razdalja med sprejemnikom in referenčno postajo med 10 in 20 kilometri (El-Mowafy, 2011). Pri daljših razdaljah se ob normalnih pogojih v atmosferi točnost določitve relativnega položaja slabša.

Lahko se zgodi, da se položaj, ki ga določi sprejemnik na referenčni točki se zaradi vplivov na opazovanja, ne ujema s pravim položajem. Povezava med sprejemnikoma omogoča, da določene vplive na opazovanja z ustrezno obdelavo v veliki meri zmanjšamo. Gre za algoritme tvorjenja faznih razlik, ki so zelo uspešni v situacijah, ko so razmere na krajišjih baznih vektorjev, to je na referenčni točki in na premičnem sprejemniku (slika 1), podobne. V nasprotnem primeru se zgodi, da nekaterih vplivov na opazovanja GNSS algoritmi ne morejo v celoti odpraviti. To so predvsem vplivi atmosfere in razporeditev satelitov na obzorju, ki se spreminjajo s horizontalno oddaljenostjo in višinsko razliko premičnega sprejemnika in referenčne postaje (Kislig, 2011; Kozmus in sod., 2003; Bilban, 2014). Ravno zaradi tega so začeli razvijati omrežja stalnih postaj in modelirati vplive na opazovanja, ki bi jih lahko določili za poljubno točko omrežja (Dao in sod., 2004).



Slika 1: Princip izmere RTK-GNSS z eno referenčno postajo. (Bilban, 2014)

Postavitve lastne referenčne postaje GNSS je smiselna v primeru, ko želimo zmanjšati stroške dostopa do podatkov omrežja stalnih postaj ali če imamo težave z zagotovitvijo pretoka opazovanj v realnem času. Za ta primer smo informativno primerjali cene postavitve lastne referenčne postaje in dostopa do podatkov omrežja SIGNAL. Ponudnik telekomunikacijskih storitev *Telekom Slovenije d.d.* omogoča dostop do podatkov omrežja SIGNAL v realnem času preko storitve DGPS. Uporabnik na Telekomovih centrih ali pri pooblaščenih prodajalcih pridobi SIM-kartico ter vklopi naročniški paket *Telemetrija* z vključeno dodatno storitvijo DGPS. Mesečna naročnina tako stane 101,66 € z DDV (Omrežje SIGNAL, 2015).

Ceno postavitve lastne referenčne postaje je težko oceniti. Odvisna je od več faktorjev, med katerimi je največji cena sprejemnika GNSS. Za primer cene postavitve lastne referenčne postaje smo uporabili vodič konzorcija UNAVCO, dostopnega na spletni strani (<http://www.unavco.org/>). Lokacija je bistvenega pomena pri postavitvi lastne referenčne postaje. Priporočena je trdna podlaga, v primeru postavitve v urbanem okolju je primerna lokacija streha stavbe. S tem zmanjšamo zakritje horizonta, ki ne sme biti zakrito nad 15° višinskega kota. Okolica postaje mora biti varna ter brez odbojnih površin za zagotovitev opazovanj brez sistematičnih pogreškov kot je večpotje. Primer cene postavitve lastne referenčne postaje pri konzorciju ocenjujejo na okoli 30.000 €. V ceno so vštete vse faze postavitve lastne postaje med drugim tudi postavitve podstavka antene ter ceno opreme za komunikacijo med sprejemnikoma.

V primerjavi cen lahko ugotovimo, da stroške postavitve lastne referenčne postaje v primeru uporabe enega naročniškega paketa *Telemetrija* z letno naročnino približno 1.220 € povrnemo šele v 25 letih. Postavitve lastne referenčne postaje je bolj smiselna v primeru, ko podjetje uporablja več naročniških paketov. Povezava več sprejemnikov na lastno referenčno

postajo ne prinese dodatnih stroškov. Uporaba lastne referenčne postaje je smiselna tudi v primeru onemogočenega pretoka podatkov v realnem času zaradi težav z mobilnim omrežjem. V primeru izvajanja meritev na območjih, kjer je slaba pokritost mobilnega omrežja in je dostop do podatkov omrežja SIGNAL onemogočen, bi uporaba lastne postaje z radijsko povezavo med sprejemnikoma te slabosti odpravila.

2.3 Prednosti uporabe omrežij stalnih postaj GNSS

Namen omrežij stalnih postaj GNSS je zmanjšati vplive na opazovanja GNSS, ki nastanejo zaradi razdalje med premičnim sprejemnikom in referenčno postajo GNSS. Z oddaljenostjo od stalne postaje se spreminjajo predvsem atmosferski vplivi in razporeditev satelitov na obzorju. Omrežje stalnih postaj na osnovi več stalnih referenčnih postaj in neprekinjenega sprejemanja signalov s satelitov GNSS omogoča boljše modeliranje vplivov na opazovanja, da uporabnik premičnega sprejemnika bolj kakovostno določi neznanke fazne nedoločenosti (EI-Mowafy, 2011).

Obstajajo tudi ekonomski motivi za vzpostavitev omrežij stalnih referenčnih postaj GNSS. Kot navaja Bilban (2014), bi za uspešno zagotovljeno izmero GNSS za območje velikosti 10.000 km² potrebovali 30 referenčnih postaj, če le-te niso povezane v omrežje. V primeru vzpostavitve omrežja je za enako veliko območje potrebnih le 5–10 referenčnih postaj (Bilban, 2014). Prav tako z omrežjem postaj uporabniki prihranijo pri nakupu in vzdrževanju referenčnega sprejemnika ter vzdrževanju baze točk z znanimi koordinatami v globalnem koordinatnem sistemu.

Omrežje postaj GNSS zagotavlja določitev položaja, ki ni odvisno oziroma je kar se da najmanj odvisno od oddaljenosti od referenčne postaje. Popravki opazovanj za premične sprejemnike pridobijo z obdelavo opazovanj vseh referenčnih postaj v omrežju (Bilban, 2014). V teoriji so potrebne najmanj tri stalne postaje GNSS za določitev popravkov RTK, vendar je teh postaj v praksi po navadi več.

Odločitev o številu referenčnih postaj v posameznem omrežju poteka na osnovi analize stroškov in koristi, pri čemer upoštevajo tudi stroške vzdrževanja omrežja. Tekom planiranja morajo upoštevati, da:

- se omrežje razprostira po celotnem območju izvajanja meritev GNSS,
- bo zagotovljena visoko točnost določitve položaja ob opazovanju vsaj petih satelitov,
- bo zagotovljena komunikacijska povezava med referenčnimi postajami GNSS in premičnimi sprejemniki,
- vse referenčne postaje GNSS naj bi bile na približno isti višini ter odmaknjene od morebitnih motečih dejavnikov, ki vplivajo na kakovost sprejetih opazovanj,
- se referenčne postaje nahajajo na lokacijah, ki tudi v smislu topografije in geodinamičnih dogajanj optimalno pokrivajo obravnavano območje.

Na območjih, kjer je uporaba podatkov opazovanj iz omrežja velika, je smiselna večja gostota referenčnih postaj. Uporaba v realnem času zahteva brezžično povezavo med sprejemnikom in omrežjem postaj. V današnjem času sta povezavi UHF (ang. Ultra high frequency) in VHF (ang. Very high frequency) zamenjala paketna prenosa podatkov GPRS

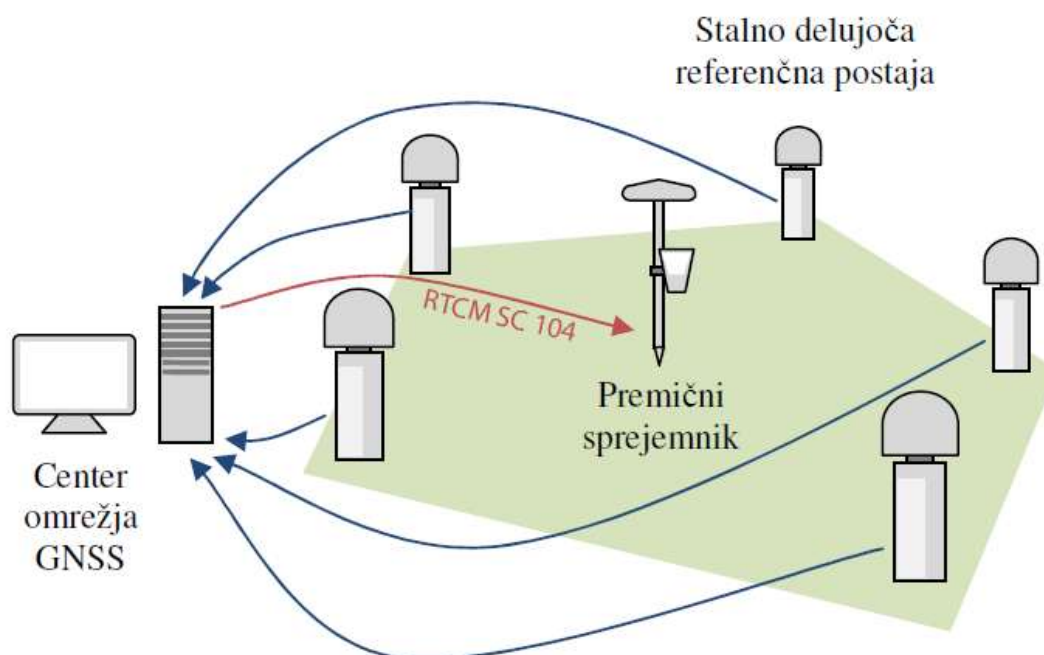
(ang. General packet radio service) ter UMTS (ang. Universal Mobile Telecommunications System). Storitvi imata omejeno število uporabnikov. Velja tudi, da večje število uporabnikov lahko podaljša čas prenosa podatkov do uporabnika (El-Mowafy, 2011).

2.3.1 VRS kot uporabljeni koncept določanja položaja v omrežju

Koncept virtualne referenčne postaje (ang. Virtual Reference Station) temelji na omrežju stalnih referenčnih postaj GNSS, ki so povezane s kontrolnim centrom. Kontrolni center neprestano dopolnjuje bazo podatkov opazovanj z vseh stalnih postaj. GNSS-podatkovne baze služijo za direktno uporabo za določitev relativnega položaja kot tudi za ustvarjanje opazovanj virtualnih referenčnih postaj VRS naknadno ali v realnem času izvedbe izmere.

Za vzpostavitev opazovanj virtualne referenčne postaje v realnem času potrebujemo v omrežju vsaj tri delujoče referenčne postaje GNSS in delujočo komunikacijsko povezavo sprejemnika s kontrolnim centrom. Premični GNSS-sprejemnik po komunikacijski povezavi v obliki zapisa stavka GGA standarda NMEA 0183 pošlje informacijo o svoji približnem položaju kontrolnemu centru. Kontrolni center sprejme položaj ter sprejemniku naprej pošlje podatke GNSS s stalne ali virtualne postaje v obliki standarda RTCM SC 104. Takoj po prejemu popravkov psevdorazdalj algoritem premičnega sprejemnika GNSS prispele popravke upošteva ter izračun položaja izboljša (slika 2). Ko s centra pridobi še fazna opazovanja, algoritem poizkuša razrešiti fazno nedoločenoost v okviru celih števil. Izziv predstavljajo napake pri izdelavi modelov za vplive ionosfere in troposfere, saj približna lokacija sprejemnika predvsem v višinski komponenti ni dovolj točna. Napaka 10 metrov v višini lahko vodi do 0,2 milimetrskne napake zaradi ne dovolj dobrega upoštevanja vpliva troposfere na opazovanja (Kislig, 2011).

Koncept virtualne referenčne postaje ne vsebuje sistematičnih pogreškov, kot je večpotje, saj so popravki izračunani za »idealno«, z vplivi neobremenjeno lokacijo (Kislig, 2011). To posledično omogoča večje razdalje med referenčnimi postajami in zmanjša čas, potreben za razrešitev fazne nedoločenoosti, kar pri metodi RTK imenujemo inicializacija. Uporaba koncepta virtualne referenčne postaje je možna tako v realnem času kot pri naknadni obdelavi. Največjo prednost uporabe virtualne referenčne postaje predstavlja dejstvo, da uporabniku na terenu ni potrebno opravljati dodatnih izračunov, ampak le-te opravijo že v omrežju (Kislig, 2011).



Slika 2: Princip izmere RTK-GNSS v omrežju referenčnih postaj (Bilban, 2014)

2.3.2 Omrežje SIGNAL

Omrežje SIGNAL je slovensko omrežje stalnih postaj GNSS; gre za akronim Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija. Vzpostavila ga je Geodetska uprava Republike Slovenije ob strokovni podpori Fakultete za gradbeništvo in geodezijo in Geodetskega inštituta Slovenije. Postavitev stalnih postaj GNSS se je pričela leta 2001, upravljati pa je začel leta 2006. Trenutno ga uporablja okrog 600 uporabnikov (Omrežje SIGNAL, 2015).

SIGNAL tvori 16 po vsej državi enakomerno razporejenih postaj GNSS. Je eden od segmentov osnovne geoinformacijske infrastrukture Slovenije ter temelj novega koordinatnega sistema države, imenovanega D96/TM. Na vseh referenčnih postajah omrežja se opazovanja GNSS izvajajo neprekinjeno že več let. Razdalje med postajami so manjše od 70 kilometrov, kar omogoča visoko točnost določitve položaja na celotnem območju države. V centru omrežja zbirajo in obdelujejo opazovanja z vseh referenčnih postaj v realnem času in jih skladiščijo za naknadno obdelavo.

Omrežje SIGNAL vsebuje programsko opremo *Trimble Pivot Platform*, ki omogoča centralno upravljanje omrežja v realnem času ter za vsako postajo neprestano računa popravke zaradi vpliva troposfere, ionosfere kot tudi razrešuje fazne nedoločenosti satelitov. Izračunane vrednosti kasneje uporabi za modeliranje virtualnih opazovanj za poljubno točko (VRS-točka) (Omrežje SIGNAL, 2015).

Ponudnik dostopa do podatkov v realnem času v omrežju SIGNAL je *Telekom Slovenije d.d.* Možna sta dva načina dostopa do podatkov. V primeru klicnega dostopa (ang. Dial Up) se podatki prenašajo prek GSM-omrežja. Sprejemnik mora omogočati dvosmerno povezavo za uporabo virtualne referenčne postaje, za uporabo podatkov obstoječih postaj GNSS pa je dovolj enosmerna povezava. Prenos podatkov opazovanj GNSS v realnem času se prične s

klicem na izbrano številko. Dostop do podatkov je mogoč tudi prek spleta. Uporabnik preko mobilnega interneta omogoči prenos podatkov, zapisanih po protokolu RTCM SC-104 (Omrežje SIGNAL, 2015).

2.4 Vplivi na opazovanja

Glede na izvor poznamo vplive z izvorom v mediju razširjanja signala GNSS, satelitu in okolici oziroma v sprejemniku GNSS. Na razširjanje elektromagnetnega valovanja v mediju vplivata v glavnem ionosfera in troposfera. Ionosfera ima največji vpliv na opazovanja GNSS. Delovanja ionosfere povzroči prehitevanje faze nosilnega valovanja in zakasnitev kodnih opazovanj. Refrakcijski koeficient za ionosfero je odvisen od frekvence valovanja. Za zmanjšanje vpliva ionosfere pri večfrekvenčnih opazovanjih se najpogosteje uporablja sestava linearnih kombinacij L3 in P3 na podlagi faznih ali kodnih opazovanj (Sterle in sod., 2014). Tako lahko odstranimo približno 99,9% vpliva ionosfere. Uporaba modelov ionosfere, kot sta Klobucharjev model ali GIM (ang. Global Ionosphere Maps), je manj učinkovita od sestave linearnih kombinacij. Modele uporabljamo pa jih takrat, ko obdelujemo opazovanja ene frekvence (Bilban, 2014).

Vpliv troposfere povzroča zakasnitev prispelega signala ne glede na uporabljeno frekvenco opazovanj. Valovanje pri potovanju skozi troposfero opravi daljšo pot, saj se razširja po krivulji namesto po daljici. Vpliv troposfere na razširjanje elektromagnetnega valovanja imenujemo troposferska refrakcija. Njen vpliv razdelimo na prispevek suhe in mokre komponente, pri čemer ima večji vpliv suha komponenta. Za odstranitev vpliva troposfere je edina možnost modeliranje, saj ima troposfera enak vpliv na vse opazovane količine. Modeli troposferske refrakcije predstavljajo predpostavko o realnem dogajanju v troposferi. Med najbolj poznane modele sodi Hopfieldov model, ki smo ga uporabili tudi pri obdelavi podatkov v dani nalogi.

Na tirnico satelita med drugim vplivajo težnostno polje Zemlje, Sonca in Lune. Sateliti imajo vnaprej določene tirnice, vendar se zaradi možnosti prisotnosti drugih vplivov na opazovanja ne gibljejo točno po predvideni tirnici. Razlika med predvidenim položajem satelita in dejanskim položajem imenujemo pogrešek tirnice satelita. Sprejemnik določi položaj satelita na podlagi poslanega navigacijskega sporočila; podatke imenujemo oddane efemeride (ang. broadcast ephemerides). Parametre tirnic v navigacijskem sporočilu GNSS službe neprestano urejajo in posodablajo, zato je njihov vpliv na točnost določitve položaja relativno majhen, če obdelujemo kratke vektorje (Bilban, 2014).

Za bolj točno določitev položaja satelita na tirnici je bolje uporabiti precizne efemeride, ki jih določene službe določijo vnaprej ali naknadno. Te preko spleta uporabnikom posredujejo organizacije kot na primer IGS (ang. International GNSS Service), NGS (ang. National Geodetic Survey) in CODE (ang. Center for Orbit Determination in Europe). Najbolj kakovostne, končne efemeride (ang. final ephemerides), posredujeta organizaciji IGS in CODE ter so na voljo od enega do dveh tednov po izmeri. Pred tem so dostopne hitre efemeride (ang. rapid ephemerides) s kratico IGR. Dostopne so približno dva dni po izmeri. Najprej dostopne IGU-efemeride (angl. ultra-rapid ephemerides) pa so na voljo že dan vnaprej in so določene s predvidevanjem.

Izvor v satelitu imajo tudi naslednji vplivi (Bilban 2014):

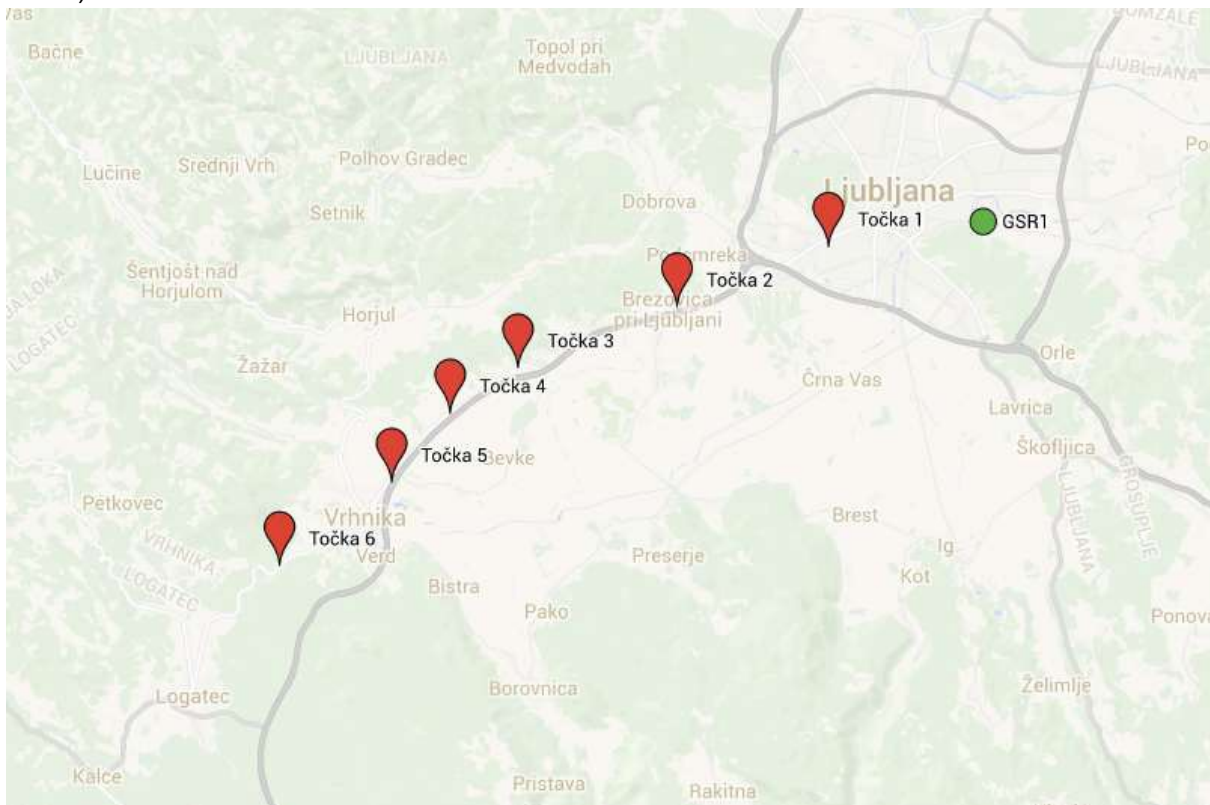
- pogrešek satelitove ure,
- relativistični učinek,
- zakasnitev zaradi elektronskih sestavov satelita,
- vpliv medsebojnega vrtenja anten satelita in sprejemnika,
- vpliv spreminjanja faznega centra satelitove ure.

Odboj signala od objekta ali večpotje je pojav, ko v instrument prispe od neke površine v okolici sprejemnika odbiti signal. Vpliv je odvisen je od geografskega položaja lokacije izmere, lastnosti antene in sprejemnika, jakosti signala ter višinskega kota. S primerno obdelavo opazovanj, ali z večkratno neodvisno določitvijo položaja je vpliv večpotja mogoče zaznati in ga odstraniti.

3 TERENSKA IZMERA

3.1 Opis terenske izmere

Terensko izmero smo naredili v ponedeljek, 23. marca 2015 v okolici Ljubljane in Vrhnike. Izbrali smo 6 točk na različnih oddaljenostih od stalne postaje v Ljubljani (slika 3). Točke so bile razporejene na razdalji 5 km, 10 km, 15 km, 17,5 km, 20 km in 25 km od stalne postaje. Lokacije točk smo izbrali tako, da so bile brez ovir, kot so drevesa ali stavbe (slike 3, 4, 5, 6, 7 in 8).



Slika 3: Približni položaji testnih točk (rdeče) ter referenčne postaje (zelena)

Na vsaki točki smo naredili:

- 20-minutna statična opazovanja z intervalom registracije 1 sekundo,
- RTK-določitev položaja z navezavo na referenčno postajo v Ljubljani (točka GSR1) s trajanjem ene minute po inicializaciji,
- RTK-določitev položaja z navezavo na virtualno referenčno postajo VRS s trajanjem ene minute po inicializaciji.

Uporabili smo sprejemnike Leica Viva GS15 (slika 4) s tehničnimi podatki (Geoservis, 2015):

- 120 kanalni sprejemnik GNSS tehnologij *SmartTrack*, *SmartCheck* in *SmartRTK*.
Podprti signali:
 - GPS: L1, L2, L2C, L5
 - GLONASS: L1, L2
 - Galileo (Test): GIOVE-A, GIOVE-B
 - Galileo: E1, E5a, E5b, Alt-BOC
 - Compass

- SBAS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS
- točnost določitve položaja v omrežju z RTK (ang. Network RTK):
 - Hz: 8 mm + 0,5 ppm / V: 15 mm + 0.5,ppm



Slika 4: Sprejemnik Leica Viva CS15, terenski kontroler GS15 (levo), sprejemnik GNSS z anteno (levo)

Najbližje stalni postaji v Ljubljani GSR1 se je nahajala točka 1, ki smo jo umestili v park na križišču med Koprsko in Mencingerjevo ulico v Ljubljani (slika 5). Približni položaj točke: $\varphi = 46^{\circ} 02' 28,263''$ S, $\lambda = 14^{\circ} 28' 54,271''$ V).



Slika 5: Točka 1 - državni ortofoto DOF50

Na razdalji približno 10 km od stalne postaje GSR1 smo določili točko 2, ki se je nahajala na avtobusnem postajališču Radna, pred zgradbo mestne občine Brezovica pri Ljubljani (slika 6) ($\varphi = 46^{\circ} 01' 28,117''$ S, $\lambda = 14^{\circ} 25' 16,644''$ V).



Slika 6: Točka 2 - državni ortofoto DOF50

Na razdalji približno 15 km se je nahajala točka 3 ($\varphi = 46^{\circ} 00' 27.606''$ S, $\lambda = 14^{\circ} 21' 29.142''$ V) in sicer v Logu pri Brezovici. Določili smo jo v bližini parkirišča pred gostinskim lokalom in pekarno (slika 7).



Slika 7: Točka 3 - državni ortofoto DOF50

Na razdalji približno 17,5 km se je nahajala točka 4 ($\varphi = 45^\circ 59' 42.950''$ S, $\lambda = 14^\circ 19' 52.462''$ V), ki smo jo vzpostavili na avtobusnem postajališču Drenov Grič (slika 8).



Slika 8: Točka 4 - državni ortofoto DOF50

20 km od točke GSR1, na parkirišču centra Hofer na Vrhniki, se je nahajala točka 5 (slika 9) ($\varphi = 45^\circ 58' 34.330''$ S, $\lambda = 14^\circ 18' 27.295''$ V).



Slika 9: Točka 5 - državni ortofoto DOF50

Najbolj oddaljena točka 6, (slika 5) se je nahajala na obcestnem počivališču med Vrhniko in Logatcem na oddaljenosti približno 25 km iz Ljubljane ($\varphi = 45^\circ 57' 10.581''$ S, $\lambda = 14^\circ 15' 47.108''$ V).



Slika 10: Točka 6 - državni ortofoto DOF50

Na vsaki točki smo meritve hitre statične izmere izvajali približno 30 minut (slika 11).



Slika 11: Izmera na točki 4

3.2 Obdelava podatkov opazovanj GNSS v programu Leica Geo Office

Za obdelavo podatkov smo uporabili programski paket Leica Geo Office (v nadaljevanju LGO). Za obdelavo smo uporabili:

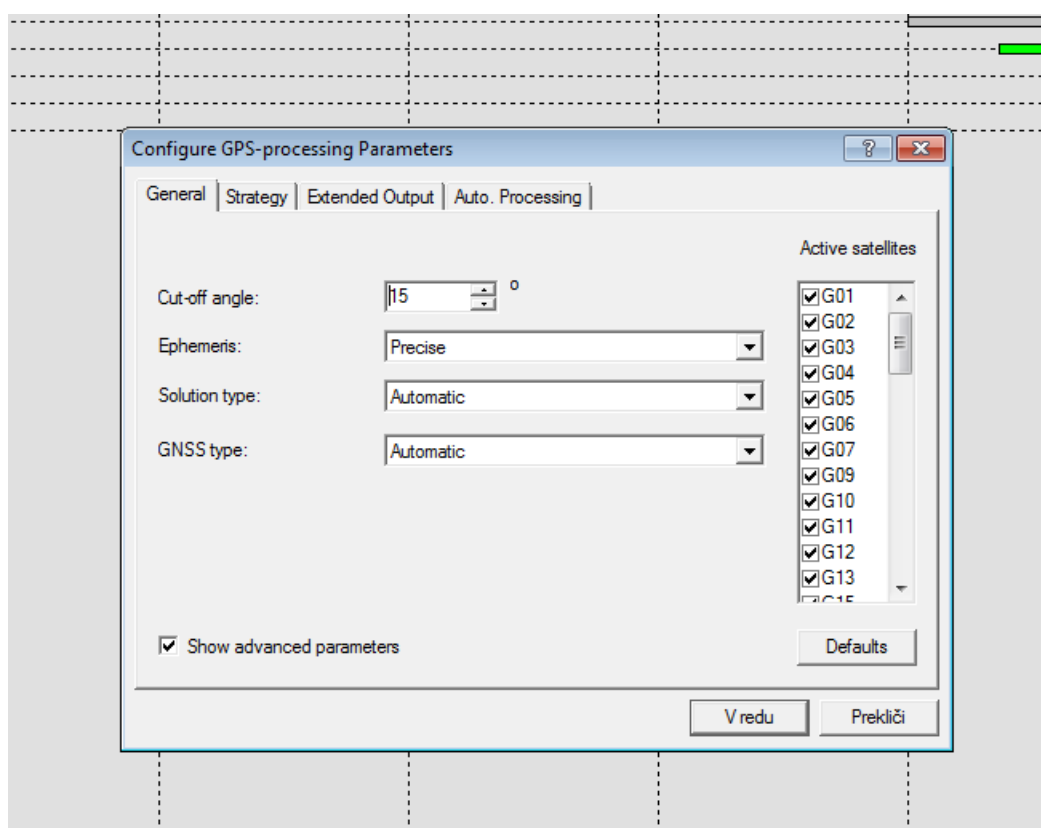
- opazovanja GNSS referenčne postaje GSR1,
- opazovanja GNSS virtualnih referenčnih postaj v neposredni bližini točk,
- opazovanja GNSS virtualne postaje v bližini postaje GSR1,
- opazovanja GNSS na izbranih točkah,
- kalibracijske parametre anten,
- precizne efemeride službe IGS.

Opazovanja stalne postaje GSR1 in virtualnih postaj smo v formatu RINEX (ang. Receiver INdependent Exchange format) pridobili na spletnem portalu RINEX omrežja SIGNAL <http://www.gu-signal.si/>. Kalibracijske parametre anten smo dobili na spletni strani službe NGS (angl. National Geodetic Survey), <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.

Da bi zagotovil čim bolj kakovostno obdelavo opazovanj, smo uporabili končne precizne efemeride službe IGS https://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html.

Nastavitve za obdelavo podatkov v programskem paketu Leica Geo Office (Slika 12):

- minimalni višinski kot 15° ,
- precizne efemeride in
- Hopfieldov model troposferske refrakcije.



Slika 12: Nastavitve za obdelavo opazovanj v Leica Geo Office

Tekom obdelave faznih opazovanj GNSS se lahko zgodi, da algoritmi neznano začetno število celih valov oziroma fazno nedoločeno (ang. ambiguity) lahko določijo kot realno ali celo število. Slednja rešitev je za razred boljša od drugih. Pri obdelavi si želimo, da je neznano število celih valov celo število (ang. fix solution), če je določeno le v območju realnih števil, govorimo o manj kakovostni obdelavi opazovanj (ang. float solution) in rezultati opazovanj, tudi koordinate, niso dovolj kakovostni za nadaljnjo uporabo.

Iz preglednice 1 vidimo, da je v primeru relativne določitve položaja z navezavo na stalno postajo pri obdelavi opazovanj hitre statične izmere izračuna fazne nedoločenosti kot celo število uspel le do oddaljenosti točk 5 in 10 km, pri večjih oddaljenostih je bila fazna nedoločenost določena kot realno število.

Preglednica 1: Uspešnost izračuna fazne nedoločenosti pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na stalno postajo: zeleno obarvano je uspešna rešitev (ang. Phase: fix all), rdeče obarvano je slabša rešitev (angl. float)

Točka	Fazna nedoločenost kot celo število	Določitev fazne nedoločenosti – Oznaka v LGO
1 (5 km)	DA	Phase: fix all
2 (10 km)	DA	Phase: fix all
3 (15 km)	NE	Float
4 (17,5 km)	NE	Float
5 (20 km)	NE	Float
6 (25 km)	NE	Float

Nasprotno pa je algoritmu v primeru, ko smo bazne vektorje obdelovali relativno glede na virtualno postajo VRS v neposredni bližini, uspelo fazno nedoločenost v vseh primerih določiti kot celih števil (preglednica 2).

Preglednica 2: Uspešnost določitve fazne nedoločenosti pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na VRS točko v bližini izvajanja meritev zeleno obarvano je uspešna rešitev (ang. Phase: fix all), rdeče obarvano je slabša rešitev (angl. float)

Točka	Fazna nedoločenost kot celo število	Določitev fazne nedoločenosti – Oznaka v LGO
1 (5 km)	DA	Phase: fix all
2 (10 km)	DA	Phase: fix all
3 (15 km)	DA	Phase: fix all
4 (17,5 km)	DA	Phase: fix all
5 (20 km)	DA	Phase: fix all
6 (25 km)	DA	Phase: fix all

Programski paket LGO poda tudi kakovost izračunanega vektorja in posledično položaja točke:

- standardni odklon za horizontalni položaj) – oznaka v LGO: *Posn. Qlty*,
- standardni odklon za višino – oznaka v LGO – *HGT. Quality* in
- standardni odklon za 3D položaj – *Posn. + Hgt. Qlty*.

Poudariti velja, da so standardni odkloni določeni iz variančno-kovariančne matrike za položaj, ki je v primeru obdelave opazovanj večkrat preoptimistično določena. Zato je za namen pridobitve položaja visoke točnosti smiselno izračunane bazne vektorje povezati v mrežo in le-to izravnati. V danem primeru tako nismo postopali zato, ker je bil cilj naloge pokazati vpliv oddaljenosti od stalne postaje na kakovost obdelave baznega vektorja in posledično na položaj točk. V preglednici 3 predstavljamo numerične vrednosti ocene kakovosti določitve relativnega položaja, kjer so bili obdelovani bazni vektorji različnih dolžin. V preglednici 4 predstavljamo numerične vrednosti ocene kakovosti določitve relativnega

položaja, če smo iz omrežja SIGNAL pridobili generirana VRS-opazovanja, ki so se navezovala na lokacijo v bližini točke.

Preglednica 3: Kakovost izračunanih položajev točk v programskem paketu LGO pri hitri statični metodi izmere in navezavi na stalno postajo

Točka	σ (2D položaj) [m]	σ (višina) [m]	σ (3D položaj) [m]
1 (5 km)	0,002	0,003	0,004
2 (10 km)	0,003	0,006	0,007
3 (15 km)	0,022	0,011	0,025
4 (17,5 km)	0,040	0,034	0,112
5 (20 km)	0,107	0,016	0,044
6 (25 km)	0,015	0,010	0,018

Preglednica 4: Kakovosti izračunanih položajev točk v programskem paketu LGO pri izmeri po metodi hitre statične izmere in navezavi na VRS točko v bližini izvajanja meritev

Točka	σ (2D položaj) [m]	σ (višina) [m]	σ (3D položaj) [m]
1 (5 km)	0,000	0,001	0,001
2 (10 km)	0,001	0,001	0,001
3 (15 km)	0,003	0,004	0,005
4 (17,5 km)	0,001	0,001	0,001
5 (20 km)	0,001	0,001	0,001
6 (25 km)	0,001	0,001	0,001

Iz rezultatov, prikazanih v preglednicah 3 in 4, vidimo prednost uporabe omrežja stalnih postaj GNSS v naknadni obdelavi opazovanj. Poleg tega, da nam ni potrebno imeti na voljo dveh instrumentov GNSS, lahko dosežemo boljše kakovost obdelave opazovanj in določitve baznega vektorja ne glede na to, koliko smo oddaljeni od stalne postaje. Končna kakovost določitve položaja torej sloni le na kakovosti vzpostavitve virtualne točke VRS.

V preglednici 5 predstavljamo položaje točk, izračunane z naknadno obdelavo opazovanj hitre statične metode izmere GNSS, ko smo za referenčno točko uporabili stalo postajo v Ljubljani GSR1. V preglednici 6 predstavljamo položaje točk, izračunane z naknadno obdelavo opazovanj hitre statične metode izmere, ko smo za vsako točko posebej vzpostavili točko VRS.

Preglednica 5: rezultati izmere po metodi hitre statike pri navezavi na postajo GSR1 v koordinatnih sistemih ETRS89 in D96/TM

Točka	φ	λ	h[m]	e[m]	e[m]	H [m]
1	46° 02' 28,26244" S	14° 28' 54,27071" V	340,460	459.887,841	100.284,124	294,042
2	46° 01' 28,11611" S	14° 25' 16,64348" V	350,681	455.195,481	98.459,505	304,218
3	46° 00' 27,60057" S	14° 21' 29,12896" V	346,055	450.287,515	96.628,759	299,543
4	45° 59' 42,95640" S	14° 19' 52,47442" V	339,154	448.196,67	95.267,605	292,631
5	45° 58' 34,28521" S	14° 18' 27,37422" V	338,216	446.347,125	93.163,225	291,688
6	45° 57' 47,57882" S	14° 15' 47,11106" V	460,767	442.873,629	90.609,981	414,208

Preglednica 6: rezultati izmere po metodi hitre statike pri navezavi na VRS v bližini točke v koordinatnih sistemih ETRS89 in D96/TM

Točka	φ	λ	h[m]	e[m]	e[m]	H [m]
1	46° 02' 28,26263"S	14° 28' 54,27062" V	340,467	459.887,839	100.284,13	294,049
2	46° 01' 28,11723"S	14° 25' 16,64365" V	351,312	455.195,485	98.459,539	304,849
3	46° 00' 27,60379" S	14° 21' 29,14540" V	346,043	450.287,870	96.628,855	346.2549
4	45° 59' 42,94970"S	14° 19' 52,46162" V	339,646	448.196,393	95.267,400	293,122
5	45° 58' 34,33049" S	14° 18' 27,29506" V	338,958	446.345,433	93.164,637	292,431
6	45° 57' 10,58050"S	14° 15' 47,10810" V	461,080	442.873,565	90.610,033	414,521

4. REZULTATI OBDELAVE HITRE STATIČNE IZMERE GNSS

Kot smo že povedali v uvodu, smo v primeru hitre statične izmere želeli preveriti, ali je podaljševanje trajanja opazovanj za eno minuto premo sorazmerno z oddaljevanjem od stalne postaje. Nadalje smo preverili kakovost obdelave baznih vektorjev različnih dolžin.

4.1 Vpliv časa trajanja meritev na kakovost obdelave in določitev položaja

Pri terenski izmeri smo preverjali tudi pravilo: *trajanje opazovanj = 10 min + 1 min · b*, pri čemer je *b* oddaljenost od referenčne postaje. Za to pravilo je potrebno zagotoviti GDOP nižji od 8 ter vidnih vsaj pet satelitov. Oboje je bilo pri izvajanju meritev zagotovljeno.

Glede na pravilo bi morala opazovanja na točkah trajati:

- točka z navezavo na VRS v bližini delovišča: 10 minut,
- točka z navezavo na VRS oddaljen 2,5 kilometra: 12 minut in 30 sekund,
- točka z navezavo na VRS oddaljen 5 kilometrov: 15 minut,
- točka z navezavo na VRS oddaljen 7,5 kilometra: 17 minut in 30 sekund,
- točka z navezavo na VRS oddaljen 10 kilometrov: 20 minut.

V nadaljevanju smo preverili, kako trajanje opazovanj vpliva na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila (preglednice 7–12). Pri obdelavi si želimo, da je neznano število celih valov celo število (ang. fix solution). Čas opazovanj smo krajšali toliko časa, da fazna nedoločenost ni predstavljala celega števila (ang. float solution). V takem primeru so opazovanja manj kakovostna.

Preglednica 7: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 1

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
5 km	13 min
0 km	11 min

Preglednica 8: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 2

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
10 km	12 min
5 km	5 min
0 km	5 min

Preglednica 9: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 3

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
0 km	14 min

Preglednica 10: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 4

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
7,5 km	9 min
2,5 km	5 min
0 km	5 min

Preglednica 11: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 5

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
2,5 km	14 min
0 km	12 min

Preglednica 12: Vpliv trajanja opazovanj na uspešnost določitve fazne nedoločenosti kot celega števila pri točki 6

Oddaljenost VRS od delovišča	Najkrajše trajanje opazovanj, pri katerem je fazna nedoločenost celo število
7,5 km	10 min
5 km	8 min
0 km	7 min

Kot lahko vidimo iz preglednic 7–12, je potrebno opazovanja pri hitri statični metodi z oddaljevanjem od referenčne postaje podaljševati. Razvidno je, da je pri točkah, ki so manj oddaljenih od referenčne postaje, čas do uspešne določitve fazne nedoločenosti kot celega števila krajši, kot pri točkah, ki so bolj oddaljenih od referenčne postaje.

Pravilo: $\text{trajanje opazovanj} = 10 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot b$, pri čemer je b oddaljenost od referenčne postaje bi lahko potrdili kot pravilno pri štirih od šestih izmerjenih točk. To pomeni, da bi pri uporabi pravila pri štirih izmerjenih točkah (točke 1 (preglednica 7), 2 (preglednica 8), 4 (preglednica 10) in 6 (preglednica 12)) opazovanja opravljali dovolj dolgo za uspešno določitev fazne nedoločenosti kot celega števila. Če smo opazovanja izvajali dlje časa, se točnost določitve položaja ni bistveno razlikovala. Pri točkah 3 (preglednica 9) in 5 (preglednica 11) pa bi pri uporabi pravila dobili manj kakovostne rešitve obdelanega baznega vektorja in posledično določitve položaja točke. Pri obeh točkah bi bilo za uspešno določeno fazno nedoločenost opazovanja potrebno opravljati dlje kot to določa pravilo. To se je zgodilo kljub temu, da smo pri opravljanju meritev zagotovili pogojem kot sta GDOP nižji od 8 ter vidnost vsaj petih satelitov.

Glede na vsa opazovanja uporabo pravila ne bi priporočili. Pri uporabi pravila bi na nekaterih točkah kljub zagotovljenim pogojem dobili manj kakovostna opazovanja. Opazovanja pri hitri statični izmeri bi bilo potrebno izvajati dlje, kot to določa pravilo.

4.2 Vpliv oddaljenosti od stalne postaje na kakovost obdelave in določitev položaja

Nadalje smo primerjali koordinate točk merjenih po metodi hitre statike, pri katerih smo VRS locirali na različnih oddaljenostih od točke. Tako smo preverili vpliv oddaljenosti stalne postaje na kakovost obdelave in določitev položaja. Za izhodišče smo izbrali točko, izmerjeno po metodi hitre statične izmere in navezavo na VRS v bližini delovišča. V primeru, da fazna nedoločenost ni predstavljala celo število, koordinat točke nismo več upoštevali. Rezultati primerjave predstavljamo v preglednicah 13-18.

Preglednica 13: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 1

Oddaljenost VRS od delovišča	e Δe	n Δn	h Δh
10 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
5 km	459.887,841 m (0,002 m)	100.284,123 m (0,007 m)	340,473 m (0,006 m)
0 km	459.887,839 m	100.284,130 m	340,467 m

Preglednica 14: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 2

Oddaljenost VRS od delovišča	e Δe	n Δn	h Δh
10 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
5 km	455.195,482 m (0,003 m)	98.459,534 m (0,006 m)	351.315 m (0,003 m)
0 km	455.195,485 m	98.459,539 m	351.312 m

Preglednica 15: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 3

Oddaljenost VRS od delovišča	e	n	h
2,5 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
0 km	450.287,870 m	96.628,855 m	346.255 m

Preglednica 16: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 4

Oddaljenost VRS od delovišča	e Δe	n Δn	h Δh
12,5 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
7,5 km	448.196,393 m (0,000 m)	95.267,398 m (0,002 m)	339.645 m (0,001 m)
2,5 km	448.196,393 m (0,000 m)	95.267,403 m (0,003 m)	339.646 m (0,000 m)
0 km	448.196,393 m	95.267,400 m	339.646 m

Preglednica 17: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 5

Oddaljenost VRS od delovišča	e Δe	n Δn	h Δh
5 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
2,5 km	446.345,428 m (0,005 m)	93.164,634 m (0,003 m)	338.972 m (0,014 m)
0 km	446.345,433 m	93.164,637 m	338.958 m

Preglednica 18: Vpliv oddaljenosti VRS od delovišča pri točki 6

Oddaljenost VRS od delovišča	e Δe	n Δn	h Δh
7,5 km	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>	<i>FLOAT rešitev</i>
5 km	442.873,562 m (0,003 m)	90.610,028 m (0,005 m)	461.085 m (0,005 m)
0 km	442.873,565	90.610,033	461.080 m

Iz preglednic 13–18 je razvidno, da so odstopanja koordinat (Δe , Δn in Δh) od referenčnih v primeru, ko je fazna nedoločenost bila določena kot celo število, majhna, in sicer od 0 do 14 milimetrov. Iz teh vrednosti lahko sklepamo, da ob uspešni določitvi fazne nedoločenosti ni opaznih razlik med določitvijo koordinat pri navezavi na VRS v bližini delovišča ali nekaj kilometrov stran.

V našem primeru že pri navezavi na 10 kilometrov oddaljeni VRS pri nobeni od točk nismo pridobili rešitve fazne nedoločenosti v območju celih števil. Največjo oddaljenost od VRS, ko je fazna nedoločenost uspešno določena, predstavlja točka 4 z navezavo na 7,5 kilometrov oddaljeni VRS. V povprečju pa je najdaljša oddaljenost od VRS 5 kilometrov. Pri točki 3 lahko vidimo, da je do uspešne določitve položaja prišlo le pri VRS-točki v bližini delovišča. Iz podatkov naše izmere lahko sklepamo, da je najzanesljivejša določitev položaja po metodi hitre statične izmere pri navezavi na VRS v bližini delovišča.

Velja poudariti, da smo pri izvedbi izmere upoštevali zahteve, kot je GDOP manjši od 8 ter vidnost vsaj petih satelitov. Lokacije točk so bile skrbno izbrane in vidnost horizonta je bila neovirana. Kljub temu smo na posameznih točkah pridobili različne rezultate. To bi pripisali predvsem različnim vplivom na opazovanja ter geometrijski razporeditvi satelitov in posledično različnemu številu skupnih satelitov na krajiščih baznega vektorja.

5. PREGLED REZULTATOV RTK-METODE IZMERE

V danem primeru smo položaje točk z RTK-metodo izmere določali tako, da smo za referenčno stojišče uporabili:

- opazovanja s fizične postaje GSR1 v Ljubljani in
- opazovanja, vzpostavljena v omrežju SIGNAL, za virtualno točko VRS v bližini delovišča.

V preglednicah 19–24 podajamo sredino položajev točk s pripadajočimi odstopanji položajev glede na referenčne koordinate, ki smo jih dobili z 20-minutno statično izmero GNSS.

Preglednica 19: RTK-položaji točke 1 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	459.887,852 m (0,0065 m)	100.284,130 m (0,0000 m)	340,426 m (0,041 m)
VRS	459.887,848 m (0,009 m)	100.284,135 m (0,005 m)	340,382 m (0,085 m)

Preglednica 20: RTK-položaji točke 2 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	455.195,486 m (0,001 m)	98.459,538 m (0,001 m)	351,1795 m (0,133 m)
VRS	455.195,493 m (0,008 m)	98.459,545 m (0,006 m)	351,164 m (0,148 m)

Preglednica 21: RTK-položaji točke 3 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	450.287,868 m (0.002 m)	96.628,86 m (0.005 m)	346,220 m (0.177 m)
VRS	450.287,876 m (0.006 m)	96.628,857 m (0.002 m)	346,188 m (0.145 m)

Preglednica 22: RTK-položaji točke 4 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	448.196,401 m (0,008 m)	95.267,398 m (0,002 m)	339,6105 m (0,036 m)
VRS	448.196,41 m (0,017 m)	95.267,403 m (0,003 m)	339,564 m (0,082 m)

Preglednica 23: RTK-položaji točke 5 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	446.345,428 m (0,005 m)	93.164,632 m (0,005 m)	338,936 m (0,022 m)
VRS	446.345,438 m (0,005 m)	93.164,619 m (0,018 m)	338,915 m (0,043 m)

Preglednica 24: RTK-položaji točke 6 in odstopanja glede na 20-minutno hitro statično izmero.

Referenčno stojišče (baza)	e Δe	n Δn	h Δh
GSR1	442.873,557 m (0,008 m)	90.610,036 m (0,003 m)	460,939 m (0,141 m)
VRS	442.873,565 m (0,000 m)	90.610,027 m (0,006 m)	460,962 m (0,118 m)

Razvidno je, da so odstopanja horizontalnih koordinat, določenih z RTK-metodo izmere glede na referenčne koordinate majhna. Znašajo od 0 do 1,8 cm. Večje razlike se pojavljajo pri višinski komponenti, kjer predstavljajo vrednosti od 2,2 cm do 17,7 cm.

Glede na izbiro referenčnega stojišča pri koordinatah, določenih po metodi RTK ni opaznejših razlik. Za primer si vzemimo izmero na Točki 6 (Preglednica 24), kjer smo v prvem primeru za referenčno stojišče izbrali 25 km oddaljeno stalno postajo GSR1, v drugem primeru pa smo uporabili VRS v bližini delovišča. Razlika v horizontalnih koordinatah med obema izmerama je le nekaj milimetrov, v višinski komponenti pa 2,3 cm. Podobne rezultate smo dosegli tudi na drugih točkah izmere. Iz tega lahko sklepamo, da pri izmeri po metodi RTK oddaljenost do 25 km od referenčnega stojišča nima večjega vpliva.

5. 1. Predstavitev rezultatov RTK-metode izmere

V primeru večkrat neodvisno določenih koordinat z RTK-metodo izmere smo ocenjevali kakovosti meritev z določitvijo standardnega odklona določitev koordinat (1):

- natančnost določitve položaja

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}}, \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

V preglednicah 25–30 predstavljamo natančnost rezultatov RTK-metode izmere.

Preglednica 25: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 1

TOČKA 1 (5 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,00 m
VRS RTK	0,00 m	0,00 m	0,03 m

Preglednica 26: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 2

TOČKA 2 (10 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,08 m
VRS RTK	0,01 m	0,00 m	0,09 m

Preglednica 27: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 3

TOČKA 3 (15 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,05 m
VRS RTK	0,00 m	0,00 m	0,03 m

Preglednica 28: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 4

TOČKA 4 (17,5 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,00 m
VRS RTK	0,01 m	0,00 m	0,03 m

Preglednica 29: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 5

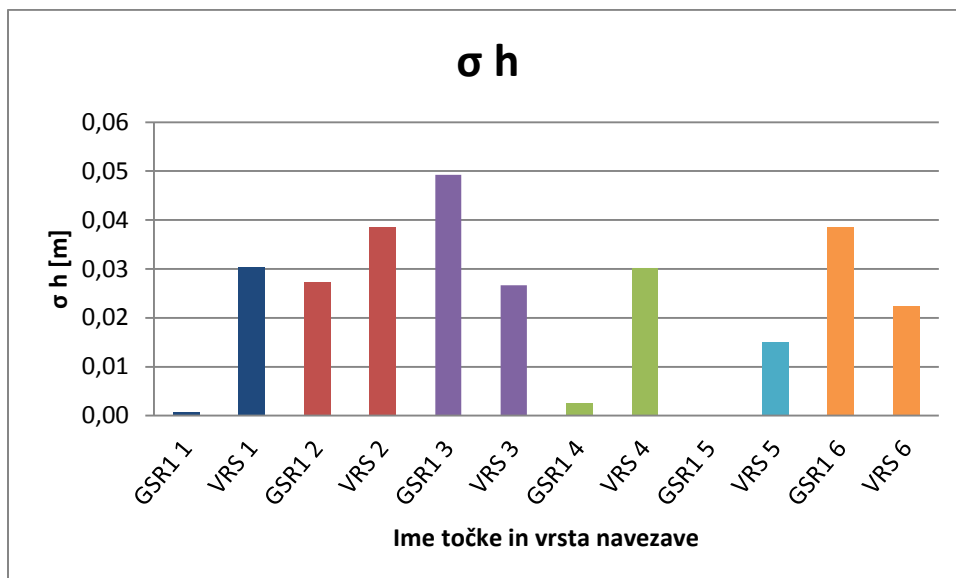
TOČKA 5 (20 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,00 m
VRS RTK	0,00 m	0,01 m	0,02 m

Preglednica 30: Natančnost rezultatov RTK-metode izmere pri točki 6

TOČKA 5 (25 km)	σ_e	σ_n	σ_h
GSR1 RTK	0,00 m	0,00 m	0,04 m
VRS RTK	0,00 m	0,00 m	0,02 m

Iz preglednic 25–30 je razvidno, da je natančnost horizontalnih koordinat pri vseh nekaj centimetrov. Večje vrednosti predstavljajo pri višinski komponenti in sicer od 0 do 8,5 cm.

Glede na podane rezultate lahko rečemo, da je natančnost določitve položaja po metodi RTK dobra, ter da oddaljenost od stalne postaje na natančnost izmerjenih koordinat pri naši izmeri ni imela vpliva.



Grafikon 1: Natančnost višine h izmerjene po RTK-metodi izmere

Iz grafikona 1 je razvidno, da oddaljenost od stalne postaje ni imela vpliva na natančnost določitve višinske komponente pri RTK metodi izmere. Standardni odkloni so enakomerno porazdeljeni pri točkah različnih oddaljenosti od 5 km do 25 km od stalne postaje.

6 ZAKLJUČEK

Prvo hipotezo, ki smo jo zastavili v uvodu, lahko delno potrdimo, saj oddaljenost od stalne postaje GNSS vpliva na kakovost koordinat, določenih po metodi hitre statične izmere. Pri točkah, ki so bile oddaljene od referenčne stalne postaje več kot 10 km je določitev fazne nedoločenosti predstavljalo realno število, kar pomeni manj kakovostno obdelavo opazovanj.

V primeru izvedbe meritev po metodi RTK pa oddaljenost od stalne postaje nima vpliva. Pri primerjavi koordinat točk, določenih tako, da smo za referenčno stojišče izbrali opazovanja postaje GSR1 ter opazovanja na točki VRS v bližini delovišča, so odstopanja med pridobljenimi koordinatami majhna, in sicer le nekaj milimetrov. Prav tako v primerjavi med koordinatami, določenimi po metodi RTK ter referenčnimi koordinatami, ki smo jih določili po metodi hitre statične izmere pri horizontalnih komponentah ni večjih odstopanj. Odstopanja nekaj centimetrov pa se pojavijo pri višinskih komponentah. Prve hipoteze tako ne moremo potrditi v celoti.

V drugi hipotezi smo predpostavili, da je pri hitri statični metodi izmere čas opazovanj z oddaljevanjem od stalne postaje potrebno podaljšati. Pri tem smo podali pravilo *trajanje opazovanj* = 10 min + 1 min · *b*, pri čemer je *b* oddaljenost od referenčne postaje. Tudi te hipoteze ne moremo potrditi v celoti. Iz rezultatov izmere je razvidno, da je z oddaljevanjem od referenčne točke za doseg kakovostnih rezultatov obdelav opazovanj čas opazovanj potrebno podaljšati. Pri točkah, bližje referenčni postaji, je čas do rešitve fazne nedoločenosti kot celega števila krajši kot pri bolj oddaljenih točkah. Hipoteze ne moremo potrditi in uporabo danega pravila odsvetujemo. V našem primeru bi ob upoštevanju pravila dobili manj kakovostna opazovanja na dveh točkah. Svetujemo, da opazovanja pri metodi hitre statične izmere izvajamo dlje časa kot določa to pravilo. Za odgovor, koliko časa dlje, pa bi bilo potrebno narediti veliko bolj obsežne teste, ki jih priporočamo narediti v prihodnje. Do sedaj še vedno velja pravilo, da za naknadno obdelavo opazovanj GNSS vedno pridobimo več opazovanj (daljše trajanje), kot je to nujno potrebno.

VIRI

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

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4569/1/GEM052_Bilban.pdf (Pridobljeno 19. 8. 2015.)

Dao, T., Alves, P., Lachapelle, G. 2004. Performance Evaluation of Multiple Reference Station GPS RTK for a Medium Scale Network. Journal of Global Positioning Systems: str. 173–182.

<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=270> (Pridobljeno 17. 8. 2015.)

El-Mowafy, A. 2011. Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications: str. 161–187.

<http://www.intechopen.com/books/global-navigation-satellite-systems-signal-theory-and-applications/precise-real-time-positioning-using-network-rtk> (Pridobljeno 23. 8. 2015.)

Leica Geosystems. 2000. Geosystems General Guide to Static and Rapid-Static.

<http://www.surveyequipment.com/PDFs/GPS500-General-Guide.pdf> (Pridobljeno 20. 8. 2015.)

Geoservis.si. 2015.

<http://www.geoservis.si/> (Pridobljeno 12. 8. 2015.)

Kislig, L., Potovello, M. 2011. What is a virtual reference station and how does it work?. Inside GNSS: str. 28–31.

<http://www.insidegnss.com/auto/julyaug11-solutions.pdf> (Pridobljeno 17. 8. 2015)

Kozmus, K., Stopar, B. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. Geodetski vestnik 47, 4: 404–413.

http://www.geodetski-vestnik.com/47/4/gv47-4_404-413.pdf (Pridobljeno 21. 08. 2015.)

Omrežje SIGNAL. 2015.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 12. 8. 2015.)

Santos, M. 2010. A practical evaluation of the GPS rapid static method. Geomatica: str. 425–432.

<http://www2.unb.ca/gge/Personnel/Santos/GeomaticaVol4No42000.pdf> (Pridobljeno 2. 9. 2015.)

Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. Geodetski vestnik 58, 3: 466–481.

http://www.geodetski-vestnik.com/58/3/gv58-3_sterle.pdf (Pridobljeno 16. 8. 2015)

UNAVCO. 2015.

<http://www.unavco.org/> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)