

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:

Knez, M., 2015. Uporaba virtualnega referenčnega stojišča pri statični in kinematični metodi izmere GNSS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič-Prešeren, P.): 25 str.

Datum arhiviranja: 02-06-2015

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:

Knez, M., 2015. Uporaba virtualnega referenčnega stojišča pri statični in kinematični metodi izmere GNSS. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič-Prešeren, P.): 25 p.

Archiving Date: 02-06-2015

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:

MATEJ KNEZ

**UPORABA VIRTUALNEGA REFERENČNEGA
STOJIŠČA PRI STATIČNI IN KINEMATIČNI METODI
IZMERE GNSS**

Diplomska naloga št.: 38/TUN

**VIRTUAL REFERENCE STATION USAGE IN STATIC
AND KINEMATIC GNSS SURVEYING**

Graduation thesis No.: 38/TUN

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Ljubljana, 27. 05. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani **Matej Knez** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Uporaba virtualnega referenčnega stojišča pri statični in kinematični metodi izmere GNSS**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, maj 2015

Matej Knez

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.2(497.4)(043.2)
- Avtor:** Matej Knez
- Mentorica:** doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
- Naslov:** Uporaba virtualnega referenčnega stojišča pri statični in kinematični metodi izmere GNSS
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – Visokošolski strokovni študij
- Obseg in oprema:** 25 str., 23 pregl., 16 sl.
- Ključne besede:** GNSS, statična izmera, RTK-metoda izmere, VRS, naknadna obdelava

Izvleček

Na območju Novega mesta smo s statično metodo izmere GNSS trem točkam določili položaj v ETRS89 koordinatnem sistemu. Z izravnavo GNSS mreže treh točk z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje smo pridobili referenčne rezultate, na katere se nanašamo skozi celotno analizo rezultatov različnih testov obdelav opazovanj. V prvem delu diplomske naloge opisujemo metode izmere GNSS, koncept slovenskega omrežja stalnih GNSS postaj SIGNAL, terensko izmero ter obdelavo opazovanj GNSS statične metode izmere. V drugem delu se posvetimo analizi pridobljenih rezultatov in različnih testov naknadnih obdelav. V analizi rezultatov preizkušamo tri hipoteze, ki smo si jih postavili na začetku diplomske naloge. V prvem delu analize rezultatov opravimo več različnih testov naknadnih obdelav, kjer je za dano točko uporabljeno virtualno referenčno stojišče. S testi preverimo, ali so rezultati naknadne obdelave statične izmere GNSS z navezavo na VRS po kakovosti določitve koordinat novih točk primerljivi z rezultati naknadne obdelave z navezavo na stalne postaje GNSS. V drugem delu analize rezultatov pa primerjamo rezultate RTK-metode izmere na vseh treh točkah. S to primerjavo pokažemo, da lahko z daljšim časom opazovanj pridemo na točnost določitve položaja reda velikosti enega centimetra. V zaključku diplomske naloge podamo končne ugotovitve opravljenih analiz.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.2(497.4)(043.2)

Author: Matej Knez

Supervisor: Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.

Title: Virtual reference station usage in static and kinematic GNSS surveying

Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies

Scope and tools: 25 p., 23 tab., 16 fig.

Keywords: GNSS, static surveying, RTK-method, VRS, post processing

Abstract

Three points position determination in the ETRS89 coordinate system using static GNSS relative point positioning-was performed in the area of Novo mesto. Reference results for further analysis have been acquired by GNSS network adjustment using continuously operating GNSS reference station Trebnje as a fixed/control point. The first part of the thesis describes GNSS observation methods, the concept of the Slovenian continuously operating system of reference GNSS stations SIGNAL, our terrain measurements and further observation processing. However, in the second part the attention is given to the analysis of results obtained from different tests of follow-up processing. At the same time, three hypotheses that were proposed at the beginning of the thesis are tested. In the first part of the result analysis we made various different tests of follow-up processing with the virtual reference station as a known point. We used tests to check if the results of the follow-up static GNSS results in relation to VRS are comparable in the quality of new points coordinates to the results of the follow-up processing in relation to continuously operating reference stations. RTK results for all three points are compared in the second part of the result analysis. We wanted to prove that a longer period of observations leads to the centimeter precision determination. The last part of the thesis offers final findings of the performed analyses.

ZAHVALA

Za pomoč, strokovnost in odzivnost pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem ge. mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren.

Zahvaljujem se še ge. Barbari Trobec, Irmi Samantha Martinšek, družini in prijateljem, ki so mi pomagali pri izdelavi diplomske naloge, ter kolektivu Miha Ban d. o. o. za moralno podporo ter instrumentarij za izvedbo terenskih meritev.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Hipoteze	2
2 METODE IZMERE GNSS	3
2.1 Statična metoda izmere	3
2.2 Hitra statična metoda izmera	4
2.3 RTK-metoda izmere	4
3 OMREŽJE SIGNAL	6
4 MERITVE NA TERENU	7
4.1 Uporabljen instrumentarij	7
4.2 Statična izmera	8
4.3 RTK-metoda izmere	11
5 OBDELAVA OPAZOVANJ	12
6 ANALIZA REZULTATOV	13
6.1 Primerjava naknadnih obdelav z navezavo na stalne bazne postaje oziroma na virtualna referenčna stojišča	13
6.1.1 Navezava na VRS	14
6.1.2 Izravnava mreže točk z navezavo na VRS	15
6.1.3 Navezava na VRS, kjer je višina dane točke 700 m	16
6.1.4 Navezava na VRS-ob krajših dolžinah opazovanj	17
6.2 Primerjava statične in RTK-metode izmere	18
6.2.1 RTK-metoda izmere na točki A	18
6.2.2 RTK-metoda izmere na točki B	20
6.2.3 RTK-metoda izmere na točki C	21
7 ZAKLJUČEK	24
VIRI	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Radialna metoda izmere z navezavo A, B in C na dano stalno postajo GNSS omrežja SIGNAL Trebnje. Pod pojmom radialna izmera opisujemo določitev koordinat brez izravnave GNSS-mreže. To pomeni, da je vsaka točka bila določena relativno glede na izbrano dano točko, v tem primeru na Trebnje.	13
Preglednica 2: Radialna metoda izmere – navezava na VRS.....	14
Preglednica 3: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja).....	14
Preglednica 4: Izravnava mreže točk z navezavo na VRS	15
Preglednica 5: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja).....	16
Preglednica 6: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (višina 700 m).....	16
Preglednica 7: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja).....	16
Preglednica 8: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (10 minutna opazovanja dane točke).....	17
Preglednica 9: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja).....	17
Preglednica 10: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (20 minutna opazovanja dane točke)....	17
Preglednica 11: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja).....	17
Preglednica 12: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki A	18
Preglednica 13: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A ...	19
Preglednica 14: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A ...	19
Preglednica 15: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A	19
Preglednica 16: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki B	20
Preglednica 17: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B ...	20
Preglednica 18: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B ...	20
Preglednica 19: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B	21
Preglednica 20: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki C	22
Preglednica 21: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C ...	22
Preglednica 22: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C ...	22
Preglednica 23: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C	22

KAZALO SLIK

Slika 1: RTK-metoda izmere z navezavo na stalno postajo GNSS.....	5
Slika 2: Omrežje stalnih permanentnih postaj SIGNAL (SIGNAL, 2015).....	6
Slika 3: GPS sprejemnik Triumph Javad	7
Slika 4: GPS sprejemnik Trimble 4000SSi	7
Slika 5: Prikaz položajev točk, kjer smo izvajali meritve, glede na položaj stalnih postaj GNSS omrežja SIGNAL	8
Slika 6: Makro lokacija točke A (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)	9
Slika 7: Makro lokacija točke B (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)	9
Slika 8: Makro lokacija točke C (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)	9
Slika 9: Stabilizacija in mikrolokacija točke A	10
Slika 10: Stabilizacija in mikrolokacija točke B	10
Slika 11: Stabilizacija in mikrolokacija točke C	10
Slika 12: Obdelava baznih vektorjev – radialna metoda z navezavo na VRS.....	14
Slika 13: Mreža točk z navezavo na VRS	15
Slika 14: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki A	19
Slika 15: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki B.....	21
Slika 16: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki C.....	23

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

D96/TM	Datum 1996 / Transverzalna Mercatorjeva projekcija – državni koordinatni sistem v veljavi od 31.12.2007
ETRS89	angl. European Terrestrial Reference System 1989
GLONASS	angl. GLObalnaja NAVigation Satellite System
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
GPS	angl. Global Positioning System
GSM	angl. Global System for Mobile
IGS	angl. International GNSS Service
LGO	programski paket Leica Geo Office
NGS	angl. National Geodetic Survey
NŠCV	Neznano Število Celih Valov ali fazna nedoločenost
RINEX	angl. Receiver INdependent EXchange format
RTCM SC	angl. Radio Technical Commission for Maritime ServiCes
RTK	angl. Real Time Kinematic
SIGNAL	Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija
SLOG2000	slovenski geoid, preračunan leta 2000
VRS	angl. Virtual Reference Station

Ta stran je namenoma prazna

1 UVOD

Danes stremimo, da bi bila določena naloga opravljena v najkrajšem možnem času in z največjo mero kakovosti. V geodeziji nam določene metode izmere omogočajo izvedbo meritev na terenu in pridobitev rezultatov obdelave v realnem času brez naknadne obdelave. Glede na to, da so metode izmere GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) v realnem času nekoliko slabše kakovosti glede na metode z naknadno obdelavo opazovanj, je dobro poznati prednosti in slabosti posameznih metod, da lahko na terenu kakovostno določimo položaj v izbranem koordinatnem sistemu.

V sklopu diplomske naloge smo za tri točke s statično terensko metodo izmere GNSS (dolžina trajanja opazovanj je znašala 24 ur) pridobili opazovanja GNSS in jim, z naknadno obdelavo, določili položaj v koordinatnem sistemu ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989). Točkam smo položaje določili relativno z navezavo na točke državnega omrežja stalnih postaj GNSS SIGNAL. Točkam smo določili položaje na več načinov: najprej z obdelavo in navezavo terensko pridobljenih opazovanj statične metode izmere GNSS na različne stalne postaje omrežja SIGNAL. Nadalje smo uporabili tudi možnost določitve položajev točk, ko smo v obdelavo statične metode izmere vključili opazovanja virtualnega referenčnega stojišča (VRS), ki smo ga obravnavali kot dano točko. Pri tem smo položaje virtualnih referenčnih stojišč izbirali na različne načine, da bi preverili, kako se naknadna obdelava opazovanj z navezavo na fizično stalno postajo GNSS oziroma z navezavo na virtualno referenčno stojišče razlikujeta. Položaje točk v koordinatnem sistemu ETRS89, ki smo jih pridobili z obdelavo opazovanj GNSS statične metode izmere, smo nadalje privzeli za izhodišče nadaljnje primerjave za ovrednotenje kakovosti določitve položaja s kinematično metodo izmere v realnem času, z RTK-metodo (angl. Real Time Kinematic) izmere. Tu smo točkam, katerih položaje smo pridobili z RTK-metodo izmere, večkrat neodvisno določili položaj z različnimi dolžinami trajanja opazovanj. Na ta način smo želeli pokazati odstopanja položajev, pridobljenih z RTK-metodo izmere, od bolj kakovostnih položajev, določenih s statično metodo izmere, do manj kakovostnih položajev, določenih s kinematično metodo izmere. V zaključku diplomske naloge smo podali objektivne ugotovitve določanja položajev s statično metodo izmere GNSS z uporabo VRS ter z RTK-metodo izmere z uporabo VRS.

1.1 Hipoteze

Cilj diplomske naloge je razložiti nejasnosti, s katerimi se pri svojem delu z uporabo metode izmere GNSS srečujejo geodeti.

Glede na zastavljen cilj smo si zastavili tri hipotetične trditve:

1. hipoteza: predpostavljamo, da je za naknadno obdelavo statične metode izmere uporaba VRS-ja po končni dosegljivi točnosti določitve položaja enakovredna rešitvi, če v obdelavi opazovanj uporabimo GNSS opazovanja fizične stalne postaje GNSS. To pomeni, da predpostavljamo, da so v omrežju SIGNAL vplivi na opazovanja modelirana tako dobro, da lahko v primeru, ko smo od stalnih postaj GNSS oddaljeni več, kot nam to dovoljuje programski paket obdelave opazovanj GNSS, uporabimo opazovanja VRS (komercialni programski paketi obdelave opazovanj GNSS omogočajo korektno obdelavo opazovanj baznih vektorjev do dolžine 30 km).
2. hipoteza: predpostavljamo, da pri uporabi VRS kot dane točke za primer, ko imamo precejšnje višinske razlike med krajiščema baznega vektorja, pridobimo slabšo kakovost višinske komponente določitve položaja.
3. hipoteza: predpostavljamo, da z nekaj sekundnimi opazovanji, pri RTK-metodi izmere, ne dosežemo kakovosti določitve položaja v okviru enega centimetra.

2 METODE IZMERE GNSS

Globalni navigacijski satelitski sistemi GNSS so se v zadnjih desetih letih razvili tako na tehnološkem kot tudi uporabniškem področju. Skupno vsem sistemom je to, da lahko uporabnik s primerno mersko opremo in ob prisotnosti določenega števila satelitov določi položaj kjer koli na zemeljskem površju. Elektronskih naprav, ki lahko sledijo signalom satelitskih sistemov, je danes vse več, od najpreprostejših sledilnikov, pametnih telefonov, do zapletenih sistemov za navigacijo vodnih in zračnih plovil. S pomočjo GNSS so se v geodeziji odprla nova obzorja, ki temeljijo na hitrosti, kakovosti in homogeni točnosti določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu. Poznamo več globalnih navigacijskih sistemov:

- ameriški NAVSTAR GPS (angl. NAVigation System Timing And Ranging Global Positioning System);
- ruski GLONASS (rus. GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema);
- evropski Galileo in
- kitajski Beidou ali Compass.

Kombinirana uporaba opazovanj različnih navigacijskih sistemov (npr. GPS + GLONASS) pomeni predvsem prednost v zanesljivosti določitve položaja v primeru ovir na vidnem obzorju sprejemnika (urbana območja, lokacije blizu dreves, stavb itd.). Hkrati sprejem signalov večjega števila satelitov GNSS pomeni skrajšanje časa inicializacije in možnost doseganja višjih točnosti določitve položaja zaradi boljše določitve fazne nedoločenosti (neznane števila celih valov v začetnem trenutku opazovanj (NŠCV)).

2.1 Statična metoda izmere

Statična metoda izmere GNSS temelji na določitvi položaja s faznimi opazovanji GNSS ene ali bolje več frekvenc. Je osnovna metoda za določanje relativnega položaja. Za pridobitev nam uporabnih rezultatov potrebujemo opazovanja obdelati v ustreznem programskem orodju. Opazovanja pri tej metodi, ki trajajo tipično od 30 do 120 minut, temeljijo na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj (Kogoj, Stopar, 2009). Je najboljša metoda izmere, saj lahko z njo dosežemo milimetrsko točnost določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu, če opazovanja izvajamo nepretrgoma dlje časa. Za doseganje tako visoke točnosti pa je, poleg kakovostne izvedbe opazovanj, potrebno v obdelavo vključiti podatke natančnih tirnic satelitov, v najnatančnejših obdelavah pa tudi druge parametre (npr. parametre gibanja polov, boljše podatke o oceni satelitovih ur...). Teh podatkov nam sateliti ne posredujejo, ampak jih dobimo na spletnih straneh različnih GNSS-služb, npr. služba IGS (angl. International GNSS Service). Osnovni rezultat obdelave faznih opazovanj, ki jih dobimo

istočasno na krajiščih baznega vektorja, je bazni vektor med dano in novo točko, z informacijo o kakovosti določitve položaja, ki jo pridobimo v obliki variančno-kovariančne matrike, medtem ko je s faktorji DOP (angl. Dilution of Precision) numerično ovrednotena najboljša geometrijska razporeditev štirih satelitov na obzorju v času izmere. Z izravnavo opazovanj in odstranitvijo opazovanj »problematičnih« satelitov lahko kakovost rezultatov naknadne obdelave baznega vektorja še izboljšamo.

2.2 Hitra statična metoda izmere

Hitra statična metoda izmere (angl. fast static) je metoda izmere GNSS, ki prav tako temelji na faznih opazovanjih. Je metoda za določanje relativnega položaja, ki dosega dokaj visoko kakovost rezultatov. Metoda je v osnovi povsem enaka statični metodi izmere, vendar temelji na krajšem času trajanja opazovanj. Ta znaša od 15 do 30 minut, odvisno koliko je opazovana točka oddaljena od stalne postaje GNSS. Poznamo oceno, da je pri hitri statični metodi izmere potrebno izvesti 10 minut opazovanj, nadaljnje podaljšanje izvedbe opazovanj pa je premosorazmerno z oddaljenostjo od stalne postaje (če smo od stalne postaje oddaljeni 5 km, bomo hitro statično metodo izmere izvajali vsaj 15 minut). Dolžina trajanja opazovanj temelji na enačbi:

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

pri čemer je d oddaljenost našega delovišča od stalne postaje.

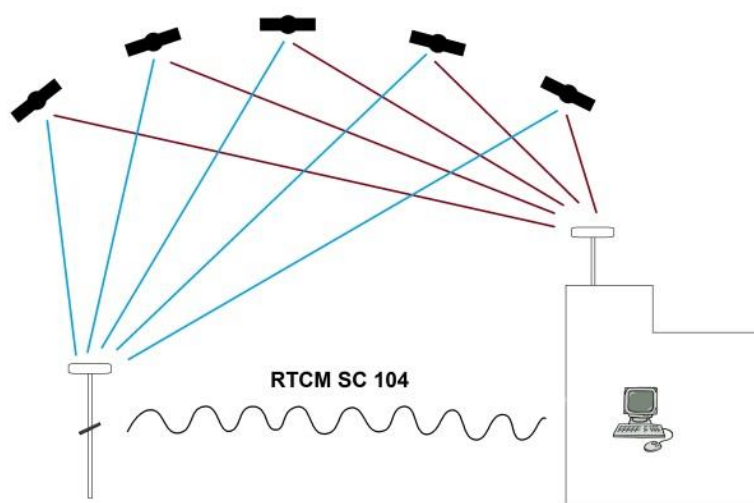
Hitra statična metoda izmere se je pojavila z razvojem algoritmov za učinkovito določitev fazne nedoločenosti ob uporabi različnih tipov opazovanj in različnih kombinacij teh opazovanj, kar omogoča hitro in zanesljivo določitev začetnih neznanih vrednosti celih valov (Kogoj, Stopar, 2009).

2.3 RTK-metoda izmere

RTK-metoda izmere (angl. real time kinematic – metoda, ki nam poda koordinate že na terenu v realnem času) je v osnovi kinematična metoda, ki jo navadno uporabljamo kot kombinacijo kinematične in hitre statične metode izmere GNSS. To pomeni, da položaje točk določamo v času gibanja oziroma, ko se na določeni točki ustavimo. V geodeziji bolj uporabljamo primer, ko diskretno določamo položaje točk tako, da se na točki za nekaj časa ustavimo. Osnovni pogoj za izvedbo RTK-metode izmere je radijska ali GSM povezava med baznim in premičnim sprejemnikom GNSS v času izmere (slika 1). Po komunikacijski zvezi se med baznim stojiščem (to je stojišče, katerega položaj v izbranem koordinatnem sistemu poznamo) in premikajočim se sprejemnikom prenašajo fazna opazovanja GNSS. V danem primeru velja pravilo, da mora biti razdalja med baznim stojiščem in premikajočo se enoto precej krajša kot je dolžina baznih vektorjev, ki jih pridobimo z naknadno obdelavo. V primeru prevelike oddaljenosti

delovišča od stalnih postaj GNSS imamo možnost, da za bazno stojišče uporabimo, v nadzornem centru omrežja, vzpostavljeno virtualno referenčno stojišče VRS.

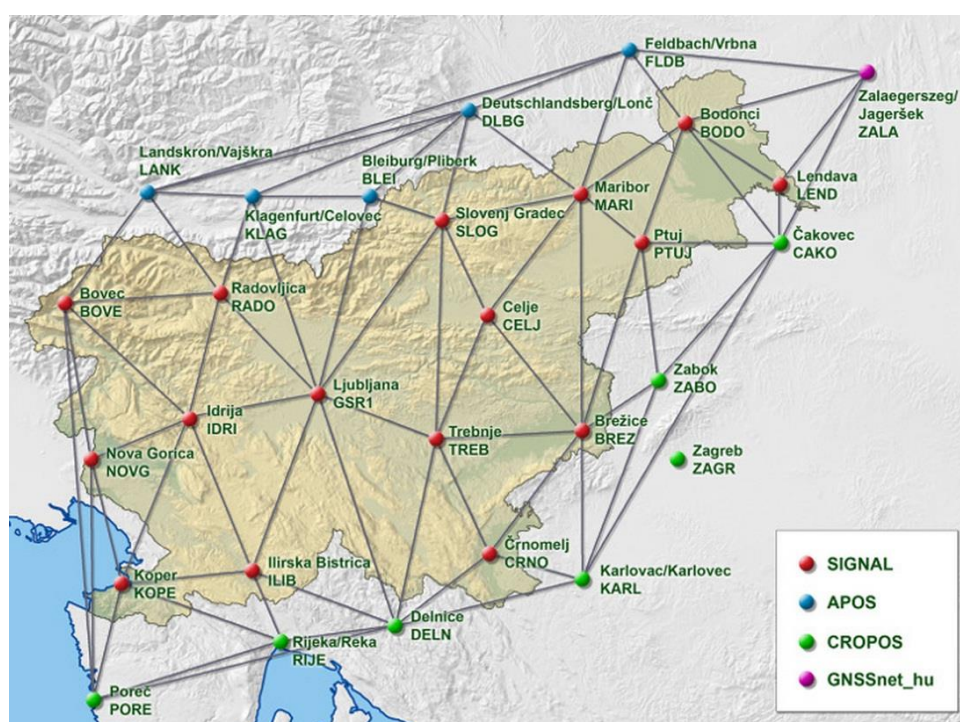
Slabost uporabe metode je, da je določitev položaja vezana na plačljiv pretok podatkov v realnem času, medtem ko naknadno obdelavo opazovanj v omrežju SIGNAL delamo s podatki, ki so brezplačni (v vsakem posameznem državnem ali komercialnem omrežju stalnih postaj je sistem plačila distribucije podatkov različen). RTK-metoda izmere je med vsemi metodami izmere GNSS najpogosteje uporabljena metoda izmere.



Slika 1: RTK-metoda izmere z navezavo na stalno postajo GNSS

3 OMREŽJE SIGNAL

SIGNAL ali besedna zveza (Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija) je državno omrežje stalno delujočih GNSS postaj znotraj Republike Slovenije. Od 5. decembra 2014 ga sestavlja 16 stalnih postaj GNSS, ki so razporejene po celotnem ozemlju države (slika 2). Za pokritost celotne Slovenije so v omrežje vključene še stalne postaje sosednjih držav. Trenutno prejemamo podatke petih avstrijskih, ene madžarske in šestih hrvaških postaj. Za delovanje omrežja stalnih postaj skrbi SIGNAL, služba za GPS, ki jo sestavljajo podatkovni, operativni in analitični centri (Korošec, 2014).



Slika 2: Omrežje stalnih permanentnih postaj SIGNAL (SIGNAL, 2015)

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 absolutno pridobljeni položaj, določen brez navezave na omrežje. Za navezavo GNSS-meritev na fizično realizacijo koordinatnega sistema potrebujemo dva GNSS-sprejemnika. Omrežje torej omogoča bolj racionalno izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik, torej za izmero potrebuje le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema sistem omrežja SIGNAL (SIGNAL, 2015).

4 MERITVE NA TERENU

V prejšnjih dveh poglavjih smo podali nekaj podrobnih informacij o metodah izmere GNSS, ter o konceptu slovenskega omrežja stalnih postaj SIGNAL. V danem poglavju opisujemo konkretno terensko izvedbo statične in RTK-metode izmere. Predhodno smo preučili morebitne možnosti lokacij, kjer bi lahko nemoteno izvajali terenske meritve. Odločili smo se za izvedbo opazovanj GNSS na treh trajno stabiliziranih točkah na območju Novega mesta. Na prvi terenski izmeri smo izvajali statično metodo izmere, na drugi pa RTK-metodo izmere.

4.1 Uporabljen instrumentarij

Pri statični metodi izmere smo uporabili GPS-sprejemnik Trimble 4000SSi (slika 4), pri RTK-metodi izmere pa sprejemnik Triumph Javad (slika 3).



Slika 4: GPS sprejemnik Trimble 4000SSi

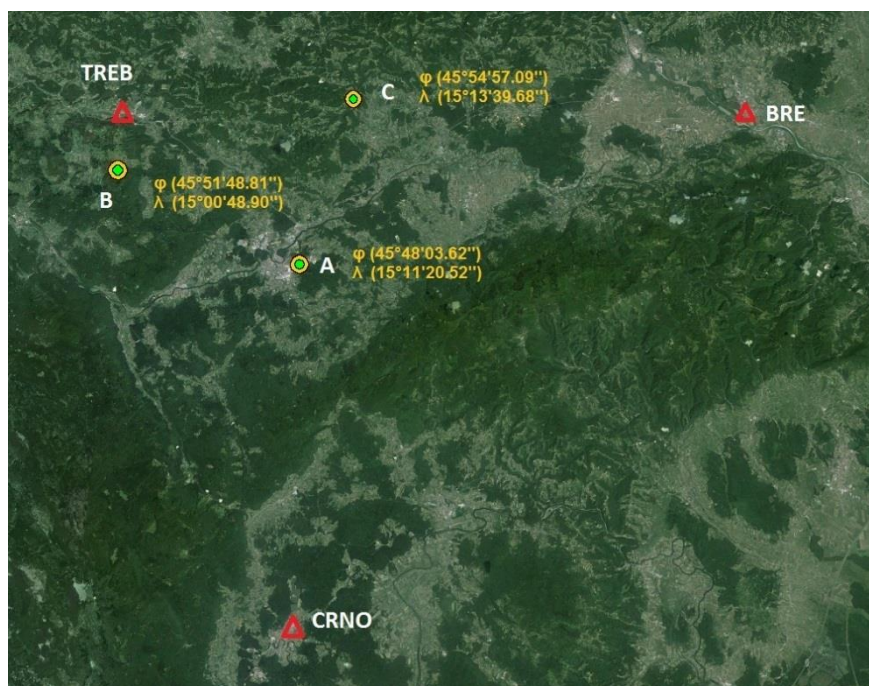


Slika 3: GPS sprejemnik Triumph Javad

4.2 Statična izmera

Terensko delo statične izmere GNSS je potekalo na treh lokacijah, na območju, ki je omejeno s trikotnikom stalnih postaj državnega omrežja SIGNAL: Črnomelj, Brežice in Trebnje (slika 5). Točka A se je nahajala na območju Cikave (slika 6). GNSS sprejemnik smo postavili na naravni betonski mejnik (slika 9). Točka B se je nahajala na območju Rdečega Kala (slika 7), za stabilizacijo točke smo uporabili kovinski klin, zasidran v naravni kamen (slika 10). Točka C se je nahajala v vasi Dol pri Šmarjeti (slika 8), kjer smo za stabilizacijo točke ravno tako uporabili kovinski klin, zasidran v naravni kamen (slika 11). Zračne razdalje med točkami A, B in C so znašale približno od 10 do 20 km: med točkama A in B 15,3 km, med B in C 17,6 km in med točkama C in A 13,1 km.

Statično izmero smo opravili 4. oktobra 2014. Meritve smo izvajali z nastavitvijo višinskega kota 15° in intervalom registracije opazovanj 10 s, dolžina trajanja opazovanj je bila približno 24 ur.



Slika 5: Prikaz položajev točk, kjer smo izvajali meritve, glede na položaj stalnih postaj GNSS omrežja SIGNAL



Slika 6: Makro lokacija točke A (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)



Slika 7: Makro lokacija točke B (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)



Slika 8: Makro lokacija točke C (približni položaj se nanaša na globalni koordinatni sistem)



Slika 9: Stabilizacija in mikrolokacija točke A



Slika 10: Stabilizacija in mikrolokacija točke B



Slika 11: Stabilizacija in mikrolokacija točke C

4.3 RTK-metoda izmere

Po obdelavi opazovanj statične izmere smo 18. oktobra 2014 opravili RTK-meritve. Točkam A, B in C smo položaje določili:

- trikrat neodvisno s trajanjem opazovanj po 3 minute in vmesnim presledkom 30 minut;
- trikrat neodvisno s trajanjem opazovanj 30 sekund in vmesnim presledkom 20 minut;
- trikrat neodvisno s trajanjem opazovanj 10 sekund in vmesnim presledkom 20 minut;
- trikrat neodvisno s trajanjem opazovanj 5 sekund in vmesnim presledkom 20 minut.

Za določanje položaja z RTK-metodo je bila vedno uporabljena navezava na virtualno referenčno stojišče. Pri prvi terenski izmeri 11. oktobra 2014 smo imeli težave, ki so se pojavile že na prvi točki izmere. Najprej smo dolgo čakali na inicializacijo. Ko smo uspeli izvesti prve tri serije meritev, smo ugotovili, da koordinate med seboj, zaradi nam neznanega razloga, preveč odstopajo, zato smo položaje točkam 18. oktobra 2014 ponovno določili s ponovno RTK-metodo izmere.

5 OBDELAVA OPAZOVANJ

Obdelava opazovanj GNSS je ključna faza pri izvedbi izmere GNSS. Nekatere metode opazovanj imajo lastnost, da se obdelava izvrši že tekom izmere. Ostale metode pa nujno potrebujejo naknadno obdelavo v ustreznem programskem okolju. Na rezultate izmere GNSS vpliva, izbor metode izmere, kot tudi izbor GPS-sprejemnika in antene, tip opravljenih opazovanj, programska oprema za obdelavo opazovanj, vpliv večpotja (angl. multipath), usklajenost satelitovih in sprejemnikovih ur, potovanje signala skozi različne plasti atmosfere ter grobi pogreški operaterja. Z naknadno obdelavo večino omenjenih vplivov odstranimo oziroma toliko zmanjšamo, da so rezultati naknadne obdelave določeni s stopnjo kakovosti, ki jo opredelimo že pred pričetkom izmere. Ključni del naknadne obdelave je določitev neznanke celih začetnih valov (fazna nedoločenost). Kakovost rezultatov obdelave bo največja v primeru, ko bo fazna nedoločenost uspešno in zanesljivo določena v okviru celih števil.

Podatke opazovanj GNSS-statične izmere smo obdelali s programskim orodjem Leica GeoOffice (LGO). Obdelavo smo izvedli, ko so bile na voljo končne precizne efemeride službe IGS (angl. International GNSS service). Kot vhodne podatke obdelave smo uporabili opazovanja novih točk (RINEX datoteke *.yyO), kalibracije anten, končne precizne efemeride službe IGS ter opazovanja danih točk. Opazovanja smo prenesli iz GNSS-sprejemnika, kalibracijske parametre anten smo pridobili na spletni strani NGS (National Geodetic Survey, 2015), končne precizne efemeride smo pridobili na spletni strani <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/>, opazovanja danih točk (stalnih postaj in virtualnih referenčnih postaj) smo pridobili na spletni strani omrežja SIGNAL. Rezultat obdelave opazovanj GNSS je bil bazni vektor in nadalje položaji novih točk.

6 ANALIZA REZULTATOV

V diplomski nalogi smo preizkusili več različnih postopkov obdelave statične metode izmere GNSS. V prvem sklopu obdelav smo za dane točke uporabili opazovanja stalnih postaj omrežja SIGNAL, v drugem sklopu obdelav pa smo za dane točke uporabili opazovanja virtualnih referenčnih stojišč, katerih položaje smo si poljubno izbrali v bližini posameznega delovišča. Nadmorske višine H so bile pridobljene na osnovi uporabe absolutnega modela geoida Slovenije (SLOG2000).

Ko smo v obdelavi pridobili bazne vektorje, smo novim točkam določili položaje na dva načina. V primeru, ko smo imeli obdelanih natanko toliko vektorjev, kot je bilo točk v mreži, smo dani točki prišteli bazni vektor in pridobili položaj nove točke. V primeru, ko smo imeli obdelanih več vektorjev, kot smo jih nujno potrebovali za enolično določitev položajev novih točk, smo mrežo, ki so jo sestavljali vektorji med danimi in novimi točkami, izravnali. Način izmere in nadaljnje obdelave, ko smo položaje novih točk določali relativno glede na isto izbrano dano točko in so bili vektorji določeni le med novo in dano točko, v nadaljevanju imenujemo radialna izmera.

Preglednica 1: Radialna metoda izmere z navezavo A, B in C na dano stalno postajo GNSS omrežja SIGNAL Trebnje. Pod pojmom radialna izmera opisujemo določitev koordinat brez izravnave GNSS-mreže. To pomeni, da je vsaka točka bila določena relativno glede na izbrano dano točko, v tem primeru na Trebnje.

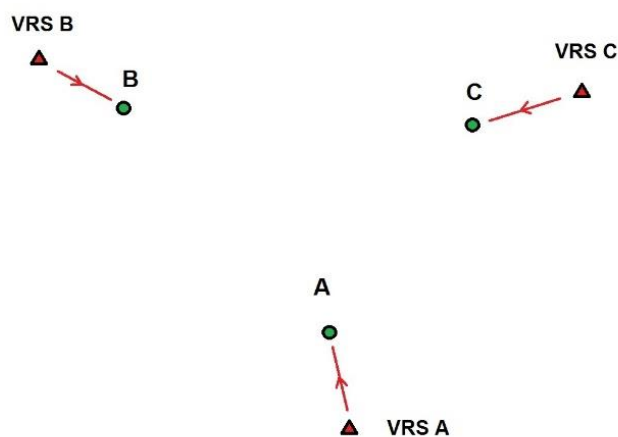
Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
A	45° 48' 03.62173" S	15° 11' 20.52066" V	237.249	73477.853	514694.094	191.123
B	45° 51' 48.81215" S	15° 00' 48.90432" V	353.453	80412.501	501054.781	307.205
C	45° 54' 57.08977" S	15° 13' 39.67735" V	256.362	86250.067	517662.423	210.187

6.1 Primerjava naknadnih obdelav z navezavo na stalne bazne postaje oziroma na virtualna referenčna stojišča

S primerjavami smo želeli preveriti, ali so rezultati naknadne obdelave statične izmere GNSS z navezavo na VRS po kakovosti določitve koordinat novih točk primerljivi z rezultati naknadne obdelave z navezavo na stalne bazne postaje. Preverili smo tudi uporabo VRS-ja na krajših dolžinah opazovanj, ter situacijo, ko je točka VRS določena na višji nadmorski višini. V preglednicah predstavljamo rezultate v dveh oblikah, in sicer z geografskimi koordinatami v koordinatnem sistemu ETRS89, za lažjo primerjavo pridobljenih rezultatov pa smo s programom SiTraNet pretvorili geografske koordinate v ravninske koordinate, v D96/TM koordinatni sistem.

6.1.1 Navezava na VRS

Pri tej metodi smo, s pomočjo obdelave, preračunali dolžine baznih vektorjev iz dane točke na novo točko, kjer je dano točko predstavljalo poljubno izbrano virtualno referenčno stojišče (VRS), novo pa ena izmed treh neznank (A, B, C), kjer smo izvajali opazovanja (slika 12). Za vsako novo točko smo uporabili drugo poljubno izbrano virtualno referenčno stojišče, oddaljeno nekaj metrov od nove točke. Pri tej metodi obdelave smo posamezno novo točko določili relativno na bazno stojišče (v tem primeru na VRS), ki je za vsako točko poljubno izbrano, torej tu nismo imeli nadštevilnih povezav (baznih vektorjev) med točkami, zato tu izravnava mreže ni bila možna. Čas trajanja opazovanih in danih točk je znašal 24 ur. Rezultate obdelave predstavljamo v preglednici 2.



Slika 12: Obdelava baznih vektorjev – radialna metoda z navezavo na VRS

Preglednica 2: Radialna metoda izmere – navezava na VRS

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
A	45° 48' 03.62150" S	15° 11' 20.52043" V	237.233	73477.846	514694.089	191.107
B	45° 51' 48.81197" S	15° 00' 48.90427" V	353.456	80412.496	501054.780	307.208
C	45° 54' 57.08963" S	15° 13' 39.67731" V	256.366	86250.063	517662.422	210.191

Preglednica 3: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja)

Točka	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
A	0.007	0.005	0.016
B	0.005	0.001	-0.003
C	0.004	0.001	-0.004

V preglednici 3 predstavljamo odstopanja položajev točk glede na položaje, ki smo jih pridobili z obdelavo, ko smo kot dano točko uporabili stalno postajo v Trebnjem. Iz preglednice je razvidno, da se odstopanja v položajnem smislu gibljejo okoli petih milimetrov, kar je tudi primerljivo z odstopanji med

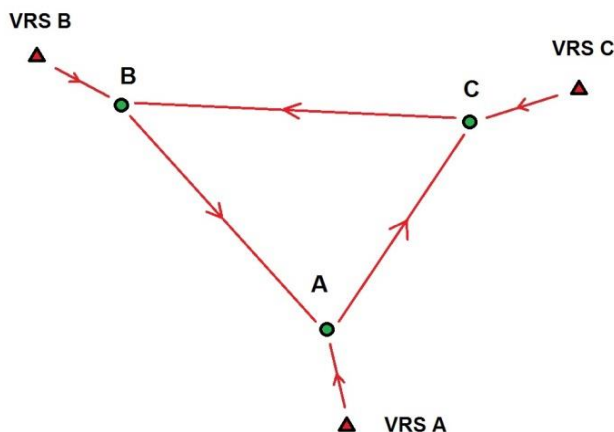
različnimi metodami naknadnih obdelav z navezavo na stalne postaje, kjer odstopanja ravno tako znašajo ± 5 mm. Odstopanja v višinski komponenti so, z izjemo točke A, manjša od petih milimetrov. Iz primerjave lahko povzamemo, da je naknadna obdelava z navezavo na virtualno referenčno stojišče primerljiva v položajnem smislu ter malo slabše v višinskem smislu. Posamezno točko smo določili le relativno na bazno stojišče (v tem primeru na VRS), ki je za vsako točko različno (slika 12). Torej pri tej obdelavi nismo imeli nadštevilnih povezav (baznih vektorjev) med točkami, zato tudi tu izravnava mreže GNSS ni bila možna.

6.1.2 Izravnava mreže točk z navezavo na VRS

V dani situaciji smo nove točke A, B in C z baznimi vektorji povezali v zaprto figuro ter vsako točko posebej navezali na svoje virtualno referenčno stojišče (slika 13). Točka A je povezana s točkama B in C ter z VRS A, točka B je povezana s točkama A in C ter z VRS B, točka C je povezana s točkama A in B ter z VRS C.

Tako smo zagotovili nadštevilnost vektorjev v mreži GNSS, kar je pogoj za izvedbo izravnave baznih vektorjev. Čas trajanja opazovanih in danih točk je znašal 24 ur.

Cilj obdelave je preveriti, ali so rezultati, pridobljeni z izravnavo, kjer je dana točka virtualno referenčno stojišče, primerljivi z rezultati, pridobljenimi z izravnavo, kjer je dana točka stalna bazna postaja.



Slika 13: Mreža

točk z navezavo na VRS

Preglednica 4: Izravnava mreže točk z navezavo na VRS

Točka	ϕ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
A	45° 48' 03.62154" S	15° 11' 20.52055" V	237.247	73477.847	514694.092	191.121
B	45° 51' 48.81197" S	15° 00' 48.90424" V	353.453	80412.496	501054.779	307.205
C	45° 54' 57.08960" S	15° 13' 39.67727" V	256.362	86250.062	517662.422	210.187

Preglednica 5: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja)

Točka	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
A	0.006	0.002	0.002
B	0.005	0.002	0.000
C	0.005	0.001	0.000

Iz preglednice 5 je razvidno, da so vrednosti odstopanj v koordinatah, pridobljenih na dva načina, tako v položajnem kot tudi višinskem smislu, manjša od šest milimetrov. Zato lahko sprejmemo prvo hipotezo, kjer smo predpostavili, da je za naknadno obdelavo statične metode izmere uporaba VRS-ja po končni dosegljivi točnosti določitve položaja enakovredna rešitvi, če v obdelavi opazovanj GNSS uporabimo opazovanja fizične stalne postaje GNSS.

6.1.3 Navezava na VRS, kjer je višina dane točke 700 m

VRS kot tak je vezan na celotno omrežje stalnih postaj GNSS. Omrežje SIGNAL je višinsko omejeno nekje do 500 m nadmorske višine, to je do najvišje nadmorske določene stalne postaje. V danem primeru smo želeli preveriti, kaj to pomeni v smislu točnosti določitve položaja, če je nadmorska višina izbrane točke VRS višja od nove točke. Za VRS smo izbrali točko z nadmorsko višino 700 m. Ovrednotenje obdelave opazovanj je pomembno v primeru ocene kakovosti določitve koordinat, če je delovišče vezano na višjo nadmorsko višino od višine omrežja stalnih postaj. Zato smo si izbrali virtualno referenčno stojišče na najvišji nadmorski višini, ki je vezano na topografijo obravnavanega območja (območje baznih postaj Črnomelj, Brežice in Trebnje) in obdelali opazovanja. Tako smo pripravili osnovo za testiranje druge hipoteze, kjer smo predpostavili, da bo višja višinska razlika med krajšiči baznega vektorja vplivala na kakovost določitve višinske komponente nove točke.

Preglednica 6: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (višina 700 m)

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
B	45° 51' 48.81199" S	15° 00' 48.90429" V	353.436	80412.496	501054.780	307.188

Preglednica 7: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja)

Točka	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
B	0.005	0.001	0.017

Iz preglednice 7 je razvidno, da višja višinska razlika med dano in novo točko ne vpliva na položajno kakovost določitve koordinat (odstopanje je znotraj petih milimetrov), vpliva pa na višinsko komponento, ki znaša pri tem primeru skoraj 2 cm. Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko rečemo, da izbrano stojišče VRS, ki je vezano na višjo nadmorsko višino, vpliva na določitev višinske komponente nove točke, pri čemer kakovost določitve položajnih koordinat ostaja primerljiva navezavi na VRS, kjer

je višinska razlika med dano in novo točko v okviru nekaj metrov. To pomeni, da lahko sprejmemo drugo hipotezo.

6.1.4 Navezava na VRS-ob krajših dolžinah opazovanj

Nadalje smo obdelavo naredili enako kot prej, vendar smo uporabili krajše časovne intervale opazovanj. Želeli smo preveriti, kako na določitev položaja vpliva krajši čas izvedbe opazovanj GNSS. Test smo opravili za točko B, z 10 in 20-minutnimi opazovanji, kar je enakovredno izvedbi hitre statične metode izmere GNSS. V preglednici 8 predstavljamo rezultate obdelave za dolžino opazovanj 10 minut, v preglednici 10 pa rezultate obdelave z dolžino 20-minutnih opazovanj.

Preglednica 8: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (10 minutna opazovanja dane točke)

Točka	ϕ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
B	45° 51' 48.81206" S	15° 00' 48.90408" V	353.455	80412.498	501054.776	307.207

Preglednica 9: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja)

Točka	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
B	0.003	0.005	-0.002

Preglednica 10: Radialna metoda izmere – navezava na VRS (20 minutna opazovanja dane točke)

Točka	ϕ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
B	45° 51' 48.81193" S	15° 00' 48.90432" V	353.456	80412.494	501054.781	307.208

Preglednica 11: Primerjava s statično metodo izmere GNSS z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje (odstopanja)

Točka	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
B	0.007	0.000	-0.003

V preglednicah 9 in 11 predstavljamo odstopanja rezultatov opisanih obdelav glede na rezultate, ki jih tekom naloge obravnavamo kot najboljše (referenčne).

Iz preglednice 9 in 11 je razvidno, da so odstopanja, tako v položajnem kot tudi višinskem smislu, manjša od enega centimetra. Torej lahko zaključimo, da so rezultati obdelave opazovanj GNSS kakovostni tudi, če obdelujemo krajše časovne intervale izvedbe opazovanj na novih točkah, kjer kot dano privzamemo točko virtualnega referenčnega stojišča VRS.

6.2 Primerjava statične in RTK-metode izmere

Na točkah A, B, C smo opravili neodvisne meritve z RTK-metodo izmere, po tri serije za vsako izmero. Opravili smo štiri izmere z dolžinami opazovanj: 3 minute, 30 sekund, 10 sekund in 5 sekund. Prekinitve pri posameznih serijah so trajale 30 minut pri 3 minutnem opazovanju ter 20 minut pri 30 sekundnem, 10 sekundnem in 5 sekundnem opazovanju. Vsako ponovno izmero smo naredili z novo izvedbo inicializacije. Predpostavljamo, da je pri tej metodi izmere potrebno daljše časovno opazovanje položaja posamezne točke, da bi se približali centimetrski točnosti določitve položaja.

S primerjavo smo želeli pokazati, da lahko z RTK-metodo izmere dosežemo boljšo točnost določitve položaja ob dolžini trajanja opazovanj vsaj 3 minute in intervali med posameznimi opazovanji vsaj 20 minut. Krajša kot je dolžina izvedbe opazovanj, slabša bo kakovost določitve položaja opazovane točke. V našem primeru smo na območju Novega mesta z uporabo VRS pri 10 in 5 sekundnem opazovanju dosegli odstopanje koordinat točk od referenčnih velikosti reda od dva do tri centimetre pri 3-minutnem opazovanju pa okoli enega centimetra. Na podlagi te ugotovitve lahko sprejmemo tudi tretjo hipotezo, kjer smo predpostavljali da daljša izvedba opazovanj vodi do bolj kakovostnih koordinat. Glede na to, da različni instrumenti, položaj določajo z različnimi algoritmi, ki so vključeni v posamezno programsko opremo, moramo še enkrat omeniti, da smo izmero izvajali z instrumentom Triumph Javad.

6.2.1 RTK-metoda izmere na točki A

Točki A smo večkrat neodvisno določili položaj z RTK-metodo izmere tako, da se je vsaka izmera navezovala na 3-minutno trajanje opazovanj na točki. Izmero smo opravili v treh serijah ob treh različnih inicializacijah, kjer je med posameznimi serijami preteklo 30 minut. Podobno je potekala druga izmera, vendar smo na točki opravili le 30 sekund opazovanj, pri tretji izmeri 10 sekund in pri četrti izmeri 5 sekund, pri drugi, tretji in četrti izmeri je med posameznimi serijami preteklo 20 minut. Rezultate RTK-meritev podajamo v preglednicah od 12 do 15.

Preglednica 12: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki A

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	73477,843	514694,098	191,109	0,010	-0,004	0,014
2. serija	73477,850	514694,105	191,118	0,003	-0,011	0,005
3. serija	73477,846	514694,103	191,113	0,007	-0,009	0,010

Preglednica 13: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	73477,857	514694,105	191,135	-0,004	-0,011	-0,012
2. serija	73477,862	514694,102	191,133	-0,009	-0,008	-0,010
3. serija	73477,867	514694,105	191,139	-0,014	-0,011	-0,016

Preglednica 14: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A

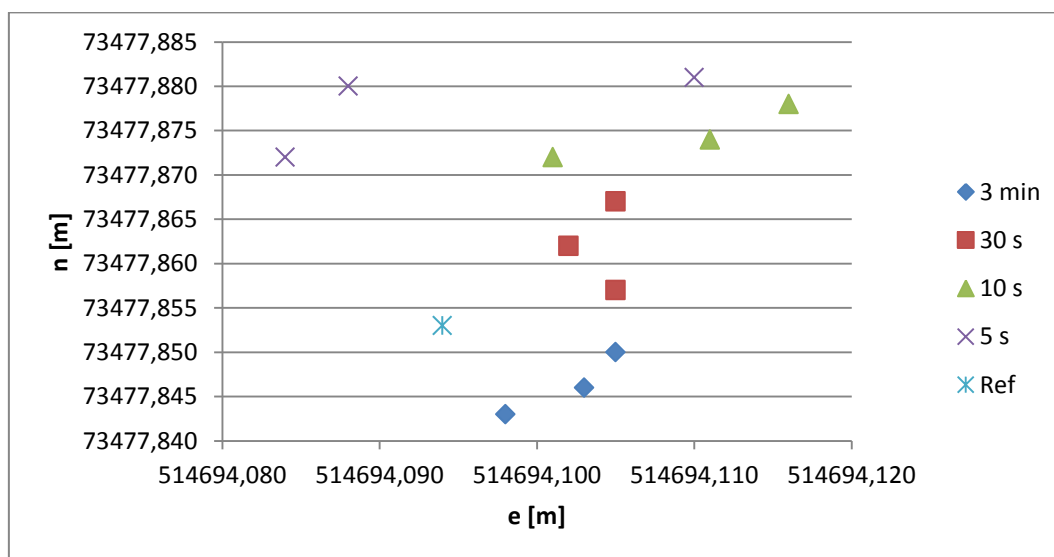
	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	73477,874	514694,111	191,133	-0,021	-0,017	-0,010
2. serija	73477,878	514694,116	191,148	-0,025	-0,022	-0,025
3. serija	73477,872	514694,101	191,133	-0,019	-0,007	-0,010

Preglednica 15: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki A

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	73477,881	514694,110	191,139	-0,028	-0,016	-0,016
2. serija	73477,872	514694,084	191,129	-0,019	0,010	-0,006
3. serija	73477,880	514694,088	191,141	-0,027	0,006	-0,018

Iz numeričnih vrednosti odstopanj koordinat od referenčnih (stolpci 5–7 v preglednicah 12–15) lahko vidimo, da so bila odstopanja RTK-koordinat od referenčnih zelo podobna, če smo izvajali opazovanja 3 minute ali 30 sekund, medtem ko so odstopanja precej večja in tudi različna, če smo opazovanja izvajali le 10 ali 5 sekund

Za lažjo primerjavo, položaje točk, ki smo jih pridobili z različnimi izvedbami RTK-metode izmere, predstavljamo na sliki 14. Kot referenčno točko (oznaka Ref na sliki 14) smo privzeli položaj točke A, ki smo ga pridobili z obdelavo 24-urnih opazovanj statične metode izmere in izravnave mreže GNSS, ki so jo sestavljale točke A, B, in C.



Slika 14: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki A

S slike 14 je razvidno, da se referenčnemu položaju Ref najbolj približajo položaji točk RTK-metode izmere, ko smo na točki izvajali opazovanja 3 minute (modra barva). Tudi raztros položajev je precej manjši kot pri krajših trajanjih opazovanj. Glede na to, da smo vsako ponovno meritev izvedli z novo inicializacijo, lahko rečemo, da daljša izvedba RTK-meritev vodi do bolj kakovostne določitve položajev točk.

6.2.2 RTK-metoda izmere na točki B

V danem primeru smo, podobno kot točki A, točki B večkrat neodvisno določili položaj z RTK-metodo izmere. Prva izmera se je navezovala na 3-minutno trajanje opazovanj in smo jo opravili v treh serijah ob treh različnih inicializacijah, kjer je med posameznimi serijami preteklo 30 minut. Podobno je potekala druga izmera, vendar smo na točki opravili le 30 sekund opazovanj, pri tretji izmeri 10 sekund in pri četrti izmeri 5 sekund, pri drugi, tretji in četrti izmeri je med posameznimi serijami preteklo 20 minut. Rezultate RTK-meritev podajamo v preglednicah od 16 do 19.

Iz numeričnih vrednosti odstopanj koordinat od referenčnih (stolpci 5–7 v preglednicah 16–19) lahko vidimo, da so bila odstopanja RTK-koordinat od referenčnih zelo podobna, če smo izvajali opazovanja 3 minute ali 30 sekund, medtem ko so odstopanja precej večja in tudi različna, če smo opazovanja izvajali le 10 ali 5 sekund.

Preglednica 16: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki B

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	80412,504	501054,789	307,196	-0,003	-0,008	0,009
2. serija	80412,495	501054,788	307,192	0,006	-0,007	0,013
3. serija	80412,499	501054,790	307,194	0,002	-0,009	0,011

Preglednica 17: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	80412,507	501054,792	307,213	-0,006	-0,011	-0,008
2. serija	80412,509	501054,772	307,222	-0,008	0,009	-0,017
3. serija	80412,504	501054,795	307,199	-0,003	-0,014	0,006

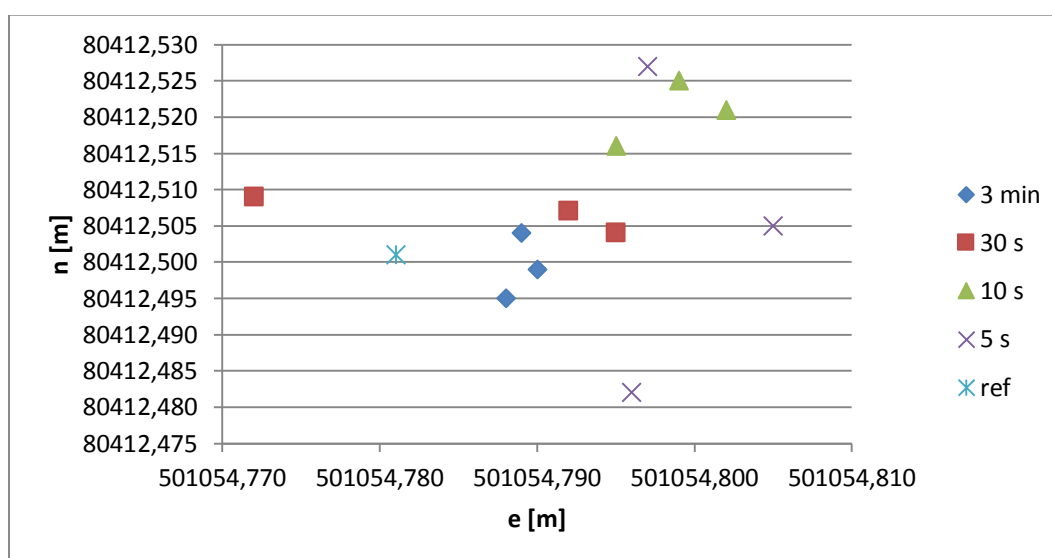
Preglednica 18: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	80412,525	501054,799	307,224	-0,024	-0,018	-0,019
2. serija	80412,516	501054,795	307,227	-0,015	-0,014	-0,022
3. serija	80412,521	501054,802	307,226	-0,020	-0,021	-0,021

Preglednica 19: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki B

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	80412,527	501054,797	307,229	-0,026	-0,016	-0,024
2. serija	80412,482	501054,796	307,221	0,019	-0,015	-0,016
3. serija	80412,505	501054,805	307,195	-0,004	-0,024	0,010

Za lažjo primerjavo položaje točk, ki smo jih pridobili z različnimi izvedbami RTK-metode izmere, predstavljamo na sliki 15. Kot referenčno točko (oznaka Ref na sliki 15) smo privzeli položaj točke B, ki smo ga pridobili z obdelavo 24-urnih opazovanj statične metode izmere in izravnave mreže GNSS, ki so jo sestavljale točke A, B in C.



Slika 15: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki B

Tudi s slike 15 takoj vidimo, da se referenčnemu položaju Ref najbolj približajo položaji točk RTK-metode izmere, ko smo na točki izvajali opazovanja 3 minute (modra barva). Tudi raztros položajev je precej manjši kot pri krajših trajanjih opazovanj. Glede na to, da smo vsako ponovno meritev izvedli z novo inicializacijo, lahko rečemo, da daljša izvedba RTK-meritev vodi do bolj kakovostne določitve položajev točk.

6.2.3 RTK-metoda izmere na točki C

V danem primeru smo, podobno kot za točki A in B, tudi točki C večkrat neodvisno določili položaj z RTK-metodo izmere. Prva izmera se je navezovala na 3-minutno trajanje opazovanj, opravili smo jo v treh serijah ob treh različnih inicializacijah, kjer je med posameznimi serijami preteklo 30 minut. Podobno je potekala druga izmera, vendar smo na točki opravili le 30 sekund opazovanj, pri tretji izmeri

10 sekund in pri četrti izmeri 5 sekund, pri drugi, tretji in četrti izmeri je med posameznimi serijami preteklo 20 minut. Rezultate RTK-meritev podajamo v preglednicah od 20 do 23.

Iz numeričnih vrednosti odstopanj koordinat od referenčnih (stolpci 5–7 v preglednicah 20–23) lahko vidimo, da so bila odstopanja RTK-koordinat od referenčnih zelo podobna, če smo izvajali opazovanja 3 minute ali 30 sekund, medtem ko so odstopanja precej večja in tudi različna, če smo opazovanja izvajali le 10 ali 5 sekund.

Preglednica 20: Prva izmera RTK (3 serije po 3 minutna opazovanja) in odstopanja na točki C

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	86250,062	517662,430	210,195	0,005	-0,007	-0,008
2. serija	86250,065	517662,433	210,192	0,002	-0,010	-0,005
3. serija	86250,078	517662,429	210,199	-0,011	-0,006	-0,012

Preglednica 21: Druga izmera RTK (3 serije po 30 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C

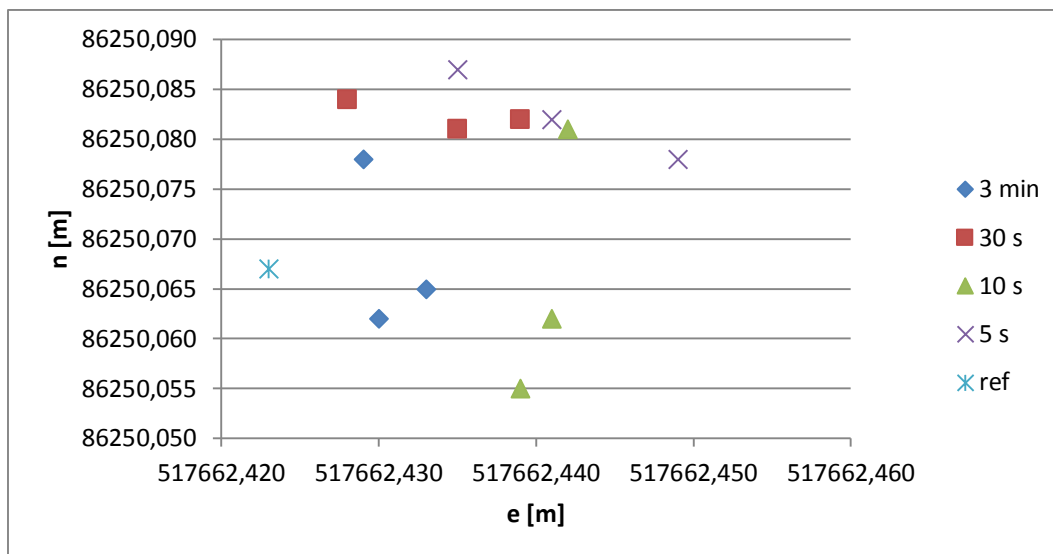
	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	86250,081	517662,435	210,172	-0,014	-0,012	0,015
2. serija	86250,082	517662,439	210,181	-0,015	-0,016	0,006
3. serija	86250,084	517662,428	210,173	-0,017	-0,005	0,014

Preglednica 22: Tretja izmera RTK (3 serije po 10 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	86250,081	517662,442	210,190	-0,014	-0,019	-0,003
2. serija	86250,055	517662,439	210,203	0,012	-0,016	-0,016
3. serija	86250,062	517662,441	210,170	0,005	-0,018	0,017

Preglednica 23: Četrta izmera RTK (3 serije po 5 sekundna opazovanja) in odstopanja na točki C

	n [m]	e [m]	H [m]	Δn [m]	Δe [m]	ΔH [m]
1. serija	86250,082	517662,441	210,210	-0,015	-0,018	-0,023
2. serija	86250,087	517662,435	210,180	-0,020	-0,012	0,007
3. serija	86250,078	517662,449	210,212	-0,011	-0,026	-0,025



Slika 16: Položaji, pridobljeni z različnimi trajanji opazovanj pri RTK metodi izmere na točki C

S slike 16 vidimo, da se referenčnemu položaju Ref najbolj približajo položaji točk RTK-metode izmere, ko smo na točki izvajali opazovanja 3 minute (modra barva), manj pa položaji iz krajših RTK-meritev. Tudi raztros položajev je precej manjši kot pri krajših RTK-meritvah. Glede na to, da smo vsako ponovno meritev izvedli z novo inicializacijo, lahko rečemo, da daljša izvedba RTK-meritev vodi do bolj kakovostne določitve položajev točk.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo opravili več različnih naknadnih obdelav z navezavo na VRS in stalne bazne postaje. Za referenčne podatke smo vzeli izravnano GNSS-mrežo vseh treh točk z navezavo na stalno bazno postajo Trebnje. Na podlagi rezultatov, ki smo jih primerjali med seboj, smo želeli testirati tri hipoteze, ki smo si jih zastavili na začetku diplomske naloge.

S prvo hipotezo smo želeli preveriti, ali je v obdelavi statične metode izmere uporaba virtualnega referenčnega stojišča kot dane točke po končni dosegljivi točnosti določitve položaja enakovredna rešitvi, če v obdelavi opazovanj uporabimo GNSS opazovanja fizične stalne postaje omrežja SIGNAL. Odstopanja (primerjava iz preglednice 5) v položaju in višinski komponenti znašajo okoli pet milimetrov, zato lahko rečemo, da hipoteza drži. Pri drugi hipotezi smo testirali primer uporabe VRS-ja, ko imamo v obdelavi precejšnje višinske razlike med krajiščema baznega vektorja. Predpostavljali smo, da bo višinska komponenta določena slabše. Na podlagi primerjave, podane v preglednici 7, smo ugotovili, da izbrano stojišče VRS, ki je vezano na višjo nadmorsko višino, res vpliva na kakovost višinske komponente nove točke; odstopanja so bila okoli dveh centimetrov. Na položajno točnost, večja višinska razlika med dano in novo točko ne vpliva (odstopanja so bila manjša od petih milimetrov). Na podlagi opisanih rezultatov smo sprejeli tudi drugo hipotezo. Tretja hipoteza se je nanašala na izvedbo RTK-metode izmere, kjer smo želeli preveriti predpostavko, da z nekaj-sekundnimi opazovanji na novi točki, ne dosežemo kakovosti določitve položaja v okviru enega centimetra. Iz stolpcev 5–7 v preglednicah 14, 15, 18, 19, 22, 23 lahko vidimo, da odstopanja 10-sekundnih in 5-sekundnih meritev znašajo od 2 do 3 centimetre. Da pridemo do kakovosti določenih koordinat reda velikosti enega centimetra, pri RTK-metodi izmere, potrebujemo dolžine opazovanj vsaj tri minute ali več. Še enkrat velja poudariti, da smo RTK-meritve izvajali z instrumentom Triumph Javad. Obstaja možnost, da bi z instrumenti, ki imajo vgrajeno drugačno programsko opremo (slabše algoritme določitve faze nedoločenosti) dobili slabše rezultate. Na podlagi opisanih ugotovitev lahko sprejmemo tudi tretjo hipotezo.

Velja tudi omeniti, da je vzorec treh neodvisnih meritev pri analizi konkretne RTK-izmere premajhen, da bi lahko opravili statistične teste na osnovi malih vzorcev, kot je to npr. opredeljeno v standardu ISO17123-8 (Prešeren Pavlovčič in sod., 2010). Vzorec zaporednih meritev, to je neodvisnih določitvev položajev točk, ločenih z intervalom 20 ali 30 minut, bi morali precej povečati, vendar v našem primeru to ni bil glavni namen, zato tega nismo naredili. Nakazali pa smo, da je smiselno izvesti daljša trajanja opazovanj tudi pri RTK-meritvah. Priporočena dolžina RTK-meritev na točki je po naših ocenah 30 sekund, bolje več. Za kaj več bi bilo potrebno pridobiti večji vzorec RTK-meritev, ki bi ga lahko nadalje ovrednotili z različnimi statističnimi testi malih vzorcev.

VIRI

Kogoj, D., Stopar, B. 2009. Geodetska izmera: str. 19, 20.

http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf

(Pridobljeno 5. 2. 2015.)

Korošec, M. 2014. Primerjava GNSS-izmere vodostaja in simulacije vodostaja na podlagi DMR na delu Cerknškega jezera. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Korošec): 48 f.

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. 2008. Pretvorba koordinat: aplikacija SiTraNet. Ljubljana, UL FGG.

National Geodetic Survey. 2015.

<http://www.ngs.noaa.gov/> (Pridobljeno 15. 1. 2015.)

Omrežje SIGNAL. 2015. Geodetska uprava Republike Slovenije.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 15. 1. 2015.)

Prešeren Pavlovčič, P., Mencin, A., Stopar, B. 2010. Analiza preizkusa instrumentarija GNSS-RTK po navodilih standarda ISO 17123-8. Geodetski vestnik 54, 4: 2-5.