

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:

Škrabar, A., 2015. Ocena kakovosti določitve položaja z različnimi trajanji opazovanj pri RTK-metodi izmere GNSS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Kuhar, M.): 24 str.

Datum arhiviranja: 29-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Škrabar, A., 2015. Ocena kakovosti določitve položaja z različnimi trajanji opazovanj pri RTK-metodi izmere GNSS. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Kuhar, M.): 24 pp.

Archiving Date: 29-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

ALJAŽ ŠKRABAR

**OCENA KAKOVOSTI DOLOČITVE POLOŽAJA Z
RAZLIČNIMI TRAJANJI OPAZOVANJ PRI RTK-
METODI IZMERE GNSS**

Diplomska naloga št.: 84/GIG

**DETERMINATION OF POSITION QUALITY BY RTK-
GNSS METHOD USING DIFFERENT OCCUPATION
DURATIONS**

Graduation thesis No.: 84/GIG

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 03. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ALJAŽ ŠKRABAR** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»OCENA KAKOVOSTI DOLOČITVE POLOŽAJA Z RAZLIČNIMI TRAJANJI
OPAZOVANJ PRI RTK-METODI IZMERE GNSS«.**

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 24. 8. 2015

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.7:528.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Aljaž Škrabar
Mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	doc. dr. Miran Kuhar
Naslov:	Ocena kakovosti določitve položaja z različnimi trajanji opazovanj pri RTK-metodi izmere GNSS
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	24 str., 38 pregl., 6 sl., 7 graf.
Ključne besede:	Koordinatni sistem ETRS89, RTK-metoda izmere, statična metoda izmere, SIGNAL, VRS, instrument Leica 900,

IZVLEČEK

V nalogi smo preverili kakovost določitve položajev točk v koordinatnem sistemu ETRS89 z različnimi dolžinami trajanja opazovanj pri RTK-metodi izmere GNSS. Dolžine so se nanašale na interval od 5 sekund pa vse do 5 minut po kakovostno izvedeni inicializaciji. Postopek ugotavljanja razlik je potekal podobno, kot poteka preizkus RTK-instrumentov po standardu ISO17123-8. Na delovišču v bližini Trbovelj smo vzpostavili mrežo treh točk, katerih položaje smo najprej določili s statično izmero GNSS z naknadno obdelavo opazovanj. Podatke opazovanj GNSS statične metode izmere smo obdelali na več načinov z navezavo na različne stalne postaje državnega omrežja SIGNAL: Trebnje, Celje, Ljubljano ter z navezavo na virtualno referenčno stojišče VRS. Pri tem smo ugotavljali, kolikšen je najkrajši časovni interval izvedbe opazovanj za kakovostno določitev položaja s statično metodo izmere. Nadalje smo položaje istih točk določili z RTK-metodo izmere ob uporabi instrumenta Leica 900. Položaje smo določili večkrat z neodvisnimi inicializacijami in z različnimi dolžinami trajanja opazovanj po inicializaciji. Ugotovili smo, da v primeru uporabe instrumenta Leica 900 pri RTK-določitvi položaja ni bistvenih razlik, če izvajamo nadaljnje meritve na detajlnih točkah krajši ali daljši čas po izvedeni inicializaciji.

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRAKT

UDC:	528.7:528.2(497.4)(043.2)
Author:	Aljaž Škrabar
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-advisor:	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph. D.
Title:	Determination of position quality by RTK-GNSS method using different occupation durations
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	24 p., 38 tab., 6 fig., 7 graph.
Key words:	Coordinate system ETRS89, RTK point positioning, GNSS, static point positioning, SIGNAL, VRS, instrument Leica 900

ABSTRACT:

In this graduation thesis we have checked the quality of RTK-point positioning in the coordinate system ETRS89 with various occupation durations. The occupation durations were related to the interval from 5 seconds and up to 5 minutes after the successful initialization. The process of identifying differences has been performed similar to the methodology of RTK-instrument testing according to the standard ISO17123-8. First we have established a three-point network at the area of Trbovlje and further performed static GNSS measurements. By several different post-processing strategies we have acquired coordinates that were used as the reference for further studies. We have used observations from three permanent stations of the national continuously operating reference station network SIGNAL, i.e. Trebnje, Celje, Ljubljana and finally also VRS station to acquire final coordinates from post-processing. Meanwhile we have tried to find out the minimal occupation duration for quality baseline determination from fast-static measurements. Positions of the three points were determined using Leica 900 instrument for RTK-method performance. Positions were determined by several independent initializations and by different occupation durations. We have found that in the case of the instrument Leica 900 there are no significant differences between positions of detail points, acquired from different occupation durations after the initialization.

ZAHVALE

Najprej bi se rad zahvalil mentorici doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren za pomoč, saj mi brez njenih nasvetov ter njenega vodstva ne bi uspelo napisati diplomskega dela.

Iskrena hvala podjetju GeoTim s .p., ki so mi omogočili izposojlo njihovega instrumenta.

Posebna zahvala pa gre mojim staršem, bratu ter puncu za podporo skozi celoten študij.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	III
IZJAVA O AVTORSTVU	IV
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRAKT.....	VI
ZAHVALE.....	VII
KAZALO VSEBINE.....	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO GRAFIKONOV	X
KAZALO PREGLEDNIC.....	XI
OKRAJŠAVE UPORABLJENIH KRATIC	XIII
1 UVOD	1
1.1 Delovne hipoteze	1
1.2 Struktura naloge.....	2
2 LASTNOSTI UPORABLJENEGA INSTRUMENTARIJA GNSS.....	3
3 GNSS METODE DOLOČITVE POLOŽAJEV V OMREŽJU POSTAJ GNSS	4
3.1 RTK metoda izmere.....	4
3.2 Vplivi na opazovanja GNSS.....	5
4 IZVEDBA STATIČNE IZMERE GNSS	7
4.1 Delovišče	7
4.2 Obdelava podatkov opazovanj in rezultati	9
5 IZVEDBA RTK-METODE IZMERE	13
6 PRIMERJAVA REZULTATOV RTK-METODE IZMERE Z RAZLIČNIMI TRAJANJI OPAZOVANJ	17
6.1 Statistični testi.....	22
6 ZAKLJUČEK.....	25
VIRI.....	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Leica 900 GNSS (M&P SURVEY ,2015)	3
Slika 2: Statična metoda izmere (predavanja iz predmeta GNSS v geodeziji, 2015)	4
Slika 3: RTK metoda GNSS izmere (geoforum, 2015)	5
Slika 4: Dobovec – državni ortofoto DOF50 V D96/TM.....	7
Slika 5: Stabilizacija točke T1	7
Slika 6: Volkova Loka – državni ortofoto DOF50 V D96/TM.....	7
Slika 7: Stabilizacija točke T2	8
Slika 8: Čeče– državni ortofoto DOF50 V D96/TM	8
Slika 9: Stabilizacija točke T3	8

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz določitve položajev točk pri 5-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.....	17
Grafikon 2: Prikaz določitve položajev točk pri 10-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.....	18
Grafikon 3: Prikaz določitve položajev točk pri 30-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.....	18
Grafikon 4: Prikaz določitve položajev točk pri 1-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.....	19
Grafikon 5: Prikaz določitve položajev točk pri 2-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.....	19
Grafikon 6: Prikaz določitve položajev točk pri 3-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.....	20
Grafikon 7: Prikaz določitve položajev točk pri 5-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.....	20

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o sistemu GNSS instrumenta Leica 900	3
Preglednica 2: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Celje.....	9
Preglednica 3: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Ljubljana	9
Preglednica 4: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Trebnje.....	9
Preglednica 5: Rezultati izravnave pri navezavi na VRS	9
Preglednica 6: Primerjave položajev točke T1	10
Preglednica 7 : Primerjave položajev točke T2	10
Preglednica 8: Primerjave položajev točke T3	10
Preglednica 9: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje.....	11
Preglednica 10: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana.....	11
Preglednica 11: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na stalno postajo Trebnje	11
Preglednica 12: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na VRS.....	11
Preglednica 13: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje.....	11
Preglednica 14: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana	11
Preglednica 15: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Trebnje.	11
Preglednica 16: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na VRS	11
Preglednica 17: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje	12
Preglednica 18: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana.....	12
Preglednica 19: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Trebnje	12
Preglednica 20: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na VRS	12
Preglednica 21: Rezultati 1. serije meritev z RTK-metodo izmere.....	14
Preglednica 22: Rezultati 2. serije meritev z RTK-metodo izmere.....	15
Preglednica 23: Rezultati 3 serije meritev z RTK-metodo izmere	16
Preglednica 24: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 5-sekundnem opazovanju na točki T1.....	21
Preglednica 25: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 10-sekundnem opazovanju na točki T1	21
Preglednica 26: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 30-sekundnem opazovanju na točki T1	21
Preglednica 27: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 1-minutnem opazovanju na točki T1.....	21
Preglednica 28: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 2-minutnem opazovanju na točki T1.....	21

Preglednica 29: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 3-minutnem opazovanju na točki T1	21
Preglednica 30: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 5-minutnem opazovanju na točki T1	22
Preglednica 31: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 5-sekundni določitvi položaja na točki T1	22
Preglednica 32: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 10-sekundni določitvi položaja na točki T1	22
Preglednica 33: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 30-sekundni določitvi položaja na točki T1	22
Preglednica 34: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 1-minutni določitvi položaja na točki T1	22
Preglednica 35: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 2-minutni določitvi položaja na točki T1	23
Preglednica 36: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 3-minutni določitvi položaja na točki T1	23
Preglednica 37: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 5-minutni določitvi položaja na točki T1	23
Preglednica 38: Rezultati statističnih testov med posameznimi dolžinami opazovanj.....	23

OKRAJŠAVE UPORABLJENIH KRATIC

GLONASS	rus. Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	ang. Global Navigation Satellite System
GPS	ang. Global Positioning System
IGS	ang. International GNSS Service
LGO	ang. Leica Geo Office
PDOP	ang. Position Dilution of Precision
RTCM	ang. Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	ang. Real Time Kinematic
SIGNAL	SlovenIja Geodezija NAVigacija Lokacija
VRS	ang. Virtual Reference Station

1 UVOD

V geodeziji lahko določamo koordinate točk na več načinov in sicer s klasičnimi terestičnimi tehnikami ter z metodami izmere GNSS (ang. Global Navigation Satellite System). Glede na zahtevano točnost določitve položaja in lastnosti okolice izvedbe geodetskih opazovanj sami presodimo, s katerim načinom lahko najbolj kakovostno določimo položaj točk. V diplomski smo večji poudarek dali metodam satelitsko podprte geodetske izmere. Od vseh možnih satelitskih metod izmere smo se osredotočili predvsem na kinematično izmero v realnem času RTK (ang. Real Time Kinematic) in na statično metodo izmere GNSS.

Tekom naloge smo si zastavili vprašanja v povezavi s kakovostno izvedbo metod izmere z GNSS. Prvo se je nanašalo na kakovost določitve položaja s statično izmero na območju, ki je precej oddaljeno od stalnih postaj državnega omrežja SIGNAL. Praktično izmero smo izvajali v Trbovljah, ki so od stalnih postaj oddaljene okoli 20 kilometrov. Pri kinematičnih metodah izmere, kjer priporočajo krajšo razdaljo med referenčnim stojiščem (baza) in premikajočo enoto (rover), smo zato lahko kakovostno določili položaje le z uporabo virtualnega stojišča VRS.

Zaradi hitre določitve položajev točk v globalnem in novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM je predvsem s prehodom vodenja položajev zemljiško-katastrskih točk v koordinatnem sistemu D96/TM RTK-metoda izmere bistveno pridobila na pomenu. V ta namen so v letu 2007 na Geodetski upravi Republike Slovenije predstavili dokument *Tehnično navodilo za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru*, kjer so za kakovostno izvedbo opazovanj opredelili izvedbo opazovanj z:

- intervalom registracije signala 1 s,
- izvedbo vsaj 10 meritev po uspešno opravljeni inicializaciji,
- najmanjšim višinskim kotom satelitov 10° in
- faktorjem PDOP (ang. Position Dilution od Precision), ki je manjši od 6.

V različnih dokumentih, ki se nanašajo na izvedbo RTK-metode izmere, vključujoč standard ISO17123-8 (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010), dolžini trajanja opazovanj ne posvečajo posebne pozornosti, čeprav v zadnjem času ugotavljajo, da daljša izvedba opazovanj RTK-metode vodi do bolj kakovostnih rezultatov (Janssen, 2009).

1.1 Delovne hipoteze

Tekom izdelave naloge smo postavili naslednje delovne hipoteze:

1 hipoteza:

Dolžina trajanja opazovanj pri GNSS vpliva na kakovost določitve položajev v globalnem koordinatnem sistemu (v našem primeru ETRS89) in to bolj v tistih smereh, v katerih je razporeditev satelitov GNSS najšibkejša in sicer v smeri proti severu (koordinata n v koordinatnem sistemu D96/TM) in po višini (h) (Bilban, 2014);

2 hipoteza:

Na kakovost določitve položajev z RTK-metodo izmere ima vpliv tudi dolžina trajanja izvedbe opazovanja na posamezni točki.

V diplomski nalogi smo statično metodo izmere GNSS uporabili za določitev referenčne osnove, glede na katero smo preverjali kakovost določitve položajev točk z RTK-metodo izmere. Pri RTK-metodi izmere smo uporabili instrument Leica 900, ki je starejšega tipa izvedbe, saj izhaja iz leta 2004.

Ne glede na to, katero vrsto instrumentov uporabljamo, velja poudariti, da instrumenti GNSS omogočajo bolj kakovostno izvedbo opazovanj, če:

- jih lastniki redno nadgrajujejo, kar pomeni, da uporabljajo najbolj ažurno različico programske obdelave opazovanj;
- nam instrument omogoča obdelavo opazovanj različnih sistemov GNSS, tako GPS kot tudi GLONASS, kar je pravzaprav vezano na prejšnjo alinejo (redna nadgradnja).

Vedeti je potrebno, da so pri GNSS algoritmi obdelave opazovanj, ki izhajajo predvsem iz naslova upoštevanja vplivov na opazovanja – zelo aktualna tematika je trenutno ionosfera, saj je Sonce v fazi povečanega delovanja (Sterle in sod. 2013), podvrženi nenehnemu izboljševanju in nadgrajevanju. To pomeni, da instrumenti, ki jih redno nadgrajujemo, v danem momentu omogočajo res kakovostno izvedbo izmere.

Razlike v delovanju posameznih instrumentov lahko ugotovimo na osnovi poizkusov, ki jih naredimo:

- z enim instrumentom, kjer uporabimo različne parametre določitve položajev točk;
- z več instrumenti in nadaljnjo primerjavo položajev točk.

1.2 Struktura naloge

Uvodu sledijo poglavja, kjer opisujemo teoretična izhodišča dane naloge. V drugem poglavju kratko opišemo lastnosti uporabljenega instrumentarija GNSS, v tretjem metode izmere GNSS za določitev položaja, katerim sledi opis vplivov na opazovanja. V četrtem poglavju opišemo izvedbo ter obdelavo statične izmere GNSS, v petem pa izvedbo RTK-metode izmere za končno določitev položaja. Sledi primerjava položajev točk, ki smo jih pridobili na različne načine (poglavje 6), ter zaključek (7. poglavje).

2 LASTNOSTI UPORABLJENEGA INSTRUMENTARIJA GNSS

Pri opravljanju meritev smo uporabili instrument Leica 900 GNSS (slika 1). Leica je model 900 izdala na tržišče v letu 2004, kar pomeni, da so najstarejši instrumenti stari 11 let, kar je v modernem času konstantnega napredka kar precejšnja doba. Zato je pomembno, da dograjujemo programsko opremo na instrumentu (ang. firmware), saj nam v drugačnem primeru instrument zastara in je zato praktično neuporaben za kakršne koli meritve. Podrobne podatke o instrumentu podajamo v preglednici 1.

Preglednica 1: Podatki o sistemu GNSS instrumenta Leica 900

Tip instrumenta	RX900CSC
GPS L2C	Da
GLONASS	Pripravljen
EF interface	V 2.02
Firmware	V 8.50
Build user iface	2817
Build processb.	3018
Meas Engine	V 6.110
ENG Boot	V 4.002
LB2/OWI	V 6.00
Navigation	V 6.40
API	V 8.00
RTCM	V 3.01

Instrument, s katerim smo opravili meritve, je bil zadnje posodobljen leta 2014. To pomeni, da je redno servisiran in da vključuje skoraj najnovjšo programsko opremo obdelave opazovanj v realnem času. Pri instrumentih je zelo pomemben podatek tudi parameter načina izmere (ang. Measuring Engine), ki določa, s katerimi signali z oddanih satelitov bo določen končni položaj. Pomemben podatek je tudi različica standarda za prenos podatkov v realnem času RTCM SC 104, saj nam pove, po katerem protokolu se podatki omrežja stalnih postaj prenesejo v sprejemnik.

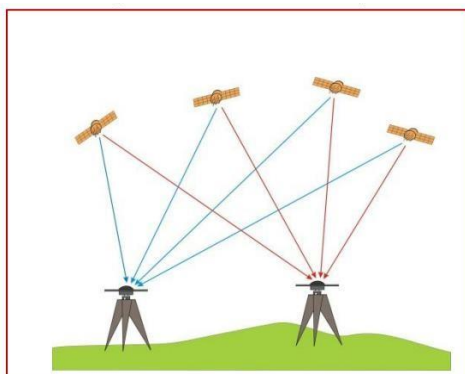


Slika 1: Leica 900 GNSS (M&P SURVEY 2015

<http://www.mpsurvey.co.uk/themes/zest-php/resources/images/support/GPS%20900%20Series%20450x350.jpg>)

3 GNSS METODE DOLOČITVE POLOŽAJEV V OMREŽJU POSTAJ GNSS

Za vzpostavitev referenčne osnove s položaji točk v koordinatnem sistemu ETRS89 smo uporabili statično metodo GNSS izmere (slika 2). Razlog za to je bila predvsem določitev položajev referenčnih točk visoke točnosti. Koordinate referenčnih točk iz statične izmere smo uporabili za nadaljnjo primerjavo s položaji, določenimi z manj točno RTK-metodo izmere. Statična metoda izmere nam omogoča najbolj kakovostno določitev položajev točk, vendar velja poudariti, da je kakovost odvisna od več dejavnikov. Končni položaj točk je odvisen od razpoložljivega števila satelitov in dolžine trajanja opazovanj, zato smo v našem primeru zagotovili, da je bila skupna dolžina opazovanj na točkah vsaj 2 uri. Zahteva po daljšem trajanju opazovanj in dejstvo, da položaj točk pridobimo šele z naknadno obdelavo opazovanj, sta pomanjkljivosti statične metode izmere GNSS.



Slika 2: Statična metoda izmere (predavanja iz predmeta GNSS v geodeziji, 2015)

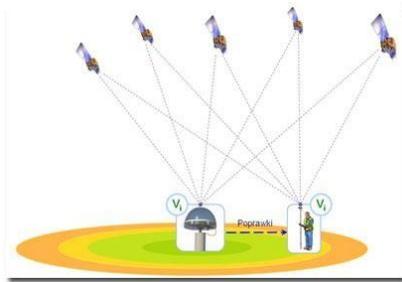
3.1 RTK metoda izmere

RTK (ang. Real Time Kinematic) metoda izmere je v osnovi kinematična metoda izmere, saj se eden izmed sprejemnikov na krajiščih baznega vektorja premika (slika 3). Metoda vsebuje tudi elemente statične izmere, saj se na točki, kateri želimo določiti položaj, za nekaj trenutkov ustavimo, nato se premaknemo do naslednje točke. Takemu načinu izvedbe meritev rečemo tudi *Stop-and-Go* (Kogoj, Stopar, 2009).

V Sloveniji vlogo statičnega sprejemnika (levi sprejemnik na sliki 3) opravljajo stalne postaje GNSS državnega omrežja SIGNAL, pri tem pa je pretok opazovanj od stalne postaje do premičnega sprejemnika vzpostavljen preko komunikacijske povezave z uporabo radijskih signalov ali mobilnega omrežja. Glavna težava obdelave opazovanj GNSS pri RTK-metodi izmere je modeliranje vplivov na opazovanja premikajočega se sprejemnika, saj se z oddaljenostjo od stalne postaje natančnost modeliranja slabša. Kljub omrežju postaj GNSS so lahko razdalje med postajo in sprejemnikom še vedno velike, podobno kot v našem primeru, ko je bila najbližja postaja oddaljena 20 kilometrov. V takih primerih nam omrežje nudi storitev izvedbe RTK-metode izmere z uporabo virtualnih postaj (VRS), ki jih vzpostavi omrežje, v naravi pa ne obstajajo. Glede na razširjenost RTK-metode v praksi je poznavanje teh vplivov še toliko bolj pomembno, saj se nam lahko zgodi, da pridobimo slabe položaje opazovališč ravno zaradi slabše izvedbe opazovanj in pomanjkljivega modeliranja vplivov na opazovanja.

Velik vpliv na zanesljivost in točnost določitve položaja pri RTK- metodi izmere ima inicializacija. Inicializacija je proces izračuna neznanega števila celih valov (ali fazne nedoločenosti) na začetku izvajanja opazovanj (Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004). Postopek vpliva samo na RTK-opazovanja, saj pridobimo koordinate v realnem času in lahko kakršen koli nezaželen vpliv povzroči

velike težave v nadaljnjih meritvah. Velik vpliv ima lahko odboj signalov od objektov, imenovano večpotje (ang. multipath).



Slika 3: RTK metoda GNSS izmere (geoforum, 2015, http://geoforum.pl/upload/images/DGPS_1.jpg)

3.2 Vplivi na opazovanja GNSS

Na zanesljivost ter kakovost položajev točk, pridobljenih z RTK-metodo izmere GNSS, vpliva precej dejavnikov. Vplivi na opazovanja GNSS se pri meritvah s statično metodo ali odstranijo ali pa je vpliv teh zmanjšan. To je mogoče zato, ker pri statični metodi izmere izvajamo daljša opazovanja in posledično tekom naknadne obdelave lahko uporabljamo najbolj kakovostne algoritme obdelave opazovanj GNSS. Ena največjih težav izvedbe RTK-metode meritev je mobilnost sprejemnika. Ker moramo sprejemnik na terenu prenašati s točke na točko, sta antena ter dlančnik pritrjena na togo grezilo, katerega libela ima lahko različne natančnosti. V dani nalogi smo se zato vplivu netočnosti postavitve instrumenta na točko (centriranje) zaradi slabše kakovosti grezila izognili tako, da smo premikajoči instrument vedno postavljali na stativ s pomočjo optičnega grezila, anteno pa smo nato privili v trinožni podstavek s pomočjo posebnega nastavka.

Efemeride

Natančnost določitve koordinat satelitov vpliva na določevanje položaja sprejemnika, saj položaj sprejemnika določamo glede na razdaljo med satelitom in sprejemnikom. Pri meritvah z RTK-metodo izmere je vpliv veliko večji, saj se za izračun koordinat sprejemnika uporabijo oddane efemeride (ang. broadcast ephemerides), katerih natančnost se s časom slabša. Pri statični metodi lahko uporabimo bolj kakovostne precizne efemeride, ki nam jih preko spleta posredujejo različne mednarodne službe GNSS, kot je služba IGS (ang. International GNSS Service).

Troposfera

Troposfera je plast zraka, ki predstavlja 3/4 celotne mase. Pri GNSS plast troposfere povzroči, da je pot razširjanja signala daljša od geometrične poti. Satelitski signal je zaradi svoje valovne dolžine zelo občutljiv na vpliv vodne pare. Ker tega vpliva ne moremo odstraniti, ga lahko modeliramo z različnimi modeli.

Ionosfera

Je plast Zemljine atmosfere, ki se zaradi ultra-vijolične svetlobe in drugih kratkovalovnih žarkov ionizira. Ravno ta plast je vplivala na izbor valovne dolžine signala satelita. Ionosfera je disperziven medij razširjanja elektromagnetnega valovanja, kar pomeni, da nekatere valovne dolžine prehajajo skozi to plast, drugi pa se enostavno odbijejo. Vpliv ionosfere na opazovanja GNSS lahko v večji meri odstranimo, če uporabimo večfrekvenčna opazovanja in jih modeliramo v linearne kombinacije opazovanj. V GPS je najbolj znana linearna kombinacija L3, ki jo imenujemo ionosfersko neodvisna linearna kombinacija.

Večpotje

Večpotje (ang. multipath) je pojav odboja signala od objektov v bližini sprejemnika in je pri RTK-metodi izmere eden največjih dejavnikov, ki vpliva na kakovost določitve položaja. Problem odboja signala od objektov izhaja iz dejstva, da zaradi podaljšanja poti razširjanja signala lahko pride do napačne določitve števila celih valov oziroma fazne nedoločenosti, kar pomeni, da instrument ne izvede pravilno inicializacije. Nepravilno izvedena inicializacija vpliva na končno določitev položajev objektov v prostoru. Na večpotje vpliva več dejavnikov in sicer: višinski kot in azimut satelita, lastnost antene, geografski položaj opazovališča, vrste opazovanj GNSS (kodna in fazna) ter način obdelave opazovanj.

Zaradi vpliva večpotja smo meritve z metodo RTK opravili po modificiranem preizkusu po standardu ISO 17123-8, saj standard že vključuje dejstvo, da je vpliv večpotja periodičen in se navezuje na časovno periodo 20 min (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

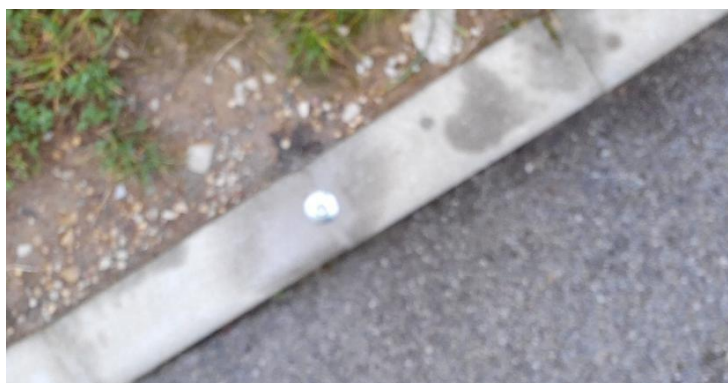
4 IZVEDBA STATIČNE IZMERE GNSS

4.1 Delovišče

Delovišče smo vzpostavili v okolici Trbovelj, točke so bile stabilizirane blizu stanovanjskih hiš (slike 4, 6, 8). Dolžino trajanj opazovanj statične izmere smo omejili na 2 uri skupnega opazovanja na vseh točkah. Kot je vidno s slik (slike 5, 7, 9) sta bili točki T2 in T3 stabilizirani s plastično poligonsko točko s sidrom, točka T1 pa je bila stabilizirana z jeklenim klinom.



Slika 4: Dobovec ($\varphi = 46^{\circ} 06' 39,3''$ S, $\lambda = 15^{\circ} 03' 34,8''$ V) – državni ortofoto DOF50 V D96/TM



Slika 5: Stabilizacija točke T1



Slika 6: Volkova Loka ($\varphi = 46^{\circ} 10' 03,7''$ S, $\lambda = 15^{\circ} 02' 21,3''$ V) – državni ortofoto DOF50 V D96/TM



Slika 7: Stabilizacija točke T2



Slika 8: Čeče ($\varphi = 46^{\circ}10'28,8''$ S, $\lambda = 15^{\circ}04'41,7''$ V) – državni ortofoto DOF50 V D96/TM



Slika 9: Stabilizacija točke T3

4.2 Obdelava podatkov opazovanj in rezultati

Podatke opazovanj statične metode izmere smo obdelali v programskem orodju Leica Geo Office (LGO) na štiri načine. Naprej smo pridobili opazovanja statične izmere v formatu RINEX. Potrebno je bilo pridobiti še precizne efemeride službe IGS, parametre anten sprejemnika ter stalnih postaj omrežja SIGNAL. Pri tem smo poleg podatkov stalnih postaj Trebnje, Celje ter Ljubljana pridobili še podatke za virtualno točko VRS ($\varphi=46^{\circ}08'52,70000$ S, $\lambda=15^{\circ}25'33,30000$ V).

Obdelavo smo naredili z določitvijo linearno neodvisnih vektorjev v seriji opazovanj. Naslednji korak je bila izravnava mreže GNSS, ki so jo sestavljali linearno neodvisni vektorji, pridobljeni v serijah opazovanj. V preglednici 2 prikazujemo pridobljene položaj točk, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Celju, v preglednici 3, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Ljubljani, v preglednici 4, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Trebnjem in v preglednici 5, ko smo uporabili za dano točko v omrežju vzpostavljeno virtualno točko VRS. Če primerjamo položaje točk, ki smo jih pridobili z različnimi načini obdelave opazovanj statične metode izmere, vidimo v preglednicah 6–8, da položaji precej odstopajo v primeru, ko smo za izhodišče vzeli navezavo na stalno postajo Trebnje. Razlog za to mogoče izhaja tudi iz manjšega števila skupnih satelitov na krajših baznega vektorja kot v ostalih primerih.

Preglednica 2: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Celje

Točka	φ	λ	h [m]	e [m]	n [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25813" S	15° 03' 34,83933" V	741,436	504.613,117	107.904,178	694,840
T2	46° 10' 03,65759" S	15° 02' 21,35090" V	523,568	503.032,026	114.213,627	476,899
T3	46° 10' 28,75648" S	15° 04' 41,68249" V	597,885	506.041,423	114.990,737	551,218

Preglednica 3: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Ljubljana

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25865" S	15° 03' 34,83951" V	741,475	504.613,121	107.904,194	694,879
T2	46° 10' 03,65808" S	15° 02' 21,35108" V	523,606	503.032,030	114.213,642	476,937
T3	46° 10' 28,75696" S	15° 04' 41,68265" V	597,920	506.041,427	114.990,752	551,253

Preglednica 4: Rezultati izravnave pri navezavi na stalno postajo Trebnje

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25948" S	15° 03' 34,83368" V	741,559	504.612,996	107.904,219	694,963
T2	46° 10' 03,65867" S	15° 02' 21,34865" V	523,632	503.032,192	114.213,661	476,963
T3	46° 10' 28,75765" S	15° 04' 41,67285" V	598,084	506.041,216	114.990,773	551,417

Preglednica 5: Rezultati izravnave pri navezavi na VRS

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25821" S	15° 03' 34,83907" V	741,458	504.613,111	107.904,180	694,862
T2	46° 10' 03,65766" S	15° 02' 21,35065" V	523,588	503.032,020	114.213,629	476,919
T3	46° 10' 28,75654" S	15° 04' 41,68223" V	597,906	506.041,418	114.990,739	551,239

Preglednica 6: Primerjave položajev točke T1

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
Celje - Ljubljana	-0,016	-0,004	-0,039
Celje - Trebnje	-0,042	0,121	-0,123
Celje - VRS	-0,002	0,006	-0,022
Ljubljana - Trebnje	-0,026	0,125	-0,084
Ljubljana - VRS	0,014	0,009	0,017
Trebnje - VRS	0,039	-0,116	0,101

Preglednica 7 : Primerjave položajev točke T2

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
Celje - Ljubljana	-0,015	-0,004	-0,038
Celje - Trebnje	-0,033	-0,166	-0,064
Celje - VRS	-0,002	0,005	-0,020
Ljubljana - Trebnje	-0,018	-0,162	-0,026
Ljubljana - VRS	0,013	0,009	0,018
Trebnje - VRS	0,031	0,172	0,044

Preglednica 8: Primerjave položajev točke T3

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
Celje - Ljubljana	-0,015	-0,003	-0,035
Celje - Trebnje	-0,036	0,207	-0,199
Celje - VRS	-0,002	0,006	-0,021
Ljubljana - Trebnje	-0,021	0,210	-0,164
Ljubljana - VRS	0,013	0,009	0,014
Trebnje - VRS	0,034	-0,201	0,178

V nadaljnjih izračunih smo kot referenčne koordinate privzeli koordinate točke T1, katere smo pridobili z navezavo opazovanj na VRS.

Po končanem prvem delu obdelave statične metode opazovanj smo obdelali še opazovanja GNSS za primer, ko imamo na voljo zelo kratka opazovanja. S programom TEQC smo skrajšali 2-urna opazovanja na 5 minutne dele in jih obdelovali postopoma. Sledila je ponovna obdelava teh opazovanj v programskem orodju LGO po prej opisanem postopku.

S tem smo želeli določiti minimalni čas, potreben za določitev položajev točk, pri čemer smo postavili zahtevo, da je fazna nedoločenost izračunana v območju celih števil. V preglednicah 9–12 predstavljamo dolžine trajanja opazovanj, ko smo uspeli kakovostno določiti bazni vektor med točkami. Tudi tu smo ugotovili, da je dolžina trajanja opazovanj, potrebna pri obdelavi z navezavo na stalno postajo Trebnje, bistveno daljši (80 minut) kot drugje. In tudi tu je bil razlog manjše skupno število na krajših baznega vektorja kot v ostalih primerih.

Preglednica 9: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje

Točka	čas opazovanj [min]
T1	20
T2	5
T3	5

Preglednica 10: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana

Točka	čas opazovanj [min]
T1	5
T2	10
T3	5

Preglednica 11: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na permanentno postajo Trebnje

Točka	čas opazovanj [min]
T1	80
T2	80
T3	80

Preglednica 12: Minimalni čas opazovanj pri navezavi na VRS

Točka	čas opazovanj [min]
T1	5
T2	5
T3	5

Preglednica 13: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje

Točka	φ	λ	h [m]	e [m]	n [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25832"S	15° 03' 34,83907"V	741,414	107.904,183	504.613,111	694,818
T2	46° 10' 03,65743"S	15° 02' 21,35028"V	523,561	114.213,622	503.032,012	476,892
T3	46° 10' 28,75636"S	15° 04' 41,68175"V	597,888	114.990,733	506.041,407	551,251

Preglednica 14: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25649"S	15° 03' 34,83834"V	741,322	107.904,127	504.613,096	694,726
T2	46° 10' 03,65564"S	15° 02' 21,34967"V	523,484	114.213,567	503.031,999	476,815
T3	46° 10' 28,75461"S	15° 04' 41,68118"V	597,813	114.990,679	506.041,395	551,176

Preglednica 15: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na stalno postajo Trebnje

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,26082"S	15° 03' 34,84232"V	741,457	107.904,261	504.613,181	694,861
T2	46° 10' 03,66032"S	15° 02' 21,35414"V	523,592	114.213,711	503.032,095	476,923
T3	46° 10' 28,75924"S	15° 04' 41,68569"V	597,912	114.990,822	506.041,492	551,275

Preglednica 16: Rezultati minimalnih časov opazovanj pri navezavi na VRS

Točka	φ	λ	h [m]	n [m]	e [m]	H [m]
T1	46° 06' 39,25837"S	15° 03' 34,83860"V	741,412	107.904,185	504.613,101	694,817
T2	46° 10' 03,65751"S	15° 02' 21,34993"V	523,574	114.213,625	503.032,005	476,905
T3	46° 10' 28,75648"S	15° 04' 41,68144"V	597,903	114.990,737	506.041,401	551,266

Preglednica 17: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Celje

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
T1	0,023	0,005	0,006
T2	0,007	0,005	0,014
T3	0,002	0,004	0,016

Preglednica 18: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Ljubljana

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
T1	0,152	0,067	0,025
T2	0,122	0,075	0,030
T3	0,111	0,073	0,032

Preglednica 19: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na stalno postajo Trebnje

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
T1	0,001	0,081	0,070
T2	0,004	0,082	0,075
T3	0,006	0,083	0,074

Preglednica 20: Primerjave položajev minimalnih in celotnih opazovanj pri navezavi na VRS

	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]
T1	0,147	0,034	0,105
T2	0,058	0,036	0,187
T3	0,181	0,036	0,185

V preglednicah 13–16 prikazujemo rezultate izravnave mrež GNSS, ko smo položaje točkam določali na osnovi minimalnih časov opazovanj. V preglednici 13 prikazujemo pridobljene položaje točk, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Celju. V preglednici 14, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Ljubljani, v preglednici 15, ko smo za izhodišče uporabili stalno postajo v Trebnjem in v preglednici 16, ko smo uporabili za dano točko v omrežju vzpostavljeno virtualno točko VRS. Primerjavo smo izvedli v preglednicah 17–20, pri čemer smo za referenčne podatke uporabili koordinate, ki smo jih pridobili z izravnavo celotnih opazovanj. Razvidna so zelo naključna odstopanja in ta so pri nekaterih točkah večja od 1 decimetra. Zaključimo lahko, da pri minimalnih časih opazovanj ne pridobimo najboljših položajev točk.

5 IZVEDBA RTK-METODE IZMERE

Meritve z RTK-metodo izmere GNSS smo opravili v obdobju treh dni in sicer od 17. do 19. aprila 2015. Vse meritve smo opravili v omrežju SIGNAL. Ker je bilo delovišče od vseh stalnih postaj oddaljeno več kot 5 kilometrov, smo uporabili izmero RTK ob uporabi navidezne postaje VRS. Nastavitve instrumenta so bile v skladu z *Tehničnim navodilom za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru*, ki smo jih podrobno opisali v uvodu. Glede na to, da je glavno vprašanje diplomske naloge, ali dolžina trajanja opazovanj pri RTK vpliva na točnost določitve položaja, smo meritve opravljali v 7 časovnih intervalih: 5 s, 10 s, 30 s, 1 min, 2 min, 3 min in 5 min. Omenili smo že, da so glavni vplivi na kakovost določitve položaja z RTK-metodo izmere predvsem uporabljene efemeride, troposfera, ionosfera, večpotje ter natančnost centriranja. Zadnjemu pogrešku smo se izognili s postavitvijo antene na stativ ter z uporabo optičnega grezila. Pojav večpotja smo želeli odstraniti tako, da smo ponovno neodvisno določitev položaja naredili z novo inicializacijo po preteku vsaj 20 minut, kot priporočajo tudi pri izvedbi meritev za preizkus RTK-instrumentov GNSS po standardu ISO 17123-8. Težava se pojavi tudi zaradi nepredvidljivosti vremena – vpliv troposferske refrakcije lahko v veliki meri odstranimo z obdelavo opazovanj na osnovi dvojnih faznih razlik, če predpostavimo, da so na krajišjih baznega vektorja enaki vremenski pogoji. V primeru večje oddaljenosti med deloviščem in stalno postajo so vremenski pogoji lahko precej različni, kar pomeni, da vpliv meteoroloških dejavnikov tekom obdelave opazovanj GNSS ne moremo v celoti odstraniti.

Meritve na terenu smo naredili po nekoliko preoblikovanem načinu izmere za preizkus instrumentov po standardu ISO 17123-8. Predvsem velja poudariti, da so bile točke, kjer smo izvedli meritve, oddaljene precej več kot 20 m, kot predpisuje standard. Z različnimi načini izvedbe opazovanj smo pridobili osnovo za primerjavo položajev točk, ki smo jih določili z različnimi trajanji opazovanj po uspešni inicializaciji. Meritve smo izvajali v treh dneh in pri tem smo bili pozorni, da je bil med ponovnimi neodvisnimi določitvami položajev točk vsaj 1,5 ure razlike. To pomeni, da smo meritve izvedli v različnih časovnih obdobjih z različno razporeditvijo satelitov na obzorju.

Terensko delo smo opravili tako, da:

- smo meritve opravili v 3 serijah, ki so bile ločene s časovnim intervalom vsaj 1,5 ure. Serije smo razdelili v 5 zaporednih sklopov določitve položajev, kjer smo uporabili interval med zaporednimi sklopi 5 minut. En sklop meritev (določitve položajev) smo razdelili na 7 meritev, vsaka meritev se je nanašala na različne dolžine trajanja opazovanj na točki ;
- med sklopi meritev je bilo potrebno počakati vsaj 5 minut. Med vsako ponovno določitvijo položaja je bilo ključnega pomena izguba in ponovna inicializacija;
- po končanih meritvah je sledila obdelava podatkov. Tu smo koordinate, pridobljene s statično metodo izmere, primerjali s koordinatami, pridobljenimi z RTK-metodo izmere.

Na točki T1 smo po zgoraj napisanem postopku pridobili koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu, ki jih predstavljamo v preglednicah 21–23. Vsaka meritev je predstavljena z zaporedjem treh števil, pri tem prva številka predstavlja serijo, druga predstavlja sklop znotraj serije, zadnja številka v nizu pa predstavlja dolžino trajanja opazovanja v sekundah.

Preglednica 21: Rezultati 1. serije meritev z RTK-metodo izmere

Točka_niz_dolžina	e [m]	n[m]	h[m]
1_1_5s	504.613,12	107.904,18	694,82
1_1_10s	504.613,12	107.904,18	694,83
1_1_30s	504.613,12	107.904,18	694,82
1_1_60s	504.613,12	107.904,19	694,83
1_1_120s	504.613,12	107.904,19	694,83
1_1_180s	504.613,12	107.904,20	694,83
1_1_300s	504.613,12	107.904,19	694,82
1_2_5s	504.613,13	107.904,19	694,81
1_2_10s	504.613,12	107.904,19	694,81
1_2_30s	504.613,12	107.904,19	694,81
1_2_60s	504.613,13	107.904,19	694,81
1_2_120s	504.613,12	107.904,19	694,82
1_2_180s	504.613,12	107.904,19	694,84
1_2_300s	504.613,12	107.904,20	694,81
1_3_5s	504.613,12	107.904,21	694,81
1_3_10s	504.613,13	107.904,21	694,81
1_3_30s	504.613,13	107.904,20	694,83
1_3_60s	504.613,13	107.904,20	694,83
1_3_120s	504.613,13	107.904,21	694,83
1_3_180s	504.613,12	107.904,22	694,84
1_3_300s	504.613,13	107.904,21	694,84
1_4_5s	504.613,12	107.904,19	694,84
1_4_10s	504.613,12	107.904,19	694,83
1_4_30s	504.613,13	107.904,19	694,83
1_4_60s	504.613,12	107.904,20	694,84
1_4_120s	504.613,12	107.904,19	694,83
1_4_180s	504.613,12	107.904,19	694,83
1_4_300s	504.613,12	107.904,20	694,84
1_5_5s	504.613,12	107.904,20	694,86
1_5_10s	504.613,12	107.904,20	694,87
1_5_30s	504.613,12	107.904,21	694,87
1_5_60s	504.613,12	107.904,20	694,86
1_5_120s	504.613,12	107.904,21	694,86
1_5_180s	504.613,12	107.904,21	694,86
1_5_300s	504.613,12	107.904,21	694,85

Preglednica 22: Rezultati 2. serije meritev z RTK-metodo izmere

Točka_niz_dolžina	e [m]	n [m]	h [m]
2_1_5s	504.613,12	107.904,18	694,81
2_1_10s	504.613,11	107.904,18	694,82
2_1_30s	504.613,11	107.904,18	694,82
2_1_60s	504.613,12	107.904,19	694,81
2_1_120s	504.613,11	107.904,12	694,82
2_1_180s	504.613,11	107.904,19	694,84
2_1_300s	504.613,11	107.904,19	694,85
2_2_5s	504.613,12	107.904,20	694,83
2_2_10s	504.613,12	107.904,20	694,84
2_2_30s	504.613,12	107.904,20	694,83
2_2_60s	504.613,12	107.904,19	694,83
2_2_120s	504.613,12	107.904,20	694,82
2_2_180s	504.613,11	107.904,20	694,83
2_2_300s	504.613,12	107.904,20	694,84
2_3_5s	504.613,11	107.904,20	694,84
2_3_10s	504.613,11	107.904,20	694,84
2_3_30s	504.613,11	107.904,20	694,82
2_3_60s	504.613,11	107.904,20	694,82
2_3_120s	504.613,11	107.904,19	694,83
2_3_180s	504.613,12	107.904,20	694,83
2_3_300s	504.613,11	107.904,20	694,83
2_4_5s	504.613,12	107.904,20	694,85
2_4_10s	504.613,11	107.904,20	694,85
2_4_30s	504.613,11	107.904,20	694,85
2_4_60s	504.613,12	107904,19	694,85
2_4_120s	504.613,12	107.904,20	694,84
2_4_180s	504.613,1	107.904,20	694,83
2_4_300s	504.613,11	107.904,20	694,82
2_5_5s	504.613,12	107.904,20	694,82
2_5_10s	504.613,12	107.904,20	694,82
2_5_30s	504.613,12	107904,20	694,82
2_5_60s	504.613,12	107.904,20	694,82
2_5_120s	504.613,12	107.904,19	694,83
2_5_180s	504.613,1	107.904,19	694,83
2_5_300s	504.613,1	107.904,19	694,82

Preglednica 23: Rezultati 3 serije meritev z RTK-metodo izmere

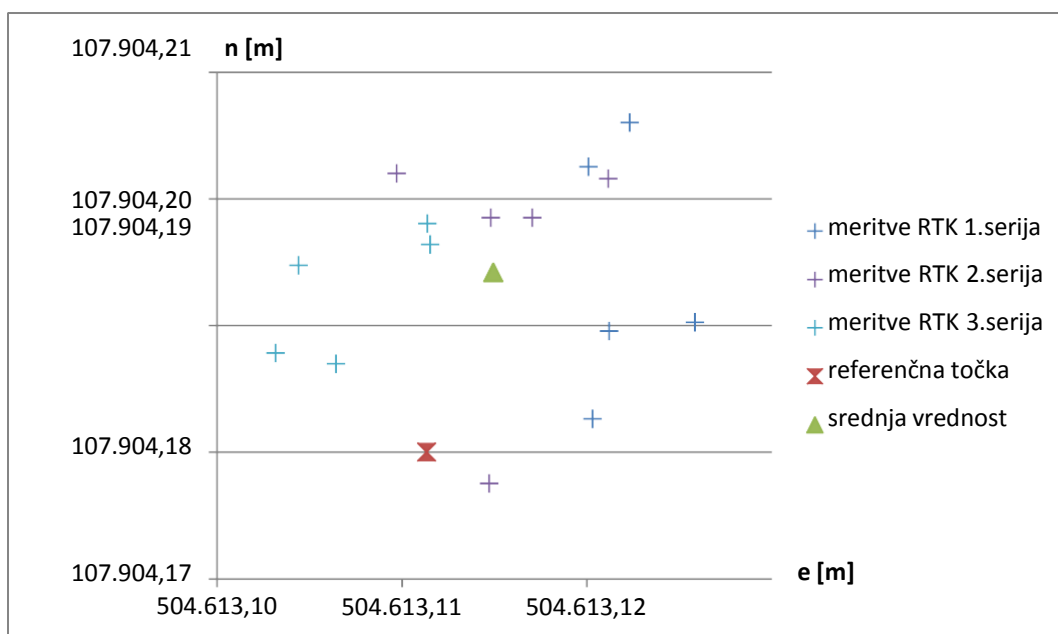
Točka_niz_dolžina	e [m]	n [m]	h [m]
3_1_5s	504.613,11	107.904,20	694,80
3_1_10s	504.613,11	107.904,19	694,81
3_1_30s	504.613,12	107.904,19	694,81
3_1_60s	504.613,11	107.904,20	694,82
3_1_120s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_1_180s	504.613,10	107.904,19	694,85
3_1_300s	504.613,11	107.904,18	694,85
3_2_5s	504.613,10	107.904,19	694,84
3_2_10s	504.613,10	107.904,19	694,84
3_2_30s	504.613,10	107.904,19	694,84
3_2_60s	504.613,10	107.904,19	694,83
3_2_120s	504.613,11	107.904,18	694,84
3_2_180s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_2_300s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_3_5s	504.613,11	107.904,19	694,83
3_3_10s	504.613,11	107.904,19	694,83
3_3_30s	504.613,11	107.904,19	694,83
3_3_60s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_3_120s	504.613,11	107.904,19	694,83
3_3_180s	504.613,11	107.904,19	694,83
3_3_300s	504.613,11	107.904,20	694,84
3_4_5s	504.613,10	107.904,20	694,85
3_4_10s	504.613,11	107.904,20	694,85
3_4_30s	504.613,10	107.904,20	694,86
3_4_60s	504.613,10	107.904,20	694,86
3_4_120s	504.613,11	107.904,20	694,87
3_4_180s	504.613,11	107.904,19	694,86
3_4_300s	504.613,11	107.904,20	694,86
3_5_5s	504.613,11	107.904,20	694,85
3_5_10s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_5_30s	504.613,11	107.904,19	694,84
3_5_60s	504.613,11	107.904,20	694,85
3_5_120s	504.613,11	107.904,19	694,85
3_5_180s	504.613,10	107.904,19	694,85
3_5_300s	504.613,10	107.904,20	694,84

6 PRIMERJAVA REZULTATOV RTK-METODE IZMERE Z RAZLIČNIMI TRAJANJI OPAZOVANJ

Statistično primerjavo rezultatov različnih trajanj opazovanj po uspešni inicializaciji pri RTK-metodi smo naredili po postopku, opisanem v standardu ISO 17123-8. Postopek smo uporabili nekoliko drugače, saj je bil cilj naloge določiti optimalno dolžino trajanja opazovanj pri RTK-metodi izmere in ne preizkus delovanja instrumenta.

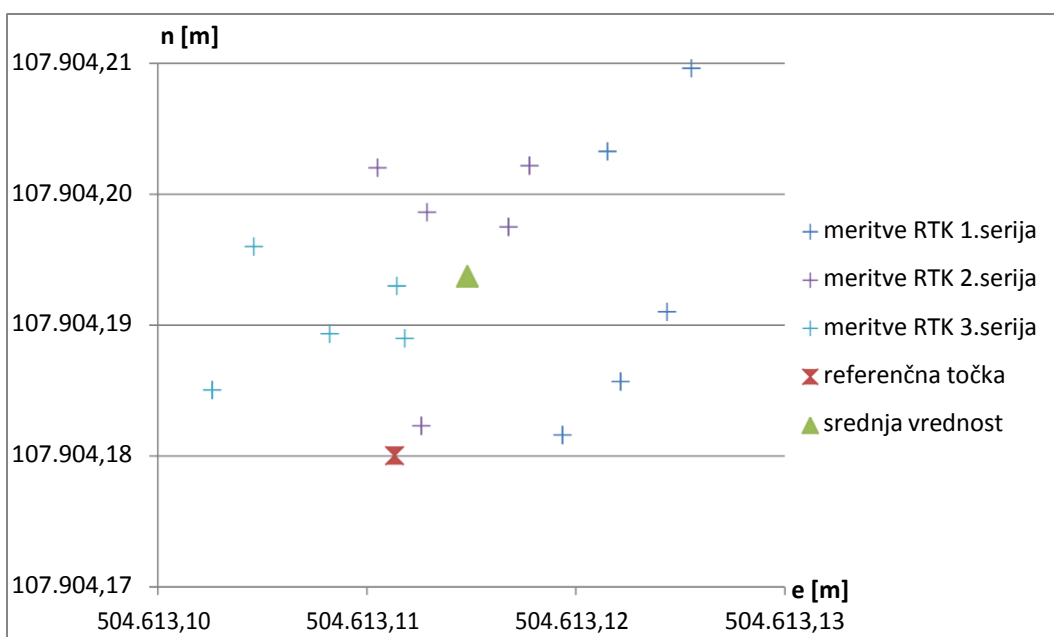
Postopek izračuna statističnih vrednosti smo preuredili tako, da smo namesto uporabljenih srednjih vrednostih za izračun standardnih odklonov uporabili koordinate točk T1, pridobljene s statično izmero, pri navezavi na VRS (preglednica 5). Izračunali smo odstopanja posamezne določitve položaja z RTK od položajev, pridobljenih s statično metodo izmere. Sledila je določitev prostostnih stopenj ter določitve standardnih odklonov za vsako komponento položaja v koordinatnem sistemu D96/TM posebej (e, n, h). Po pridobljenih standardnih odklonih smo izračunali empirični standardni odklon za horizontalni položaj ter višino, nato je sledilo preizkušnje hipotez, ali standardna odklona dveh vzorcev horizontalnega položaja, ki se nanašata na različno trajanje opazovanj, in se nanašata na meritve na isti točki in sta bila določena iz dveh celotnih preizkusov meritev, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata vzorca enako število prostostnih stopenj.

Preverili smo tudi, ali se standardna odklona, ki se nanašata na isto višino, in sta bila določena iz dveh celotnih preizkusov, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata vzorca enako število prostostnih stopenj (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010). Po preverjanju hipotez smo izračunali še srednje, največje in najmanjše vrednosti za vsak vzorec posebej ter jih nadalje primerjali. Na grafikonih 1–7 predstavljamo položaje točk, srednjo vrednost ter referenčni položaj, pridobljen s statično metodo izmere.



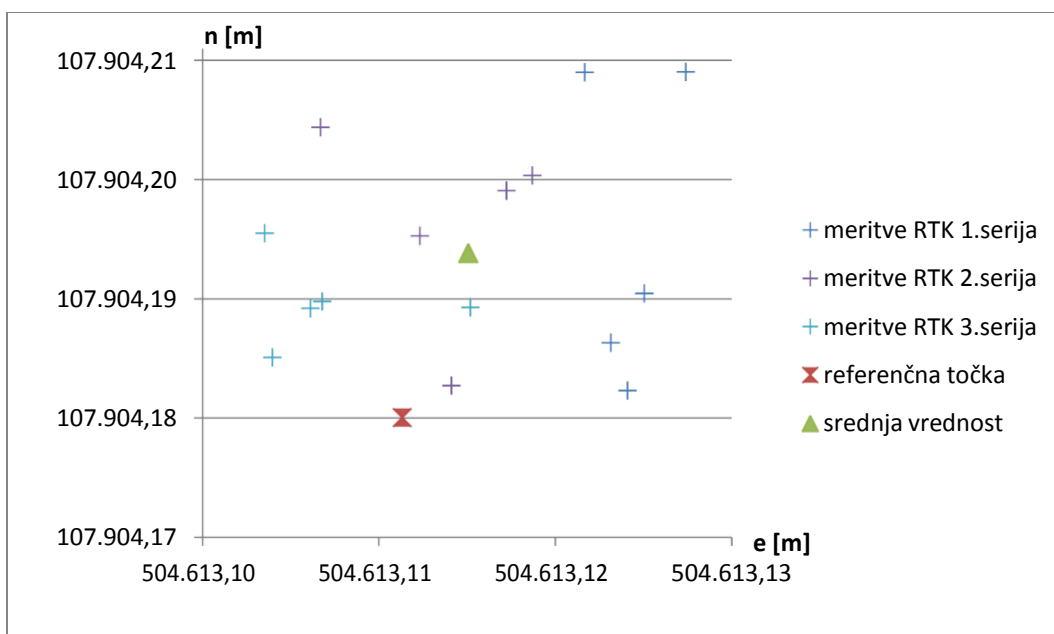
Grafikon 1: Prikaz določitve položajev točk pri 5-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 1 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 5 sekund po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 2 centimetra.



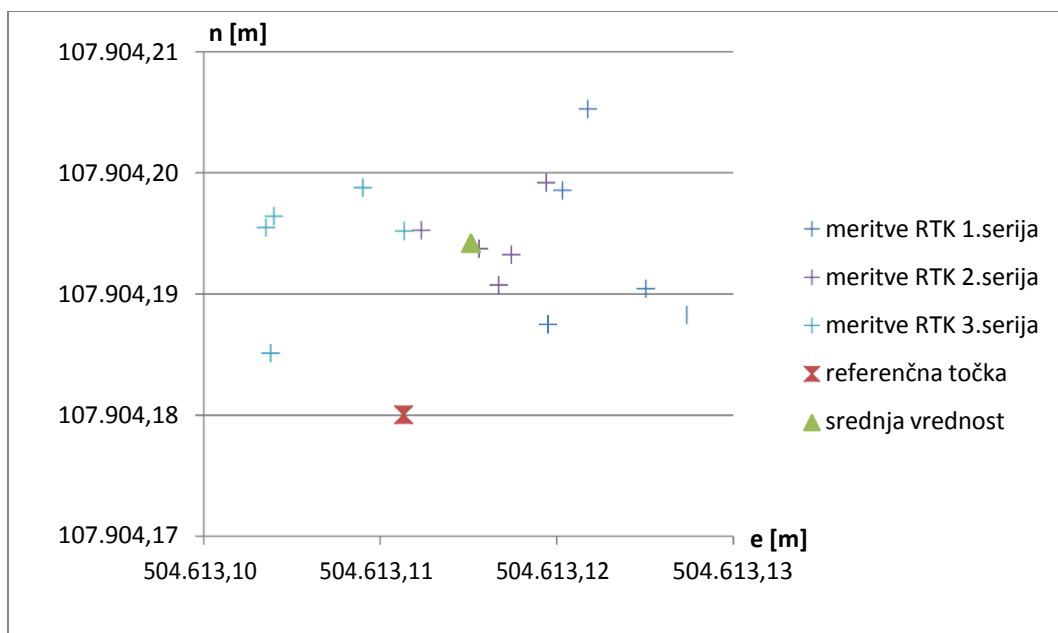
Grafikon 2: Prikaz določitve položajev točk pri 10-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 2 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 10 sekund po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 2 centimetra.



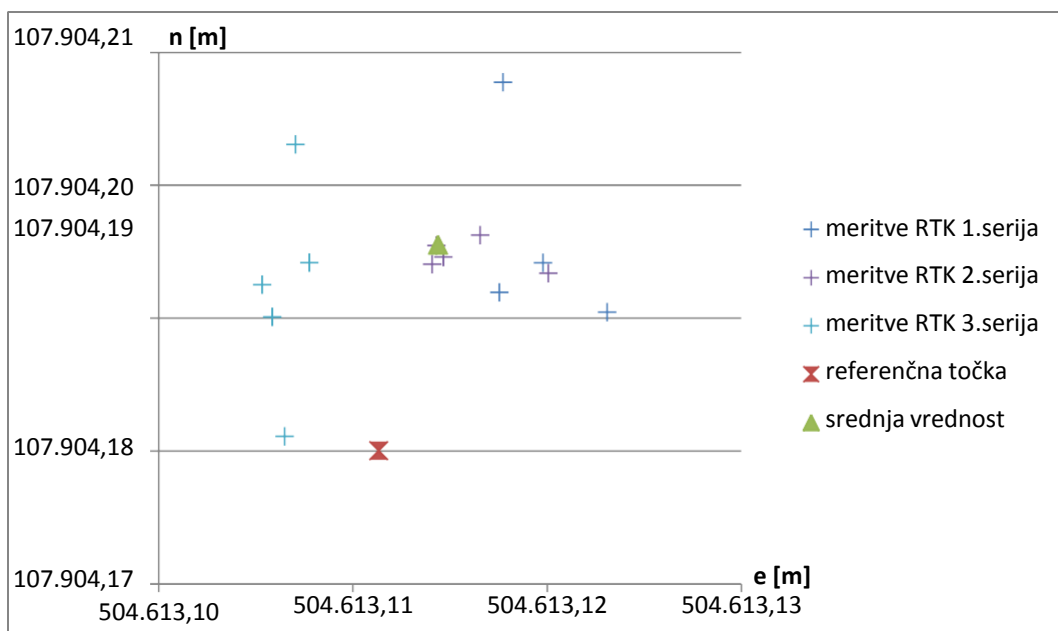
Grafikon 3: Prikaz določitve položajev točk pri 30-sekundnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 3 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 30 sekund po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 3 centimetre.



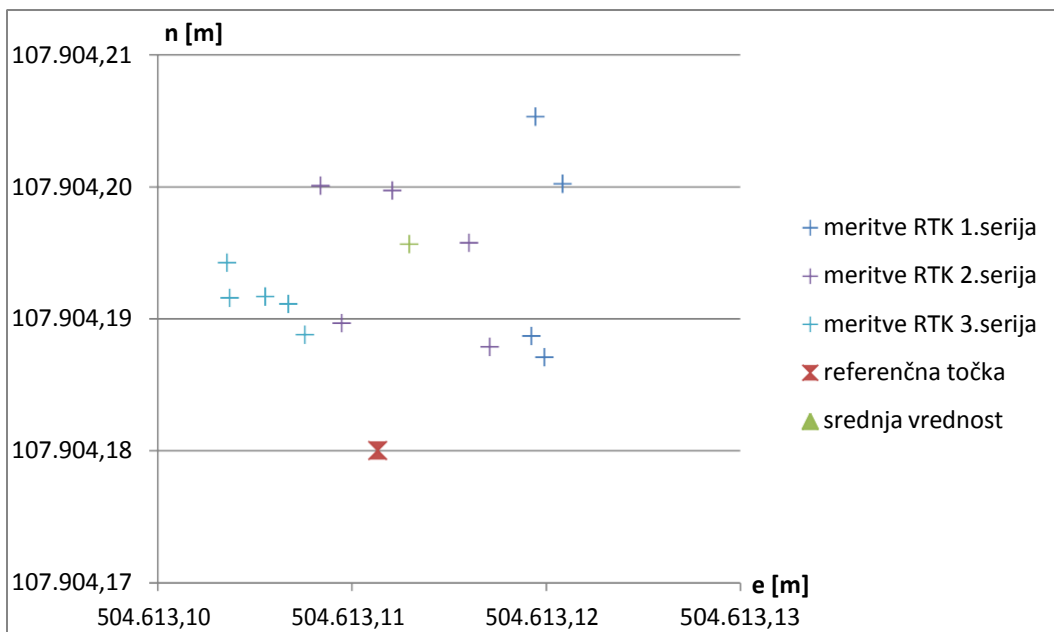
Grafikon 4: Prikaz določitve položajev točk pri 1-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 4 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 1 minuto po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 2 centimetra.



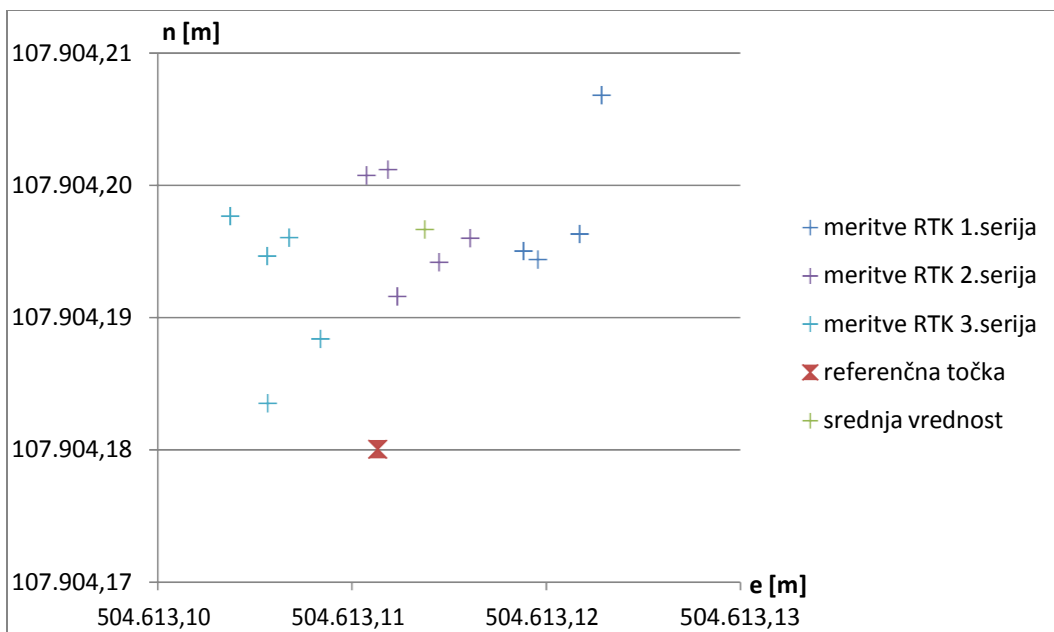
Grafikon 5: Prikaz določitve položajev točk pri 2-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 5 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 2 minuti po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 4 centimetre.



Grafikon 6: Prikaz določitvev položajev točk pri 3-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 6 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 3 minute po inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 3 centimetre.



Grafikon 7: Prikaz določitvev položajev točk pri 5-minutnem trajanju opazovanj na točki T1.

Na grafikonu 7 predstavljamo položaje točk, pridobljene z RTK-metodo izmere 5 minut po uspešni inicializaciji. Pri tem za vsako serijo posebej položaje predstavljamo z različnimi barvami. Na grafikonu predstavljamo tudi položaj referenčne točke ter srednjo vrednost iz vseh položajev. Velikostni red odstopanj položajev točk v horizontalni ravnini znaša 4 centimetre.

Iz grafikonov 1–7 ni razvidnih večjih razlik med posameznimi trajanji meritev. Opaziti je mogoče enakomerno razpršenost meritev okoli srednje vrednosti, poleg tega pa je vidna tudi zamaknjenost meritev severno glede na referenčno točko oziroma točko, določeno s statično metodo izmere. To potrjuje dejstvo, da je določitev koordinat s pomočjo RTK metode manj kakovostna v smeri proti severu za naše delovišče. S preglednic 24–30, na katerih prikazujemo največjo najmanjšo in srednjo vrednost, ni razvidnih večjih odstopanj med posameznimi dolžinami trajanji opazovanj po uspešno izvedeni inicializaciji.

Preglednica 24: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 5-sekundnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,11	107.904,19	694,83
najmanjša vrednost	504.613,10	107.904,18	694,80
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,86

Preglednica 25: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 10-sekundnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,12	107.904,19	694,83
najmanjša vrednost	504.613,10	107.904,18	694,817
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,87

Preglednica 26: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 30-sekundnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,12	107.904,19	694,83
najmanjša vrednost	504.613,11	107.904,18	694,81
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,87

Preglednica 27: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 1-minutnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,12	107.904,19	694,84
najmanjša vrednost	504.613,10	107.904,19	694,81
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,86

Preglednica 28: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 2-minutnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,11	107.904,20	694,84
najmanjša vrednost	504.613,11	107.904,18	694,82
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,87

Preglednica 29: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 3-minutnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,11	107.904,20	694,84
najmanjša vrednost	504.613,10	107.904,19	694,83
največja vrednost	504.613,12	107.904,22	694,86

Preglednica 30: Srednja, največja in najmanjša vrednost položaja z RTK pri 5-minutnem opazovanju na točki T1

	e [m]	n [m]	H [m]
srednja vrednost	504.613,11	107.904,20	694,84
najmanjša vrednost	504.613,10	107.904,18	694,8141
največja vrednost	504.613,13	107.904,21	694,86

6.1 Statistični testi

S statističnimi testi smo ugotavljali, ali standardna odklona dveh vzorcev za horizontalni položaj in višinsko komponento posebej (elipsoidna višina) spadata v isto populacijo. Šlo je za določitev večkratnih položajev na isti točki. Vzorca sta imela enako število prostostnih stopenj. Statistične teste smo naredili pri tveganju 5% in s številom prostornih stopenj 56, ki smo jih določili glede na število serij in nizov meritev. Testna statistika je znaša 1,70, to smo pridobili iz razpredelnic za Fisherjev statistični test. Po pridobljeni testni statistiki smo določili pogoj za zavrnitev hipoteze, v konkretnem primeru je bila zgornja vrednost 1,70, spodnja pa je bila recipročna vrednost in sicer 0,59.

Pri preverjanju hipotez o višini smo upoštevali tveganje 5% ter prostostno stopnjo 28. Le-to smo pridobili enako kot v zgornjem primeru z razliko, da je višinska komponenta položaja le ena in je tako polovična vrednost zgornje prostostne stopnje. Določili smo testno statistiko 2,13. Po pridobljeni testni statistiki smo določili pogoj za zavrnitev hipoteze in, podobno kot zgoraj, je bila v danem primeru zgornja vrednost kar testna statistika spodnja pa je bila njena recipročna le-te; dobili smo meji 2,13 ter 0,47.

Preglednica 31: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 5-sekundni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00003	0,00014	0,00067
σ [m]	0,01	0,01	0,03
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 32: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 10-sekundni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00003	0,00014	0,00058
σ [m]	0,01	0,01	0,0
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 33: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 30-sekundni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00004	0,00014	0,00060
σ [m]	0,01	0,01	0,02
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 34: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 1-minutni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00004	0,00012	0,00045
σ [m]	0,01	0,011	0,02
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 35: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 2-minutni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00003	0,00016	0,00048
σ [m]	0,01	0,011	0,02
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 36: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 3-minutni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00003	0,00017	0,00038
σ [m]	0,01	0,01	0,02
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Preglednica 37: Varianca ter standardni odklon vseh komponent pri 5-minutni določitvi položaja na točki T1

	v smeri e	v smeri n	v smeri H
σ^2 [m ²]	0,00003	0,00017	0,00046
σ [m]	0,01	0,01	0,02
$\sigma_{e,n}$ [m]	0,01		

Kot lahko vidimo iz preglednic 31–37, se variance ter standardni odkloni med seboj ne razlikujejo veliko, kar pomeni, da za vse določitve položajev v horizontalni smeri pri različnih trajanju opazovanj s stopnjo tveganja 5% trdimo, da meritve spadajo v isto populacijo. Enako velja za višinsko komponento določitve položaja.

V preglednici 38 predstavljamo izračune statistik za testiranje hipotez. Pri tem je v prvem stolpcu navedeno, katera dva vzorca populacije glede na dolžino trajanja opazovanj smo primerjali, v drugem in tretjem stolpcu navajamo vrednosti testnih statistik. Pri tem moramo upoštevati, da je pogoj za zavrnitev hipoteze pri obravnavanju horizontalnega položaja med 1,70 ter 0,59 ter pogoj za zavrnitev hipoteze pri obravnavi višine med 2,13 ter 0,47.

Preglednica 38: Rezultati statističnih testov med posameznimi dolžinami opazovanj

	testna statistika za horizontalni položaj	testna statistika za višinsko komponento
5 s – 10 s	1,03	1,16
5 s – 30 s	0,94	1,11
5 s – 60 s	1,09	1,47
5 s – 120 s	0,93	1,40
5 s – 180 s	0,86	1,78
5 s – 300 s	0,85	1,46
10 s – 30 s	0,92	0,96
10 s - 60 s	1,06	1,27
10 s - 120 s	0,90	1,20
10 s – 180 s	0,84	1,53
10 s – 300 s	0,83	1,26
30 s – 60 s	1,15	1,33

30 s – 120 s	0,99	1,26
30 s – 180 s	0,91	1,60
30 s – 300 s	0,90	1,32
60 s – 120 s	0,85	0,95
60 s – 180 s	0,79	1,21
60 s – 300 s	0,78	0,99
120 s – 180 s	0,93	1,27
120 s – 300 s	0,92	1,04
180 s – 300 s	0,99	0,82

Glede na izračunane statistike iz preglednice 38 je jasno, da so le-te glede na stopnjo tveganja 5% ter prostostni stopnji 56 za horizontalni položaj oziroma 28 za višino v zgoraj navedenih mejah. Zato lahko rečemo, da vse določitve položajev z različnimi trajanji opazovanj, ki smo jih opravili z instrumentom Leica 900, spadajo v isto populacijo. Praktično to pomeni, da v primeru uporabe instrumenta Leica 900 pri RTK-določitvi položaja ni bistvene razlike, ali opazujemo kratek ali daljši čas po uspešno opravljeni inicializaciji. Vendar velja poudariti, da to lahko trdimo le za določitve položajev, ki smo jih opravili z instrumentom Leica 900. Nove izvedbe instrumentov imajo lahko vgrajene drugačne algoritme obdelave opazovanj in vključeno večkratno preverjanje izvedbe inicializacije, zato bi v prihodnosti veljalo postopek ponoviti z uporabo novejših instrumentov.

7 ZAKLJUČEK

Glede na razširjenost uporabe RTK-GNSS metode izmere v geodetski praksi se velikokrat pojavi vprašanje, kako pravilno izvesti meritve, da bomo dobili kakovosten položaj objekta v prostoru. V praksi tehnologijo GNSS velikokrat uporabljamo za vzpostavitev koordinatne osnovne mreže točk, od koder naprej meritve izvajamo s klasičnimi geodetskimi metodami izmere. Poznavanje prednosti in slabosti določene tehnologije in metode določitve položaja je ključno, da se nam napake na izhodiščnih točkah direktno ne prenesejo na določitev položajev detajlnih točk. Kljub navodilom ter konstantnim izboljšavam ter dodatnimi izobraževanji se še vseeno pojavi vprašanje, kako dolgo je potrebno opravljati meritve, da pridobimo dobre rezultate. Na to vprašanje ni univerzalnega odgovora, saj so vplivi in razmere za vsako opazovališče drugačni.

Na terenu smo opravili dva sklopa meritev in sicer je bil prvi del namenjen izdelavi referenčne mreže, ki smo jo uporabili kot osnovo za oceno kakovosti določitve položaja z RTK-metodo izmere. Drugi del se je navezoval na izvedbo RTK-metode izmere, na katero pa se nanaša celotna diplomska naloga. V uvodu naloge postavljenih hipotez ne moremo potrditi, saj nam rezultati kažejo, da se s podaljševanjem opazovanj po uspešno izvedeni inicializaciji točnost določitve položaja ne izboljša. Prvo hipotezo lahko delno potrdimo, saj je točnost določitve koordinat pri meritvah z RTK-GNSS res slabša smeri proti severu ter po višini. Z daljšanjem trajanja opazovanj na točki pri RTK-metodi izmere nismo pridobili boljših rezultatov, saj so bili standardni odkloni pri vseh meritvah približno enaki.

Tudi druge delovne hipoteze ne moremo potrditi. Statistični testi so nam pokazali, da vse meritve spadajo v isto populacijo, kar pomeni, da je vseeno, ali določitev položaja z RTK poteka 5 sekund ali 5 minut po uspešno opravljeni inicializaciji. Vendar je tu potrebno omeniti, da se trditve nanašajo na instrument Leica 900, ki ima lahko za obdelavo opazovanj vgrajene drugačne algoritme. Mogoče je, da bi z drugim oziroma novejšim instrumentom pridobili drugačne rezultate, kar velja preveriti v prihodnosti.

Pri uporabi GNSS- instrumentov za izvedbo RTK-metode izmere moramo biti zelo previdni, pozorni ter zbrani ter se moramo nujno držati vseh pravil ter napotkov, ki so predstavljeni in navedeni v pravilnikih za kakovostno izvedbo izmere. Prav tako je za vsakega geodeta pomembna samokritičnost, saj le s preverjanjem samega sebe ter s spoštovanjem pravil stroke pridobimo ustrezne rezultate izmere in opravimo delo, kot je potrebno. S kakovostjo in strokovnostjo skrbimo tudi za ugled geodetskega poklica.

Tekom izdelave diplomske naloge smo ugotovili, da na določene segmente tudi kot opazovalec ne moremo vplivati in nas lahko rezultati presenetijo. To še ne pomeni, da so rezultati meritev napačni. Vseeno menimo, da je za kakovostno določitev položaja bolj primerno izvajati daljša opazovanja že s stališča tega, da moramo pri RTK-metodi izmere upoštevati tudi čas trajanja pretoka opazovanj med referenčnim stojiščem in mobilno enoto. Kot je bilo omenjeno, bi bilo vseeno smiselno preveriti, ali novejši instrumenti za izvedbo RTK GNSS-metode izmere res vključujejo algoritme, kjer lahko z daljšim načinom izvedbe opazovanj pridobimo položaje višje točnosti.

VIRI

Bilban, G. 2014. Analiza kakovosti določitve položaja omrežnih postaj.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4569/1/GEM052_Bilban.pdf

(Pridobljeno 04. 04. 2015.)

ISO standard 17123-8, 2003/2007

(Pridobljeno 11. 08. 2015.)

Janssen, V. 2009. A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK.

http://eprints.utas.edu.au/9530/1/2009_Janssen_IGNSS2009_proceedings_version.pdf

(Pridobljeno 05. 04. 2015.)

Kogoj, D., Stopar, B. 2009. Geodetska izmera: str. 20, 21

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

(Pridobljeno 18. 4. 2015)

Pavlovčič Prešeren, P., Mencin, A., Stopar, B. 2010. Analiza preizkusa instrumentarija GNSS-RTK po navodilih standarda ISO 17123-8, Geodetski vestnik 54, 4 : 607-626

http://www.geodetski-vestnik.com/54/4/gv54-4_607-626.pdf

(Pridobljeno 15. 05. 2015.)

Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Modeliranje ionosferske refrakcije za izboljšavo absolutnega GNSS-položaja s kodnimi instrumenti : priprava na 24. sončev cikel = Ionospheric

refraction modeling for better autonomous GNSS code positioning : in preparation of solar cycle 24. *Geodetski vestnik*, ISSN 0351-0271. [Tiskana izd.], 2013, letn. 57, št. 1, str. 9-24, ilustr.

http://geodetski-vestnik.com/cms/images/57/1/gv57-1_sterle.pdf, <http://drugg.fgg.uni-lj.si/4493/>.

[COBISS.SI-ID [6217825](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:si:coibiss:6217825)] (10. 8. 2015.)

Tehnično navodilo za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru. 2007.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/razlicica1_0.doc

(Pridobljeno 25. 05. 2015.)