

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:

Kotar, T., 2015. Vzpostavitev koordinatne osnove z GNSS na osnovi simultanih RTK - meritev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentorica Škapin Rugelj, M.): 43 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:

Kotar, T., 2015. Vzpostavitev koordinatne osnove z GNSS na osnovi simultanih RTK - meritev. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Škapin Rugelj, M.): 43 pp.

Archiving Date: 29-09-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

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

Kandidatka:

**TANJA KOTAR**

**VZPOSTAVITEV KOORDINATNE OSNOVE Z GNSS NA  
OSNOVI SIMULTANIH RTK - MERITEV**

Diplomska naloga št.: 44/TUN

**GNSS COORDINATE BASIS ESTABLISHMENT USING  
SIMULTANEOUS GNSS RTK MEASUREMENTS**

Graduation thesis No.: 44/TUN

**Mentorica:**

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

**Somentorica:**

asist. dr. Marjeta Škapin Rugelj

Ljubljana, 14. 07. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVE

Podpisana **Tanja Kotar** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**Vzpostavitev koordinatne osnove z GNSS na osnovi simultanih RTK-meritev**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, julij 2015

Tanja Kotar

---

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>528.2(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtorica:</b>	<b>Tanja Kotar</b>
<b>Mentorica:</b>	<b>doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren</b>
<b>Somentorica:</b>	<b>asist. dr. Marjeta Škapin Rugelj</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Vzpostavitev koordinatne osnove z GNSS na osnovi simultanih RTK-meritev</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – Visokošolski strokovni program</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>43 str., 30 pregl., 13 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>GNSS, RTK–metoda izmere, statična metoda, simultana opazovanja, zaporedna opazovanja, dolžina trajanja opazovanj</b>

### **Izvleček**

Diploma naloga obravnava kakovost določitve 3D položajev točk z uporabo GNSS RTK metode izmere za primer, da različnim točkam položaje določamo v istem trenutku. Cilj naloge je pridobiti izkušnje o možnosti izboljšave relativne natančnosti položajev točk, če izberemo način, da točkam določamo položaj z GNSS RTK-metodo istočasno. Za to potrebujemo več operaterjev, ki istočasno na različnih točkah določajo položaj z RTK-metodo izmere. Opravljeni test sestavljajo nizi pridobljenih koordinat, ki se dodatno nanašajo na različna trajanja določitve koordinat z RTK-metodo izmere. Za namen poizkusa smo trem točkam najprej določili bolj kakovostne 3D coordinate s statično GNSS metodo izmere. Na istih točkah smo nadalje določili položaje z RTK metodo izmere in sicer najprej istočasno na vseh točkah, nadalje pa v različnih trenutkih na posameznih točkah. Koordinate iz RTK-metode izmere smo najprej primerjali s koordinatami iz statične metode izmere. Sledila je statistična primerjava vzorcev koordinat z različnimi izvedbami RTK-metode izmere (različni trenutki opazovanj, različna trajanja opazovanj). Iz opravljenih testov lahko zaključimo, da istočasna določitev koordinat z RTK-metodo izmere na različnih točkah vodi do boljše relativne natančnosti koordinat med točkami. Druga ugotovitev pa je, da daljša izvedba opazovanj pri RTK-metodi izmere void do bolj kakovostne določitve položajev točk.

---

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT****UDK:** 528.2(497.4)(043.2)**Author:** Tanja Kotar**Supervisor:** doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren**Co-advisor:** asist. dr. Marjeta Škapin Rugelj**Title:** Setting up of coordinate basis with GNSS on the basis of simultaneous RTK-measurements**Documenttype:** Graduation Thesis – Higher education professional studies**Notes:** 43 p., 30 tab., 13 fig.**Keywords:** GNSS, RTK-method, static method, simultaneous observations, successive observation, occupation duration**Abstract**

The graduation thesis deals with the quality estimation of simultaneous acquisition of 3D coordinates using GNSS RTK method. The aim is to acquire the knowledge of the possibility of the internal network quality improvement by RTK-measurements performed at different sites at the same time. For this purpose we need several operators at different sites, which are synchronized in timings of measurements. The test consists from a set of several measurements acquired by RTK-method with different timing and different occupation durations. For the experimental tests the network of three points has been established and determined by a static GNSS method. On the same locations coordinates were further determined using simultaneous measurements of multiple receivers as well as by successive measurements with different timings of coordinate's determination. RTK coordinates were compared first with coordinates from a static determination. Second comparison of coordinates of simultaneous and successive determination as well as coordinates with different occupation durations was performed. From the experimental test we can conclude simultaneous RTK-measurements, if possible, enable better internal precision achievement. Second conclusion is that longer occupation duration leads to the coordinates of a better quality.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in podporo pri izvedbi terenskega dela, ter pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren in somentorici asist. dr. Marjeti Škapin Rugelj. Zahvaljujem se tudi Albinu Mencinu za pomoč pri izvajanju dela na terenu.

Za vso vzpodbudo in finančno podporo pa se zahvaljujem predvsem staršem in fantu.

**KAZALO VSEBINE**

<b>Stran za popravke, Errata</b>	<b>I</b>
<b>Izjave</b>	<b>II</b>
<b>Bibliografsko – Dokumentacijska stran in izvleček</b>	<b>III</b>
<b>Bibliographic – Documentalistic information and abstract</b>	<b>IV</b>
<b>Zahvala</b>	<b>V</b>
<b>Kazalo slik</b>	<b>VII</b>
<b>Kazalo preglednic</b>	<b>VIII</b>
<b>Okrajšave in simboli</b>	<b>IX</b>
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Cilj	2
1.2 Hipoteze	2
<b>2 SPLOŠNO O GNSS IN O UPORABI GNSS V GEODEZIJI</b>	<b>3</b>
2.1 Statična metoda	5
2.2 RTK - metoda izmere	5
<b>3 METODE DELA IN DELO NA TERENU</b>	<b>7</b>
3.1 Priprava in delo na terenu	7
3.2 Podatki, pridobljeni pred izmero	10
<b>4 OBDELAVA PODATKOV</b>	<b>11</b>
4.1 Izmera in obdelava podatkov	11
<b>5 REZULTATI OBDELAVE OPAZOVANJ GNSS</b>	<b>12</b>
5.1 Statična izmera	12
<b>6 STATISTIČNO VREDNOTENJE REZULTATOV</b>	<b>16</b>
<b>7 PRAKTIČNI PRIMER OCENE RTK-MERITEV NA TOČKAH MREŽE A, B IN C</b>	<b>19</b>
7.1 Vprašanje, vezano na dosegljivo natančnost meritev RTK	20
7.2 Vprašanje, vezano na primerljivost različnih vzorcev meritev RTK	23
7.2.1 Primerjava vzorcev z različnim trajanjem opazovanj, ko so RTK-meritve narejene zaporedno	24
7.2.2 Primerjava vzorcev z različnim trajanjem opazovanj, ko so RTK- meritve narejene z daljšimi časovnimi razmiki	24
7.2.3 Primerjava vzorcev z enakim trajanjem opazovanj; prvi je vezan na zaporedne meritve, drugi na meritve z daljšim časovnim razmikom med meritvami	25
7.3 Zaključki	26
<b>8 PRIKAZ Odstopanj RTK-POLOŽAJEV OD STATIČNE METODE IZMERE</b>	<b>27</b>
8.1 Istočasno izvedene meritve	27
8.2 Meritve, narejene z daljšimi časovnimi presledki	29
8.3 Tabelarični prikaz odstopanja statike od RTK meritev	31
<b>9 ZAKLJUČEK</b>	<b>32</b>
<b>VIRI</b>	<b>33</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1:	Panoramska slika polževske planote in točke, kjer smo izvajali meritve (položaji točk so podani v Preglednici 3).	1
Slika 2:	Metode GNSS izmere	4
Slika 3,4:	Prikaz stabilizacije točk, danih v D48/GK koordinatnem sistemu, in postavitve instrumenta GNSS na točkah, kjer smo izvajali GNSS-opazovanja.	8
Slika 5:	Primer topografije za točko 1, ki smo jo pridobili s spletne strani Geodetske uprave Republike Slovenije( <a href="http://www.e-prostor.gov.si">http://www.e-prostor.gov.si</a> )	9
Slika 6:	Prikaz položajev točk A (kriška 1), B (kriška 9) in C (kriška 5).	13
Slika 7:	Odstopanja istočasnih določenih položajev točke A z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo (koordinatni sistem D96/TM).	27
Slika 8:	Odstopanja istočasno določenih položajev točke B z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.	28
Slika 9:	Odstopanja istočasnih določenih položajev točke C z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.	28
Slika 10:	Odstopanja meritev točke A z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.	29
Slika 11:	Odstopanja meritev točke B z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.	30
Slika 12:	Odstopanja meritev točke C z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.	30

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Koordinate točk v koordinatnem sistemu D48/GK, ki smo jih pridobili s topografij	8
Preglednica 2:	Koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS89, pridobljene s statično metodo izmere	9
Preglednica 3:	Koordinate točk v starem D48/GK in novem koordinatnem sistemu D96/TM (transformacija) – transformirane koordinate točk so bile izhodišče, da smo jih na terenu lahko poiskali.	10
Preglednica 5:	Odstopanja koordinat RTK-izmere od statične izmere GNSS (30-minut opazovanj).	12
Preglednica 6:	Pridobljene koordinate iz obdelave opazovanj statične metode izmere GNSS (ura in pol opazovanj) za točke 1, 9 in 5, ki jih v nadaljevanju označujemo z A, B in C.	13
Preglednica 7:	Odstopanja dolžin, ki so pridobljene iz položajev točk z različnimi RTK-metodami izmere. Izhodišče za primerjavo so dolžine, izračunane iz koordinat statične metode izmere.	14
Preglednica 8:	Odstopanja višinskih razlik, ki so pridobljene iz višin točk z različnimi RTK-metodami izmere. Izhodišče za primerjavo so višinske razlike, izračunane iz višin statične metode izmere.	14
Preglednica 9:	Prikaz standardnih odklonov vzorcev 1) zaporednih izvedb meritev na točkah in 2) meritve z daljšimi časovnimi intervali.	17
Preglednica 10:	Odstopanja na celotni mreži za zaporedno izvedene meritve in z daljšimi časovnimi intervali.	18
Preglednici 11, 12:	Standardni odkloni vzorcev, izračunani za različne registracije RTK-meritev (istočasne meritve na točkah A, B in C).	19
Preglednici 13, 14:	Standardni odkloni vzorcev, izračunani za različne registracije RTK-meritev (na točkah A, B in C nismo izvajali istočasnih meritev).	19
Preglednici 15, 16:	Statistični test za primer zaporedno izvedenih RTK-meritev na točkah A, B in C istočasno.	21
Preglednici 17, 18:	Statistični test za primer RTK-meritev z daljšim časovnim trajanjem na točkah A, B in C. Meritve na točkah niso bile opravljene istočasno.	21
Preglednici 19, 20:	Statistični test za primer zaporedno izvedenih RTK-meritev na točkah A, B in C istočasno, milejši pogoja: $\sigma_{Hz} = 20$ mm in $\sigma_h = 30$ mm.	22
Preglednici 21, 22:	Statistični test za primer RTK-meritev z daljšim časovnim trajanjem na točkah A, B in C. Meritve na točkah niso bile opravljene istočasno. Gre za milejša pogoja: $\sigma_{Hz} = 20$ mm in $\sigma_h = 30$ mm.	22
Preglednici 23, 24:	Statistični test primerjave dveh neodvisnih vzorcev RTK-meritev: primerjava različnih trajanj RTK-meritev glede na 5-minutne meritve (istočasna opazovanja na A, B in C, zaporedna izvedba meritev).	24
Preglednici 25, 26:	Statistični test primerjave dveh neodvisnih vzorcev RTK-meritev: primerjava različnih trajanj RTK-meritev glede na 5-minutne meritve (meritve na A, B in C so bile narejene v poljubnih časovnih trenutkih in z daljšimi prekinitvami med meritvami).	24
Preglednica 29:	Prikaz odstopanja statike od zaporednih RTK meritev za vse tri točke A, B in C.	31
Preglednica 30:	Prikaz odstopanja statike od poljubnih RTK meritev za vse tri točke A, B in C.	31

## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
RTK	angl. Real Time Kinematic
VRS	angl. Virtual Reference Station
ETRS89	angl. European Terrestrial Reference System 1989
NAVSTAR GPS	angl. NAVigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System
GLONASS	rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema
NGS	angl. National Geodetic Survey



## 1 UVOD

Pri uporabi tehnologije GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) v geodeziji lahko izbiramo med več metodami izmere, ki se razlikujejo v končni točnosti določitve prostorskega položaja točk v danem koordinatnem sistemu. V dani nalogi smo se osredotočili na uporabo metode izmere, ki omogoča določitev položajev točk v realnem času, to je metode RTK (angl. Real Time Kinematic), in pridobljene 3D-koordinate primerjali s tistimi, ki smo jih pridobili z bolj točno statično metodo izmere GNSS.

Izmero smo opravljali na Polževski planoti. Pod Polževsko planoto spadajo Kriška vas, Nova vas, Zavrtache in Pristava. Vasi se nahajajo v občini Ivančna Gorica in v katastrski občini Kriška vas. Območje je zanimivo, ker je od najbližje stalne postaje GNSS državnega omrežja postaj SIGNAL že oddaljeno toliko (ca. 20 km), da je pri RTK-metodi izmere bolje uporabiti možnost vzpostavitve baznega stojišča z VRS (angl. Virtual Reference Station), če izmero delamo z navezavo na omrežje stalnih postaj GNSS. Dodatno pa obstaja tudi precejšnja višinska razlika (ca. 300 m) med najbližjo stalno referenčno postajo GNSS v Ljubljani in našim deloviščem, kar lahko vpliva na kakovost določitve višinske komponente položaja.

Zaradi možnosti ponovitve meritev smo izmero izvedli na trajno stabiliziranih točkah stare geodetske trigonometrične mreže. Točke so na danem območju večinoma ohranjene. Tako smo v nalogi pridobili tudi dobro izhodišče za vzpostavitev lokalnih transformacijskih parametrov med starim D48/GK in D96/TM koordinatnim sistemom. Vendar to ni bil primarni cilj naloge, saj smo želeli pokazati prednost statične metode izmere GNSS glede na RTK-metodo izmere v smislu dosegljive točnosti določitve 3D položajev točk in se strogo omejili na ugotavljanje najboljše možne izvedbe RTK-metode izmere.



Slika 1: Panoramska slika polževske planote in točke, kjer smo izvajali meritve (položaji točk so podani v Preglednici 3).

## 1.1 Cilj

Cilj naloge je bil ugotoviti, ali z različno izvedbo opazovanj z RTK-metodo izmere lahko izboljšamo točnost določitve položaja. Najprej se je to nanašalo na različno trajanje opazovanj pri RTK-metodi izmere GNSS. Hkrati pa smo zaradi možnosti istočasne izvedbe RTK-meritev na treh točkah (razpolagali smo s tremi instrumenti Leica Viva) želeli ugotoviti, ali istočasna določitev položaja na več točkah hkrati vodi do boljše določitve relativnega položaja med temi točkami (Štroner in sod., 2013). Drugače povedano – na izkustveni način smo želeli pokazati, ali obstajajo sistematični pogreški zaradi enake razporeditve satelitov na obzorju, ki se odražajo v končnih položajih točk, kjer smo izvedli izmero v istem trenutku.

Drugi cilj je bil pokazati, koliko trenutkov po izvedeni inicializaciji je pri RTK-metodi potrebno izvajati izmero, da bi pridobili boljše 3D položaje točk.

## 1.2 Hipoteze

V dani nalogi smo postavili domneve, ki smo jih tekom izvedbe in obdelave opazovanj želeli preveriti tudi zato, da bi izsledki testov bili v pomoč geodetskim izvajalcem, ki se vsakodnevno srečujejo s podobnimi nejasnostmi.

### 1. HIPOTEZA:

Obstaja domneva, da lahko z RTK-metodo pridobimo koordinate točk, ki so primerljive z rezultati hitre statične metode izmere GNSS v definicijskem območju nekaj cm (Janssen, 2009). Če to drži, je potrebno preveriti, koliko časa je potrebno izvajati opazovanja na dani točki oziroma ali je potrebno izmero v danem načinu tudi ponoviti.

### 2. HIPOTEZA:

Domnevamo, da lahko z istočasno izvedbo opazovanj RTK-metode izmere pridobimo boljše relativne položaje med točkami, kjer smo istočasno izvedli meritve (Štroner in sod., 2013; Kraluvič, 2013). Domneva temelji na dejstvu, da v primeru istočasne izvedbe opazovanja na lokalnem manjšem območju (ca. nekaj kilometrov) in na različnih lokacijah pridobimo opazovanja z istih satelitov – to je geometrija razporeditve satelitov je za vse lokacije, kjer izvajamo opazovanja GNSS istočasno, enaka.

### 3. HIPOTEZA

Daljša izvedba opazovanj po že izvedeni inicializaciji vodi pri RTK-metodi izmere do boljših rezultatov določitve 3D-položajev točk (Bilban, 2014). Vemo, da s takim načinom izboljšujemo relativno natančnost določitve položajev točk, vendar nas sedaj zanima, ali lahko z daljšo izvedbo RTK-metode izmere pridobimo boljšo točnost koordinat.

## 2 SPLOŠNO O GNSS IN O UPORABI GNSS V GEODEZIJI

S kratico GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) označimo globalne navigacijske satelitske sisteme, ki jih uporabljamo v navigaciji (nekaj desetmeterska točnost določitve položaja) kot tudi v geodeziji (tudi milimetrska točnost določitev položaja). To so sistemi za določevanje tri-dimenzionalnega položaja točk na Zemlji v globalnem koordinatnem sistemu (v geodeziji npr. ETRS89 – European Terrestrial Reference System 1989). Položaj objektov na Zemlji je določen na osnovi merjenih razdalj od danih točk, to so sateliti, do točk z neznanimi položaji, kjer so nameščeni GNSS-sprejemniki. Najbolj poznan in nam uporaben je ameriški NAVSTAR GPS (angl. NAVigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System) sistem, ter tudi ruski GLONASS (rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema) sistem. S kombinirano uporabo opazovanj različnih navigacijskih sistemov lahko pri uporabi faznih instrumentov GNSS skrajšamo čas za določitev fazne nedoločenosti (inicializacije), če je možna določitev neznanega števila celih valov, ter doseči čim boljšo točnost določitve položaja.

Sistem GPS je zasnovalo obrambno ministrstvo ZDA, ki ga zdaj uporabljamo vsi, ki imamo ustrezen sprejemnik, podobno velja tudi za ruski navigacijski sistem GLONASS. Nasprotno pa bo nastajajoči sistem Galileo, ki ga vzpostavlja Evropska unija, civilni navigacijski sistem. Vsi globalni navigacijski sistemi izhajajo iz zelo podobne strukture oziroma delitve na tri komponente in sicer na: vesoljsko, nadzorno in uporabniško. Vesoljski niz je sestavljen iz satelitov in komponente nadzornika zemeljske postaje. Potrebno je nadzirati in vnaprej preračunavati tirnice satelitov, usklajevati atomske ure in posredovati podatke satelitom, potem pa jih ti oddajajo uporabnikom v obliki navigacijskega sporočila. GNSS-sprejemniki so del uporabniškega niza, ki shranjujejo podatke opazovanj, da lahko v realnem času ali kasneje izračunamo položaj sprejemnikov na zemeljski površini.

Splošno pri določitvi položaja še vedno prevladuje uporaba sistema GPS. Tu so sateliti razporejeni v šest ravnin tirnic. Vsak satelit obkroži Zemljo dvakrat na dan. Krožijo na višini približno 20200 km od Zemlje. Vgrajene imajo atomske ure, po kateri oddajajo čas in podatke o gibanju satelitov po tirnici.

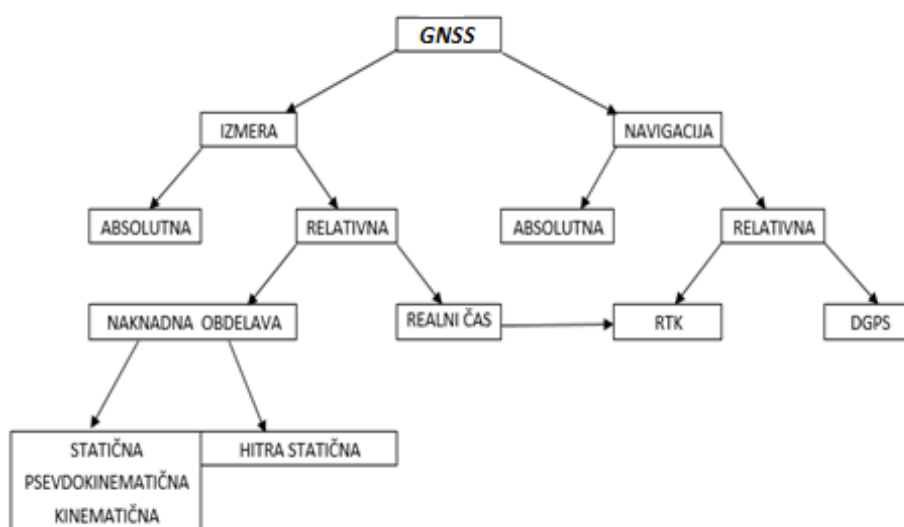
V GPS-u sta v uporabi dve nosilni valovanji v frekvenčnem pasu, prva frekvenca ima oznako L1 (1572,42 MHz), druga pa ima oznako L2 (1227,60 MHz), novejši sateliti vključujejo tudi tretjo frekvenco L5 (1176 MHz). S pomočjo istočasne izvedbe opazovanj z večfrekvenčnimi instrumenti lahko izračunamo in odstranimo vpliv ionosfere na spremembo poti razširjanja signala. Frekvenci sta modulirani s kodo C/A ter kodo P. Z navigacijskem sporočilom posredujejo podatke o položaju satelitov (efemeride) lpt tudi podatke o stanju ur in v ionosferi.

Za pridobitev koordinat (zemljepisna dolžina in širina ter elipsoidna višina) in časa potrebujemo sprejem signalov vsaj štirih satelitov. Razdaljo med sprejemnikom in satelitom lahko pridobimo iz razlik med časom sprejema signala in časom oddaje signala. Za določitev položaja v trirazsežnem prostoru bi bilo pravzaprav dovolj, da bi imeli na razpolago signale s treh satelitov, vendar četrti satelit potrebujemo zato, ker nam rešuje neskladje zaradi urinih tekov satelitovih in sprejemnikove ure.

Za določitev položaja GNSS v manj zahtevnih nalogah je dovolj uporaba enega kodnega instrumenta, kar pomeni, da položaj določamo absolutno. V geodeziji pa položaj največkrat določamo s faznimi opazovanji in na osnovi istočasnih opazovanj z dvema sprejemnikoma, čeprav je mogoča tudi absolutna določitev položaja s faznimi instrumenti, ki nas vodi v

centimetrsko točnost določitve položaja. Če izmero izvajamo z dvema ali več instrumenti GNSS istočasno, govorimo o relativni določitvi položaja. V Sloveniji imamo na voljo državno omrežje stalnih postaj GNSS, imenovano SIGNAL, ki s šestnajstimi stalnimi postajami v Sloveniji in z dodatno vključitvijo opazovanj stalnih postaj Avstrije, Hrvaške in Madžarske, omogoča uporabniku relativno določanje položaja, četudi na terenu izvajamo izmero le z enim instrumentom. To pomeni, da nam omrežje stalnih postaj GNSS nudi možnost, da enega izmed instrumentov GNSS za relativno določanje položaja nadomešča omrežje stalnih postaj: lahko v obliki opazovanj fizične stalne postaje GNSS ali pa programsko vzpostavljene virtualne postaje GNSS. Slovensko omrežje SIGNAL vključuje tudi opazovanja stalnih postaj sosednjih držav, da je možnost določitve relativnega položaja omogočena kjerkoli na območju Slovenije. Uspešnost izvedbe GNSS-metod izmere in kakovost določitve koordinat je odvisna od kakovosti uporabljene GNSS-opreme, izbire in izvedbe metode izmere, stanja v atmosferi in stanja satelitov, števila in razporeditve satelitov v času opazovanj, prisotnosti ovir in motečih objektov na območju delovanja, ter stanja GNSS-postaje ali baznega sprejemnika ali omrežja stalno delujočih GNSS postaj.

Z upoštevanjem zgoraj navedenih dejavnikov lahko zagotovimo kakovostno določitev položajev točk v koordinatnem sistemu ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989). Za kakovostno določitev položaja je potrebno zvesti izmero kar se da najbolje. Za to je potrebno tudi rekognoscirati teren, tako da ugotovimo prisotnost fizičnih ovir in prisotnost objektov, ki povzročajo odboje signalov in ali so izvor motečih virov elektromagnetnega valovanja. Če ugotovimo, da je teren primeren za izmero z GNSS-metodami (pomembno je, da na naši geografski širini nimamo ovir na južni strani), naredimo plan terenskega dela in izberemo čas izvedbe opazovanj. Splošno pri izmeri ali obdelavi opazovanj uporabljamo največkrat višinski kot nad  $15^\circ$ , kjer imamo na našem območju na voljo še vedno od 6 do 8 satelitov. Za kakovostne rezultate obdelave opazovanj je pri RTK-metodi izmere v času izvedbe inicializacije potrebno imeti na voljo vsaj 5 satelitov. Če pa se navezujemo na stalno delujoče postaje GNSS, je pred odhodom na teren pri upravljavcu priporočljivo preveriti delovanje posamezne postaje kot tudi celotnega omrežja.



Slika 2: Metode GNSS izmere



## 2.1 Statična metoda

Statična metoda izmere je bila prva v vrsti metod izmere GNSS, ki smo jih pričeli uporabljati v geodeziji za kakovostno določitev položaja. Še danes je metoda, ki omogoča najbolj točno določitev položaja. So se pa tekom let postopki obdelave opazovanj, algoritmi in modeli vplivov na opazovanja razvili v toliki meri, da lahko opazovanja statične metode izmere obdelujemo tudi absolutno (metoda PPP, angl. Precise Point Positioning). Statična metoda izmere nam omogoča določiti položaj tudi s točnostjo nekaj milimetrov, vendar je to odvisno od dolžine trajanja neprekinjenih opazovanj na točkah. Opazovanja pri statični metodi trajajo od 30 do 120 minut, lahko pa tudi več dni. Če statično izmero izvajamo s številom sprejemnikov GNSS, ki je manjše od števila točk, katerih položaj želimo določiti, jo izvajamo v več serijah. Obdelavo GNSS-opazovanj izvedemo naknadno in je ni možno izvesti v realnem času. Če pri obdelavi opazovanj GNSS uporabljamo precizne efemeride, dosežemo višjo točnost določitve prostorskega položaja objekta. Pri daljših časovnih intervalih se je mogoče izogniti nekaterih vplivov na opazovanja, kot so npr. odboj signala od objekta, zato je najhitrejša izvedba statične metode izmere vezana na časovni interval trajanja odboja signala od objekta (10 minut ali več). Obdelava opazovanj statične metode izmere lahko poteka tako, da za izhodišče vektorja vedno privzamemo isto točko; takrat govorimo o radialni izmeri. Če pa so vektorji povezav med točkami izbrani tako, da imamo v okviru več serij nadštevilne povezave med točkami, ki tvorijo mrežo, rezultat obdelave opazovanj GNSS (komponente baznih vektorjev), izravnamo po metodi najmanjših kvadratov. Če nam testi odkrivanja grobih pogreškov (globalni test modela navadno ni dovolj, zato uporabimo Tau-test) pokažejo, da je določen vektor grobopogrešen, ga lahko izločimo iz obdelave in ponovno izravnamo mrežo. Pri radialni izmeri položaje točk dobimo direktno preko izračunanih komponent baznih vektorjev, ker nimamo nadštevilnih povezav med točkami, tudi izravnave ne moremo izvesti. To tudi pomeni, da ne moremo oceniti kakovosti obdelave celotne mreže, kot je to mogoče za primer, ko izvajamo opazovanja GNSS v serijah in s povezavami tvorimo GNSS-mrežo.

## 2.2 RTK - metoda izmere

RTK-metoda je v osnovi kinematična metoda izmere za določitev položaja, ki pa omogoča, da položaj pridobimo v realnem času. Prednost kinematičnih metod izmere pred statično je v hitrosti pridobitve rezultatov, slabost pa v slabši dosegljivi točnosti določitve položajev točk v izbranem koordinatnem sistemu. Metoda RTK (angl. Real Time Kinematic) ima dodatno prednost v tem, da že tekom izmere lahko vidimo, ali je mogoče kakovostno določiti položaj posamezne točke, zato je v geodeziji zelo pogosto uporabljena metoda izmere. Za izvedbo meritve je potrebno vzpostaviti komunikacijsko povezavo (radijska, mobilni internet) med uporabnikovim sprejemnikom in baznim stojiščem. Bazno stojišče, to je stojišče z znanim položajem v GNSS-koordinatnem sistemu, nam lahko nadomešča tudi stalna postaja GNSS ali virtualno vzpostavljena točka VRS, če delamo RTK-metodo izmero v okviru omrežja stalnih postaj GNSS. Bazno stojišče ima funkcijo sprejema opazovanj od satelitov in nadaljnjega posredovanja opazovanj premikajoči enoti, hkrati pa se od premikajočega sprejemnika (rover) razlikuje v tem, da ima znan in kakovostno določen položaj (le-ta je določen s statično izmero) v koordinatnem sistemu GNSS.

RTK-metoda izmera deluje na podlagi faznih opazovanj. Od statične metode izmere se razlikuje v tem, da se ključna neznanka faznih opazovanj, to je fazna nedoločenaost, razreši na začetku (nekaj trenutkov meritev), v nadaljevanju izmere pa jo algoritmi obravnavajo kot dano količino. Ravno zaradi tega ima metoda slabosti, saj se v postopku razrešitve fazne

nedoločenosti (postopek se imenuje inicializacija) lahko zgodijo nepredvidene situacije, ki vplivajo na nepravilen izračun položajev točk. Priporočljivi parametri za izvedbo RTK-metode so, da je interval registracije 1 s, najmanjši višinski kot satelitov  $10^\circ$ , ter faktor PDOP manjši od 6. V literaturi navajajo dosegljivo točnost določitve položaja z RTK-metodo izmere 4 cm v horizontalnem smislu in 6 cm po višini (Stopar, 2014). Splošno pa je v literaturi zelo pomanjkljivo obravnavana problematika časovnega trajanja izvedbe opazovanj na točki z RTK-metodo izmere.

### 3 METODE DELA IN DELO NA TERENU

#### 3.1 Priprava in delo na terenu

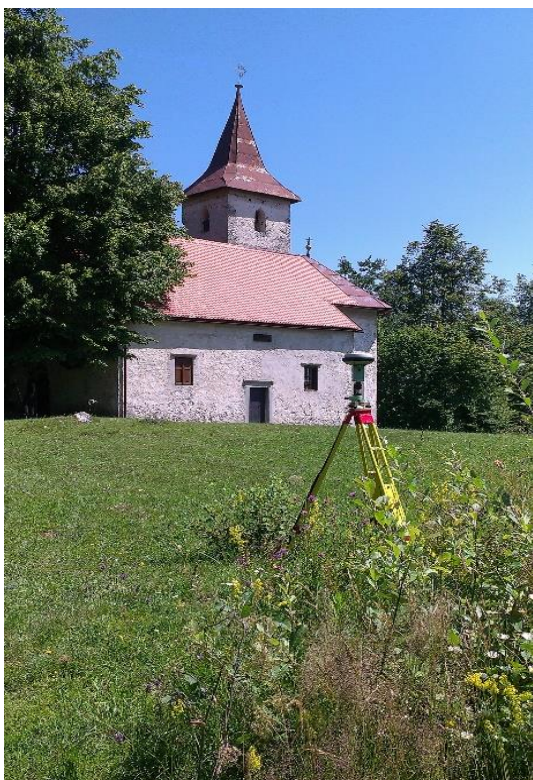
Iz katastrske občine Kriška vas smo pridobili topografije poligonskih in trigonometričnih točk. S topografij točk smo pridobili koordinate točk v D48/GK koordinatnem sistemu, ki jih je bilo potrebno transformirati v D96/TM koordinatni sistem, da smo jih na terenu poiskali s pomočjo instrumenta GNSS. Večina točk je bila zelo lepo ohranjenih. Odločitev, da smo poiskali točke stare mreže, se je nanašala na to, da tekom naloge, katere primarni cilj je bil razrešiti druga vprašanja (trajanja opazovanj pri RTK-metodi izmere, izvedba istočasnih opazovanj z RTK-metodo izmere ipd.), vzpostavimo izhodišče tudi za nadaljnje naloge, ki se nanašajo tudi na povezavo položajev točk med starim D48/GK in novim D96/TM koordinatnim sistemom, predvsem nalog, ki so vezane na izvedbo izmere v zemljiškem katastru.

Na vsaki točki smo najprej izvedli opazovanja s statično metodo izmere v trajanju 30 minut in nato določili položaj z RTK-metodo izmere (uporaba VRS). Iskanje točk in 30-minutne meritve z RTK-metodo smo izvajali dva terenska dneva.

Tretji terenski dan smo izbrali tri točke in na le-teh izvajali daljšo statično metodo izmere GNSS (ca. eno uro in pol), nato pa smo izvedli tako imenovano istočasno večkratno RTK-metodo izmere različnih dolžinskih intervalov opazovanj. Pod pojmom istočasna izmera želimo povedati, da smo trije operaterji na treh različnih lokacijah izvajali RTK-metodo izmere z istimi intervali registracije istočasno. Časovno smo se usklajevali preko telefona. Z RTK-metodo izmere smo opravili 6 nizov meritev po vzpostavljeni inicializaciji: naprej so meritve trajale 5 s, nato 10 s, 30 s, 1 min in 5 minut.

V nadaljevanju pa smo izvedli tudi časovno neusklažene (nesimultane) meritve, ko je vsak izmed operaterjev v poljubnem trenutku določal položaje točk z RTK-metodo izmere, zopet z enakimi časovnimi intervali po izvedeni inicializaciji.

Sledil je prenos podatkov opazovanj iz sprejemnika v program in obdelava statičnih opazovanj v programu Leica Geo Office. Pri tem smo uporabili končne precizne efemeride službe IGS (angl. International GNSS Service), kalibracijske protokole anten NGS in Hopfieldov model troposferske refrakcije.



Slika 3,4: Prikaz stabilizacije točk, danih v D48/GK koordinatnem sistemu, in postavitve instrumenta GNSS na točkah, kjer smo izvajali GNSS-opazovanja.

Preglednica 1: Koordinate točk v koordinatnem sistemu D48/GK, ki smo jih pridobili s topografij

Točka	D48/GK		
	y [m]	x [m]	H [m]
<b>1 (A)</b>	481.037,256	86.961,282	629,890
<b>2</b>	480.224,490	89.817,292	534,230
<b>3</b>	479.842,355	89.432,665	603,630
<b>4</b>	479.670,280	88.948,984	577,090
<b>5 (C)</b>	479.790,302	89.328,776	586,930
<b>6</b>	481.425,998	87.987,937	533,020
<b>7</b>	480.491,445	89.865,755	536,370
<b>8</b>	480.306,147	87.346,286	600,750
<b>9 (B)</b>	480.139,432	87.229,310	558,300
<b>10</b>	479.986,741	88.412,668	608,110
<b>11</b>	479.926,581	88.452,410	609,840

Podatki o horizontalni temeljni točki			
Katastrska občina: 1814			
Št. točke: 164			
Šifra katastrske občine	1814	Šifra statusa točke	0 - Brez posebnega statusa
Ime katastrske občine	KRISKA VAS	Šifra lastnosti točke	0 - Ni dodatne lastnosti
Šifra za red, vrsto mreže	3 - Trigonometrična in poligonometrična točka III. reda	Šifra stabilizacije točke	1 - Betonski, granitni kamen
Št. točke	164	Šifra postavljalca točke	VGI - Betonski, granitni kamen
Oznaka točke	Z0	Leto določitve Y in X	1947
Ledinsko ime	SV.DUH	Leto določitve H	1947
Sosednja katastrska občina	-	Ime točke	-
Šifra trigonometričnega okraja	6 - KOCEVJE	Datum zadnje uporabe	05.04.2006
Koordinata Y	481408.36	Št. vloge	90112000011998
Koordinata X	86475.52	Datum vnosa v bazo	-
Nadmorska višina H	629.89	Opomba	obstaja april 2006 OGU LJ.
Metoda določitve Y in X	S - Triangulacija	List TTN5	S F 23-42
Metoda določitve H	2 - Trigonometrija	List TK25	030-2-1
Podatki o topografiji	10004049		

Podatki o topografiji:

Slika 5: Primer topografije za točko 1, ki smo jo pridobili s spletne strani Geodetske uprave Republike Slovenije (<http://www.e-prostor.gov.si>)

Preglednica 2: Koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS89, pridobljene s statično metodo izmere

Točka	ETRS89		
	$\varphi$ [°]	$\lambda$ [°]	h [m]
<b>1 (A)</b>	45°55'20.00256"S	14°45'19.87676"V	629,890
<b>2</b>	45°56'52.43077"S	14°44'41.72995"V	534,230
<b>3</b>	45°56'39.93214"S	14°44'24.04405"V	603,630
<b>4</b>	45°56'24.24673"S	14°44'16.12824"V	577,090
<b>5 (C)</b>	45°56'36.56151"S	14°44'21.64293"V	586,930
<b>6</b>	45°55'53.29581"S	14°45'37.77629"V	533,020
<b>7</b>	45°56'54.02804"S	14°44'54.11871"V	536,370
<b>8</b>	45°55'32.39947"S	14°44'45.88703"V	600,750
<b>9 (B)</b>	45°55'28.59316"S	14°44'38.16627"V	558,300
<b>10</b>	45°56'06.90807"s	14°44'30.90139"V	608,110
<b>11</b>	45°56'08.18906"S	14°44'28.10255"V	609,840

### 3.2 Podatki, pridobljeni pred izmero

Ker smo se odločili, da bomo položaje točk poiskali s postopkom zakoličbe z GNSS-instrumentom, je bilo koordinate točk, ki smo jih pridobili s topografij, transformirati iz koordinatnega sistema D48/GK v novi koordinatni sistem D96/TM. Pri transformaciji smo uporabili parametre za osrednjo Slovenijo.

Preglednica 3: Koordinate točk v starem D48/GK in novem koordinatnem sistemu D96/TM (transformacija) – transformirane koordinate točk so bile izhodišče, da smo jih na terenu lahko poiskali.

KRIŠKA VAS						
TOČKE	D48/GK			D96/TM		
	y [m]	x [m]	h [m]	e [m]	n [m]	H [m]
<b>1(A)</b>	481.037,256	86.961,282	629,890	480.666,160	87.447,060	629,890
<b>2</b>	480.224,490	89.817,292	534,230	479.853,458	90.303,129	534,230
<b>3</b>	479.842,355	89.432,665	603,630	479.471,308	89.918,506	603,630
<b>4</b>	479.670,280	88.948,984	577,090	479.299,218	89.434,824	577,090
<b>5(C)</b>	479.790,302	89.328,776	586,930	479.419,252	89.814,618	586,930
<b>6</b>	481.425,998	87.987,937	533,020	481.054,934	88.473,719	533,020
<b>7</b>	480.491,445	89.865,755	536,370	480.120,418	90.351,586	536,370
<b>8</b>	480.306,147	87.346,286	600,750	479.935,052	87.832,088	600,750
<b>9(B)</b>	480.139,432	87.229,310	558,300	479.768,332	87.715,116	558,300
<b>10</b>	479.986,741	88.412,668	608,110	479.615,669	88.898,492	608,110
<b>11</b>	479.926,581	88.452,410	609,840	479.555,510	88.938,236	609,840

## **4 OBDELAVA PODATKOV**

Po pridobljenih opazovanjih statične metode izmere GNSS je bilo potrebno le-te obdelati, da smo pridobili koordinate točk. Obdelavo opazovanj smo obdelali v programu Leica Geo Office.

### **4.1 Izmera in obdelava podatkov**

Na terenu na območju Kriške vasi smo položaje točk določali z dvema metodama: s statično metodo in s kinematično metodo izmere v realnem času (RTK). Kot že opisano smo pri RTK-metodi položaje točk določali večkrat in sicer v različnih časovnih razmikih po inicializaciji (5 s, 10 s, 30 s), s statično metodo pa smo opazovanja izvajali 1 uro in pol. Po pridobljenih opazovanjih smo opazovanja obdelali v programu Leica Geo Office. Uporabili smo kalibracije anten GNSS, pridobljene s spletne strani NGS, precizne efemeride ter podatke o najbližji stalni postaji GSR1 v Ljubljani (pridobljeno na portalu omrežja SIGNAL).

## 5 REZULTATI OBDELAVE OPAZOVANJ GNSS

Preglednica 4: Z obdelavo statične metode izmere pridobljene koordinate v ETRS89 koordinatnem sistemu in pretvorjene v D96/TM koordinatni sistem.

Kriška statika 30min						
TOČKA	$\varphi$	$\lambda$	h [m]	n[m]	e[m]	H [m]
1KRI	45°55'20,003405"S	14°45'19,876105"V	676,522	86.961,308	481.037,242	630,114
2KRI	45°56'52,433570"S	14°44'41,728550"V	580,664	89.817,378	480.224,460	534,253
6KRI	45°55'53,298602"S	14°45'37,773294"V	579,445	87.988,023	481.425,934	533,035
7KRI	45°56'54,031135"S	14°44'54,117567"V	582,806	89.865,850	480.491,421	536,394
9KRI	45°55'28,595834"S	14°44'38,164816"V	604,699	87.229,392	480.139,401	558,290
RTK						
	$\varphi$	$\lambda$	h [m]	n [m]	e[m]	H [m]
kriška 1	45°55'20,00415" S	14°45'19,87622" V	676,407	86.961,331	481.037,244	629,997
kriška 2	45°56'52,43257" S	14°44'41,72868" V	580,576	89.817,348	480.224,463	534,167
kriška 6	45°55'53,29847" S	14°45'37,77381" V	579,323	87.988,019	481.425,945	532,908
kriška 8	45°56'54,03091" S	14°44'54,11647" V	582,704	89.865,844	480.491,397	536,294
kriška 9	45°55'28,59506" S	14°44'38,16431" V	604,079	87.229,368	480.139,390	557,668

Preglednica 5: Odstopanja koordinat RTK-izmere od statične izmere GNSS (30-minut opazovanj).

	$\Delta n$ [m]	$\Delta e$ [m]	$\Delta h$ [m]
kriška 1	-0,023	-0,002	0,117
kriška 2	0,030	-0,003	0,086
kriška 6	0,004	-0,011	0,127
kriška 9	0,024	0,011	0,622

Položajno odstopanje točk so velikostnega reda nekaj centimetrov, višinska odstopanja so večja. Višinsko odstopanje več kot pol metra na točki z oznako kriška 9 nakazuje na grobopogrešeno opazovanje (preglednica 5). Glede na to, da je položajno odstopanje v mejah dosegljive natančnosti pri RTK-metodi izmere, predvidevamo, da je med samo izmero prišlo do grobega pogreška izmerjene višine antene.

### 5.1 Statična izmera

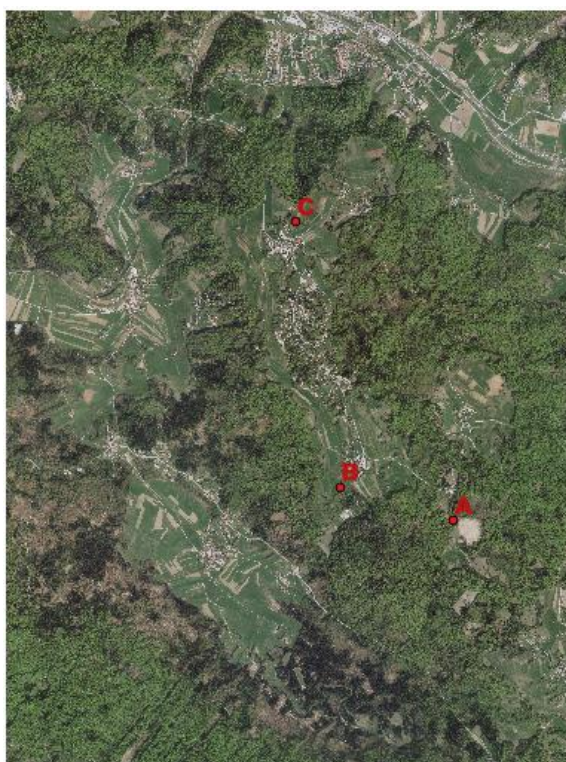
Ker je bil cilj obravnavane naloge izkustveno določiti primernost dolžine trajanja opazovanj pri RTK-metodi izmere, smo se odločili, da na treh točkah (v tabelah označene kot kriška 1, kriška 9 in kriška 5, v nadaljevanju pa z A, B in C) ponovimo statično izmero z daljšim trajanjem opazovanj, da bi lahko bolje ocenili točnost pridobitve koordinat z različno izvedbo RTK-metode izmere (tudi za primer istočasne izvedbe RTK-metode na več različnih lokacij). Z obdelavo statične metode izmere pridobljene koordinate točk predstavljamo v tabeli 6.



Preglednica 6: Pridobljene koordinate iz obdelave opazovanj statične metode izmere GNSS (ura in pol opazovanj) za točke 1, 9 in 5, ki jih v nadaljevanju označujemo z A, B in C.

	ETRS89			D96/TM		
	$\varphi$	$\lambda$	h [m]	n [m]	e[m]	H [m]
<b>A</b>	45°55'20,003394" S	14°45'19,877016" V	676,483	86.961,307	481.037,261	630,075
<b>B</b>	45°55'28,595224" S	14°44'38,164476" V	604,685	87.229,373	480.139,393	558,277
<b>C</b>	45°56'36,564076" S	14°44'21,641373" V	633,363	89.328,855	479.790,269	586,954

Med vsemi točkami smo slednje za nadaljnje teste uporabili zato, ker so bile najbolj primerne za izvedbo opazovanj GNSS (brez motečih ovir). Točko A smo izbrali zato, ker je bila na izbranem delovišču točka, ki se je nahajala najvišje, točki B in C pa smo izbrali zato, ker sta se nahajali na približno enakih višinah. Točko B (v preglednicah označena kot kriška 5) smo izbrali tudi zato, ker je tekom prejšnje izmere nismo določili niti s statično niti z RTK-metodo izmere, kar je razvidno iz preglednice 4.



Slika 6: Prikaz položajev točk A (kriška 1), B (kriška 9) in C (kriška 5).

Za namen opredelitve izbora optimalnega trajanja opazovanj pri RTK-metodi izmere smo si pomagali s statističnimi testi, podobno kot jih opisujejo v standardu ISO 17123-8 (2007). Tu kakovost določitve položajev z GNSS poteka na osnovi vrednotenja kakovosti v horizontalnem in višinskem smislu, zato smo tudi mi v dani nalogi najprej postopali na enak način in sicer:

1. Med tremi točkami A, B in C smo na osnovi koordinat izračunali horizontalne dolžine med točkami (AB, BC in AC) ter višinske razlike.
2. Za izhodišče so nam bile horizontalne dolžine in višinske razlike med obravnavanimi točkami, ki smo jih pridobili s statično metodo izmere GNSS.

3. Ker smo RTK-metodo izmere izvajali z različnimi časovnimi intervali, smo iz trikrat neodvisne metode izmere (vmes je preteklo 20 minut) pridobili sredino koordinat točk posameznih vzorcev koordinat. Vzorci so se nanašali na izvedbo 5 s, 10 s, 30 s, 1 min in 5 min opazovanj po izvedeni inicializaciji.
4. Vzorce opazovanj (5 s, 10 s, 30 s, 1 min in 5 min) smo pridobili na dva načina:
  - z istočasno izvedbo RTK-opazovanj na danih točkah → simultana opazovanja;
  - ko smo opazovanja RTK na točkah izvajali neusklajeno → nesimultana opazovanja.

Zaradi preglednosti na danem mestu ne podajamo vseh koordinat točk A, B in C, ki smo jih pridobili z različnimi izvedbami z RTK-metodo izmere. Položaje podajamo v prilogi, nadaljnji izračuni pa se navezujejo na položaje teh točk.

Preglednica 7: Odstopanja dolžin, ki so pridobljene iz položajev točk z različnimi RTK-metodami izmere. Izhodišče za primerjavo so dolžine, izračunane iz koordinat statične metode izmere.

	dolžina AB		dolžina BC		dolžina AC	
	simultane [m]	nesimultane [m]	simultane [m]	nesimultane [m]	simultane [m]	nesimultane [m]
<b>5 s</b>	-0,019	-0,005	0,019	0,019	-0,010	0,007
<b>10 s</b>	-0,012	0,004	0,026	0,026	0,004	0,025
<b>30 s</b>	-0,014	0,008	0,039	0,039	0,016	0,040
<b>1 min</b>	0,001	0,001	0,025	0,017	0,014	0,030
<b>5 min</b>	-0,005	-0,006	0,026	0,027	0,014	0,004

Preglednica 8: Odstopanja višinskih razlik, ki so pridobljene iz višin točk z različnimi RTK-metodami izmere. Izhodišče za primerjavo so višinske razlike, izračunane iz višin statične metode izmere.

	Dh <sub>AB</sub>		Dh <sub>BC</sub>		Dh <sub>AC</sub>	
	simultane [m]	nesimultane [m]	simultane [m]	nesimultane [m]	simultane [m]	nesimultane [m]
<b>5 s</b>	-0,063	-0,016	0,042	0,041	0,020	-0,026
<b>10 s</b>	-0,069	-0,010	0,041	0,041	0,027	-0,031
<b>30 s</b>	-0,032	-0,012	0,048	0,048	-0,016	-0,036
<b>1 min</b>	-0,018	-0,006	0,051	0,047	-0,033	-0,041
<b>5 min</b>	-0,050	-0,027	0,072	0,056	-0,020	-0,059

Iz preglednic 7 in 8 lahko vidimo, da se z daljšanjem trajanja opazovanj odstopanja določitev dolžin in višinskih razlik iz koordinat manjšajo, vendar po neustaljenem vzorcu. To pomeni, da daljši čas trajanja opazovanj vpliva na boljšo točnost določitev dolžin in višinskih razlik, medtem ko istočasna določitev koordinat za točke A, B in C oziroma časovno neusklajena ni značilna za posamezno izvedbo opazovanj; v določenih primerih je istočasna izvedba bila boljša, v določenih pa ne. Pri situaciji AB se vidi, da že pri 1-minutni izvedbi opazovanj pridobimo boljše rezultate, medtem ko pri ostalih dveh primerih to ni značilno.

Ker iz danih testov nismo pridobili odgovorov na vprašanja, smo rezultate meritev vrednotili posebej za posamezno koordinatno komponento.

## 6 STATISTIČNO VREDNOTENJE REZULTATOV

Najprej smo za posamezno točko izračunali sredino koordinat ( $\bar{e}, \bar{n}, \bar{h}$ ) in standardni odklon za posamezni vzorec (5 s, 10 s, 30 s, 1 min, 5 min po inicializaciji) in sicer posebej za istočasno (simultano) izvedbo RTK-meritev na točkah in časovno neusklanjane meritve RTK na točkah.

- Izračuni za vsako točko posebej (A, B, C) smo izračunali sredino koordinat, ki smo jih pridobili z zaporedno pridobljenimi meritvami (npr. 5 s meritev, ponovna inicializacija, 5 s meritev....) in meritvami, ki smo jih izvedli po daljšem času (vsaj 15 minut in tudi s ponovno inicializacijo)

- Srednja vrednost:

$$\bar{e} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 e_i \quad \bar{n} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 n_i \quad \bar{h} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 h_i$$

Izračun srednje vrednosti koordinate  $e$ ,  $n$  in  $h$ . Pri izračunu smo uporabili koordinate (D96/TM) iz simultanih in nesimultanih meritev za trenutek čas izmere posebej.

- Odstopanje posamezne meritve (v vzorcu smo imeli pet meritev) od srednje vrednosti :

$$\begin{aligned} r_{e1} &= \bar{e} - e_1 & r_{n1} &= \bar{n} - n_1 & r_{h1} &= \bar{h} - h_1 \\ r_{e2} &= \bar{e} - e_2 & r_{n2} &= \bar{n} - n_2 & r_{h2} &= \bar{h} - h_2 \\ r_{e3} &= \bar{e} - e_3 & r_{n3} &= \bar{n} - n_3 & r_{h3} &= \bar{h} - h_3 \\ r_{e4} &= \bar{e} - e_4 & r_{n4} &= \bar{n} - n_4 & r_{h4} &= \bar{h} - h_4 \\ r_{e5} &= \bar{e} - e_5 & r_{n5} &= \bar{n} - n_5 & r_{h5} &= \bar{h} - h_5 \end{aligned}$$

V prvi postavki smo izračunali srednjo vrednost, nato pa še odstopanja koordinat od izračunane srednje vrednosti, prav tako za vsak čas meritve posebej.

- Standardni odklon vzorca ( $n = \text{št. meritev}$  ;  $n' = n - 1$ )

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 r_{ei}^2}{n'}} \quad s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 r_{ni}^2}{n'}} \quad s_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 r_{hi}^2}{n'}}$$

Standardni odklon smo izračunali za vsako koordinato posebej in za vsak vzorec RTK-meritev posebej (vzorec se nanaša na 5 s, 10 s, 30 s, 1 min in 5 min registracijo opazovanj po inicializaciji).

- Standardni odklon za položaj:

$$s_{Hz} = \sqrt{s_e^2 + s_n^2}$$

- Izračuni za celotno mrežo, vezano na točke A, B in C:

$$r_{e(1)A}^2 + r_{e(2)A}^2 + r_{e(3)A}^2 + r_{e(4)A}^2 + r_{e(5)A}^2 = r_{eA}^2$$

$$r_{e(1)B}^2 + r_{e(2)B}^2 + r_{e(3)B}^2 + r_{e(4)B}^2 + r_{e(5)B}^2 = r_{eB}^2$$

$$r_{e(1)C}^2 + r_{e(2)C}^2 + r_{e(3)C}^2 + r_{e(4)C}^2 + r_{e(5)C}^2 = r_{eC}^2$$

$$\sum r_e^2 = r_{eA}^2 + r_{eB}^2 + r_{eC}^2$$

\*Po istem postopku izračunamo še za koordinato  $n$  in  $h$  za vse tri točke (A, B, C).

Izračun standardnega odklona posameznih koordinatnih komponent točk celotne mreže (A, B, in C) (5 meritev v vzorcu in 3 točke mreže) :

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 r_{e_{ij}}^2}{14}} \quad s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 r_{n_{ij}}^2}{14}} \quad s_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 r_{h_{ij}}^2}{14}}$$

Najprej smo izračunali standardne odklone določitev položajev točk, če smo pet zaporednih meritev z različnimi časovnimi intervali izvajali eno za drugo, pri čemer smo vsakih ponovno vzpostavili inicializacijo (zaporedne meritve), potem pa, ko smo pet meritev pridobili po preteku različnih časovnih intervalov.

Preglednica 9: Prikaz standardnih odklonov vzorcev 1) zaporednih izvedb meritev na točkah in 2) meritve z daljšimi časovnimi intervali.

		<b><u>zaporedne meritve</u></b>			<b><u>daljši časovnimi intervali med meritvami</u></b>		
		$s_e$ [m]	$s_n$ [m]	$s_h$ [m]	$s_e$ [m]	$s_n$ [m]	$s_h$ [m]
<b><u>A</u></b>	<b><u>5 s</u></b>	0,003	0,002	0,007	0,018	0,013	0,054
	<b><u>10 s</u></b>	0,007	0,002	0,022	0,021	0,013	0,065
	<b><u>30 s</u></b>	0,004	0,003	0,008	0,024	0,020	0,021
	<b><u>1 min</u></b>	0,003	0,003	0,011	0,022	0,006	0,013
	<b><u>5 min</u></b>	0,003	0,003	0,011	0,007	0,006	0,023
<b><u>B</u></b>	<b><u>5 s</u></b>	0,001	0,002	0,007	0,001	0,002	0,007
	<b><u>10 s</u></b>	0,003	0,002	0,006	0,003	0,002	0,006
	<b><u>30 s</u></b>	0,002	0,003	0,006	0,002	0,003	0,006
	<b><u>1 min</u></b>	0,001	0,002	0,007	0,006	0,004	0,011
	<b><u>5 min</u></b>	0,006	0,004	0,014	0,012	0,005	0,020
<b><u>C</u></b>	<b><u>5 s</u></b>	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
	<b><u>10 s</u></b>	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003
	<b><u>30 s</u></b>	0,005	0,002	0,011	0,005	0,002	0,011
	<b><u>1 min</u></b>	0,007	0,006	0,011	0,008	0,006	0,011
	<b><u>5 min</u></b>	0,007	0,005	0,017	0,007	0,005	0,017

Na osnovi rezultatov, podanih v preglednicah 9 in 10, bi lahko zaključili, da na celotni mreži zaporedna izvedba opazovanj vodi do boljših rezultatov v posamezni določitvi položajev. Vendar velja poudariti, da gre za izračun standardnega odklona vzorca opazovanj. Zaporedna izvedba kratkotrajnih opazovanj GNSS je namreč vezana na isto geometrijsko razporeditev satelitov, zato je rezultat pričakovan.

Če pogledamo velikostni red odstopanj, pa so razlike velikostnega reda le nekaj mm. Takojšnja ponovna določitev položajev (po preteku nekaj trenutkov, ca. 10 s), pa čeprav po ponovni vzpostavitvi inicializacije, nima praktičnega pomena. Med zaporednimi meritvami z RTK-metodo izmere je zato res smiselno počakati nekoliko več (vsaj nekaj minut, še bolje 25 minut, kot je opredeljeno v standardu ISO17123-8 (Pavlovčič Prešeren in sod. 2010)), da res lahko pravilno in nepristransko ocenimo točnost položajev točk. V nalogi smo za to potrebovali referenčno vrednost, glede na katero naredimo primerjavo. V našem primeru je to položaj točke, določen s statično metodo izmere GNSS.

Preglednica 10: Odstopanja na celotni mreži za zaporedno izvedene meritve in z daljšimi časovnimi intervali.

<b><u>Največje vrednosti za vse točke A, B, C</u></b>		
	<b><u>zaporedne meritve</u></b>	<b><u>izvedene meritve po daljšem časovnem intervalu</u></b>
$s_e$ [m]	0,004	0,013
$s_n$ [m]	0,003	0,008
$s_h$ [m]	0,011	0,026

Standardni odkloni vzorcev, kjer smo zaporedno izvedli meritve, pa čeprav ob ponovni inicializaciji, so manjšega velikostnega reda, vendar so za nadaljnje vrednotenje položajev točk bolj smiselni rezultati, ki smo jih pridobili po daljši izvedbi meritev (rezultati v stolpcu izvedene meritve po daljšem časovnem intervalu).

Zato smo v nadaljevanju predstavili odstopanja položajev točk glede na bolj točno koordinato, pridobljeno s statično metodo izmere GNSS.

## 7 PRAKTIČNI PRIMER OCENE RTK-MERITEV NA TOČKAH MREŽE A, B IN C

Za posamezne komponente položaja v D96/TM koordinatnem sistemu, ko smo opazovanja izvajali zaporedno z različnimi trajanji registracij in na vseh točkah A, B in C istočasno:

Preglednici 11, 12: Standardni odkloni vzorcev, izračunani za različne registracije RTK-meritev (istočasne meritve na točkah A, B in C).

	$s_e[m]$	$s_n[m]$	$s_h[m]$
<b>5 s</b>	0,004	0,003	0,010
<b>10 s</b>	0,008	0,003	0,023
<b>30 s</b>	0,007	0,005	0,015
<b>1 min</b>	0,008	0,007	0,017
<b>5 min</b>	0,010	0,007	0,025

Od tod smo izračunali standardni odklon za horizontalni položaj in višino:

	$s_{Hz}[m]$	$s_h[m]$
<b>5 s</b>	0,005	0,010
<b>10 s</b>	0,008	0,023
<b>30 s</b>	0,008	0,015
<b>1 min</b>	0,010	0,017
<b>5 min</b>	0,012	0,025

Za posamezne komponente položaja v D96/TM koordinatnem sistemu, ko smo opazovanja izvajali v daljših časovnih opazovanjih in neusklajeno ter z različnimi trajanji registracij in na vseh točkah A, B in C:

Preglednici 13, 14: Standardni odkloni vzorcev, izračunani za različne registracije RTK-meritev (na točkah A, B in C nismo izvajali istočasnih meritev).

	$s_e[m]$	$s_n[m]$	$s_h[m]$
<b>5 s</b>	0,018	0,013	0,054
<b>10 s</b>	0,021	0,013	0,065
<b>30 s</b>	0,025	0,020	0,024
<b>1 min</b>	0,024	0,009	0,020
<b>5 min</b>	0,016	0,009	0,035

Od tod smo izračunali standardni odklon za horizontalni položaj in višino:

	$s_{Hz}[m]$	$s_h[m]$
<b>5 s</b>	0,022	0,054
<b>10 s</b>	0,025	0,065
<b>30 s</b>	0,032	0,024
<b>1 min</b>	0,026	0,020
<b>5 min</b>	0,018	0,035

V nadaljevanju smo se vprašali, ali je standardni odklon, pridobljen iz posameznih nizov meritev RTK z enakim trajanjem registracije (5 s, 10 s, 30 s, 1 min in 5 min), enak pripadajoči vrednosti standardnega odklona, kot ga podaja proizvajalec konkretne RTK-opreme. Vprašanje je podobno kot pri testiranju RTK-opreme, kjer postavimo zahtevo, da sta točki oddaljeni od 2 do 20 m. V našem primeru so bile oddaljenosti precej večje, prav tako tudi višinske razlike, zato smo standardne odklone, vezane na dano vprašanje, povečali na:  $\sigma_{Hz} = 20$  mm in  $\sigma_h = 30$  mm.

Nadalje smo preverili, ali meritve RTK, ki smo jih opravili na različne načine (različno trajanje registracij, zaporedne narejene meritve in meritve, ki so bile vezane na daljše časovne intervale), spadajo v isto populacijo, če imata dva vzorca meritev vedno isto število prostostnih stopenj.

V nadaljevanju testiranje domnev poteka na enak način, kot je opisano v standardu ISO 17123-8.

### 7.1 Vprašanje, vezano na dosegljivo natančnost meritev RTK

Postavimo domnevo, da je sta iz meritev izračunana standardna odklona za horizontalni položaj in višino enaka izbranim vrednostim:  $\sigma_{Hz} = \sigma_{(e,n)}$  in  $\sigma_h$ .

Podamo ničelno in alternativno domnevo za horizontalni položaj:

$$H_0: \sigma_{meritve,(e,n)} \leq \sigma_{(e,n)}$$

$$H_1: \sigma_{meritve,(e,n)} > \sigma_{(e,n)}$$

Podamo ničelno in alternativno domnevo za višino:

$$H_0: \sigma_{meritve,h} \leq \sigma_h$$

$$H_1: \sigma_{meritve,h} > \sigma_h$$

Nadalje postavimo pogoj za horizontalni položaj, pri čemer sta  $v_e$  in  $v_n$  prostostni stopnji (v našem primeru 14 za vsako komponento):

$$s_{meritve,(e,n)} \leq \sigma_{(e,n)} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2; (v_e+v_n)}{(v_e + v_n)}} \quad *$$

Če je pogoj izpolnjen, ničelne domneve  $H_0$  ne moremo zavrni s tveganjem  $\alpha$ , če pa ni izpolnjen, ničelno domnevo  $H_0$  zavrni in sprejmemo alternativno  $H_1$  s tveganjem  $\alpha$ .

Pogoj za višine pa se glasi:

$$s_{meritve,h} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2; v_h}{v_h}} \quad **$$

Če je pogoj izpolnjen, ničelne domneve  $H_0$  ne moremo zavrni s tveganjem  $\alpha$ , če pa ni izpolnjen, ničelno domnevo  $H_0$  zavrni in sprejmemo alternativno  $H_1$  s tveganjem  $\alpha$ .



Najprej smo za horizontalni položaj in za višinsko komponento izbrali vrednosti standardnih odklonov, ki jih podaja proizvajalec opreme Leica Viva, s katero smo izvajali izmero:

$$\sigma_{Hz} = 10 \text{ mm in } \sigma_h = 15 \text{ mm.}$$

Zanimivo je, da je bila ničelna domneva sprejeta za primer meritev, ki smo jih opravili eno za drugo brez prekinitev, vendar z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo. Za primer, ko smo med meritvami izbrali daljše časovne intervale in na točkah A, B in C nismo merili istočasno, ničelna domneva ni sprejeta.

Preglednici 15, 16: Statistični test za primer zaporedno izvedenih RTK-meritev na točkah A, B in C istočasno.

	$S_{meritve,(e,n)}$	Statistična vrednost (enačba *)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,005	0,016	sprejeta
<b>10 s</b>	0,008	0,016	sprejeta
<b>30 s</b>	0,008	0,016	sprejeta
<b>1 min</b>	0,010	0,016	sprejeta
<b>5 min</b>	0,012	0,016	sprejeta

	$S_{meritve,h}$	Statistična vrednost (enačba **)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,010	0,029	sprejeta
<b>10 s</b>	0,023	0,029	sprejeta
<b>30 s</b>	0,015	0,029	sprejeta
<b>1 min</b>	0,017	0,029	sprejeta
<b>5 min</b>	0,025	0,029	sprejeta

Preglednici 17, 18: Statistični test za primer RTK-meritev z daljšim časovnim trajanjem na točkah A, B in C. Meritve na točkah niso bile opravljene istočasno.

	$S_{meritve,(e,n)}$	Statistična vrednost (enačba *)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,022	0,016	ni sprejeta
<b>10 s</b>	0,025	0,016	ni sprejeta
<b>30 s</b>	0,032	0,016	ni sprejeta
<b>1 min</b>	0,026	0,016	ni sprejeta
<b>5 min</b>	0,018	0,016	ni sprejeta

	$S_{meritve,h}$	Statistična vrednost (enačba **)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,054	0,029	ni sprejeta
<b>10 s</b>	0,065	0,029	ni sprejeta
<b>30 s</b>	0,024	0,029	sprejeta
<b>1 min</b>	0,020	0,029	sprejeta
<b>5 min</b>	0,035	0,029	ni sprejeta

Pogoj, kateremu smo želeli zadostiti, je enak tistemu, kjer preizkušamo instrumente GNSS. Tam pa obstaja zahteva, da so točke v medsebojnih oddaljenosti od 2 do največ 20 m. Glede na to, da so bili na obravnavanih točkah A, B in C zaradi oddaljenosti in višinske razlike drugačni pogoji izvedbe opazovanj GNSS, smo postavili milejši pogoj in sicer:

$$\sigma_{Hz} = 20 \text{ mm in } \sigma_h = 30 \text{ mm.}$$

Preglednici 19, 20: Statistični test za primer zaporedno izvedenih RTK-meritev na točkah A, B in C istočasno, milejši pogoja:  $\sigma_{Hz} = 20 \text{ mm in } \sigma_h = 30 \text{ mm.}$

	$S_{meritve,(e,n)}$	Statistična vrednost (enačba *)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,005	0,016	sprejeta
<b>10 s</b>	0,008	0,016	sprejeta
<b>30 s</b>	0,008	0,016	sprejeta
<b>1 min</b>	0,010	0,016	sprejeta
<b>5 min</b>	0,012	0,016	sprejeta

	$S_{meritve,h}$	Statistična vrednost (enačba **)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,010	0,029	sprejeta
<b>10 s</b>	0,023	0,029	sprejeta
<b>30 s</b>	0,015	0,029	sprejeta
<b>1 min</b>	0,017	0,029	sprejeta
<b>5 min</b>	0,025	0,029	sprejeta

Preglednici 21, 22: Statistični test za primer RTK-meritev z daljšim časovnim trajanjem na točkah A, B in C. Meritve na točkah niso bile opravljene istočasno. Gre za milejša pogoja:  $\sigma_{Hz} = 20 \text{ mm in } \sigma_h = 30 \text{ mm.}$

	$S_{meritve,(e,n)}$	Statistična vrednost (enačba *)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,005	0,033	sprejeta
<b>10 s</b>	0,008	0,033	sprejeta

<b>30 s</b>	0,008	0,033	sprejeta
<b>1 min</b>	0,010	0,033	sprejeta
<b>5 min</b>	0,012	0,033	sprejeta

	$S_{meritve,h}$	Statistična vrednost (enačba **)	Ničelna domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,010	0,058	sprejeta
<b>10 s</b>	0,023	0,058	sprejeta
<b>30 s</b>	0,015	0,058	sprejeta
<b>1 min</b>	0,017	0,058	sprejeta
<b>5 min</b>	0,025	0,058	sprejeta

V danem primeru sta bili v vsakem primeru trajanja opazovanj (5, s, 10 s, 30 s, 1 min in 5 min) in sicer za istočasno in zaporedno narejene meritve RTK na vseh točkah kot tudi za meritve z daljšim razmikom med zaporednimi meritvami, ničelni domnevi sprejeti.

## 7.2 Vprašanje, vezano na primerljivost različnih vzorcev meritev RTK

V danem primeru nas zanima, ali meritve RTK, ki smo jih opravili na različne načine (različno trajanje registracij, zaporedne narejene meritve in meritve, ki so bile vezane na daljše časovne intervale), spadajo v isto populacijo. Ob tem smo postavili zahtevo, da imajo vzorci enako število prostostnih stopenj.

Postavimo ničelni in alternativno domnevo najprej za horizontalni položaj:

$$H_0: \sigma_{1.vzorec,(e,n)} = \sigma_{2.vzorec,(e,n)}$$

$$H_1: \sigma_{1.vzorec,(e,n)} \neq \sigma_{2.vzorec,(e,n)}$$

in naprej pogoj:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2;(\tilde{v}_e+\tilde{v}_n);(v_e+v_n)}} \leq \frac{s_{1.vzorec,(e,n)}^2}{s_{2.vzorec,(e,n)}^2} \leq F_{1-\alpha/2;(\tilde{v}_e+\tilde{v}_n);(v_e+v_n)}, \quad ***$$

kateremu moramo zadostiti.

Nadalje postavimo še ničelno in alternativno domnevo za višino:

$$H_0: \sigma_{1.vzorec,h} = \sigma_{2.vzorec,h}$$

$$H_1: \sigma_{1.vzorec,h} \neq \sigma_{2.vzorec,h}$$

in naprej pogoj:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2;\tilde{v}_h;v_h}} \leq \frac{s_{1.vzorec,(e,n)}^2}{s_{2.vzorec,(e,n)}^2} \leq F_{1-\alpha/2;\tilde{v}_h;v_h}, \quad ****$$

kateremu moramo moramo zadostiti.

### 7.2.1 Primerjava vzorcev z različnim trajanjem opazovanj, ko so RTK-meritve narejene zaporedno

Za izhodišče smo privzeli RTK-meritve z najdaljšo registracijo (5 minut). Rezultati Fisherevega testa pokažejo, da vzorca meritev s 5-sekundno in 30-sekundno registracijo ne spadata v isto populacijo kot 5-minutne meritve; to velja za horizontalni položaj, medtem ko je za višino test v vsakem primeru sprjejet.

Preglednici 23, 24: Statistični test primerjave dveh neodvisnih vzorcev RTK-meritev: primerjava različnih trajanj RTK-meritev glede na 5-minutne meritve (istočasna opazovanja na A, B in C, zaporedna izvedba meritev).

Primerjava	sp. meja (enačba ***)	$\frac{S_{1.vzorec,(e,n)}^2}{S_{2.vzorec,(e,n)}^2}$	zg. meja (enačba ****)	Domneva $H_0$
<b>5 s -5 min</b>	0,441	0,160	2,269	ni sprejeta
<b>10 s-5 min</b>	0,441	0,873	2,269	sprejeta
<b>30 s - 5 min</b>	0,441	0,365	2,269	ni sprejeta
<b>1 min - 5min</b>	0,441	0,480	2,269	sprejeta

Primerjava	sp. meja (enačba **)	$\frac{S_{1.vzorec,h}^2}{S_{2.vzorec,h}^2}$	zg. meja (enačba **)	Domneva $H_0$
<b>5 s -5 min</b>	0,305	0,410	3,277	sprejeta
<b>10 s-5 min</b>	0,305	0,934	3,277	sprejeta
<b>30 s - 5 min</b>	0,305	0,604	3,277	sprejeta
<b>1 min - 5min</b>	0,305	0,693	3,277	sprejeta

Iz preglednice 23 in 24 vidimo, da so 10-sekundne in 1-minutne registracije RTK-meritev spadajo v isto populacijo kot 5-minutne meritve, medtem ko za 5 in 30 sekundne meritve to ne velja.

### 7.2.2 Primerjava vzorcev z različnim trajanjem opazovanj, ko so RTK-meritve narejene z daljšimi časovnimi razmiki

Preglednici 25, 26: Statistični test primerjave dveh neodvisnih vzorcev RTK-meritev: primerjava različnih trajanj RTK-meritev glede na 5-minutne meritve (meritve na A, B in C so bile narejene v poljubnih časovnih trenutkih in z daljšimi prekinitvami med meritvami).

Primerjava	sp. meja (enačba ***)	$\frac{S_{1.vzorec,(e,n)}^2}{S_{2.vzorec,(e,n)}^2}$	zg. meja (enačba ****)	Domneva $H_0$
<b>5 s -5 min</b>	0,441	1,534	2,269	sprejeta
<b>10 s-5 min</b>	0,441	1,915	2,269	sprejeta
<b>30 s - 5 min</b>	0,441	3,104	2,269	ni sprejeta
<b>1 min - 5min</b>	0,441	2,049	2,269	sprejeta

Primerjava	sp. meja (enačba ****)	$\frac{S_{1.vzorec,h}^2}{S_{2.vzorec,h}^2}$	zg. meja (enačba ****)	Domneva $H_0$
<b>5 s - 5 min</b>	0,305	0,410	3,277	sprejeta
<b>10 s - 5 min</b>	0,305	0,934	3,277	sprejeta
<b>30 s - 5 min</b>	0,305	0,604	3,277	sprejeta
<b>1 min - 5min</b>	0,305	0,693	3,277	sprejeta

V danem primeru lahko rečemo, da vsi, razen 30 sekundnih registracij, spadajo v isto populacijo kot 5-minutne registracije.

### 7.2.3 Primerjava vzorcev z enakim trajanjem opazovanj; prvi je vezan na zaporedne meritve, drugi na meritve z daljšim časovnim razmikom med meritvami

Najbolj pomembno pa je odgovoriti na vprašanje, ali je smiselno izvajati opazovanja istočasno z zaporednimi ponovnimi registracijami, ali je bolje, da med meritvami počakamo daljši časovni interval. Za ta namen smo primerjali vzorce, ki smo jih pridobili iz zaporedno narejenih RTK-meritev (vsakič z novo inicializacijo) in iz RTK-meritev, kjer smo inicializacijo tudi vzpostavili ponovno, vendar so bili med meritvami daljši časovni intervali.

Preglednici 27, 28: Statistični test primerjave dveh neodvisnih vzorcev RTK-meritev: primerjava za enaka trajanja RTK-meritev, vendar je prvi vzorec privzet iz zaporednih in istočasnih meritev na točkah A, B in C, drugi pa iz časovno neuskkljenih meritev, ki so vezane na daljše časovne intervale med meritvami

Primerjava <i>Istočasno / daljši intervali</i>	sp. meja (enačba ***)	$\frac{S_{1.vzorec,(e,n)}^2}{S_{2.vzorec,(e,n)}^2}$	zg. meja (enačba ****)	Domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,441	21,870	2,269	ni sprejeta
<b>10 s</b>	0,441	8,845	2,269	ni sprejeta
<b>30 s</b>	0,441	15,194	2,269	ni sprejeta
<b>1 min</b>	0,441	6,222	2,269	ni sprejeta
<b>5 min</b>	0,441	2,259	2,269	sprejeta

Primerjava <i>Istočasno / daljši intervali</i>	sp. meja (enačba ****)	$\frac{S_{1.vzorec,h}^2}{S_{2.vzorec,h}^2}$	zg. meja (enačba ****)	Domneva $H_0$
<b>5 s</b>	0,305	0,034	3,277	sprejeta
<b>10 s</b>	0,305	0,124	3,277	ni sprejeta
<b>30 s</b>	0,305	0,370	3,277	sprejeta
<b>1 min</b>	0,305	0,708	3,277	sprejeta
<b>5 min</b>	0,305	0,498	3,277	sprejeta

Dani test nam podaja najboljši odgovor na vprašanje, ali različne izvedbe RTK-meritev lahko uvrstimo v isto populacijo. V primeru horizontalnega položaja to velja le za 5-minutne registracije.

### 7.3 Zaključki

Iz danih testov lahko zaključimo:

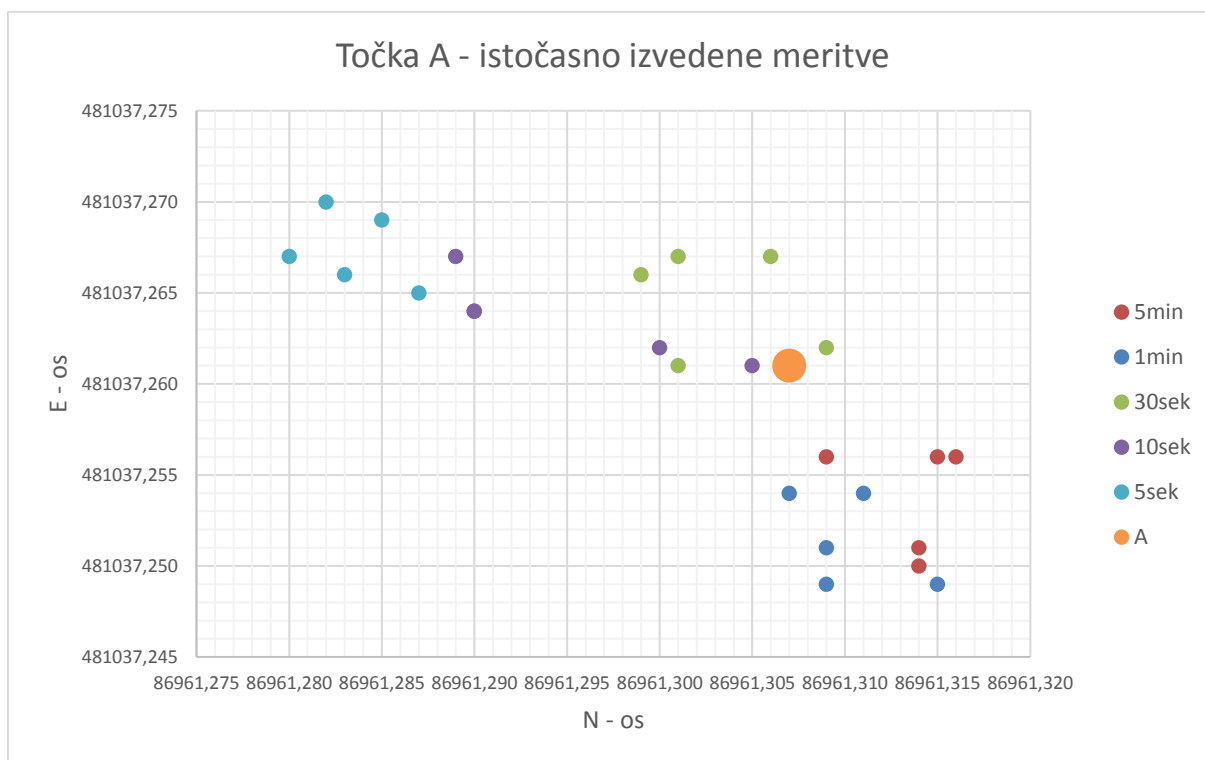
- da lahko v primeru daljših oddaljenosti med točkam ne moremo govoriti o dosegljivi natančnosti določitve položaja z RTK-metodo izmere, ki jo podaja proizvajalec, ampak zahtevo lahko nekoliko omilimo. V našem primeru so vse meritve zadostile pogojema:  $\sigma_{Hz} = 20$  mm in  $\sigma_h = 30$  mm (preglednici 19,20);
- zaporedna izvedba meritev brez daljšega časovnega razmika med registracijami, pa četudi naredimo ponovno inicializacijo, nima praktičnega pomena. Na ta način dobimo natančne meritve, ki pa niso nujno tudi točne (slika 8). Ničelna domneva o dosegljivi natančnosti RTK-meritev je sicer sprejeta (preglednici 21,22), vendar v nadaljevanju prikazani testi pokažejo, da vzorci z različnimi trajanji opazovanj med seboj niso primerljivi (preglednici 17,18). Veliko bolj reprezentativni so rezultati meritev, kjer na točkah nismo določili položaja istočasno, ampak je med meritvami pretekel daljši časovni interval;
- če primerjamo vzorce zaporednih meritev in meritev, ki smo jih izvajali na daljše časovne intervale, vidimo, da veliko vlogo o tem, ali lahko meritve uvrstimo v isto populacijo, igra dolžina trajanja opazovanj. V danem primeru smo le v primeru primerjave opazovanj s periodo trajanja 5 minut lahko zaključili, da RTK-meritve spadajo v isto populacijo.

To pomeni, da je utemeljena predpostavka, da daljši časovni interval opazovanj, ki je vezan na daljše prekinitve (25-minutne) opazovanj na točkah, privede do res kakovostnih rezultatov določitve položaja z RTK-metodo izmere.

## 8 PRIKAZ Odstopanj RTK-POLOŽAJEV OD STATIČNE METODE IZMERE

### 8.1 Istočasno izvedene meritve

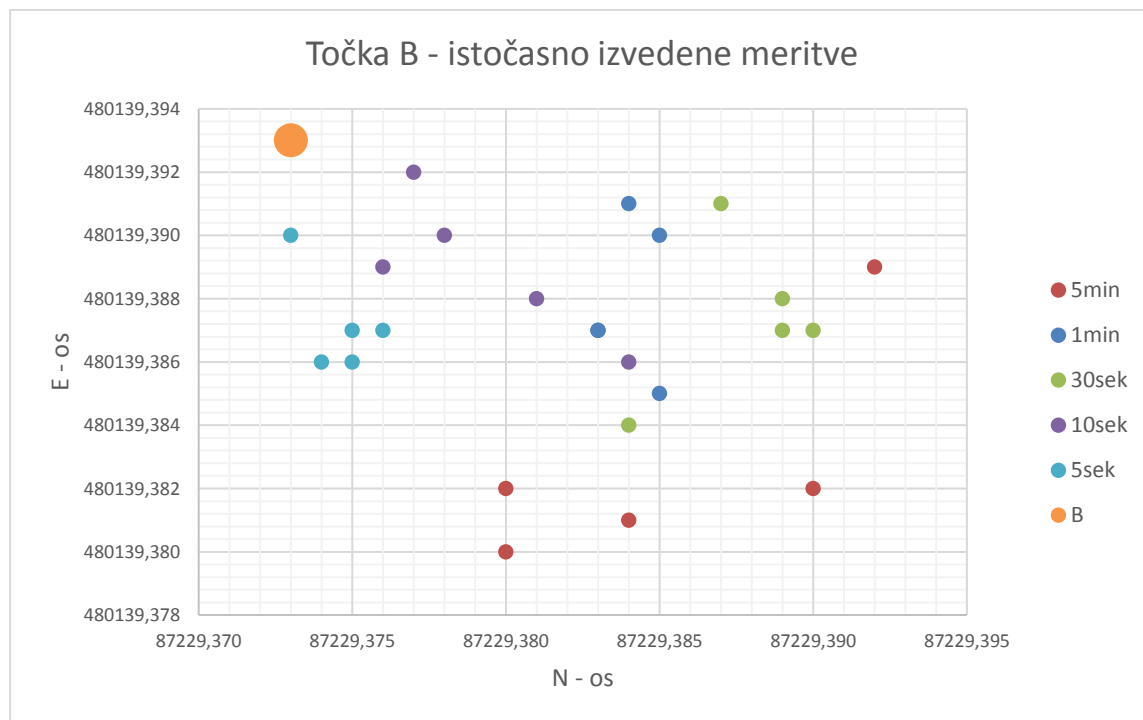
Točke, pridobljene s statično metodo izmere, so prikazane z veliko oranžno piko, RTK-meritve z različnimi časovnimi intervali pa z malimi pikicami in različnimi barvami. Odstopanja so prikazana samo položajno.



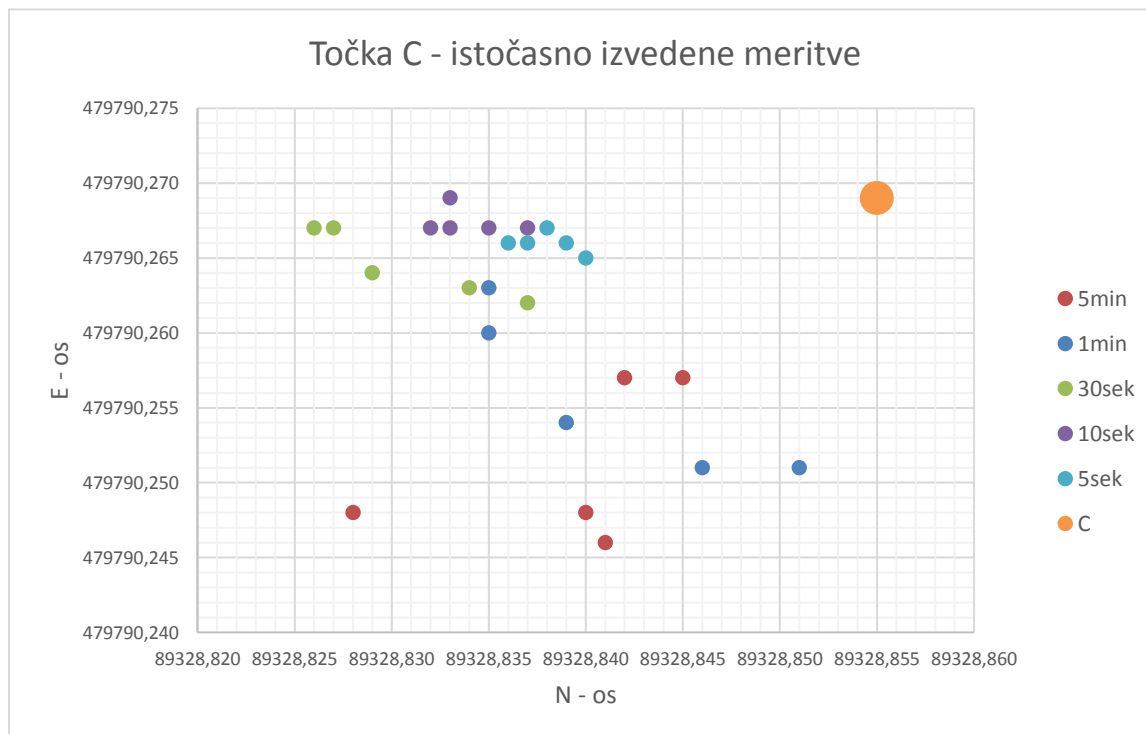
Slika 7: Odstopanja istočasnih določenih položajev točke A z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo (koordinatni sistem D96/TM).

S slike 7 je razvidno, da so istočasno izvedene RTK-meritve sicer res bolj natančne (točke iste barve so skupaj), če pa pogledamo točnost, bi v danem primeru lahko rekli, da so najbolj blizu točnih meritev tiste, ki smo jih opravili z dolžino trajanja 30 s.

Tudi za primer točk B in C (slika 8 in slika 9) bi lahko enako rekli – istočasno izvedene meritve (pet meritev z istim časovnim trajanjem opazovanj) so natančne, vendar pa ne točne. Lahko pa rečemo, da so odstopanja koordinat v definicijskem območju nekaj cm kot je opredeljeno za RTK-metodo izmere. V primeru slike 8 se vidi, da so 5-minutne meritve najbolj razpršene, vzrok temu pa je, da se po petkrat izvedenih pet-minutnih opazovanjih geometrija satelitov že tako spremeni, da so meritve manj natančne (standardni odklon vzorca je večji), po drugi strani pa najbolj smiselne za obravnavo.



Slika 8: Odstopanja istočasno določenih položajev točke B z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.

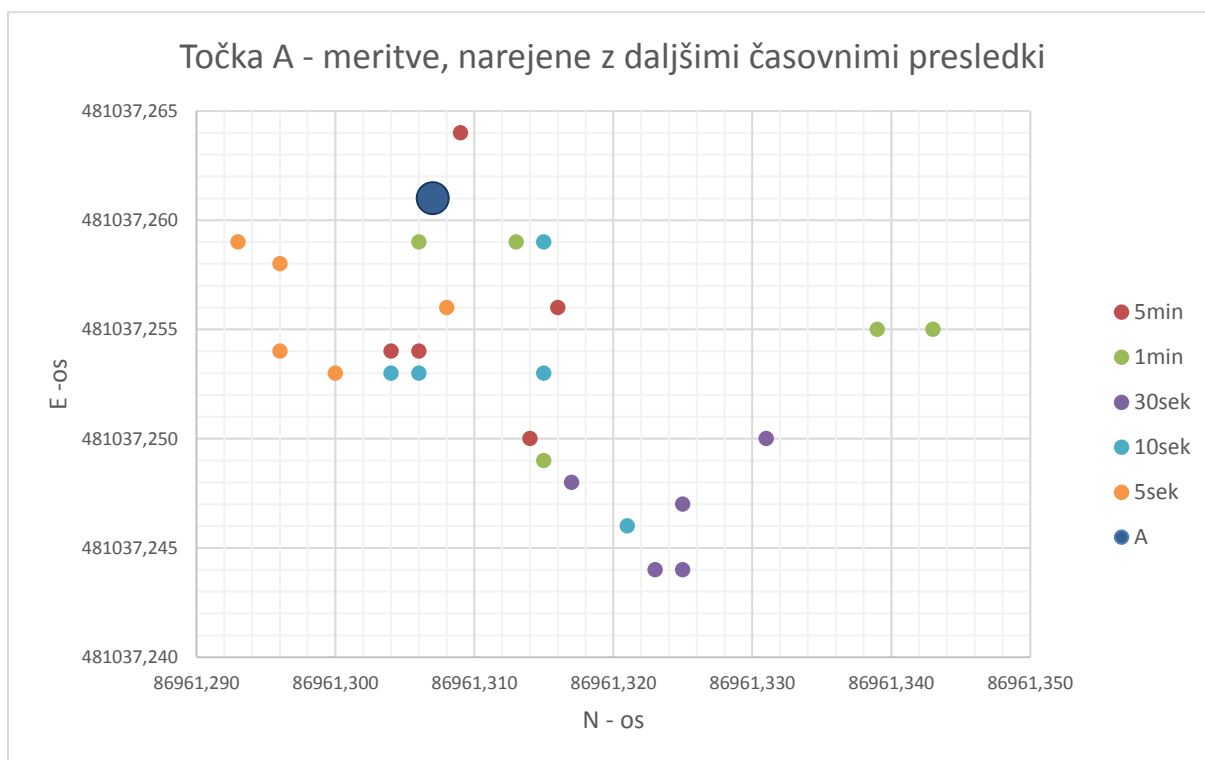


Slika 9: Odstopanja istočasni določenih položajev točke C z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo zaporedno eno za drugo z vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.



## 8.2 Meritve, narejene z daljšimi časovnimi presledki

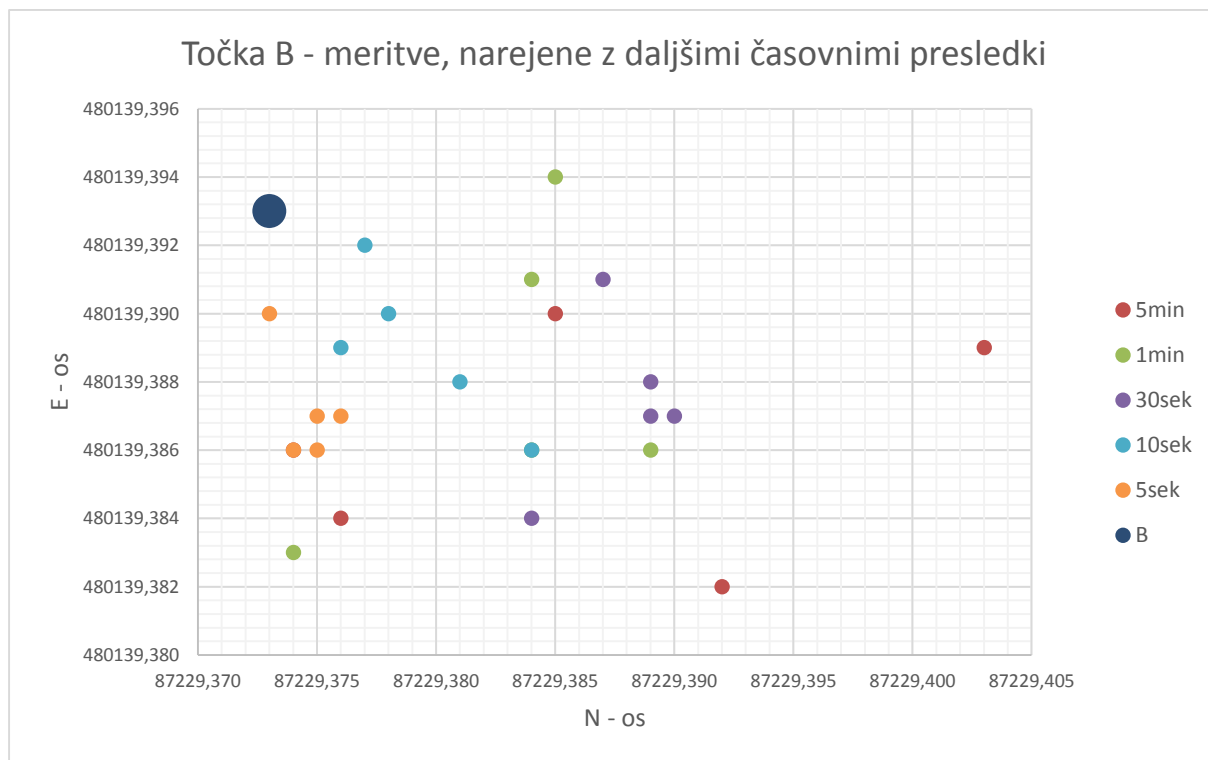
Točke, pridobljene s statično metodo izmere, so prikazane z veliko modro piko, RTK-meritve z različnimi časovnimi intervali pa z malimi pikicami in različnimi barvami. Odstopanja so prikazana samo položajno.



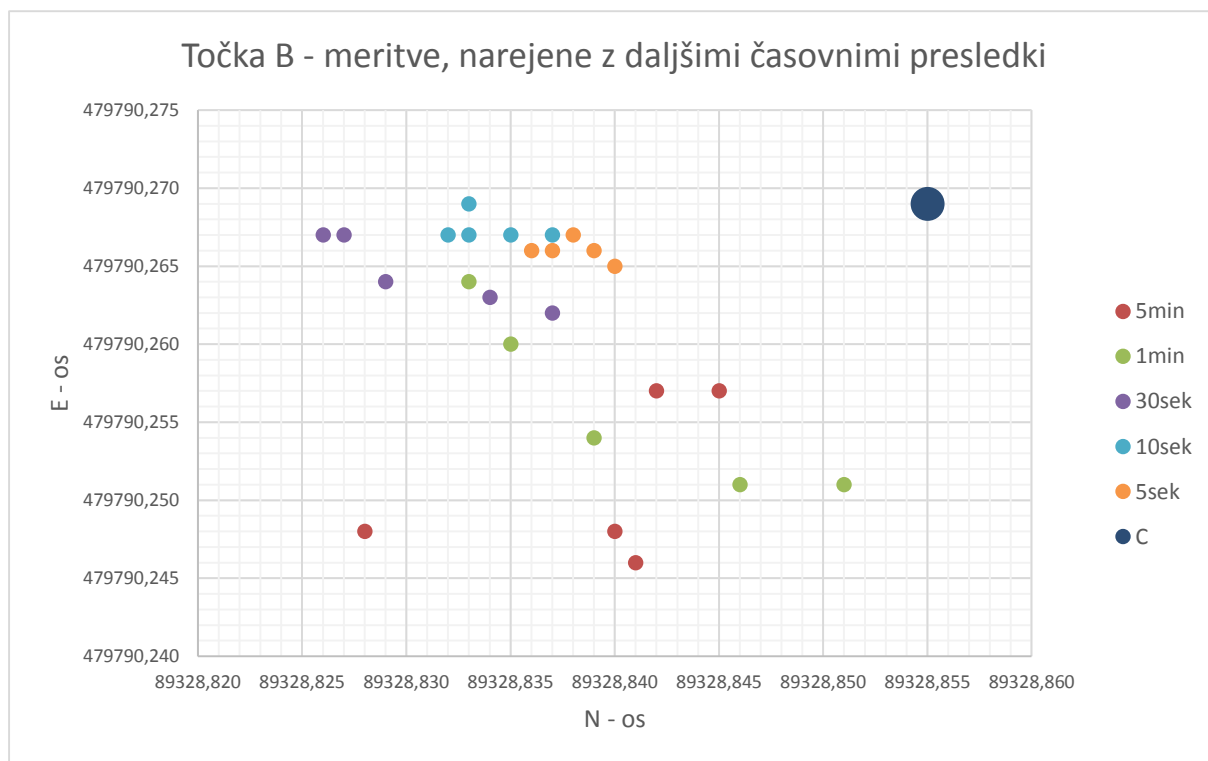
Slika 10: Odstopanja meritev točke A z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.

S slike 10 je razvidno, da so naključne RTK-meritve manj natančne (točke iste barve so razpršene po celotnem grafu), če pa pogledamo točnost, bi v danem primeru lahko rekli, da so najbolj blizu točnih meritev tiste, ki smo jih opravili z dolžino trajanja 5s.

Tudi za primer točk B in C (slika 11 in slika 12) bi lahko enako rekli – meritve, narejene po daljšem časovnem intervalu (pet meritev z različnimi časovnimi intervali) so manj natančne, kot meritve merjenje zaporedno. Lahko pa rečemo, da so odstopanja koordinat v definicijskem območju nekaj cm kot je opredeljeno za RTK-metodo izmere. V primeru slike 11 se vidi, da so 5-minutne meritve najbolj razpršene, vzrok temu pa je, da se po naključnih petkrat izvedenih pet-minutnih opazovanjih geometrija satelitov že tako spremeni, da so meritve manj natančne (standardni odklon vzorca je večji).



Slika 11: Odstopanja meritev točke B z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.



Slika 12: Odstopanja meritev točke C z RTK-metodo izmere (horizontalni položaj), ko meritve izvajamo z daljšimi časovnimi presledki in vsakič na novo vzpostavljeno inicializacijo.

### 8.3 Tabelarični prikaz odstopanja statike od RTK meritev

Preglednica 29: Prikaz odstopanja statike od zaporednih RTK meritev za vse tri točke A, B in C.

<b>ODSTOPANJA RTK-POLOŽAJEV OD REFERENČNIH (ISTOČASNE MERITVE)</b>									
Točka	A			B			C		
	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
<b>5min</b>	0,007	-0,005	0,063	0,010	-0,012	0,113	0,018	0,016	0,045
<b>1min</b>	0,008	-0,002	0,087	0,004	-0,011	0,105	0,012	0,015	0,055
<b>30sek</b>	-0,003	0,003	0,081	0,006	-0,014	0,113	0,004	0,024	0,065
<b>10sek</b>	-0,003	0,014	0,031	0,004	-0,005	0,100	0,001	0,020	0,058
<b>5sek</b>	-0,007	0,023	0,037	0,006	-0,002	0,099	0,003	0,017	0,057

Preglednica 30: Prikaz odstopanja statike od poljubnih RTK meritev za vse tri točke A, B in C.

<b>ODSTOPANJA STATIKE OD ZAPOREDNIH MERITEV</b>									
Točka	A			B			C		
	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$	$\Delta e$	$\Delta n$	$\Delta h$
<b>5min</b>	0,002	0,000	0,089	0,007	-0,013	0,101	0,022	0,015	0,029
<b>1min</b>	0,005	-0,025	0,087	0,008	-0,009	0,093	0,015	0,012	0,048
<b>30sek</b>	0,014	-0,016	0,101	0,006	-0,014	0,113	0,004	0,024	0,065
<b>10sek</b>	0,008	-0,002	0,090	0,004	-0,005	0,100	0,001	0,020	0,058
<b>5sek</b>	0,004	0,011	0,082	0,006	-0,002	0,099	0,003	0,017	0,057

Položajno odstopanje zaporednih meritev in istočasnih meritev od statike znašajo od nekaj mm do cm. Višinsko odstopanje je precej večje (okoli decimetra), zato lahko zaključimo, da je višinska koordinata manj natančna in so višine točk slabo določene.

Iz preglednic 11 in 12 bi lahko rekli, da se natančnost meritev povečuje z daljšanjem časovnih intervalov in pri istočasnih meritev so manjša medsebojna odstopanja. Iz ugotovljenega lahko rečemo, da daljši časovni interval trajanja RTK-meritev vodi do boljših rezultatov. Pri istočasnih meritvah so manjše razlike koordinat, kot pa pri zaporednih meritvah.

## 9 ZAKLJUČEK

Cilj naloge je bil primerjati dve različni metodi GNSS-meritev med seboj in ugotoviti, katera je boljša v kakovosti določitve položajev v globalnem koordinatnem sistemu. Meritve smo opravljali simultano in nesimultano, kar pomeni, da smo merili istočasno in vsako meritev posebej neodvisno.

Teste smo opravili na treh trajno stabiliziranih točkah stare trigonometrične mreže, ki so bile oddaljene od 500 do največ 1.800 m. Položaje točk, ki smo jih nadalje uporabili za osnovo primerjav, smo določili s statično izmero GNSS. Nadalje smo točkah določil položajez RTK-metodo izmere. Položaje smo določali istočasno (več operaterjev na več točkah). Dolžina trajanja opazovanj na posameznih točkah je bila različna: 5 min, 1 min, 30 s, 10 s in 5 s. Različno pridobljene položaje točk smo primerjali posebej za horizontalni položaj in višino.

Na začetku postavljena prva hipoteza se je nanašala primerjavo rezultatov statične metode izmere GNSS v definicijskem območju s pridobljenimi koordinatami točk z RTK-metodo izmere. Rezultati so pokazali, da v primeru daljših oddaljenost med točkami ne moremo govoriti o dosegljivi natančnosti določitve položaja z RTK-metodo izmere. Pri statični metodi se natančnost meritev večja daljšim trajanjem opazovanj.

V drugi hipotezi smo preverjali, ali lahko z istočasno izvedbo opazovanj RTK-metode izmere pridobimo boljše relativne položaje med točkami. To hipotezo smo sprejeli. Istočasno merjenje z RTK-metodo se obnese z boljšimi rezultati kot zaporedna merjenja. V času istočasnih meritev na različnih točkah so enaki pogoji (število in razporeditev satelitov) in predpostavljamo, da to vpliva k boljšim rezultatom. Slabost istočasnega merjenja je le v tem, da pri merjenju potrebujemo več instrumentov in posledično tudi več operaterjev.

Pri tretji hipotezi smo preverjali, ali lahko daljša izvedba opazovanj pri RTK-metodi izmere vodi do boljših rezultatov določitve 3D-položajev točk. Tudi to hipotezo smo sprejeli. To pomeni, da je utemeljena predpostavka, da daljši časovni interval opazovanj, ki je hkrati vezan na daljše prekinitve med ponovnimi določitvami položajev točk, ki jih naredimo, da se izognemo odboju signala od objekta, privede do boljših rezultatov določitve položaja z RTK-metodo izmere.

---

## VIRI

Bilban, G. 2014. Analiza kakovosti določitve položaja v omrežjih postaj GNSS. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Goleš, M., Kuhar, M. 2008. GPS – višinomerstvo s pomočjo RTK- metode izmere. Geod. vestn. <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-VT6NXNHW/> (Pridobljeno 20. 8. 2014)

Janssen, V. 2009. A comparison of the VRS and MAC principle for network RTK. V: Proceedings of IGNSS Symposium 2009. Queensland, Avstralija, 1.–3. december 2009: 13 str.

Komadina, Ž., Mesner, N. 2007. Metoda izmere za potrebe zemljiškega katastra = Obvezno izobraževanje geodetov. [http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/GRADIVA/poljceoktober07/Metode\\_izmere.pdf](http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/GRADIVA/poljceoktober07/Metode_izmere.pdf) (Pridobljeno 20. 8. 2014)

Královič, J. 2013. Testing of local precision of GNSS receivers Trimble GeoXR. Graduation Thesis. Praga.

Pavlovčič Prešeren, P., Mencin, A., Stopar, B. 2010. Analiza preizkusa instrumentarija GNSS-RTK po navodilih standarda ISO 17123-8. Geod. vestn., 54 (4).

Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2011. Satelitsko podprta geodetska izmera = del študijskega gradiva. [http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina\\_doc/fgg/knjiznica\\_datoteke/1296678800\\_fjA5Au9\\_sgpi\\_3tun\\_gps.pdf](http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina_doc/fgg/knjiznica_datoteke/1296678800_fjA5Au9_sgpi_3tun_gps.pdf) (Pridobljeno 15. 9. 2014)

Štroner, M., Urban, R., Královič, J. 2013. Testing the relative precision in local network with the use of the Trimble GEO XR GNSS Receivers. Versita, Reports on Geodesy vol. 94/2013, str. 27-36. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-27fa8be1-e81e-42d8-8557-03c742c14bf0/c/Stroner.pdf> (Pridobljeno 18. 10. 2014)