

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:

Vok, T., 2016. Vpliv različnih pogojev izvedbe statičnih opazovanj GNSS na določitev položaja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešern, P., somentor Sterle, O.): 34 str.

Datum arhiviranja: 14-09-2016

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:

Vok, T., 2016. Vpliv različnih pogojev izvedbe statičnih opazovanj GNSS na določitev položaja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešern, P., co-supervisor Sterle, O.): 34 pp.

Archiving Date: 14-09-2016

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

Kandidatka:

TADEJA VOK

**VPLIV RAZLIČNIH POGOJEV IZVEDBE STATIČNIH
OPAZOVANJ GNSS NA DOLOČITEV POLOŽAJA**

Diplomska naloga št.: 111/GIG

**THE INFLUENCE OF DIFFERENT CONDITIONS FOR
THE STATIC GNSS POSITIONING**

Graduation thesis No.: 111/GIG

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

asist. dr. Oskar Sterle

Ljubljana, 08. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Spodaj podpisana študentka TADEJA VOK, vpisna številka 26203527, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom "VPLIV RAZLIČNIH POGOJEV IZVEDBE STATIČNIH OPAZOVANJ GNSS NA DOLOČITEV POLOŽAJA"

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravice shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani,

Datum: avgust 2016

Tadeja Vok

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Tadeja Vok
Mentor:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	asist. dr. Oskar Sterle
Naslov:	Vpliv različnih pogojev izvedbe statičnih opazovanj GNSS na določitev položaja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga
Obseg in oprema:	34 str., 16 preg., 18 sl.
Ključne besede:	DOP faktorji, fazni center, GNSS, interval registracije, PPP, statična metoda izmere, točnost, višinski kot

Izвлеček:

V diplomski nalogi predstavljamo rezultate različnih obdelav statične metode izmere, ki smo jo izvedli ob idealnih terenskih pogojih za izvedbo opazovanj GNSS. Terensko izmero GNSS smo naredili v treh serijah in pri tem uporabili instrumente različnih proizvajalcev. Na ta način smo dobili oceno, kakšen vpliv ima kombinacija instrumentov različnih proizvajalcev na določitev položaja točk. Ob pridobivanju opazovanj smo satelitski signal registrirali na podlagi vseh razpoložljivih satelitov z nastavljenim višinskim kotom 0° . Z naknadno obdelavo smo z višanjem višinskega kota simulirali ovire ob sprejemnikih ter opazovali vpliv na določitev baznih vektorjev ter koordinat točk z namenom pridobitve ocene, do kakšnega višinskega kota je vpliv ovir ob sprejemnikih zanemarljiv. Za dani primer smo preverili tudi vpliv uporabljenih različnih tipov efemerid (*broadcast* in končne precizne) na določanje položaja. Na podlagi obdelav z različnimi intervali registracije in različnim časovnim intervalom trajanja opazovanj smo pridobili oceno, ali je bolj smiselno pridobivati opazovanja dalj časa ali s krajšim intervalom registracije satelitskega signala. Položaje točk, ki smo jih dobili z relativno obdelavo statične izmere GNSS, smo primerjali z absolutno določenimi položaji po metodi PPP. Pri tem smo uporabili spletna programa MagicGNSS in TrimbleRTX ter primerjali rezultate. Na koncu smo na različne načine pridobljene koordinate uporabili v izračunih za oceno vpliva koordinatnih odstopanj na izpeljane količine (dolžine, kote in površine).

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 528.2(497.4)(043.2)
Author: Tadeja Vok
Supervisor: Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-supervisor: assist. Oskar Sterle, Ph. D.
Title: The influence of different conditions for the static GNSS positioning
Documenttype: Graduation Thesis - University Studies
Notes: 34 p., 16 tab., 18 fig.
Key words: DOP factors, phase center, GNSS, sampling rate, PPP, GNSS static measurement, accuracy, cut-off angle

Abstract:

The thesis presents static processing results of fieldwork GNSS observations performed in nearly ideal conditions. Three sessions of static observations were performed at the field by different combination of GNSS receivers' usage at the end of the baselines. While obtaining observations the cut-off angle was set on 0° , but during the processing we simulated obstacles near GNSS receivers by increasing cut-off angle. We estimated how the obstacles influence the coordinates and tried to find the answer of which cut-off angle in the presence of obstacles could be negligible. We checked the effect of different types of ephemeris (broadcast and final precise) usage on final coordinate's determination. Based on different strategy processing results, i.e. different sampling rate as well as shorter observation duration, we studied which factor has more influence on the coordinates' quality. Coordinates acquired from relative post-processing were further used as the reference for studying the absolute PPP (Precise Point Positioning) post-processing results, where PPP coordinates were calculated by online applications MagicGNSS and TrimbleRTX. Finally, different coordinates were used in distances, horizontal angles and areas calculations to find out how different quality of coordinates affects indirect acquired quantities.

ZAHVALA

V prvi vrsti se za vse strokovne nasvete, smernice, pomoč, ideje o možnih izboljšavah in nadgradnjah, prijaznost in potrpežljivost pri pisanju diplomske naloge zahvaljujem mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren ter somentorju asist. dr. Oskarju Sterletu. Za pomoč pri izvedbi terenskega dela se zahvaljujem Albinu Mencinu.

Za spodbudo, motivacijo ter pomoč v vseh oblikah se zahvaljujem svoji družini, ki mi je omogočila študij in me na celotni poti do diplomske naloge podpirala.

Zahvala gre tudi vsem sošolcem, ki so mi popestrili dosedanja študijska leta. Hvala tudi vsem prijateljem in ostalim, ki so me spodbujali, motivirali in podpirali.

KAZALO VSEBINE

UPORABLJENE KRATICE IN OKRAJŠAVE.....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 Delovne hipoteze	2
1.2 Struktura naloge.....	3
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA ZA OPIS PROBLEMA	4
2.1 Metode geodetske izmere GNSS	4
2.1.1 Statična metoda izmere.....	5
2.1.2 Hitra statična metoda	6
2.1.3 Metoda PPP.....	7
2.2 Antena sprejemnika GNSS.....	8
2.3 Vplivi na opazovanja GNSS.....	10
2.3.1 Geometrijska razporeditev satelitov in DOP faktorji.....	10
3 TERENSKO DELO IN OBDELAVA OPAZOVANJ	14
3.1 Terensko delo	14
3.1.1 Opis delovišča in stabilizacije točk.....	14
3.1.2 Terenska izmera	15
3.2 Obdelava opazovanj.....	16
3.2.1 Obdelava opazovanj statične in hitre statične metode izmere GNSS.....	16
3.2.2 Obdelava opazovanj po metodi PPP.....	22
3.2.2.1 Obdelava s spletno storitvijo MagicGNSS.....	23
3.2.2.2 Obdelava s spletno storitvijo TrimbleRTX	24
4 UPORABA KOORDINAT RAZLIČNE KAKOVOSTI V NADALJNJIH IZRAČUNIH DOLŽIN, KOTOV IN POVRŠIN.....	27
4.1 Izračun dolžin med točkami	27
4.2. Izračun kotov med zveznicami med točkami.....	29
4.3 Izračun površine območja.....	30
5 ZAKLJUČEK.....	32
VIRI.....	33
PRILOGE.....	A1
A. Koordinate točk in odstopanja ob različnih obdelavah ter grafični prikazi položajev točk	A1

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti PDOP faktorja in možna uporaba opazovanj (Introduction to GPS, 2016)...	13
Preglednica 2: Geografske koordinate uporabljenih stalnih postaj.....	17
Preglednica 3: Izravnane ravninske koordinate in elipsoidna višina merjenih točk na podlagi vseh treh serij opazovanj.....	18
Preglednica 4: Odstopanja koordinat glede na uporabljen tip sprejemnika od izravnanih koordinat	18
Preglednica 5: Ravninske koordinate in elipsoidna višina, pridobljene s spletno storitvijo MagicGNSS	24
Preglednica 6: Odstopanja koordinat, pridobljenih s storitvijo MagicGNSS, od rezultatov obdelave statične metode izmere v LGO	24
Preglednica 7: Odstopanja koordinat, pridobljenih s storitvijo TrimbleRTX, od rezultatov obdelave statične izmere v LGO ter obdelave s storitvijo MagicGNSS.....	25
Preglednica 8: Dolžine med točkami na podlagi izravnanih koordinat.....	27
Preglednica 9: Dolžine med točkami ob obdelavi pri višinskem kotu 45° ter odstopanja od dolžin izračunanih na podlagi izravnanih koordinat.....	28
Preglednica 10: Dolžine med točkami na podlagi obdelav po metodi PPP.....	28
Preglednica 11: Odstopanja dolžin med točkami na podlagi obdelav po metodi PPP od rezultatov izravnave	28
Preglednica 12: Izračunani koti v trikotniku na podlagi izravnave.....	29
Preglednica 13: Izračunani koti in odstopanja v primeru koordinat slabše kakovosti	29
Preglednica 14: Izračunani koti in odstopanja pri obdelavah po metodi PPP	30
Preglednica 15: Izračune površine in odstopanje med najboljšo in najslabšo določenimi položaji točk	31
Preglednica 16: Izračunane površine in odstopanja glede na uporabo metode PPP	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Relativno določanje položaja na osnovi dvojnih faznih razlik	6
Slika 2: Princip določanja absolutnega položaja	7
Slika 3: Glavne točke antene sprejemnika GNSS.....	9
Slika 4: Dobra geometrijska razporeditev satelitov in nizka vrednost DOP faktorjev	11
Slika 5: Slaba geometrijska razporeditev satelitov in visoka vrednost DOP faktorjev	11
Slika 6: Princip določitve PDOP faktorja kot obratne vrednosti prostornine tetraedra	12
Slika 7: Stabilizacija točk s kovinskim žebliem	14
Slika 8: Prikaz lokacij merjenih točk (približne geografske koordinate sredine delovišča: $\varphi = 46^{\circ} 01' 33''$ S, $\lambda = 14^{\circ} 28' 26''$ V).....	15
Slika 9: Postavljen instrument Leica Viva	15
Slika 10: Postavljen instrument Trimble 4000SSi Compact L1/L2 with Ground Plane.....	16
Slika 11: Izris položajev točk skupaj s standardnimi elipsami pogreškov v LGO (Leica Geosystems, 2016).....	17
Slika 12: Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT3 glede na višinski kot.....	19
Slika 13: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT3 glede na višinski kot	20
Slika 14: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT4 glede na višinski kot	20
Slika 15: Grafični prikaz horizontalnih koordinat na podlagi hitre statične in statične metode izmere.21	
Slika 16: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT3 glede na dolžino opazovanj.....	21
Slika 17: Spletni program Precise Point Positioning by email (MagicGNSS, 2016)	23
Slika 18: Spletni program TrimbleRTX (TrimbleRTX, 2016).....	25

UPORABLJENE KRATICE IN OKRAJŠAVE

ARP	angl. Antenna Reference Point (referenčna točka antene)
BDS	angl. BeiDou Navigation Satellite System
DOF	Državni ortofoto
DOP	angl. Dilution of precision
D96/TM	Datum 1996/Transverzalna Merkatorjeva projekcija
ETRS89	angl. European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	angl. European Reference Frame
GLONASS	rus. Globalnaya Navigatsionnaya Sputnukuvaya Sistema
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System (Globalni navigacijski satelitski sistem)
GPS	angl. Global Positioning System
GSR1	stalna postaja omrežja SIGNAL v Ljubljani
IGS	angl. International GNSS Service
idr.	in drugi
ipd.	in podobno
LGO	programski paket Leica Geo Office
NGS	angl. National Geodetic Survey
PCO	angl. Phase Center Offset
PCV	angl. Phase Center Variations
PPP	angl. Precise Point Positioning
RINEX	angl. Receiver Independent Exchange
RTK	angl. Real Time Kinematic
SIGNAL	Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija
QZSS	angl. Quasi-Zenith Satellite System

"Ta stran je namenoma prazna."

1 UVOD

Za reševanje geodetskih nalog se je z razmahom tehnologije in napredkom stroke poleg uporabe klasičnih geodetskih postopkov uveljavila uporaba tehnologije GNSS (angl. *Global Navigation Satellite System*). V osnovi so globalni navigacijski satelitski sistemi (GNSS) sestavljeni iz treh segmentov – vesoljskega, kontrolnega in uporabniškega. Prvega predstavljajo sateliti različnih sistemov in sicer NAVSTAR GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, GAGAN, IRNSS in QZSS. Kontrolni segment tvorijo kontrolne postaje na Zemlji, ki opravljajo različne naloge, povezane z delovanjem satelitov in njihovim položajem. Uporabniški segment predstavljamo vsi uporabniki tehnologije GNSS, ki na podlagi opazovanj GNSS določamo položaj točk. Le-tega določimo na podlagi opazovane razdalje, ki jo prepotuje signal, oddan s satelitov do sprejemnikov na točkah. Dosežena natančnost določitve položaja točk je odvisna od vplivov, ki na satelitski signal delujejo tekom potovanja do sprejemnika, tipa sprejemnika, metode izmere ter pogojev izmere. Najvišja dosegljiva natančnost je v definicijskem območju milimetrov. Zahteva uporabo dvofrekvenčnih sprejemnikov, dolgotrajno opravljanje opazovanj oziroma izvajanje statične metode izmere ter opravljenih več serij opazovanj za zagotovitev nadštevilnosti in nadaljnjo izravnavo mreže GNSS. Na tak način določen položaj točk lahko uporabimo za geodetske naloge, pri katerih je visoka natančnost nujna in se navezujejo na spremljanje tektonike, določanje koordinat stalnih postaj ipd. Visoko natančnost določitve položaja lahko dosežemo z dvofrekvenčnimi sprejemniki ob uporabi relativnih metod izmer, kjer lahko bazne vektorje določimo z visoko natančnostjo. Taki metodi sta hitra statična in RTK (angl. *Real Time Kinematic*) metoda izmere. Uporaba položajev točk, določenih na ta način, je primerna za naloge evidentiranja nepremičnin, gradbeništva, daljinskega zaznavanja ipd. Nekoliko slabšo kakovost določitve položajev točk, to je okoli 1 m, dosežemo z uporabo metode diferencialni GPS (DGPS) in enofrekvenčnih sprejemnikov z zunanjo anteno. S to metodo določene položaje točk lahko uporabimo za geoinformacijske, lokacijske storitve, hidrografske naloge, idr. Za navigacijo zadostuje podmetrska ali nekajmetrska natančnost, ki jo lahko dosežemo z enofrekvenčnimi ali ročnimi sprejemniki GNSS (Omrežje Signal, 2016).

Končna kakovost koordinat točk, ki jih izvajalci geodetskih nalog pri terenskem delu pridobivajo na različne načine, je zelo pomembna, saj vpliva na kakovost celotnega dela. Izpolnjevanje zahtev po natančnosti predstavlja pravilo stroke, ki ga morajo upoštevati vsi izvajalci geodetskih del. Pomembno je, v kakšnih terenskih pogojih se še odločimo za izmero GNSS ter kako jo izvedemo. Terenski pogoji določajo najmanjši višinski kot vpadlega satelitskega signala. Pri odprtem območju brez ovir lahko opazovanja pridobivamo pri višinskem kotu 0° , a je zaradi vpliva podaljšanja poti razširjanja signala GNSS zaradi odbojev od objektov v okolici smiselno nastaviti višji višinski kot. Za izvedbo samih opazovanj je nujno, da so na razpolago vsaj 4, v postopku inicializacije vsaj 5, ustrezno geometrijsko razporejenih satelitov, da je vrednost faktorja DOP nizka.

V diplomski nalogi smo raziskovali, do kakšnega višinskega kota je geodetsko statično metodo izmere GNSS še smiselno izvajati, da bodo končne koordinate še primerne kakovosti. Statično metodo izmere GNSS smo opravili na območju, kjer v bližini ni bilo ovir, in pogoje poslabševali pri obdelavi z nastavljanjem različnih višinskih kotov.

Ker stremimo k doseganju višje kakovosti položajev točk, nas zanima, ali je bolj smiselno pridobivati opazovanja dlje časa ali nastaviti krajši interval registracije signala. V ta namen smo opazovanja obdelali z različnimi intervali registracije ter preverjali, ali se rezultati obdelave spreminjajo s spreminjanjem intervala registracije. Prav tako smo pridobljena opazovanja krajšali ter jih obdelali kot hitro statično metodo izmere in pri tem uporabili vsa pridobljena opazovanja v tem časovnem intervalu.

Med metodami geodetske izmere GNSS se vedno bolj razvija metoda PPP (angl. *Precise Point Positioning*), ki ponuja številne prednosti, saj omogoča določitev položaja točk ob uporabi produktov, ki jih zagotavljajo geodetske službe, kot sta IGS (angl. *International GNSS Service*) ter NGS (angl. *National Geodetic Survey*), z naknadno obdelavo opazovanj na eni sami točki. Pri statični izmeri metoda PPP omogoča določitev položaja sprejemnika s centimetrovsko točnostjo v globalnem koordinatnem sistemu ETRS89. V skladu s tem smo preverjali, kakšna odstopanja v koordinatnih komponentah dobimo, če opazovanja statične izmere obdelamo absolutno po metodi PPP v primerjavi z relativno obdelavo statične izmere GNSS.

Kakovost določenega položaja točk ter odstopanja v posameznih komponentah se odražajo tudi v nadaljnjih izračunih. Ker smo opravili 3 serije opazovanj, smo naredili izravnavo ter rezultate primerjali glede na vrednosti posameznih parametrov obdelave, predvsem glede na višinski kot, interval registracije ter uporabljene metode izmere (statična, hitra statična ter metoda PPP). Za vsako izmed izvedenih kombinacij smo računali dolžine med točkami, na katerih smo opravljali izmero GNSS, kote, ki jih zveznice med točkami oklepajo ter površino območja, ki ga omejujejo. Zanimal nas je vpliv odstopanj v koordinatah točk na našete izračune.

1.1 Delovne hipoteze

V okviru diplomske naloge smo postavili hipoteze:

1. Uporaba opazovanj instrumentov različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev ima vpliv na kakovost določitve vektorja in končnih koordinat opazovanih točk.
2. Na bazne vektorje in s tem na določitev koordinat točk po obdelavi vpliva različen višinski kot oz. geometrija razporejenosti satelitov na obzorju,

3. Obdelava z uporabo s satelita oddanih (angl. *broadcast*) efemerid je manj kakovostna kot obdelava s preciznimi efemeridami, še posebej pri daljših baznih vektorjih.
4. Krajši čas pridobivanja opazovanj s hitro statično izmero vpliva na določanje položaja bolj kot izbira krajšega ali daljšega intervala registracije.
5. Z obdelavo opazovanj statične izmere po metodi PPP pridobljene koordinate točk odstopajo na nivoju centimetra.

1.2 Struktura naloge

Naloga je sestavljena iz šestih glavnih poglavij, kjer opisujemo teoretična izhodišča, opravljeno terensko delo in obdelave opazovanj ter predstavljamo rezultate in končne ugotovitve, do katerih smo v okviru nastajanja diplomske naloge prišli.

Po uvodnem poglavju, kjer navajamo postavljene hipoteze, predstavljamo osnovna teoretična izhodišča, ki jih je treba poznati za razumevanje dela, ki je potekalo v okviru diplomske naloge. Opisali smo metode geodetske izmere GNSS, ki smo jih pri terenskem delu in obdelavi uporabili, ter pomembna dejstva glede anten sprejemnika GNSS, ki jih v praktičnem delu naloge obravnavamo. Navajamo tudi teoretična izhodišča o vplivih na opazovanja GNSS ter podrobno opisujemo vpliv geometrijske razporeditve satelitov ter pomen faktorjev DOP (angl. *dilution of precision*). Temu sledi opis priprav na terensko delo, delovišča ter samega terenskega dela in opravljene obdelave ter njihovi rezultati. V naslednjem poglavju predstavljamo nadaljnje izračune na podlagi pridobljenih koordinat ter odstopanja v izračunanih količinah zaradi različnih nastavitvev obdelave. Sledi zaključno poglavje, kjer povzemamo glavne ugotovitve ter vrednotimo v začetku postavljene hipoteze.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA ZA OPIS PROBLEMA

Kakovost določitve koordinat točk, na katerih opravljamo opazovanja GNSS, je odvisna od tipa uporabljenega sprejemnika, uporabljene metode izmere ter pogojev, ki jih določa delovišče. Za potrebe geodetskih nalog pri izmeri GNSS uporabljamo dvo- ali več-frekvenčne sprejemnike, ki v kombinaciji z ustreznimi metodami izmere ter postopki obdelave prinašajo rezultate primerne točnosti. Glede na zahtevano točnost določitve položaja točk izberemo metodo geodetske izmere. V nadaljevanju so opisane statična metoda izmere, ki smo jo izvajali na terenu ter obdelali v pisarni, hitra statična metoda izmere, ki smo jo na podlagi opazovanj statične izmere kreirali s krajšanjem opazovanj in jo obdelali, ter metoda PPP, s katero smo opazovanja obdelali z uporabo internetnih aplikacij. Pri tem smo raziskovali vpliv uporabe različnih metod izmere in obdelave na določitev položaja točk.

2.1 Metode geodetske izmere GNSS

Geodetska izmera GNSS vključuje terenske postopke, ki omogočajo pridobiti koordinate točk in objektov v globalnem koordinatnem sistemu z visoko točnostjo. Primerna je za širok spekter geodetskih del, edina omejitev, ki jo je treba upoštevati, je odprtost območja, kjer izvajamo izmero, da sprejemamo signal od zadostnega števila satelitov. Metode geodetske izmere delimo glede na (Stopar, 2015):

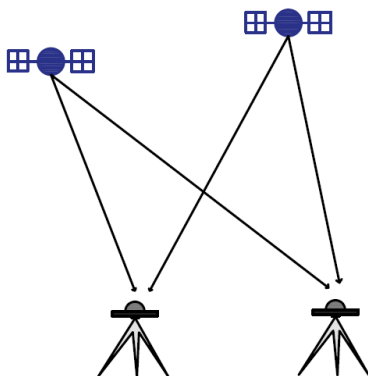
- način določitve položaja,
- dinamiko izmere,
- čas pridobitve rezultatov in
- uporabljena opazovanja.

V diplomski nalogi obravnavamo metode glede na način določitve položaja in jih opredeljujemo tudi glede na ostale parametre delitve. Uporabljene metode definiramo na podlagi določanja relativnega ali absolutnega položaja. Pri prvem potrebujemo opazovanja na dveh točkah, pri čemer je ena izmed njiju dana, pri drugem pa za pridobitev položaja točke zadoščajo pridobljena opazovanja na njej. Glede na dinamiko izmere delimo metode med statične in kinematične. Delitev glede na čas pridobitve rezultatov uvršča metode v dve skupini in sicer v pridobitev položaja točk z naknadno obdelavo ali realnem času. Uporabili smo metode izmere, kjer položaj točk pridobimo z naknadno obdelavo. Pri metodah izmere GNSS lahko uporabimo kodna ali fazna opazovanja. Za izvajanje geodetske izmere GNSS je nujna uporaba faznih opazovanj, ki omogoča pridobitev položaja točk z ustrezno kakovostjo.

2.1.1 Statična metoda izmere

Statično metodo izmere poznamo kot metodo dolgotrajne izmere GNSS na točki, pri čemer je sprejemnik na točki tekom izmere ves čas pri miru. Pridobljena fazna opazovanja lahko obdelamo na absolutni (metoda PPP) ali relativni način, pri čemer pojem obdelave statične izmere še vedno v večini primerov povezujemo z obdelavo na relativni način. Ta temelji na pridobitvi opazovanj z najmanj dvema mirujočima sprejemnikoma hkrati, pri čemer položaj ene točke dobro poznamo v GNSS-koordinatnem sistemu. Sprejemnik, ki ga postavimo na dani točki, imenujemo referenčni sprejemnik in ga lahko postavimo sami, lahko pa uporabimo tudi opazovanja stalnih postaj GNSS. V primeru, ko na primerni oddaljenosti ni na voljo nobena izmed možnosti zagotovitve referenčnega sprejemnika, si lahko pomagamo s storitvami omrežja stalnih postaj, kot je SIGNAL, ki nam lahko vzpostavi navidezno referenčno postajo. Položaj nove točke določimo z obdelavo podlagi faznih opazovanj ter tvorjenja faznih razlik – enojnih, dvojnih (slika 1) in trojnih. Pri tem se izločijo pogreški satelitove in sprejemnikove ure ter se določi fazna nedoločenost v območju realnih ali naravnih števil. V prvem primeru dobimo t. i. "float" rešitev, v drugem pa "fixed" rešitev, pri kateri so rezultati določeni z višjo natančnostjo. Kakovostno določeno neznanost število celih valov oz. fazna nedoločenost je ključno za doseganje kakovostnih rezultatov (Stopar, 2015).

Pri statični metodi je pomembno tudi načrtovanje izmere. Določimo namen in cilj izmere ter potrebno točnost končnih koordinat. Izberemo primerno območje za izmero ter logistično planiramo izvedbo opazovanj v smislu izbora točk, določitve števila serij opazovanj, uporabljenega instrumentarija in programske opreme. Pridobivanje opazovanj s to metodo izmere, ki traja dlje časa – med 30 in 120 minut (Stopar in Kogoj, 2009), omogoča določitev koordinat opazovanih točk z najvišjo kakovostjo v okviru metod geodetske izmere GNSS. Trajanje opazovanj, ki jih izvajamo na točki, je odvisno od zahtevane natančnosti določitve koordinat točk v ustreznem koordinatnem sistemu, geometrijske razporeditve satelitov in trenutnih merskih pogojev. Pri najnatančnejših izmerah se opazovanja pridobivajo tudi več dni, pri čemer spremljamo tudi meteorološke pogoje. Opazovanja praviloma pridobivamo v več serijah, pri čemer instrument v serijah postavimo neodvisno. Pri uporabi statične metode izmere GNSS opazovanja obdelujemo naknadno. Rezultat naknadne obdelave so najprej bazni vektorji med točkami in nato koordinate novih točk v globalnem koordinatnem sistemu. Za višjo kakovost rezultatov uporabimo precizne efemeride. Pred izmero so na voljo najhitrejše (angl. *Ultra Rapid*), z nekaj dnevnim zamikom hitre (angl. *Rapid*) in po nekaj tednih končne (angl. *Final*) efemeride (Kozmus in Stopar, 2003). Vse so dostopne na spletni strani IGS (IGS, 2016).



Slika 1: Relativno določanje položaja na osnovi dvojnih faznih razlik

Statična metoda izmere v okviru izmere GNSS omogoča pridobivanje položaja točk z najvišjo kakovostjo. Le-ta je odvisna od pogojev, ki jih določa teren. Točke, ki jim določamo položaj, se včasih nahajajo v zaprtih območjih, kjer se nahajajo ovire pri sprejemanju satelitskega signala, kot so visoke stavbe ali drevesa. Raziskujemo vpliv ovir ob točkah, kjer opravljamo opazovanja, na kakovost določitve položaja z umetnim kreiranjem slabih pogojev izmere na podlagi spreminjanja višinskega kota pri obdelavi opazovanj. Nastavitve pridobivanja opazovanj omogočajo, da določimo tudi interval registracije opazovanj. S tem sami določimo, kako pogosto sprejemnik GNSS registrira satelitski signal. Ker se geometrija satelitov na tirnicah pri pogostejšem pridobivanju opazovanj oz. pri manjšem intervalu registracije zelo malo spremeni, preverjamo, kakšen je vpliv različnih nastavitvev intervala registracije na kakovost obdelave opazovanj. Geometrijska razporeditev satelitov se spremeni v daljšem časovnem obdobju, zato nas zanima vpliv dolžine pridobivanja opazovanj na kakovost določitve položaja točk s kreiranjem hitre statične izmere na podlagi krajšanja opazovanj.

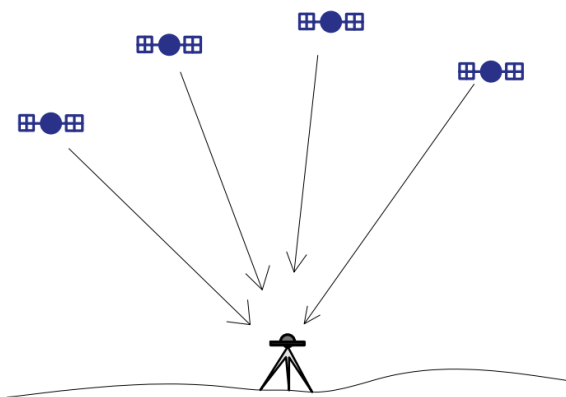
2.1.2 Hitra statična metoda

Princip določitve položaja pri hitri statični metodi je enak kot pri statični metodi. Spada med relativne metode geodetske izmere GNSS, pri kateri opazovanja obdelujemo naknadno. V okviru hitre statične metode opazovanja pridobivamo manj časa in sicer od 10 do 30 minut (Stopar in Kogoj, 2009). Rezultati, ki jih pri tem dobimo, so glede na statično metodo primerljive kakovosti, saj se za določitev fazne nedoločenosti uporabijo kakovostni algoritmi (Stopar, 2015).

Pri hitri statični izmeri traja pridobivanje opazovanj manj časa, kot pri statični izmeri, kar pomeni, da se v tem času geometrijska razporeditev satelitov na tirnicah manj spreminja. Zanima nas, kakšen je vpliv krajših opazovanj na določanje položaja v primerjavi s krajšanjem intervala registracije pri statični metodi izmere.

2.1.3 Metoda PPP

Metoda PPP (angl. *Precise Point Positioning*) je metoda določanja absolutnega položaja točke (slika 2) ob uporabi kodnih in faznih opazovanj GNSS enega sprejemnika. Razvoj koordinatnih sistemov, modelov vplivov na opazovanja GNSS ter produktov, ki jih zagotavlja služba IGS, predvsem efemerid, je povečal uporabnost metode PPP. Uporaba te metode obdelave opazovanj iz statične metode izmere zagotavlja določitev koordinat točk s centimetrovsko točnostjo (Sterle in sod., 2014).



Slika 2: Princip določanja absolutnega položaja

Vse vplive, katerih velikostni razred je večji od milimetra, je za zagotovitev najvišje kakovosti določitve položaja treba odstraniti. Sem spadajo (Sterle in sod., 2014):

- pogrešek položaja satelitov na tirnici in pogreški urinih tekov satelitovih ur in parametrov vrtenja Zemlje,
- vpliv relativnosti,
- vpliv ionosfere in vpliv troposfere na razširjanje elektromagnetnega valovanja,
- vplivi plimovanj oceanov in trdne Zemlje,
- vpliv preskoka faze,
- nesovpadanje faznega in geometričnega centra anten sprejemnikov in satelitov in
- vpliv podaljšanja poti razširjanja signala GNSS zaradi pojava odboja signala.

Prvo skupino pogreškov modeliramo in nadalje odstranimo z uporabo produktov službe IGS – preciznih efemerid, preciznih popravkov ur satelitov in parametrov vrtenja Zemlje. Vpliv ionosfere predstavlja največji vpliv na opazovanja GNSS. Do polovice velikosti ga zmanjšamo z uporabo modelov, kot je Klobucharjev, če imamo na voljo večfrekvenčne sprejemnike pa skorajda v celoti s sestavo linearnih kombinacij L_3 in P_3 . Za zmanjšanje vpliva ionosfere je primernejša uporaba druge možnosti. Za odstranitev vpliva troposfere na razširjanje signala GNSS je edina možnost modeliranje oziroma ocena vpliva tekom obdelave opazovanj GNSS, v kolikor nam programje za obdelavo to omogoča. Vpliv večpotja zmanjšamo s posebno obliko antene GNSS, ki ima ogrodje v obliki

koncentričnih kovinskih krogov (antena *Choke Ring*), in izbiro optimalnega delovišča ter točk, na katerih izvajamo opazovanja (Sterle in sod., 2014).

Prednosti uporabe metode PPP so (Čadež, 2010):

- potrebujemo opazovanja od enega samega sprejemnika,
- je metoda absolutne določitve položaja, kar pomeni, da ne potrebujemo opazovanj z referenčne postaje, zato ni stroškov s pridobivanjem opazovanj referenčne postaje in
- ker določamo absolutni položaj, kakovost dobljenih koordinat ni odvisna od oddaljenosti med točkami oz. dolžin baznih vektorjev.

Podatki, ki jih potrebujemo za naknadno obdelavo opazovanj pri relativnih metodah izmere GNSS (opazovanja stalnih ali virtualnih postaj omrežja SIGNAL), so z dnem 1. 7. 2015 postali plačljivi. Strošek prenosa ene datoteke z opazovanji v formatu RINEX znaša 1,20 €; za vsako minuto prenesenih podatkov doplačamo 0,10 € (Gregorič, 2016). Z obdelavo po metodi PPP se tem stroškom, ki so pri dolgotrajnem pridobivanju opazovanj s statično metodo lahko veliki, izognemo.

Za terensko izmero v okviru diplomske naloge smo uporabili dvofrekvenčne sprejemnike ter statično metodo izmere. S krajšanjem opazovanj smo pridobili podatke za obdelavo hitre statične izmere (relativni način) ter z uporabo internetnih aplikacij za obdelavo uporabili metodo PPP (angl. *Precise Point Positioning*). Cilj je bil pridobiti oceno, kako z različnimi nastavitvami obdelave opazovanj pridobiti položaje točk z najboljšo kakovostjo.

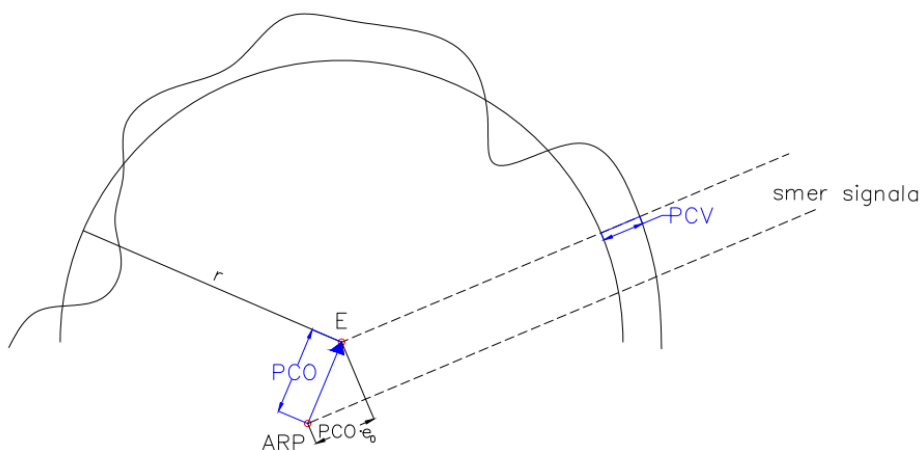
2.2 Antena sprejemnika GNSS

Pri relativnih metodah izmere, ki smo jih uporabili v okviru diplomske naloge in prinašajo rezultate najvišje kakovosti, potrebujemo opazovanja tudi na dani točki. Pri tem se večinoma navezujemo na točke državnega omrežja stalnih postaj GNSS SIGNAL, ki skrbi za neprestano pridobivanje opazovanj na stalnih postajah ter omogoča vzpostavitev virtualne referenčne postaje, v kolikor se delovišče nahaja na večjih oddaljenostih od stalnih postaj. Uporabniki velikokrat uporabljamo sprejemnike, ki so drugačnega proizvajalca in tipa kot sprejemniki na stalnih postajah ali pa sami izvajamo izmero na več točkah z različnimi sprejemniki. Zato moramo za raziskovanje vpliva postavitve sprejemnikov različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev poznati osnovna dejstva o antenah sprejemnikov GNSS.

Pri obdelavi faznih opazovanj je treba upoštevati odmike faznega od elektriškega centra. V ta namen se uporabljajo kalibracijski protokoli, ki jih zagotavljajo različne geodetske službe, kot sta IGS (IGS, 2016) in NGS (NGS, 2016). Te določajo odmike faznih centrov v posebnih laboratorijih z relativno ali absolutno kalibracijo oziroma s kalibracijo v posebnih komorah (Pavlovčič Prešeren, 2015).

Začetna točka opazovanj GNSS je oddajnik signala v satelitu in končna sprejemnik GNSS. Ta pretvarja energijo satelitskih signalov v elektriško količino. Končna točka opazovanj je fazni center antene. Fazni center antene je točka, ki variira in ne sovpada z anteninim geometričnim centrom. Njen položaj je odvisen od jakosti ter frekvence signala GNSS in višinskega kota ter azimuta satelita, ki predstavlja začetno točko opazovanj GNSS. Položaj faznega centra ni identičen za L1 in L2 opazovanja GNSS (Pavlovčič Prešeren, 2015).

Pri obdelavi faznih opazovanj je pomembno, da upoštevamo odmik faznega centra antene glede na srednjo vrednost faznega centra antene. Položaj srednje vrednosti faznega centra glede na referenčno točko antene (v nadaljevanju: ARP (angl. *antenna reference point*)) imenujemo odmik faznega centra (v nadaljevanju: PCO (angl. *phase center offset*)). Ta je podan v obliki prostorskih relativnih koordinat glede na ARP in ga obravnavamo kot konstanten del variacije faznega centra. Spremenljiv del predstavljajo variacije faznega centra, ki so odvisne od smeri signala (v nadaljevanju: PCV (angl. *phase center variations*)). Slika 3 prikazuje geometrijska razmerja med ARP in faznim centrom antene (Pavlovčič Prešeren, 2015).



Slika 3: Glavne točke antene sprejemnika GNSS

Na sliki 3 je z e_0 označen enotski vektor v smeri vpadlega signala od satelita do sprejemnika, E predstavlja trenutno točko faznega centra ter r radij antene.

Določitev vrednosti PCO ter PCV znotraj določene natančnosti je ključnega pomena pri določanju položaja točk z metodami izmere GNSS z visoko natančnostjo. Obstajata dva načina upoštevanja odmika in variacije faznega centra (El-Hattab, 2013):

- upoštevanje priporočenih vrednosti odklikov, ki jih navaja proizvajalec sprejemnika GNSS in
- upoštevanje preciznih vrednosti odklikov, ki se določijo v procesu kalibracije anten GNSS.

Različni tipi anten imajo različne vrednosti PCV, zato so bazni vektorji z različnimi tipi anten na krajiščih občutljivi na vrednosti višinskega kota. V primeru kratkih baznih vektorjev in uporabi anten enakega tipa, se vrednosti PCO na krajiščih baznih vektorjev izničijo oz. so razlike zanemarljive (El-Hattab, 2013).

2.3 Vplivi na opazovanja GNSS

Pri izvajanju opazovanj GNSS je za reševanje geodetskih nalog pomembna natančnost pridobljenih položajev točk. Odvisna je od več vplivov, ki delujejo na satelitski signal tekom njegove poti od satelitov do sprejemnikov in jih za pridobitev kakovostnih rezultatov moramo poznati ter na ustrezen način upoštevati. Velikost nekaterih vplivov lahko z metodo izmere, izbiro instrumentarija, modeliranjem ter izbiranjem primerne delovišča zmanjšamo.

Pri določanju položaja točk z metodami izmere GNSS signal potuje od satelitov, ki krožijo okrog Zemlje na veliki oddaljenosti, do sprejemnikov na zemeljskem površju. Položaj točk se določa na podlagi psevdorazdalje med sateliti in sprejemniki, zato jo je potrebno določiti z visoko natančnostjo. Kakovost določitve položaja točk je odvisna od več dejavnikov (Pavlovčič Prešeren, 2015):

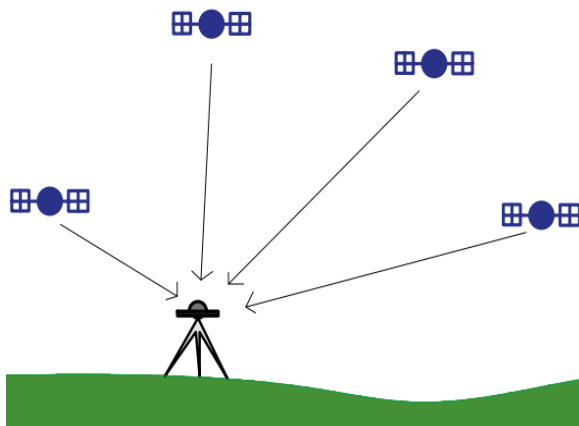
- kakovosti določitve položaja satelitov na tirnici,
- geometrijske razporeditve satelitov glede na položaj sprejemnika,
- kakovosti posameznih opazovanj (razmerje signala in šuma na signal),
- uporabljenega instrumentarija (eno- ali večfrekvenčni instrumenti) in
- modeliranja in odstranjevanja vplivov na opazovanja.

V diplomski nalogi podrobneje obravnavamo vpliv geometrijske razporeditve satelitov glede na položaj sprejemnika na kakovost določanja položaja, saj raziskujemo vpliv višinskega kota, ki je povezan z ovirami v bližini delovišča ter posredno z geometrijsko razporeditvijo razpoložljivih satelitov na kakovost določitve položaja točk. Višje kot so ovire v bližini sprejemnika GNSS, manj je razpoložljivih satelitov za izvajanje geodetske izmere GNSS ter slabše so določene koordinate točk.

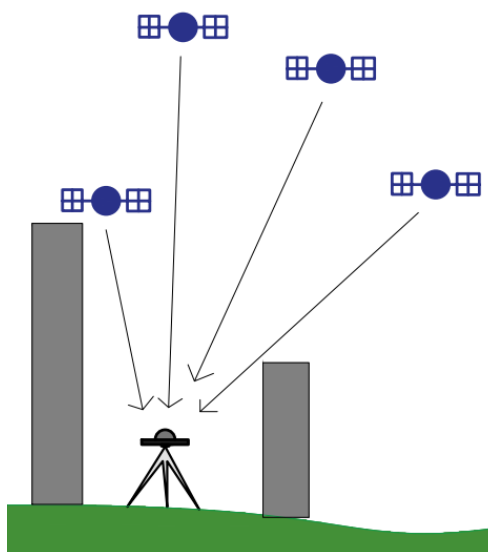
2.3.1 Geometrijska razporeditev satelitov in DOP faktorji

En izmed pomembnih faktorjev, ki vplivajo na kakovost določanja položaja točk z geodetskimi metodami izmere GNSS, je geometrijska razporeditev satelitov. Dobra geometrijska razporeditev satelitov pomeni, da so le-ti čim bolj razporejeni po celotnem obzorju (slika 4). Slaba ali dobra geometrijska razporeditev satelitov se najbolj odraža v višinski komponenti koordinat opazovanih točk. Geometrijsko razporeditev satelitov opisujemo z vrednostmi DOP (angl. *dilution of precision*) faktorjev (Introduction to GPS, 2016).

Nižja vrednost DOP faktorjev predstavlja boljšo geometrijsko razporeditev satelitov. Na vrednost faktorja vplivajo višinski koti satelitov, zato je njegova vrednost višja pri izmeri ob ovirah (slika 5).



Slika 4: Dobra geometrijska razporeditev satelitov in nizka vrednost DOP faktorjev



Slika 5: Slaba geometrijska razporeditev satelitov in visoka vrednost DOP faktorjev

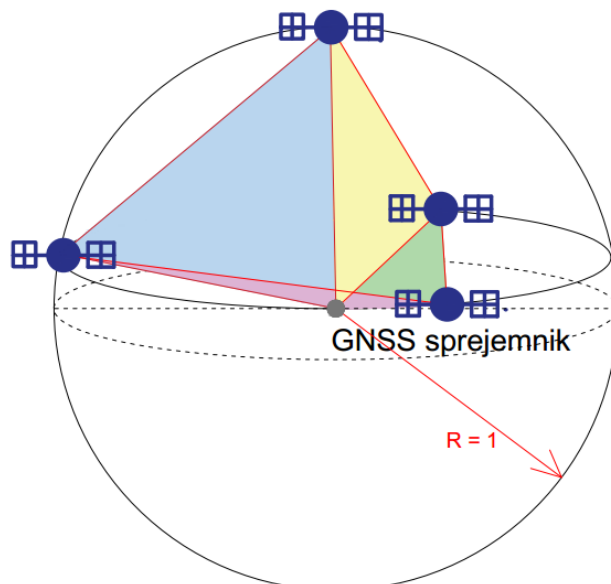
Poznamo več vrst DOP faktorjev:

- GDOP (geometrijsko slabšanje natančnosti),
- PDOP (položajno slabšanje natančnosti),
- HDOP (horizontalno slabšanje natančnosti),
- VDOP (vertikalno slabšanje natančnosti) in
- TDOP (časovno slabšanje natančnosti).

Prispevek geometrijske razporeditve satelitov k natančnosti določanja položaja opisuje faktor PDOP. PDOP je obratno sorazmeren s prostornino tetraedra (enačba 1), ki je določena na podlagi povezav satelitov in sprejemnikov ter njihovih presekov z enotsko kroglo z izhodiščem v sprejemniku (slika 6).

To pomeni, da dobimo najboljšo vrednost PDOP faktorja takrat, ko je prostornina tetraedra z vrhom v sprejemniku čim večja. PDOP faktor združuje faktorja HDOP in VDOP (Langley, 1999).

$$PDOP \approx \frac{1}{V_{tetraedra}} \quad (1)$$



Slika 6: Princip določitve PDOP faktorja kot obratne vrednosti prostornine tetraedra

Vpliv celotne geometrijske razporeditve satelitov opisuje faktor GDOP, ki združuje koordinatne (PDOP) in časovni (TDOP) faktor. Sprejemniki za izbor najboljše geometrijsko razporejenih satelitov za najbolj kakovostno določitev položaja pri izmeri uporabljajo algoritme, ki temeljijo na faktorju GDOP, zato le-ta predstavlja pomembno količino v meritvah GNSS. DOP-faktorje lahko planiramo vnaprej z uporabo almanaha GNSS, lahko ga kontroliramo tekom izmere oziroma ga lahko računamo naknadno.

Vrednosti vseh faktorjev DOP izračunamo na podlagi variančno-kovariančne matrike ocenjenih neznank (2), ki jih predstavljajo koordinate točke (x,y,z) ter pogrešek teka sprejemnikove ure (t).

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{xt} \\ \sigma_{yx} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} & \sigma_{yt} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_z^2 & \sigma_{zt} \\ \sigma_{tx} & \sigma_{ty} & \sigma_{tz} & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Vrednost faktorja GDOP (preglednica 1) izračunamo tako, da seštejemo diagonalne člene te matrike in vsoto korenimo (3) (Pavlovčič Prešeren, 2015).

$$GDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2} \quad (3)$$

Preglednica 1: Vrednosti PDOP faktorja in možna uporaba opazovanj (Introduction to GPS, 2016)

Vrednost PDOP	Ocena	Opis
1	Idealno	Položaj je določen z najvišjo stopnjo zaupanja in ga lahko uporabimo pri nalogah, ki zahtevajo najvišje natančnosti.
2-3	Odlično	Določevanje položaja pri tej stopnji zaupanja je primerno za vse naloge, razen tiste, ki zahtevajo najvišje natančnosti.
4-6	Dobro	Položaj, določen pri tej stopnji zaupanja, je primeren za navigacijo.
7, 8	Srednje	Položajne meritve lahko uporabljamo za izračune, a je priporočljivo meritve opraviti ob boljših pogojih.
9-20	Zadovoljivo	Stopnja zaupanja je nizka. Meritve so primerne le za približno določanje položaja.
21 in več	Slabo	Takih meritev ne smemo uporabljati, saj so meritve pogrešene za več kot 300 m.

Pri reševanju geodetskih nalog z izmero GNSS je pomembna kakovost določitve položaja točk. Le-to lahko izboljšamo z uporabo dvofrekvenčnega sprejemnika, izbiro metode izmere ter opravljanjem geodetske izmere GNSS v optimalnih pogojih. Najvišjo kakovost v okviru metod izmere GNSS omogoča statična metoda, ki smo jo v okviru terenskega dela izvedli. Zanima nas, kakšen vpliv ima dolžina časovnega intervala pridobivanja opazovanj na rezultate obdelave, zato smo opazovanja krajšali ter jih obdelali kot hitro statično metodo izmere in primerjali rezultate. Ker se vedno bolj razširja uporabnost metode PPP, smo preverili rezultate obdelav ob uporabi dveh spletnih programov. Med vplive na opazovanja štejemo tudi geometrijsko razporeditev satelitov na obzorju, ki je odvisna od višinskega kota, ki je pogojen z odprtostjo območja in ovirami v bližini sprejemnika GNSS. Raziskujemo, kakšen vpliv imajo različni višinski koti na kakovost določitve položaja sprejemnika GNSS na podlagi spreminjanja tega parametra pri obdelavah. Na določitev položaja vplivajo tudi sprejemniki GNSS. Antene sprejemnikov GNSS različnih proizvajalcev imajo različne značilnosti, zato je pri obdelavah potrebno upoštevati vrednosti, ki so opisane v poglavju 2.2. Kadar uporabljamo antene istih proizvajalcev na krajiščih kratkih baznih vektorjev, se napake iz tega vzroka izničijo. Ko uporabljamo antene različnih proizvajalcev, temu ni tako. Preverili smo, vpliv antene sprejemnikov GNSS različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev na določitev položaja nove točke.

3 TERENSKO DELO IN OBDELAVA OPAZOVANJ

V okviru diplomske naloge smo želeli preveriti velikost vplivov parametrov, ki jih lahko nastavljamo pri obdelavi opazovanj izmere GNSS. V ta namen smo opravili terensko izmero v treh serijah, pri čemer smo opazovanja pridobili s statično metodo izmere GNSS in jih obdelali na različne načine.

3.1 Terensko delo

Terensko izmero smo opravili na obrobju Ljubljanskega barja na za izmero GNSS primernem delovišču s približnimi koordinatami v koordinatnem sistemu ETRS89 ($\varphi = 46^{\circ} 01' 33'' S$, $\lambda = 14^{\circ} 28' 26'' V$). Glavni cilj je bil pridobiti tri serije opazovanj, daljših od 60 minut, z instrumenti različnih proizvajalcev. Terensko izmero smo opravili v dveh terminih. V prvem terminu, 20. 11. 2015, smo izvedli prvo serijo opazovanj dolžine približno eno uro. V drugem terminu, 11. 12. 2015, smo izvedli nadaljnji dve seriji enournih statičnih opazovanj. Opazovanja smo pridobivali ob višinskem kotu 0° in intervalu registracije 5 sekund.

3.1.1 Opis delovišča in stabilizacije točk

Izmero smo naredili na treh točkah AVT3, AVT4 ter AVT5, ki so bile med seboj oddaljene med 55 in 70 m (slika 8). Točke smo stabilizirali s kovinskim žebljem ter jih označili, kot je razvidno s slike 7. Izbrali smo jih tako, da je na njih omogočena neovirana in nemotena izmera dlje časa ter proč od stavb, vegetacije in drugih elementov, ki bi lahko vplivali na kakovost pridobivanja opazovanj, kot so kovinske ograje in kovinske strehe, zaradi katerih bi lahko prišlo do podaljšanja poti razširjanja signala zaradi odboja (angl. *multipath*).



Slika 7: Stabilizacija točk s kovinskim žebljem



Slika 8: Prikaz lokacij merjenih točk (približne geografske koordinate sredine delovišča: $\varphi = 46^{\circ} 01' 33''$ S, $\lambda = 14^{\circ} 28' 26''$ V)

3.1.2 Terenska izmera

Terensko delo je potekalo v dveh terminih. Prvo serijo statičnih opazovanj smo opravili 20. 11. 2015 med 13:50 in 15:20 po lokalnem času. Drugo in tretjo serijo smo izvedli 11. 12. 2015, ko smo med 9:00 in 10:45 ter 10:50 in 12:00 po lokalnem času pridobivali opazovanja na obravnavanih točkah.

V prvem terminu smo po izboru in stabilizaciji točk na njih postavili stativ ter na njih sprejemnike GNSS Leica Viva. Instrumente smo centriralni s pomočjo optičnega grezila in horizontalirali s pomočjo dozne in cevni libel. Ko so bili instrumenti postavljeni, smo sprožili pridobivanje opazovanj, ki je v okviru statične izmere trajalo 90 minut. Slika 9 prikazuje način postavitve instrumenta na točki. Vidna je okolica točke, na kateri smo izvajali izmero GNSS, kjer ni bilo objektov, ki bi ovirali ali onemogočali sprejem signala GNSS, kot so visoke stavbe ter visoka vegetacija. Vidi se, da v okolici ni motečih elementov, ki bi povzročale odboj signala, kot so kovinske strehe ali ograje, ampak so edini vir odboja signala GNSS le asfaltna tla.



Slika 9: Postavljen instrument Leica Viva

V drugem terminu smo poiskali točke, ki smo jih stabilizirali in na njih opravili opazovanja v okviru prvega termina ter preverili njihovo stanje. Vse točke so bile na istih mestih, saj na delovišču ni motečih dejavnikov, ki bi prispevali k premiku ali uničenju točk, kot je gost promet. Na točke smo postavili stativne ter na njih sprejemnike GNSS Trimble 4000SSi Compact L1/L2 with Ground Plane (slika 10). Sprožili smo pridobivanje opazovanj in po 105. minutah sprejemnik na točki AVT5 zamenjali s sprejemnikom GNSS Leica Viva, ki je bil uporabljen v okviru prve serije. S tem smo omogočili primerjavo rezultatov glede na uporabljene različne instrumente na krajiščih baznih vektorjev.



Slika 10: Postavljen instrument Trimble 4000SSi Compact L1/L2 with Ground Plane

3.2 Obdelava opazovanj

V kolikor na terenu nimamo na voljo komunikacijskih povezav med instrumentoma, lahko šele z naknadno obdelavo opazovanj pridobimo položaje točk v izbranem koordinatnem sistemu GNSS. V danem primeru smo za obdelavo opazovanj relativne določitve položaja uporabili programski paket Leica Geo Office (Leica Geosystems, 2016), medtem ko smo za absolutno določitev položaja s faznimi opazovanji po metodi PPP uporabili spletna programa MagicGNSS (MagicGNSS, 2016) in Trimble RTX (TrimbleRTX, 2016).

3.2.1 Obdelava opazovanj statične in hitre statične metode izmere GNSS

Položaje novih točk smo obdelali z navezavo na stalno postajo omrežja SIGNAL GSR1 v Ljubljani ter na stalni postaji v Trebnjem in Radovljici, ki sta od delovišča oddaljeni več kot 50 km. Položaji teh stalnih postaj so s koordinatami v ETRS89 koordinatnem sistemu predstavljeni v preglednici 2. V obdelavi smo uporabili precizne efemeride službe IGS in Hopfieldov model troposferske refrakcije. Za

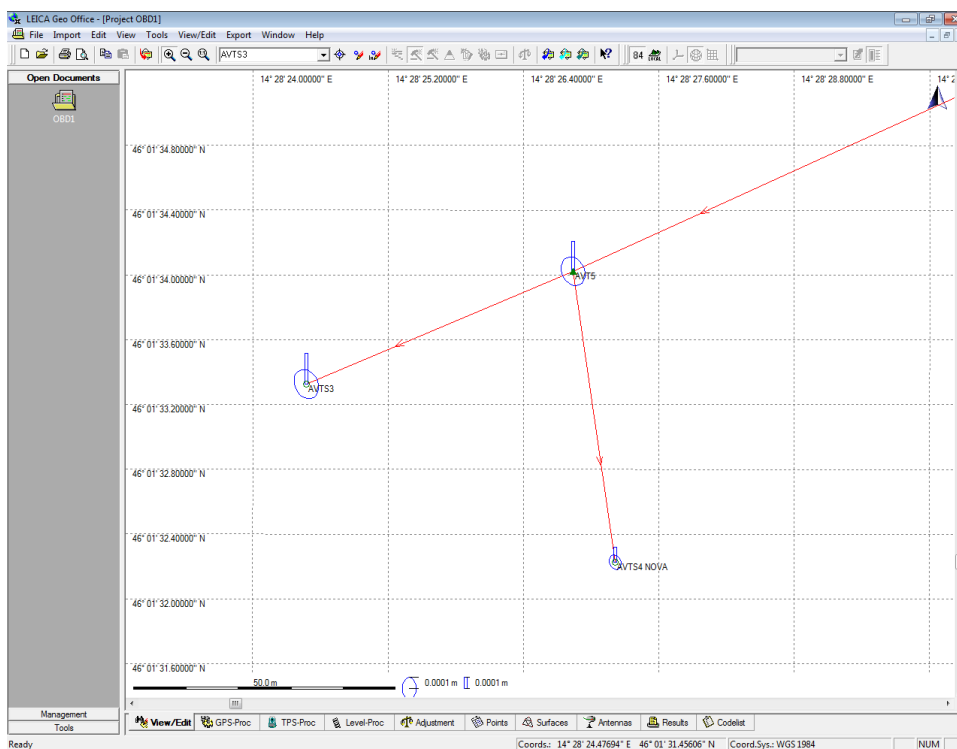
določitev datotek RINEX, ki so vsebovale opazovanja z različnimi intervali registracije, smo uporabili program teqc (UNAVCO, 2016).

Preglednica 2: Geografske koordinate uporabljenih stalnih postaj

Točka	ϕ	λ	h [m]
GSR1 (Ljubljana)	46° 02' 53,27068" S	14° 32' 37,36199" V	351,662
Radovljica	46° 20' 37,61069" S	14° 10' 17,57093" V	554,303
Trebnje	45° 54' 26,35661" S	15° 00' 29,31806" V	331,690

V primeru vseh obdelav, razen obdelave hitre statične metode, smo najprej obdelali vektor med stalno postajo (GSR1) in točko AVT5. Zatem smo slednjo določili kot kontrolno ter obdelali vektorja, kjer smo AVT5 določili kot referenčni sprejemnik in AVT3 ter AVT4 kot premični. V primeru hitre statične metode smo obdelavo izvedli radialno. Za primerjavo rezultatov smo opravili tudi izravnavo na podlagi opazovanj vseh serij (preglednica 3). Vse obdelave smo izvedli v programskem paketu Leica Geo Office (v nadaljevanju: LGO) (slika 11).

Ko smo opravili vse obdelave, smo koordinate iz koordinatnega sistema ETRS89, ki smo jih dobili kot rezultat obdelav, pretvorili v koordinatni sistem D96/TM s spletnim programom SiTraNet (Sitranet, 2016), pri čemer smo ohranili elipsoidno višino in se s tem izognili odstopanjem, ki bi nastala zaradi slabega modela geoida. Slednje koordinate smo primerjali glede na različne parametre obdelave.



Slika 11: Izris položajev točk skupaj s standardnimi elipsami pogreškov v LGO (Leica Geosystems, 2016)

Preglednica 3: Izravnane ravninske koordinate in elipsoidna višina merjenih točk na podlagi vseh treh serij opazovanj

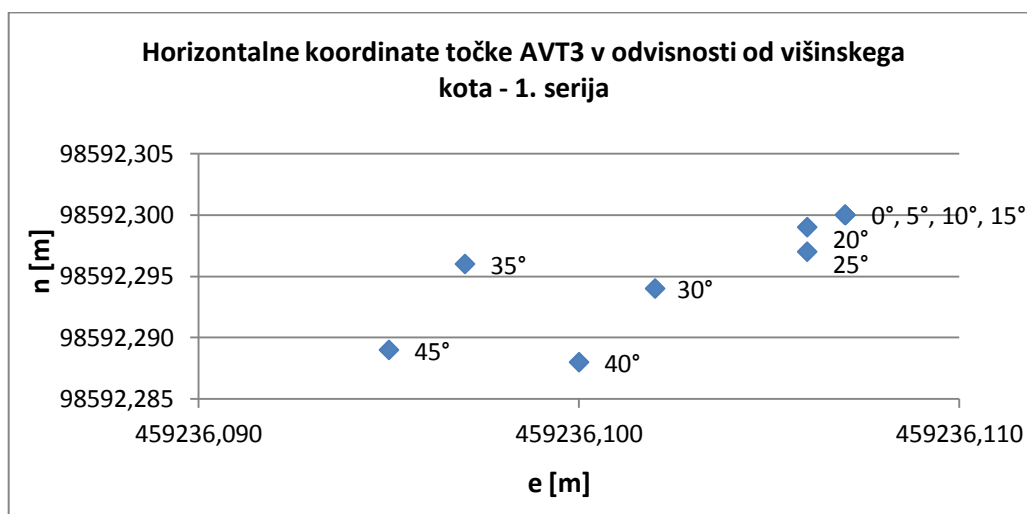
Točka	e [m]	n [m]	h [m]
AVT3	459.236,111	98.592,305	348,876
AVT4	459.294,645	98.557,986	347,823
AVT5	459.287,001	98.613,468	347,921

Najprej smo obdelali opazovanja statične metode na podlagi navezave na stalno postajo omrežja SIGNAL v Ljubljani (GSR1), kjer opazovanja pridobivajo s pomočjo sprejemnika proizvajalca Leica. Ker smo opazovanja opravili v treh serijah z različnimi kombinacijami instrumentov, nas je zanimalo, kakšen vpliv imajo sprejemniki različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev na določitev položaja, pri tem pa smo uporabili vsa pridobljena opazovanja in jih obdelali ob višinskem kotu 15°. Zanimala so nas odstopanja, ki smo jih izračunali tako, da smo od vrednosti za vsako serijo odšteli izravnane koordinate. Koordinate, ki smo jih pri obdelavah dobili, ter njihovi grafični prikazi so v prilogi A. V preglednici 4 predstavljamo odstopanja glede na izravnane koordinate točk. Vidimo, da so odstopanja v horizontalnih komponentah koordinat na ravni nekaj milimetrov. Razlog za to je v tem, da so bazni vektorji, s katerimi smo delali, relativno kratki, zato se pogrešek odmikov faznega centra predvsem zaradi podobnega višinskega kota satelitov, pri instrumentih istega proizvajalca ne pozna toliko. Horizontalni položaji točk se pričakovano ob uporabi različnih instrumentov v danem primeru nahajajo znotraj natančnosti metode izmere. Vzrok za nastala odstopanja je tudi centriranje z optičnim grezilom. Večja so odstopanja v višinski komponenti, kjer pri uporabi kombinacije instrumentov Leica in Trimble znašajo do dobrega centimetra. Odstopanja so še večja, če posamezne serije primerjamo med sabo. Razlika v višinski komponenti točke AVT3 ob primerjavi rezultatov serije z Leicini instrumenti ter kombinacijo instrumentov znaša več kot 1,5 cm in točke AVT5, kjer razlika med dobljenimi elipsoidnimi višinami znaša slaba 2 cm.

Preglednica 4: Odstopanja koordinat glede na uporabljen tip sprejemnika od izravnanih koordinat

Točka	Odstopanja [m]		
	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	-0,004	-0,005	0,010
AVT4	0,003	-0,002	0,004
AVT5	-0,002	-0,002	-0,001
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	0,002	0,003	-0,005
AVT4	-0,002	-0,001	-0,004
AVT5	-0,001	0,000	-0,008
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	0,000	0,000	-0,006
AVT4	0,002	0,003	-0,008
AVT5	0,004	0,005	0,011

Raziskovali smo vpliv različnega minimalnega višinskega kota vpadlega satelitskega signala, ki smo ga spreminjali pri obdelavi, na določitev položaja točk. To smo storili za vsako serijo opazovanj posebej. V tem primeru smo odstopanja računali znotraj posamezne serije, kjer smo za osnovo vzeli koordinate, ki smo jih dobili ob višinskem kotu 15° . Koordinate točk, ki smo jih dobili za vrednosti višinskega kota od 0° do 45° z razmikom po 5° , ter odstopanja so v prilogi A. Slika 12 prikazuje vpliv različno nastavljenega višinskega kota pri obdelavah opazovanj prve serije na horizontalni položaj točke AVT3, kjer so odstopanja največja.

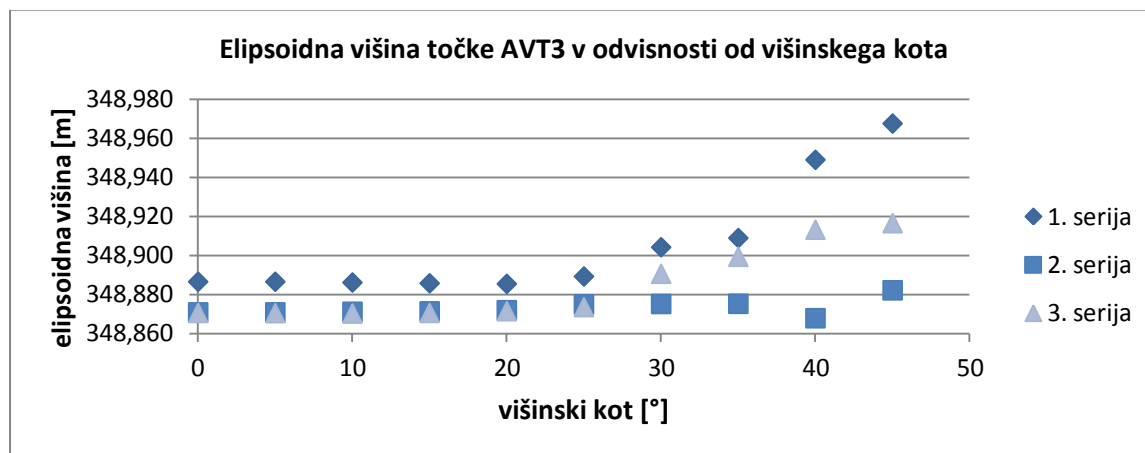


Slika 12: Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT3 glede na višinski kot

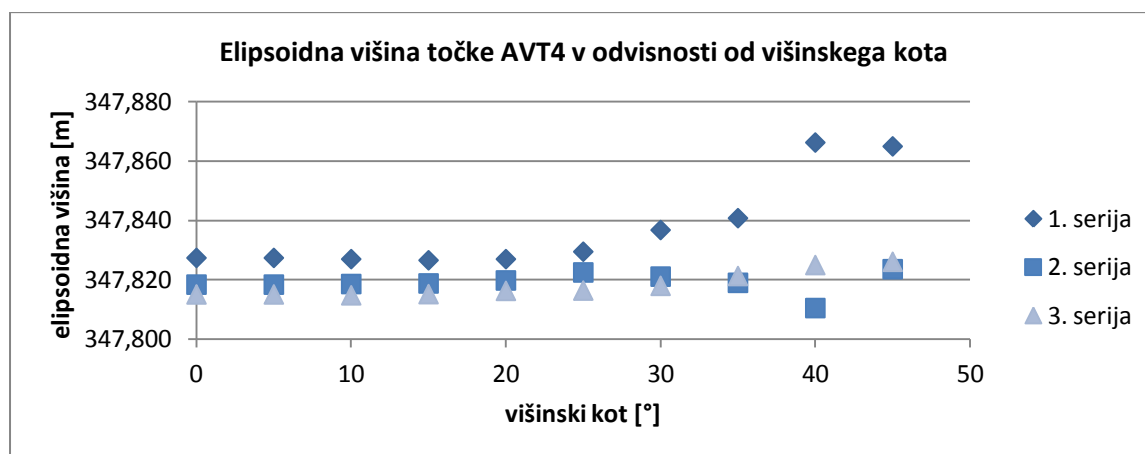
Horizontalne koordinate se ob višinskem kotu do 20° v nobenem primeru ne razlikujejo za več kot 1 mm. Zaradi večje možnosti, da pride do večpotja in večjega vpliva atmosfarske refrakcije pri nižjih vrednostih višinskega kota, je smiselno opazovanja obdelati z višinskim kotom 10° ali 15° . S povečevanjem višinskega kota se povečujejo tudi odstopanja v horizontalnih komponentah koordinat točk. Visoka ovira v bližini točke, ki bi omejevala število razpoložljivih satelitov in s tem prispevala k slabši geometrijski razporeditvi satelitov na obzorju, vpliva na horizontalni položaj v primeru statične metode izmere do dobrega centimetra. Večja so odstopanja v višinski komponenti, ki so grafično predstavljena za vse serije opazovanj na točki AVT3 na sliki 13. V tem primeru so odstopanja najvišja. Višinska komponenta je takrat, ko je ob točki visoka ovira, pogrešena v najslabšem primeru tudi do dobrih 8 cm. V ostalih primerih znašajo odstopanja do približno 4 cm, kot je za točko AVT4 prikazano na sliki 14.

Grafični prikazi odstopanj horizontalnih koordinat za drugo in tretjo serijo opazovanj na točki AVT3 ter za vse serije opazovanj na točkah AVT4 in AVT5 ter elipsoidne višine za točko AVT5 se nahajajo v prilogi A. Rezultati obdelav so bili pričakovani, saj imamo pri višjih ovirah ob točkah za geodetsko izmero GNSS na voljo manj satelitov, ki so geometrijsko slabše razporejeni, kar prinese rezultate

slabše kakovosti. V vseh primerih se je večanje višinskega kota najbolj odrazilo na višinski komponenti koordinat točk, kjer so nastopala najvišja odstopanja.



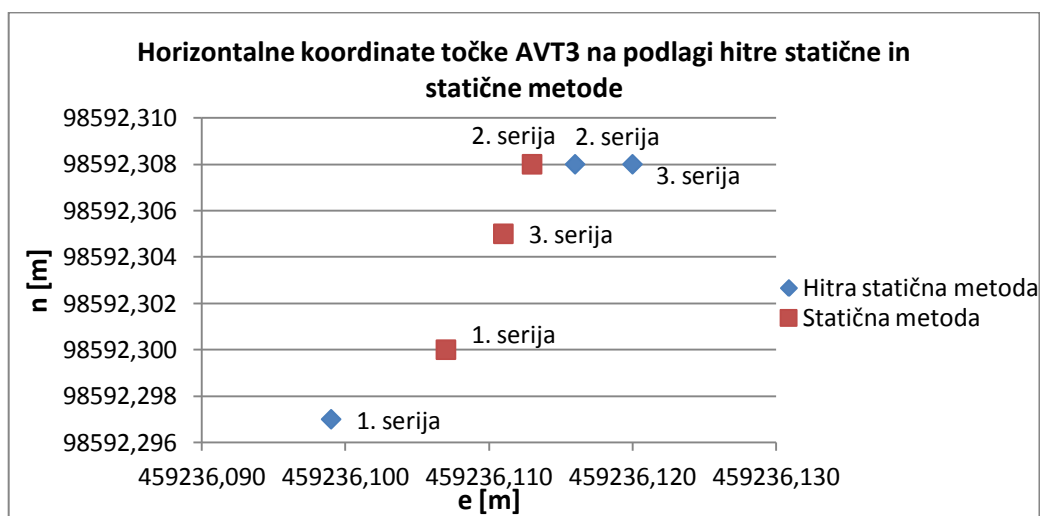
Slika 13: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT3 glede na višinski kot



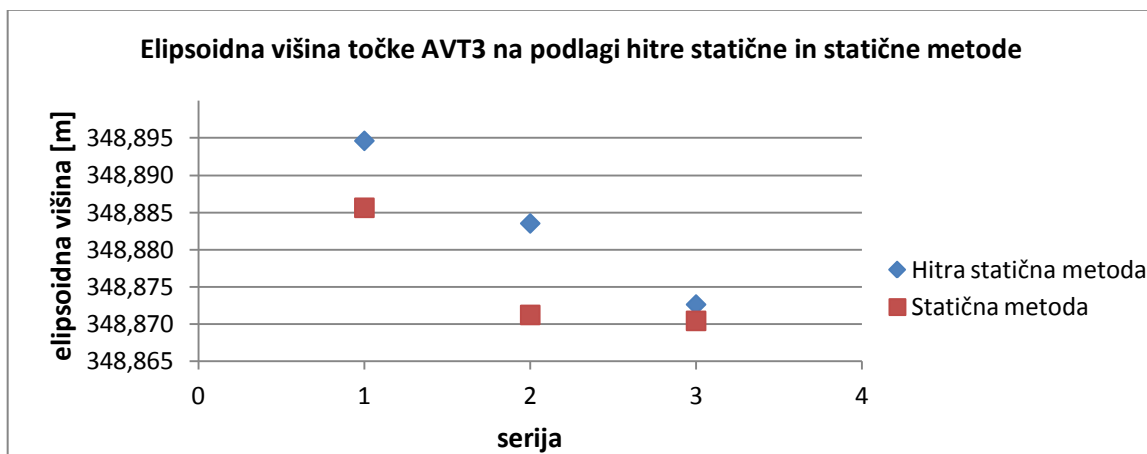
Slika 14: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT4 glede na višinski kot

Pri pridobivanju opazovanj ter pri njihovi obdelavi lahko nastavimo tudi različne intervale registracije, zato nas zanima, kakšen je vpliv različnih intervalov registracije na določitev položaja. Predvsem nas zanima, ali je bolj smiselno pogosteje registrirati satelitski signal in opazovanja pridobivati manj časa ali pa nastaviti daljši interval registracije in izmero opravljati dlje časa. V ta namen smo pri obdelavah statične metode izmere spreminjali interval registracije od 5 do 30 sekund. Pri obdelavah smo nastavili višinski kot 15° in uporabili precizne efemeride. Rezultati obdelav so v vseh serijah pokazali, da izbira intervala registracije med omenjenimi ne vpliva na določitev položaja točk, saj se koordinate točk v nobeni komponenti znotraj serije niso razlikovale. Koordinate točk, ki smo jih dobili, so enake kot v primeru obdelave ob višinskem kotu 15° , kjer smo primerjali določene koordinate glede na uporabljene instrumente različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev.

Izvajalci geodetskih del se na terenu večkrat poslužujejo hitre statične metode, kjer je čas pridobivanja opazovanj krajši. Želeli smo primerjati rezultate obdelave z različnimi intervali registracije z rezultati, ki bi jih dobili, če bi na terenu izvajali hitro statično metodo izmere GNSS. Pri obdelavi opazovanj, ki smo jih s programom teqc skrajšali na 20 minut, smo se navezali na stalno postajo GSR1 in opazovanja obdelali radialno. Koordinate, ki smo jih dobili kot rezultat obdelav za vsako serijo, ter odstopanja od rezultatov statične izmere ob višinskem kotu 15° so predstavljene v prilogi A. Na sliki 15 so horizontalne koordinate pridobljene s statično ter hitro statično izmero za točko AVT3 prikazane grafično. Odstopanja, ki smo jih dobili, so velikostnega reda do slabega 1 cm.



Slika 15: Grafični prikaz horizontalnih koordinat na podlagi hitre statične in statične metode izmere



Slika 16: Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT3 glede na dolžino opazovanj

Večja so odstopanja v višinski komponenti, ki so prikazana na sliki 16. Največje odstopanje znaša 1,2 cm. S tem smo potrdili pričakovano, da je za rezultate natančnosti, manjše od centimetra, smiselno opravljati daljša opazovanja z daljšim intervalom registracije v primerjavi z najpogostejšim registriranjem signalov pri izmeri, ki traja manj časa. Grafični prikaz horizontalnih koordinat ter elipsoidne višine glede na tip izmere za točki AVT4 in AVT5 je v prilogi A.

Za določitev položajev satelitov, ki smo jih pri pridobivanju opazovanj uporabili, na njihovi tirnici pri obdelavah potrebujemo efemeride. S satelita dobimo med izmero s satelita posredovane t.i. "broadcast" efemeride, ki omogočajo določitev položaja satelita na njegovi tirnici, a s slabšo natančnostjo. Najnatančneje določimo njihove položaje s končnimi preciznimi efemeridami, ki nam jih geodetske službe zagotovijo po spletu v realnem času, najbolj kakovostne pa šele po 2 do 3 tednih po opravljeni izmeri. Zanima nas, kakšen vpliv ima uporaba prvih in drugih efemerid pri obdelavi opazovanj na določitev položaja, zato smo vsako serijo opazovanj obdelali še s satelita oddanimi efemeridami in primerjali rezultate. Koordinate, ki smo jih pri tem dobili, so v prilogi A. Odstopanja od koordinat, ki smo jih dobili pri obdelavi s preciznimi efemeridami, nastopijo le pri prvi seriji opazovanj, z najvišjo vrednostjo 3 mm in so v prilogi A skupaj z grafičnimi prikazi. Pričakovali smo, da bodo odstopanja zaradi uporabljenih efemerid na določitev koordinat točk vplivala v večji meri, kot se je izkazalo. Iz tega razloga smo še preverili, ali tip uporabljenih efemerid morda bolj vpliva na določitev položaja pri večjih oddaljenostih danih točk.

Stalna postaja GSR1, ki smo jo najprej uporabili za navezavo, je od delovišča oddaljena slabih 6 km. Za preverjanje vpliva uporabljenih efemerid smo se navezali tudi na od delovišča bolj oddaljeni stalni postaji omrežja SIGNAL Radovljica in Trebnje, kjer oddaljenost znaša več kot 50 km. Opravili smo obdelave tako s preciznimi kot z *broadcast* efemeridami ter primerjali rezultate. Koordinate in odstopanja med rezultati ob uporabi preciznih in broadcast efemerid so v prilogi A. Ugotovili smo, da ima v danem primeru tudi pri večjih oddaljenostih stalne postaje tip uporabljenih efemerid majhen vpliv na določitev položaja, saj največje odstopanje znaša 3 mm. Razlike v koordinatah so za horizontalni položaj točke in višinsko komponento primerljive velikosti.

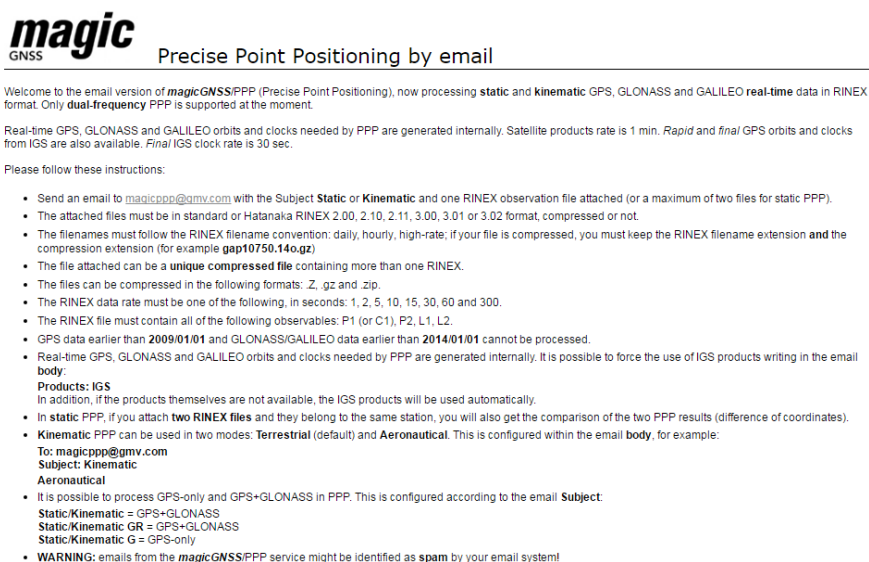
3.2.2 Obdelava opazovanj po metodi PPP

Opazovanja, pridobljena s statično geodetsko izmero GNSS, smo obdelali po metodi PPP s pomočjo spletnih programov MagicGNSS (<http://magicgnss.gmv.com/>) in TrimbleRTX (<http://www.trimblertx.com/>). Na ta način smo položaj točkam določili z absolutno metodo na osnovi statičnih faznih opazovanj. Na ta način smo zagotovili primerjavo določenih koordinat na podlagi statične metode, ki je relativne narave in metode PPP, ki je absolutne narave. Ker smo na ta način opazovanja obdelali z dvema spletnima orodjema, smo zagotovili tudi primerjavo rezultatov, ki jih dobimo na podlagi uporabe spletnega orodja MagicGNSS ali TrimbleRTX.

3.2.2.1 Obdelava s spletno storitvijo MagicGNSS

MagicGNSS je spletni program, ki omogoča različne storitve za registrirane in neregistrirane uporabnike. Storitve je produkt španskega skrbnika GMV Aerospace and Defence S.A.U. in omogoča uporabniku (MagicGNSS, 2016):

- uporabo trenutnih ali starih podatkov sistemov GNSS s spleta,
- da naloži in deli datoteko z opazovanji na spletu,
- da pridobi podatke o sinhronizaciji satelitovih ur GNSS-sistemov GPS, GALILEO in GLONASS in
- da določi položaj sprejemnika s centimetrovsko natančnostjo z uporabo storitve PPP.



Slika 17: Spletni program Precise Point Positioning by email (MagicGNSS, 2016)

Za potrebe diplomske naloge smo uporabili storitev *Precise Point Positioning by email* (slika 12), ki omogoča obdelavo statičnih in kinematičnih opazovanj. Storitve v primeru statičnih opazovanj podpira obdelavo opazovanj daljših od 60 minut, pridobljenih z dvofrekvenčnimi sprejemniki preko satelitov GNSS-sistemov GPS, GALILEO in GLONASS. Preko spletne pošte smo poslali datoteke RINEX z opazovanji ter prejeli poročila o obdelavi. Z uporabo te storitve smo obdelali le prvo serijo opazovanj, ki smo jih pridobili z instrumenti proizvajalca Leica, saj RINEX datoteke opazovanj, pridobljenih z instrumenti proizvajalca Trimble, vsebujejo časovne oznake (angl. *Timestamps*), ki jih storitev ne podpira. Dobili smo položaje točk v ITRS08 koordinatnem sistemu, ki smo jih s spletno aplikacijo SiTraNet pretvorili v ravninske koordinate (preglednica 5). Opazovanja so obdelali ob višinskem kotu 10°. Te rezultate smo primerjali z rezultati statične metode – odstopanja so predstavljena v preglednici 6.

Preglednica 5: Ravnske koordinate in elipsoidna višina, pridobljene s spletno storitvijo MagicGNSS

Točka	e [m]	n [m]	h [m]
AVT3	459.236,636	98.592,841	348,818
AVT4	459.295,194	98.558,496	347,770
AVT5	459.287,552	98.613,989	347,879

Preglednica 6: Odstopanja koordinat, pridobljenih s storitvijo MagicGNSS, od rezultatov obdelave statične metode izmere v LGO

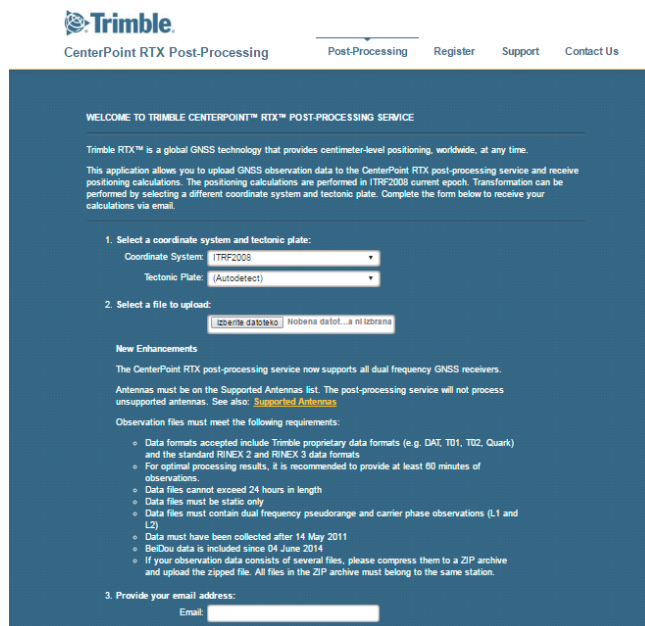
Točka	Odstopanja koordinat [m]		
	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	0,529	0,541	-0,068
AVT4	0,546	0,512	-0,057
AVT5	0,553	0,523	-0,041

Velja poudariti, da s spletno aplikacijo pridobimo koordinate v koordinatnem sistemu ITRF08 in ne v slovenski realizaciji koordinatnega sistema ETRS89.

Uporaba metode PPP preko obdelave s storitvijo MagicGNSS je v našem primeru dala koordinate, ki se od obdelave statične metode v LGO v horizontalnih komponentah razlikujejo do dobrih 5 dm. Višinska komponenta odstopa do slabih 7 cm. Razlike v dobljenih rezultatih lahko pripišemo tudi razliki koordinatnega sistema ITRS08 in državnega koordinatnega sistema D96/TM, ki so posledica predvsem geodinamike slovenskega ozemlja glede na stabilno Evrazijo (Sterle, 2015). Obdelava na ta način tako ni primerna za geodetske naloge, ki zahtevajo natančnost okoli centimetra. Tako določeni položaji točk bi bili primerni za zajem podatkov za kartografijo in geoinformacijske sisteme.

3.2.2.2 Obdelava s spletno storitvijo TrimbleRTX

TrimbleRTX je globalna spletna storitev za naknadno obdelavo opazovanj GNSS, ki podpira GNSS-sisteme GPS, GALILELO, QZSS in BDS. Omogoča različne rešitve za registrirane uporabnike in določi položaj točk s centimetrsko natančnostjo. Položaje točk poda v globalnem koordinatnem sistemu ITRS08 in ponuja možnost transformacij v druge koordinatne sisteme, ki jih storitev podpira. Za potrebe diplomske naloge smo se registrirali v njihovo bazo in uporabili možnost naknadne obdelave opazovanj po metodi PPP – storitev Trimble Centerpoint RTX (slika 13). To smo storili tako, da smo na njihovi spletni strani naložili datoteke z opazovanji. Poročilo o obdelanem naročilu ter rezultate smo prejeli po elektronski pošti (TrimbleRTX, 2016).



Slika 18: Spletni program TrimbleRTX (TrimbleRTX, 2016)

Za uspešno obdelavo morajo datoteke z opazovanji ustrezati naslednjim zahtevam (TrimbleRTX, 2016):

- datoteka z opazovanji mora biti v formatu RINEX,
- opazovanja morajo trajati med 10 minut in 24 ur, a za ustrezno kakovostno določitev položaja priporočajo vsaj 60 minut pridobivanja opazovanj,
- opazovanja morajo biti pridobljena s statično izmero z dvofrekvenčnim sprejemnikom (L1/L2),
- uporabljeni sprejemniki morajo biti na seznamu podprtih sprejemnikov ter antene na seznamu podprtih anten in
- opazovanja morajo biti pridobljena po 14. maju 2011.

Datoteke z opazovanji, pridobljenimi za potrebe diplomske naloge, so zadoščale vsem naštetim pogojem, zato smo jih s tem spletnim orodjem lahko obdelali. Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu so v prilogi A, odstopanja za prvo serijo opazovanj od rezultatov statične metode izmere, ki smo jih dobili z obdelavo v LGO ter uporabe MagicGNSS pa so prikazana v preglednici 7.

Preglednica 7: Odstopanja koordinat, pridobljenih s storitvijo TrimbleRTX, od rezultatov obdelave statične izmere v LGO ter obdelave s storitvijo MagicGNSS

Točka	Odstopanja koordinat [m]		
	Δe	Δn	Δh
Odstopanja od koordinat pridobljenih z obdelavo v LGO			
AVT3	0,333	0,378	-0,042
AVT4	0,335	0,347	-0,012
AVT5	0,337	0,360	-0,007

Odstopanja od rezultatov obdelave s storitvijo MagicGNSS			
AVT3	-0,196	-0,163	0,026
AVT4	-0,211	-0,165	0,045
AVT5	-0,216	-0,163	0,035

Tudi tu velja poudariti, da s spletno aplikacijo pridobimo koordinate v koordinatnem sistemu ITRS08 in ne v slovenski realizaciji koordinatnega sistema ETRS89.

Odstopanja koordinat, ki smo jih na podlagi druge in tretje serije opazovanj dobili z obdelavo s spletno storitvijo TrimbleRTX od rezultatov obdelave statične metode izmere v LGO so v prilogi A. Če opazovanja obdelamo z obravnavanim spletnim orodjem, se to na horizontalnem položaju točk odrazi dobre 3 dm, na višino pa vpliva do 4 cm. Položaji točk so primerni za zajem kartografskih podatkov ter podatkov v geoinformacijskih sistemih. S spletnim orodjem (EPN, 2016) smo transformirali koordinate stalne postaje GSR1, ki je vključena v njihovo omrežje, iz ITRF v ETRS koordinatni sistem. Pri tem smo uporabili kartezične koordinate in komponente vektorja hitrosti kot so navedene na njihovi strani. Ugotovili smo, da razlika med obravnavanima koordinatnima sistemoma zaradi geodinamičnega dogajanja za vsako kartezično komponento znaša okrog 3 dm. Razlog za odstopanja takšnega velikostnega reda v našem primeru zato pripisujemo isto kot v primeru obdelave z MagicGNSS razliki v obravnavanih koordinatnih sistemih.

Obdelava opazovanj po metodi PPP z različnimi spletnimi orodji je v našem primeru pokazala, da večjo točnost določitve položaja točk dosežemo ob uporabi storitve TrimbleRTX. Odstopanja glede na uporabo enega ali drugega obravnavanega spletnega programa znašajo v horizontalnih komponentah do dobra 2 dm in v višinski komponenti do slabih 5 cm. Iz rezultatov obdelav z obravnavanima spletnima programoma lahko zaključimo, da obdelava po metodi PPP predstavlja alternativo relativnim metodam obdelav, a se pri tem moramo zavedati, da je točnost rezultatov na nivoju nekaj decimetrov in da takih položajev točk za katastrske ali inženirske naloge ob nepoznavanju delovanja programske opreme ne smemo uporabiti.

Najvišja točnost določitve položaja točk pri statični metodi izmere je dosegljiva takrat, kadar imamo več serij opazovanj, zato sklepamo, da so položaji točk z naknadno obdelavo na tak način bili določeni z najvišjo kakovostjo. Najslabše smo v okviru relativnih metod določili položaj točk takrat, ko smo z izbiro višinskega kota 45° simulirali visoke ovire ob točkah, na katerih smo pridobivali opazovanja. Pokazali smo tudi, kakšna odstopanja v koordinatah dobimo, če namesto relativne obdelave opazovanja obdelamo absolutno po metodi PPP. Za koordinate točk, ki smo jih v okviru diplomske naloge določili z različno kakovostjo, nas zanima, kakšen vpliv imajo v našem primeru pri nadaljnjih izračunih dolžin, kotov ter površin.

4 UPORABA KOORDINAT RAZLIČNE KAKOVOSTI V NADALJNJIH IZRAČUNIH DOLŽIN, KOTOV IN POVRŠIN

Položaje točk, ki jih na terenu pridobivamo na različne načine, uporabljamo tudi za nadaljnje izračune. Pri tem se v primeru slabe natančnosti koordinat točk ta napaka prenese na računano količino. Ker smo pridobivali opazovanja v treh serijah s statično izmero, ki omogoča določitev položaja z visoko natančnostjo, smo primerjali izračunane dolžine, kote ter površine območja, ki ga točke omejujejo, glede na različno nastavljene parametre pri obdelavi ter uporabo različne metode. Zanima nas vpliv odstopanj v koordinatah na izračunane količine. Pri tem obravnavamo primere, ko smo v okviru relativnih metod dosegli najboljšo in najslabšo kakovost določitve položaja ter ko smo položaj določali absolutno po metodi PPP.

4.1 Izračun dolžin med točkami

Na podlagi dobljenih koordinat smo ugotavljali, kakšen vpliv imajo razlike v koordinatah, ki smo jih dobili na podlagi različnih obdelav in pretvorili v D96/TM koordinatni sistem, na izračun dolžin med točkami. Računali smo dolžine (4) med vsemi točkami, na katerih smo izvajali opazovanja (Bronštejn, 1997).

$$d_1^2 = \sqrt{(e_2 - e_1)^2 + (n_2 - n_1)^2} \quad (4)$$

Indeksa 1 in 2 v enačbi (4) se nanašata na točki, med katerima računamo dolžino; pri čemer 1 predstavlja začetno točko, 2 pa končno točko. Vpliv odstopanj v posameznih komponentah koordinat na natančnost izračunane dolžine je predstavljen z enačbo (5). Vpliv odstopanj v koordinatah na izračunano dolžino je odvisen od dolžine; bolj kot sta točki med sabo oddaljeni, večji je, in obratno. Vse vplive smo računali z uporabo zakona o prenosu varianc in kovarianc.

$$\sigma_{d_1^2}^2 = \left(\frac{e_1 - e_2}{d_1^2}\right)^2 \cdot \sigma_{e_1}^2 + \left(\frac{n_1 - n_2}{d_1^2}\right)^2 \cdot \sigma_{n_1}^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{d_1^2}\right)^2 \cdot \sigma_{e_2}^2 + \left(\frac{n_2 - n_1}{d_1^2}\right)^2 \cdot \sigma_{n_2}^2 \quad (5)$$

Dolžine, ki smo jih dobili na podlagi koordinat točk, ki smo jih določali na podlagi izravnave vseh treh serij opazovanj, so predstavljene v preglednici 8.

Preglednica 8: Dolžine med točkami na podlagi izravnanih koordinat

Dolžina med točkama	AVT3 in AVT4	AVT4 in AVT5	AVT5 in AVT3
Dolžina [m]	67,853	56,006	55,115

Na podlagi koordinat, ki smo jih dobili ob uporabi višinskega kota 45° pri obdelavi prve serije opazovanj, smo izračunali dolžine med točkami, ki so predstavljene v preglednici 9 skupaj z odstopanji od dolžin izračunanih na podlagi izravnanih koordinat.

Preglednica 9: Dolžine med točkami ob obdelavi pri višinskem kotu 45° ter odstopanja od dolžin izračunanih na podlagi izravnanih koordinat

Dolžina med točkama	AVT3 in AVT4	AVT4 in AVT5	AVT5 in AVT3
Dolžina [m]	67,857	56,008	55,127
Odstopanje [m]	0,004	0,002	0,012

Pri uporabi koordinat različne kakovosti se ob slabih pogojih izmere pri izračunih dolžin med točkami v našem primeru to pozna za dober centimeter. Za geodetske naloge z zahtevami po najvišjih natančnostih je takšna kakovost položajev točk ter izračunanih dolžin prenizka.

Kot alternativno možnost obdelave smo opazovanja obdelali tudi po metodi PPP. Z obema uporabljenima spletnima programoma smo obdelali opazovanja prve serije, ki so dale rezultate slabše natančnosti kot vse obdelave, pri katerih smo uporabili navezave na dane točke. V preglednici 10 so predstavljene dolžine, ki jih med točkami dobimo na podlagi obdelav v obeh spletnih programih, v preglednici 11 pa odstopanja od dolžin izračunanih na podlagi izravnanih koordinat.

Preglednica 10: Dolžine med točkami na podlagi obdelav po metodi PPP

Dolžina med točkama	AVT3 in AVT4	AVT4 in AVT5	AVT5 in AVT3
Dolžina [m] (MagicGNSS)	67,887	56,017	55,133
Dolžina [m] (TrimbleRTX)	67,875	56,019	55,114

Preglednica 11: Odstopanja dolžin med točkami na podlagi obdelav po metodi PPP od rezultatov izravnave

Dolžina med točkama	AVT3 in AVT4	AVT4 in AVT5	AVT5 in AVT3
Odstopanje [m] (MagicGNSS)	0,034	0,011	0,018
Odstopanje [m] (TrimbleRTX)	0,022	0,013	0,000

V primeru uporabe koordinat, ki smo jih pridobili na podlagi obdelav po metodi PPP, se dolžine od rezultatov izravnave razlikujejo do dobrih 3 cm. Pričakovano so izračuni pri večjih odstopanjih v koordinatah prinesli večje razlike tudi v dolžinah med točkami. Ti rezultati so potrdili, da smo z uporabo metode PPP dobili dobre a netočne koordinate predvsem zaradi razlik v koordinatnih sistemih. V primeru koordinat z natančnostjo velikostnega reda, na katerega nakazujejo koordinate točk, bi namreč odstopanja v dolžinah med točkami morala znašati več od izračunanih.

4.2. Izračun kotov med zveznicami med točkami

Po izračunu dolžin med točkami smo izračunali kote, ki jih zveznice med točkami oklepajo ter jih primerjali glede na različne obdelave. Kote smo računali na podlagi kosinusnega izreka, ki je zapisan z enačbo (6) (Bronštejn, 1997).

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \quad (6)$$

V enačbi 6 α predstavlja računani kot. Stranica a je stranica trikotnika, ki je nasprotna računanemu kotu, b in c pa predstavljata priležni stranici. Vpliv pogreška v izračunu posamezne stranice je predstavljen z enačbo 7. Največji vpliv na natančnost izračunanega kota med dvema zveznicama, ki predstavljata priležni stranici, ima natančnost izračunane dolžine nasprotne stranice v trikotniku in je odvisna od same dolžine omenjene stranice. Natančnost izračunanih dolžin priležnih stranic ima v primerjavi z nasprotno stranico na natančnost izračuna kota majhen vpliv.

$$\sigma_{\alpha}^2 = \left(\frac{2 \cdot a}{\sqrt{1 - \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \right)^2}} \right)^2 \cdot \sigma_a^2 + \left(\frac{1 + a^2 - c^2}{2 \cdot c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \right)^2}} \right)^2 \cdot \sigma_b^2 + \left(\frac{1 + a^2 - b^2}{2 \cdot b \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \right)^2}} \right)^2 \cdot \sigma_c^2 \quad (7)$$

V nadaljevanju najprej v preglednici 12 predstavljamo izračunane kote pri obravnavanih točkah na podlagi koordinat, ki smo jih dobili z izravnavo.

Preglednica 12: Izračunani koti v trikotniku na podlagi izravnave

Kot pri točki	AVT3	AVT4	AVT5
Kot [° ' '']	52° 57' 49,80"	50° 46' 19,28"	75° 15' 50,92"

Preglednica 13 prikazuje vrednosti kotov, ki smo jih izračunali na podlagi koordinat slabše kakovosti ob obdelavi statične izmere. Zanima nas, kakšen vpliv imajo odstopanja v koordinatah na kote, zato smo izračunali tudi odstopanja, ki so zapisana v isti preglednici.

Preglednica 13: Izračunani koti in odstopanja v primeru koordinat slabše kakovosti

Kot pri točki	AVT3	AVT4	AVT5
Kot [° ' '']	52° 57' 21,56"	51° 46' 54,08"	75° 15' 30,35"
Odstopanje [° ' '']	-14,23"	34,80"	-20,57"

Ker je vsota kotov v trikotniku enaka 180°, se napaka pri položaju ene točke prenese na vse notranje kote. Največje odstopanje v primeru izračunov na podlagi koordinat slabše kakovosti znaša dobre pol minute. To odstopanje nastopi pri kotu pri točki AVT4. Tak rezultat je pričakovan, saj je pri dolžinah stranic v trikotniku največje odstopanje pri stranici med točkama AVT3 in AVT5, ki je temu kotu

nasprotna. Enake izračune smo naredili tudi za položaje točk določene po metodi PPP. Rezultate predstavljamo v preglednici 14.

Preglednica 14: Izračunani koti in odstopanja pri obdelavah po metodi PPP

Kot pri točki	AVT3	AVT4	AVT5
Kot [° ' "] (MagicGNSS)	52° 56' 44,78"	51° 45' 46,64"	75° 17' 28,58"
Odstopanje [° ' "]	-01' 05,02"	-32,64"	01' 37,66"
Kot [° ' "] (TrimbleRTX)	52° 57' 48,91"	51° 45' 15,30"	75° 16' 55,79"
Odstopanje [° ' "]	-00,89"	-01' 03,98"	01' 04,87"

Ker so tudi pri dolžinah v primeru obdelave po metodi PPP v primerjavi s slabo kakovostjo koordinat pri obdelavi v LGO večja odstopanja, smo pričakovali, da se bodo tudi koti bolj razlikovali. Rezultati so pričakovani, saj najvišje odstopanje znaša več kot 1,5 minute.

4.3 Izračun površine območja

Na podlagi dobljenih koordinat na različne načine smo računali površino trikotnega območja, ki ga obravnavane točke omejujejo. Za izračun površine smo uporabili enačbo (8) za površino trikotnika na podlagi podanih koordinat vseh treh oglišč, ki smo jih imeli v D96/TM koordinatnem sistemu (Bronštejn, 1997).

$$S = \frac{1}{2} \cdot |(e_2 - e_1) \cdot (n_3 - n_1) - (e_3 - e_1) \cdot (n_2 - n_1)| \quad (8)$$

Opazovali smo vpliv odstopanj v koordinatah na izračunano površino območja. Vpliv natančnosti posameznih komponent na natančnost izračunane dolžine je predstavljen z enačbo (9).

$$\sigma_S^2 = \left(\frac{1}{2} \cdot (n_2 - n_3)\right)^2 \cdot \sigma_{e_1}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot (e_3 - e_2)\right)^2 \cdot \sigma_{n_1}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot (n_3 - n_1)\right)^2 \cdot \sigma_{e_2}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot (e_1 - e_3)\right)^2 \cdot \sigma_{n_2}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot (n_1 - n_2)\right)^2 \cdot \sigma_{e_3}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot (e_2 - e_1)\right)^2 \cdot \sigma_{n_3}^2 \quad (9)$$

Vpliv natančnosti posamezne komponente ogliščne točke trikotnika na površino trikotnika je odvisen od razlike v drugi komponenti preostalih dveh točk. To pomeni, da je vpliv odstopanj v koordinatah ene točke odvisen od oddaljenosti drugih dveh točk, ki predstavljata oglišči istega trikotnika.

Ker smo sklepali, da smo z najboljšo kakovostjo določili položaje točk z izravnavo mreže, najprej v preglednici 15 podajamo rezultat izračuna površine območja na podlagi teh koordinat. Površino območja smo izračunali tudi za primer najslabše določenih položajev ter izračunali odstopanja, ki jih predstavljamo v isti preglednici.

Preglednica 15: Izračune površine in odstopanje med najboljšo in najslabšo določenimi položaji točk

Površina območja	Najboljša možnost	Najslabša možnost
Površina [m²]	1.492,625	1.492,951
Odstopanje [m²]	0,326	

Če se ob točkah, kjer izvajamo izmero, nahaja visoka ovira, to na izračun površine območja v danem primeru vpliva 0,326 m². Izračunali smo tudi površino obravnavanega območja na podlagi položajev točk določenih po metodi PPP ter odstopanja od rezultatov izravnave. Površini in odstopanji sta zapisani v preglednici 16.

Preglednica 16: Izračunane površine in odstopanja glede na uporabo metode PPP

Površina območja	MagicPPP	TrimbleRTX
Površina [m²]	1.493,568	1.493,096
Odstopanje [m²]	0,943	0,472

Površino območja smo glede na rezultate obdelave statične izmere v LGO po metodi PPP boljše določili z orodjem TrimbleRTX, kjer odstopanje znaša 0,472 m². Odstopanja s programom MagicPPP je približno dvakrat večje in znaša 0,943 m².

5 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil prikazati vpliv različnih pogojev izvedbe statičnih opazovanj na določanje položaja točk. Pri tem smo se osredotočili na parametre, ki jih lahko spreminjamo pri obdelavi, ter na različne metode izmere GNSS. Na podlagi različnih obdelav smo dobili različne koordinate točk, na katerih smo opravili opazovanja, zato smo preverili, kakšen vpliv imajo odstopanja v koordinatah na nadaljnje izračune dolžin, kotov ter površine območja. V skladu z namenom naloge smo na začetku naloge postavili 5 hipotez.

Prva hipoteza se je navezovala na različne vrednosti odmikov faznih centrov pri sprejemnikih GNSS različnih proizvajalcev. Predpostavili smo, da bo uporaba opazovanj instrumentov različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev imela vpliv na kakovost določitve vektorja ter končnih koordinat točk. Rezultati obdelav so predpostavko potrdili. Od izravnanih koordinat se koordinate, ki smo jih določili ob uporabi kombinacije instrumentov različnih proizvajalcev, v horizontalnih komponentah razlikujejo na nivoju nekaj milimetrov, v višinski pa do dobrega centimetra. Če primerjamo rezultate te obdelave z rezultati obdelave opazovanj, kjer smo uporabili instrumente istega proizvajalca, pa so razlike v horizontalnih komponentah že večje kot 1,5 cm ter v elipsoidni višini do 2 cm. Da bi ta vpliv bolje raziskali, bi v prihodnosti bilo dobro opraviti vsaj 12 ur opazovanj, saj se v tem času ponovi konstelacija satelitov. V okviru druge hipoteze smo preverjali vpliv geometrije razporejenosti satelitov na obzorju. Predpostavili smo, da na bazni vektor ter posledično na določitev koordinat točk po obdelavi vpliva minimalni višinski kot vpadlega satelitskega signala. Hipotezo lahko brez dvoma potrdimo, saj so odstopanja v vseh serijah z večanjem višinskega kota naraščala do največje vrednosti tudi več kot 8 cm, ki je nastopilo pričakovano v višinski komponenti pri najslabši geometrijski razporejenosti satelitov ob višinskem kotu 45° . Tretje hipoteze, kjer smo predpostavili, da z uporabo broadcast efemerid opazovanja manj kakovostno obdelamo kot s preciznimi, še posebej pri daljših baznih vektorjih, ne moremo sprejeti, saj so najvišja odstopanja znašala 3 mm, kar je v območju natančnosti statične metode izmere. Pri četrti hipotezi smo predpostavili, da krajši čas pridobivanja opazovanj na določitev položaja vpliva bolj kot izbira daljšega intervala registracije. Rezultati obdelav so hipotezo potrdili, saj se ob različnih intervalih registracije koordinate točk niso spreminjale, pri krajših opazovanjih pa so odstopale do dobrega centimetra. Zadnja hipoteza je obravnavala obdelavo po metodi PPP, kjer smo predpostavili, da bodo položaji točk, določeni absolutno s to metodo, odstopali na nivoju centimetra. Z obdelavo z dvema spletnima orodjema smo hipotezo zavrgli, saj so odstopanja znesla do dobrih 5 dm, a se pri tem zavedamo vzroka odstopanj.

Ob koncu velja še enkrat poudariti pomembnost kakovosti določanja položajev, ki jo z izvajanjem geodetskih del dosežemo. Natančnost je namreč odraz naše stroke; je tisto, kar daje delu geodeta svojo vrednost.

VIRI

Bronštejn, I. N. et. al. 1997. Matematični priročnik. 2. izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.

Čadež, P. 2010. Analiza metod geodetske GNSS izmere. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Čadež): 119 str.
http://drugg.fgg.uni-lj.si/220/1/GEU_0826_Cadez.pdf (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

El-Hattab, A. 2013. Influence of GPS antenna phase center variation on precise positioning. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* 2, 2: 272-277.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090997713000515> (Pridobljeno 13. 5. 2016.)

EPN. 2016. EUREF Permanent Network.
<http://epncb.oma.be/index.php> (Pridobljeno 18. 8. 2016.)

Gregorič, J. 2016. Vzpostavitev lastne referenčne postaje GNSS in predstavitev rešitev za optimalno določitev položaja. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Gregorič): 86 str.
http://drugg.fgg.uni-lj.si/5537/1/BGD016_Gregoric.pdf (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

IGS. 2016. International GNSS Service.
<http://www.igs.org/> (Pridobljeno 19. 7. 2016.)

Introduction to GPS. 2016. GPS Terminology. Dilution of Precision.
<http://gps.sref.info/course/4c.html> (Pridobljeno 22. 7. 2016.)

Kozmus, K., Stopar, B. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. *Geodetski vestnik* 47, 4: 404-413.
http://www.geodetski-vestnik.com/47/4/gv47-4_404-413.pdf (Pridobljeno 13. 5. 2016.)

Langley, R. B. 1999. Dilution of precision. *GPS World*, 1999.
http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/nrem446_546/week3/Dilution_of_Precision.pdf (Pridobljeno 13. 5. 2016.)

Leica Geosystems. 2016.
<http://leica-geosystems.com/> (Pridobljeno 20. 7. 2016.)

MagicGNSS. 2016. Precise Point Positioning by email.

<http://magicgnss.gmv.com/ppp/> (Pridobljeno 20. 5. 2016.)

NGS. 2016. National Geodetic Survey.

<http://www.ngs.noaa.gov/> (Pridobljeno 19. 7. 2016.)

Omrežje Signal. 2016. Služba za GPS.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 17. 7. 2016.)

Pavlovčič Prešeren, P. 2015. GNSS v geodeziji. Zapiski iz predavanj: loč. pag.

Sitranet. 2016.

<http://www.sitranet.si> (Pridobljeno 20. 5. 2016.)

Sterle, O. 2015. Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemi. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba O. Sterle): 194 str.

Sterle, O., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. Geodetski vestnik 48, 3: 466-481.

http://www.geodetski-vestnik.com/58/3/gv58-3_sterle.pdf (Pridobljeno 20. 5. 2016.)

Stopar, B. 2015. GNSS v geodeziji. Zapiski iz predavanj: loč. pag.

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

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

(Pridobljeno 13. 5. 2016.)

TrimbleRTX. 2016.

<http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx> (Pridobljeno 20. 5. 2016.)

UNAVCO. 2016.

<http://www.unavco.org/> (Pridobljeno 17. 7. 2016.)

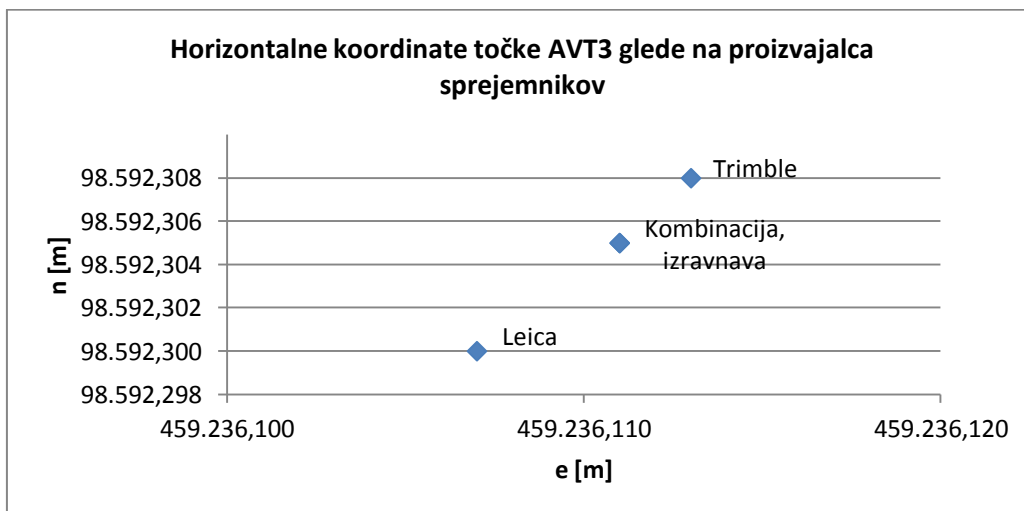
PRILOGE

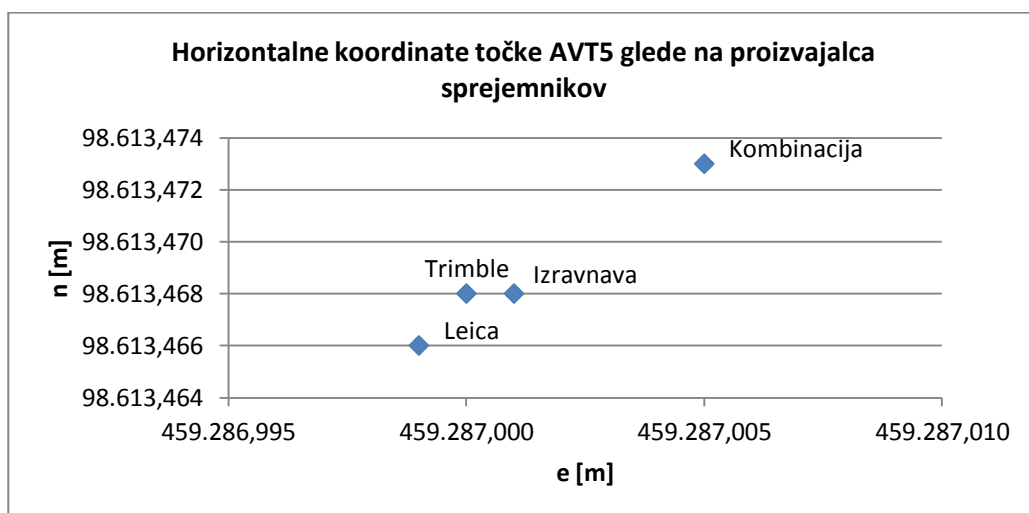
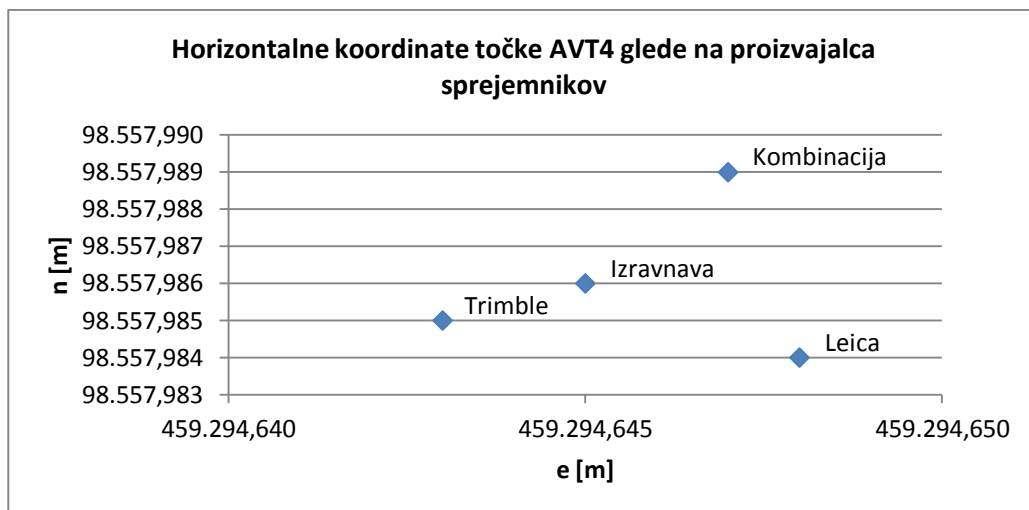
A. Koordinate točk in odstopanja ob različnih obdelavah ter grafični prikazi položajev točk

Koordinate točk v D96/ TM koordinatnem sistemu glede na uporabo različnih instrumentov na krajiščih baznih vektorjev z navezavo na GSRI

Točka	Koordinate [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,107	98.592,300	348,886
AVT4	459.294,648	98.557,984	347,827
AVT5	459.286,999	98.613,466	347,920
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,113	98.592,308	348,871
AVT4	459.294,643	98.557,985	347,819
AVT5	459.287,000	98.613,468	347,913
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,111	98.592,305	348,870
AVT4	459.294,647	98.557,989	347,815
AVT5	459.287,005	98.613,473	347,932

Grafični prikaz horizontalnih komponent koordinat točk glede na uporabljene instrumente različnih proizvajalcev na krajiščih baznih vektorjev z navezavo na GSRI





Koordinate točke AVT3 v D96/ TM koordinatnem sistemu glede na obdelavo z različnim višinskim kotom za vsako serijo opazovanj

Višinski kot	e [m]	n [m]	h [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.236,107	98.592,300	348,886
5°	459.236,107	98.592,300	348,886
10°	459.236,107	98.592,300	348,886
15°	459.236,107	98.592,300	348,886
20°	459.236,106	98.592,299	348,885
25°	459.236,106	98.592,297	348,889
30°	459.236,102	98.592,294	348,904
35°	459.236,097	98.592,296	348,909
40°	459.236,100	98.592,288	348,949
45°	459.236,095	98.592,289	348,968
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.236,113	98.592,308	348,871
5°	459.236,113	98.592,308	348,871
10°	459.236,113	98.592,308	348,871

15°	459.236,113	98.592,308	348,871
20°	459.236,113	98.592,309	348,872
25°	459.236,113	98.592,309	348,875
30°	459.236,113	98.592,309	348,875
35°	459.236,112	98.592,307	348,875
40°	459.236,112	98.592,307	348,868
45°	459.236,109	98.592,308	348,882
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.236,110	98.592,305	348,870
5°	459.236,110	98.592,305	348,870
10°	459.236,111	98.592,305	348,870
15°	459.236,111	98.592,305	348,870
20°	459.236,110	98.592,304	348,871
25°	459.236,110	98.592,304	348,873
30°	459.236,105	98.592,302	348,891
35°	459.236,105	98.592,301	348,899
40°	459.236,107	98.592,298	348,913
45°	459.236,107	98.592,300	348,916

Koordinate točke AVT4 v D96/ TM koordinatnem sistemu glede na obdelavo z različnim višinskim kotom za vsako serijo opazovanj

Višinski kot	e [m]	n [m]	h [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.294,648	98.557,984	347,827
5°	459.294,648	98.557,984	347,827
10°	459.294,648	98.557,984	347,827
15°	459.294,648	98.557,984	347,827
20°	459.294,647	98.557,984	347,827
25°	459.294,647	98.557,984	347,829
30°	459.294,645	98.557,983	347,837
35°	459.294,641	98.557,985	347,841
40°	459.294,649	98.557,981	347,866
45°	459.294,641	98.557,983	347,865
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.294,643	98.557,985	347,818
5°	459.294,643	98.557,985	347,818
10°	459.294,643	98.557,985	347,819
15°	459.294,643	98.557,985	347,819
20°	459.294,643	98.557,986	347,820
25°	459.294,643	98.557,986	347,822
30°	459.294,643	98.557,986	347,821
35°	459.294,643	98.557,985	347,819
40°	459.294,646	98.557,985	347,810
45°	459.294,642	98.557,986	347,824
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.294,646	98.557,988	347,815
5°	459.294,646	98.557,988	347,815
10°	459.294,647	98.557,989	347,815
15°	459.294,647	98.557,989	347,815

20°	459.294,646	98.557,988	347,816
25°	459.294,646	98.557,988	347,816
30°	459.294,647	98.557,989	347,818
35°	459.294,647	98.557,989	347,821
40°	459.294,648	98.557,989	347,825
45°	459.294,648	98.557,990	347,826

Koordinate točke AVT5 v D96/ TM koordinatnem sistemu glede na obdelavo z različnim višinskim kotom za vsako serijo opazovanj

Višinski kot	e [m]	n [m]	h [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.286,999	98.613,466	347,921
5°	459.286,999	98.613,466	347,921
10°	459.286,999	98.613,466	347,921
15°	459.286,999	98.613,466	347,920
20°	459.286,999	98.613,467	347,921
25°	459.286,999	98.613,466	347,923
30°	459.286,997	98.613,465	347,931
35°	459.286,993	98.613,467	347,934
40°	459.286,995	98.613,465	347,950
45°	459.286,992	98.613,466	347,948
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.286,999	98.613,467	347,912
5°	459.286,999	98.613,467	347,912
10°	459.286,999	98.613,468	347,913
15°	459.287,000	98.613,468	347,913
20°	459.287,000	98.613,469	347,914
25°	459.286,999	98.613,469	347,917
30°	459.287,000	98.613,469	347,916
35°	459.287,000	98.613,468	347,914
40°	459.287,002	98.613,468	347,905
45°	459.286,996	98.613,468	347,923
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	459.287,004	98.613,472	347,932
5°	459.287,004	98.613,472	347,932
10°	459.287,005	98.613,473	347,932
15°	459.287,005	98.613,473	347,932
20°	459.287,004	98.613,472	347,934
25°	459.287,004	98.613,472	347,935
30°	459.287,002	98.613,472	347,944
35°	459.287,002	98.613,473	347,952
40°	459.287,003	98.613,472	347,960
45°	459.287,004	98.613,473	347,964

Odstopanja koordinat točke AVT3 znotraj posamezne serije glede na uporabljen višinski kot pri obdelavi opazovanj od koordinat pri obdelavi z višinskim kotom 15°

Višinski kot	Δe [m]	Δn [m]	Δh [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	0,000	0,001
5°	0,000	0,000	0,001
10°	0,000	0,000	0,000
20°	-0,001	-0,001	0,000
25°	-0,003	-0,001	0,003
30°	-0,006	-0,005	0,019
35°	-0,004	-0,01	0,023
40°	-0,012	-0,007	0,063
45°	-0,011	-0,012	0,082
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	0,000	0,000
5°	0,000	0,000	0,000
10°	0,000	0,000	0,000
20°	0,001	0,000	0,001
25°	0,001	0,000	0,004
30°	0,001	0,000	0,004
35°	0,001	0,000	0,004
40°	-0,001	-0,001	-0,003
45°	0,000	-0,004	0,011
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	-0,001	0,000
5°	0,000	-0,001	0,000
10°	0,000	0,000	0,000
20°	-0,001	-0,001	0,001
25°	-0,001	-0,001	0,003
30°	-0,003	-0,006	0,020
35°	-0,004	-0,006	0,029
40°	-0,007	-0,004	0,043
45°	-0,005	-0,004	0,046

Odstopanja koordinat točke AVT4 znotraj posamezne serije glede na uporabljen višinski kot pri obdelavi opazovanj od koordinat pri obdelavi z višinskim kotom 15°

Višinski kot	Δe [m]	Δn [m]	Δh [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	0,000	0,001
5°	0,000	0,000	0,001
10°	0,000	0,000	0,000
20°	0,000	-0,001	0,000
25°	0,000	-0,001	0,003
30°	-0,001	-0,003	0,010
35°	0,001	-0,007	0,014
40°	-0,003	0,001	0,040
45°	-0,001	-0,007	0,038
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	0,000	0,000

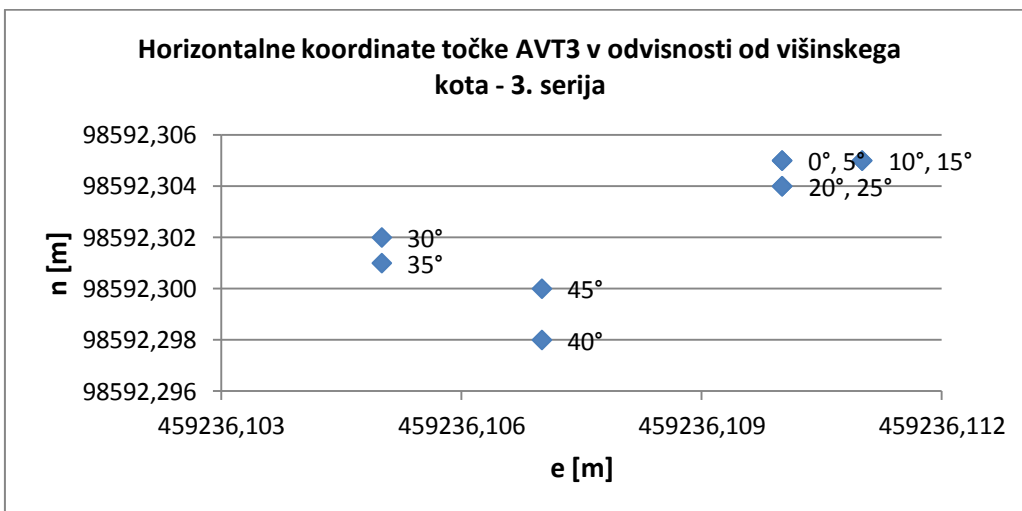
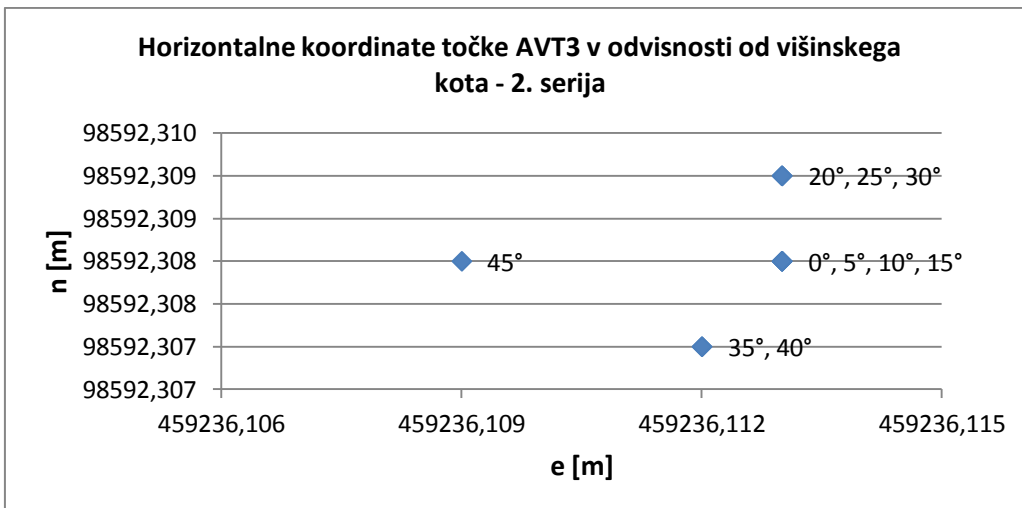
5°	0,000	0,000	0,000
10°	0,000	0,000	0,000
20°	0,001	0,000	0,001
25°	0,001	0,000	0,004
30°	0,001	0,000	0,002
35°	0,000	0,000	0,000
40°	0,000	0,003	-0,008
45°	0,001	-0,001	0,005
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	-0,001	-0,001	0,000
5°	-0,001	-0,001	0,000
10°	0,000	0,000	0,000
20°	-0,001	-0,001	0,001
25°	-0,001	-0,001	0,001
30°	0,000	0,000	0,003
35°	0,000	0,000	0,006
40°	0,000	0,001	0,010
45°	0,001	0,001	0,011

Odstopanja koordinat točke AVT5 znotraj posamezne serije glede na uporabljen višinski kot pri obdelavi opazovanj od koordinat pri obdelavi z višinskim kotom 15°

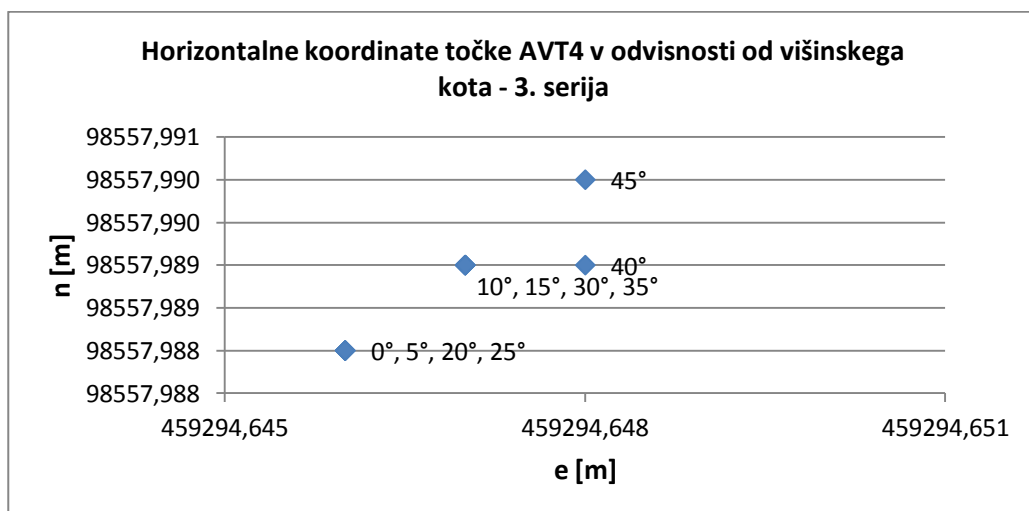
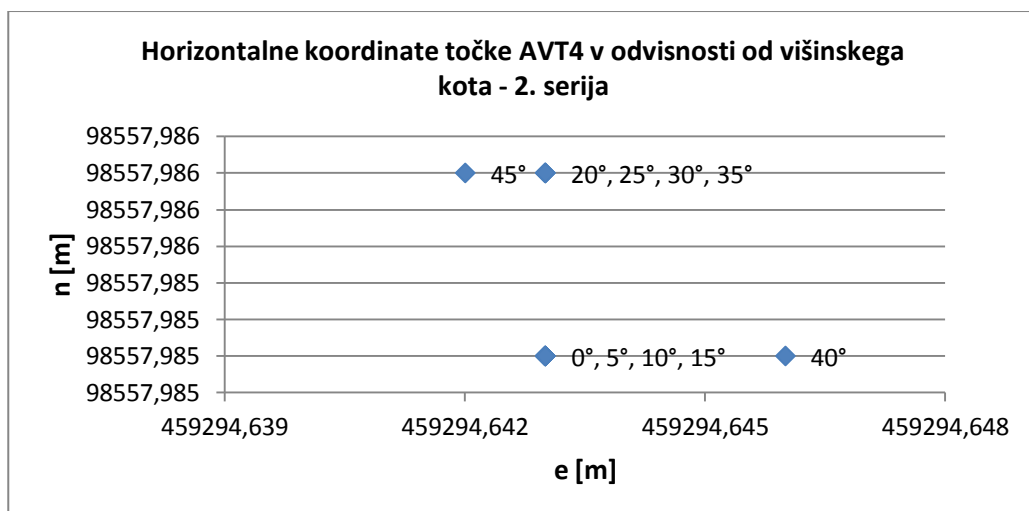
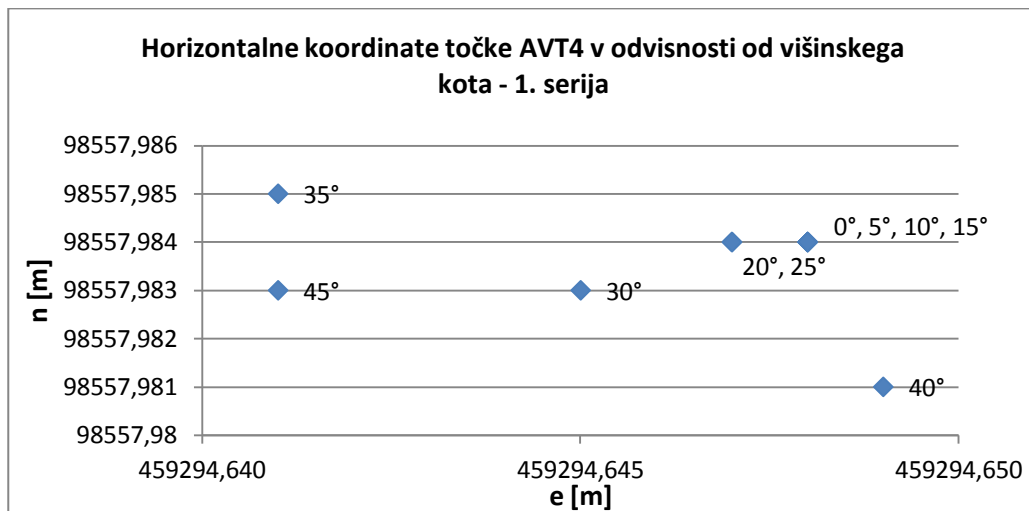
Višinski kot	Δe [m]	Δn [m]	Δh [m]
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
0°	0,000	0,000	0,001
5°	0,000	0,000	0,001
10°	0,000	0,000	0,000
20°	0,001	0,000	0,001
25°	0,000	0,000	0,003
30°	-0,001	-0,002	0,011
35°	0,001	-0,006	0,014
40°	-0,001	-0,004	0,030
45°	0,000	-0,007	0,030
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	-0,001	-0,001	0,000
5°	-0,001	-0,001	0,000
10°	0,000	-0,001	0,000
20°	0,001	0,000	0,001
25°	0,001	-0,001	0,004
30°	0,001	0,000	0,003
35°	0,000	0,000	0,001
40°	0,000	0,002	-0,007
45°	0,000	-0,004	0,010
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
0°	-0,001	-0,001	0,000
5°	-0,001	-0,001	0,000
10°	0,000	0,000	0,000
20°	-0,001	-0,001	0,001
25°	-0,001	-0,001	0,003
30°	-0,001	-0,003	0,012

35°	0,000	-0,003	0,020
40°	-0,001	-0,002	0,028
45°	0,000	-0,001	0,032

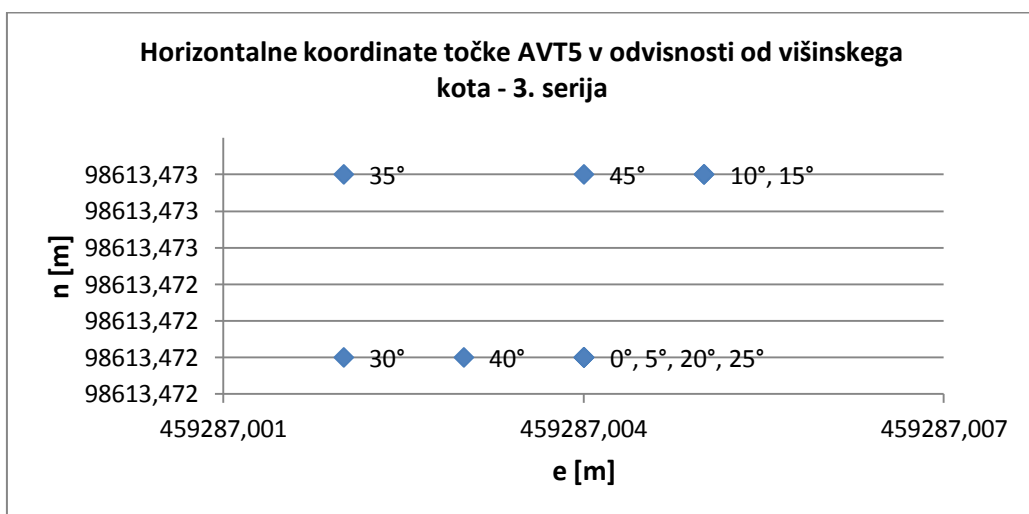
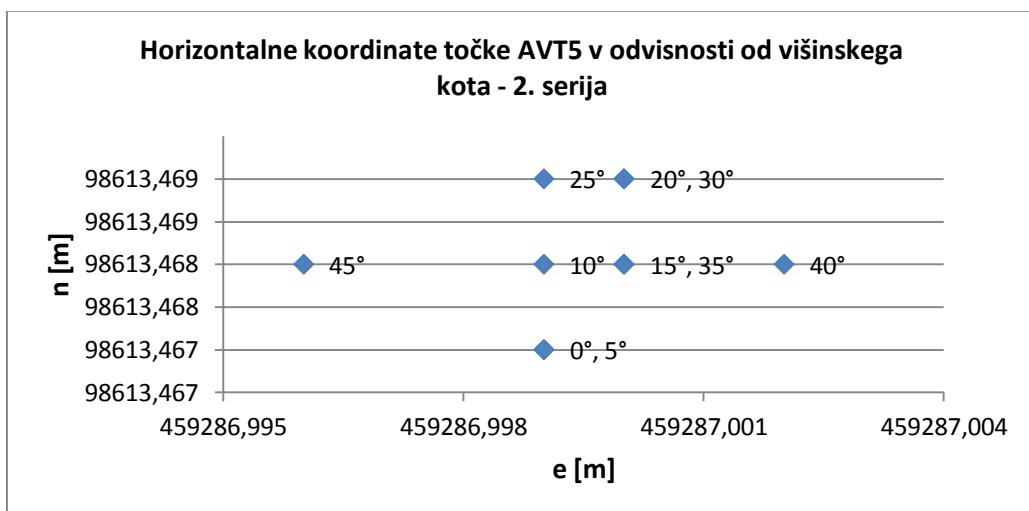
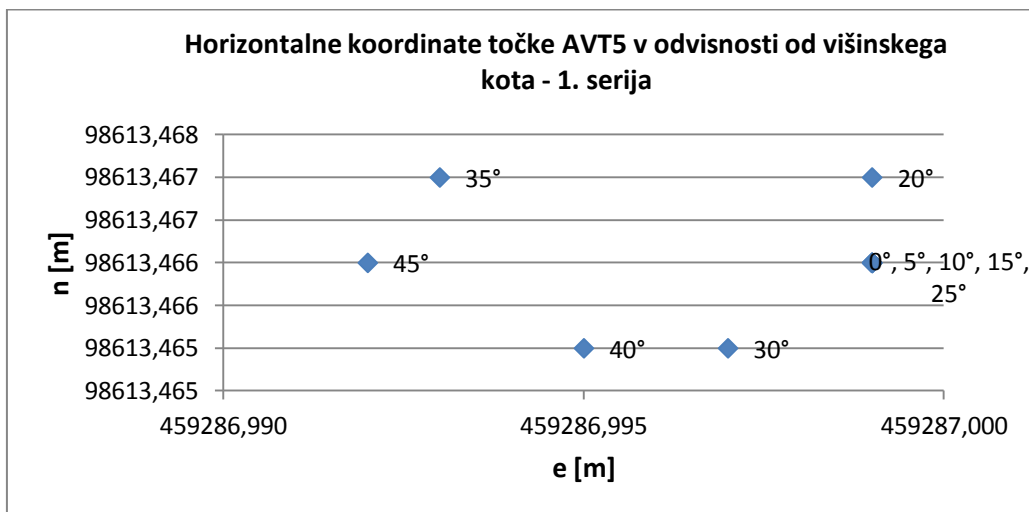
Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT3 glede na višinski kot za drugo in tretjo serijo opazovanj



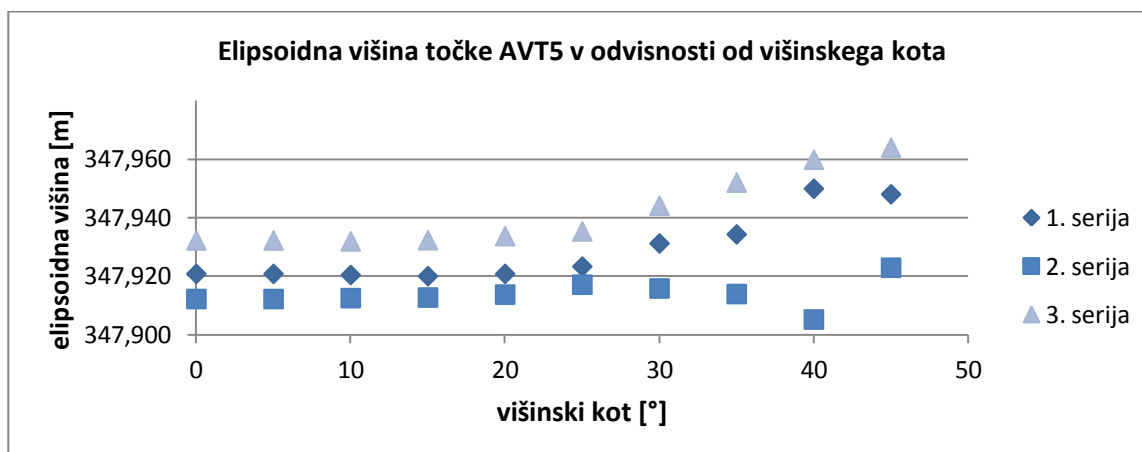
Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT4 glede na višinski kot za vsako serijo opazovanj



Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT5 glede na višinski kot za vsako serijo opazovanj



Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT5 glede na višinski kot za vsako serijo opazovanj



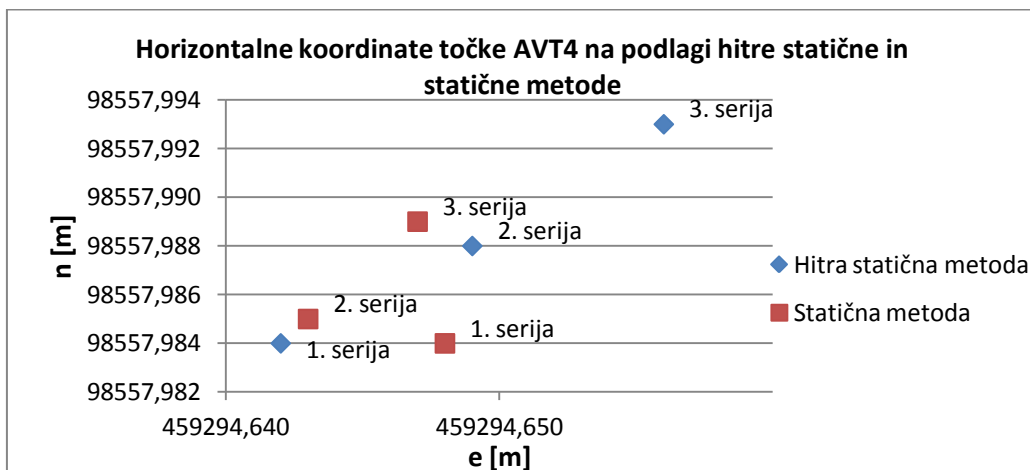
Koordinate točk pridobljene z obdelavo krajših opazovanj (hitra statična metoda izmere)

Točka	Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,099	98.592,297	348,895
AVT4	459.294,642	98.557,984	347,829
AVT5	459.286,994	98.613,465	347,923
Instrumenti Trimble na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,116	98.592,308	348,884
AVT4	459.294,649	98.557,988	347,826
AVT5	459.287,005	98.613,470	347,923
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,120	98.592,308	348,873
AVT4	459.294,656	98.557,993	347,815
AVT5	459.287,014	98.613,476	347,933

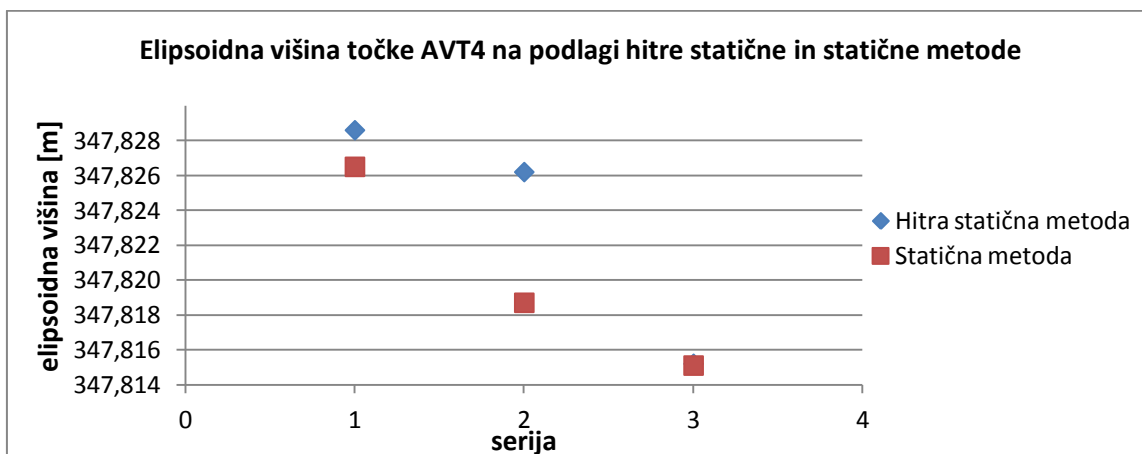
Odstopanja koordinat v okviru hitre statične v primerjavi s statično metodo izmere

Točka	Odstopanja [m]		
	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Leica na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	-0,003	-0,008	0,009
AVT4	0,000	-0,006	0,002
AVT5	-0,001	-0,005	0,003
Instrumenti Trimble na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	0,000	0,003	0,012
AVT4	0,003	0,006	0,007
AVT5	0,002	0,005	0,011
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajšičih baznih vektorjev			
AVT3	0,003	0,009	0,002
AVT4	0,004	0,009	0,000
AVT5	0,003	0,009	0,001

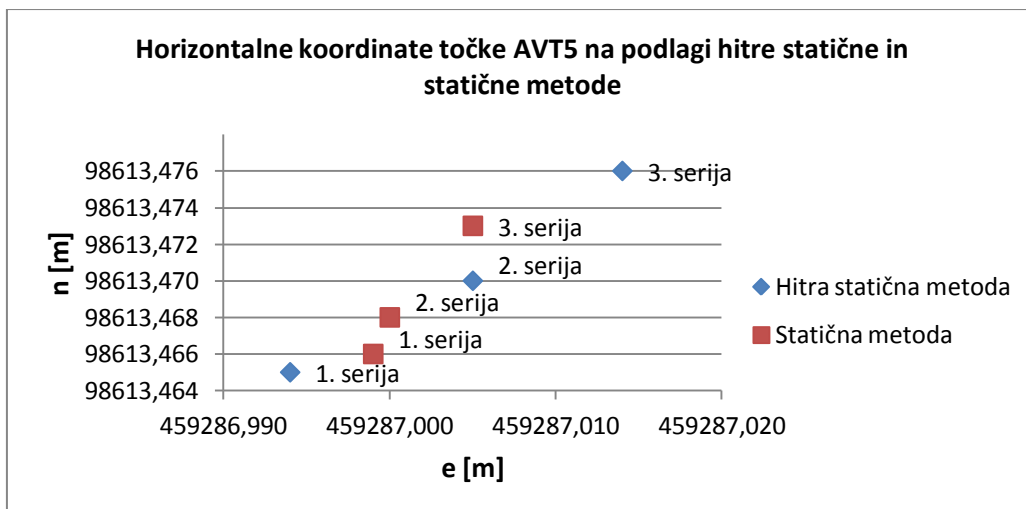
Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT4 glede na dolžino trajanja opazovanj



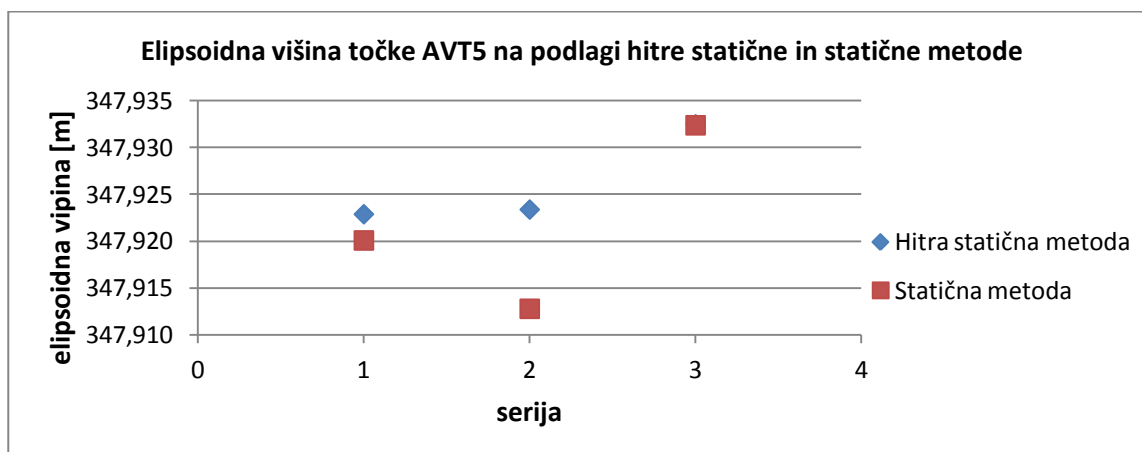
Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT4 glede na dolžino trajanja opazovanj



Grafični prikaz horizontalnih koordinat točke AVT5 glede na dolžino trajanja opazovanj



Grafični prikaz elipsoidne višine točke AVT5 glede na dolžino trajanja opazovanj



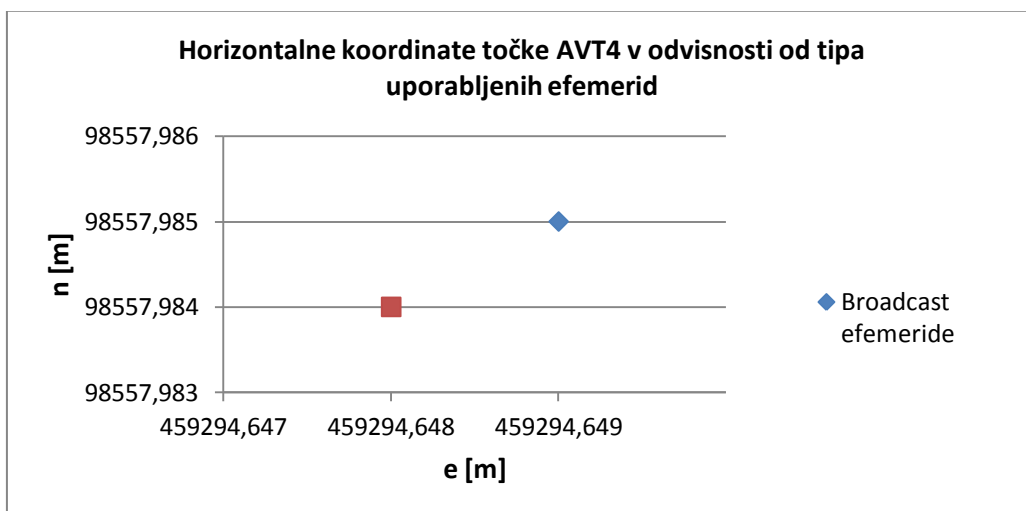
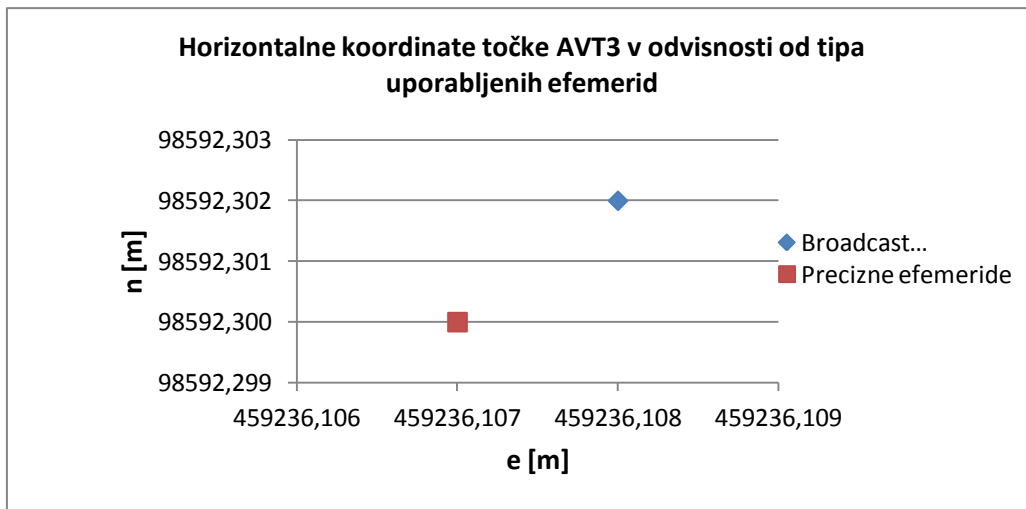
Koordinate točk ob uporabi s satelita oddanih (broadcast) efemerid

Točka	Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,108	98.592,302	348,887
AVT4	459.294,649	98.557,985	347,824
AVT5	459.286,999	98.613,466	347,920
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,113	98.592,308	348,871
AVT4	459.294,643	98.557,985	347,819
AVT5	459.287,000	98.613,468	347,913
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,111	98.592,305	348,870
AVT4	459.294,647	98.557,989	347,815
AVT5	459.287,005	98.613,473	347,932

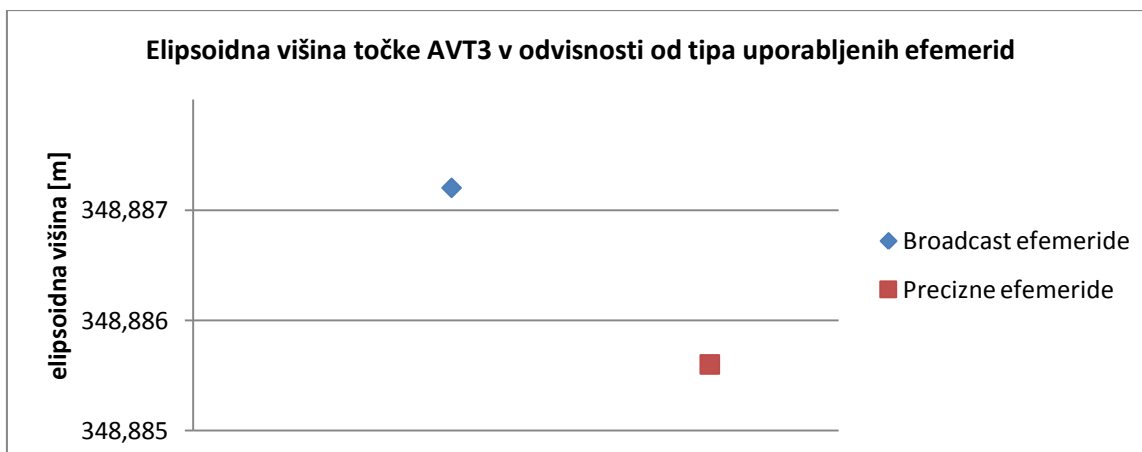
Odstopanja koordinat ob uporabi broadcast efemerid v primerjavi s preciznimi

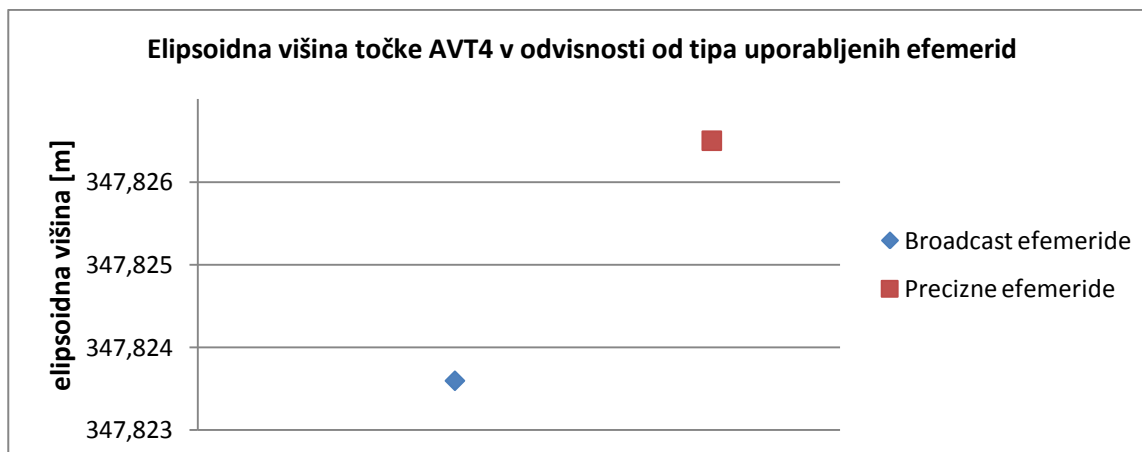
Točka	Odstopanja koordinat [m]		
	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	0,001	0,002	0,002
AVT4	0,001	0,001	-0,003
AVT5	0,000	0,000	0,000

Grafični prikaz horizontalnih koordinat točk AVT3 in AVT4 glede na uporabljen tip efemerid za prvo serijo opazovanj



Elipsoidne višine točk AVT3 in AVT4 glede na uporabljen tip efemerid za prvo serijo opazovanj





Koordinate točk ob uporabi preciznih efemerid z navezavo na stalno postajo Radovljica

Točka	Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,115	98.592,313	348,778
AVT4	459.294,662	98.557,997	347,714
AVT5	459.287,013	98.613,479	347,810
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,112	98.592,318	348,730
AVT4	459.294,642	98.557,994	347,678
AVT5	459.286,999	98.613,477	347,772
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,106	98.592,314	348,744
AVT4	459.294,642	98.557,997	347,688
AVT5	459.287,000	98.613,481	347,806

Koordinate točk ob uporabi preciznih efemerid z navezavo na stalno postajo Trebnje

Točka	Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,115	98.592,311	348,798
AVT4	459.294,656	98.557,996	347,734
AVT5	459.287,008	98.613,478	347,831
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,111	98.592,316	348,727
AVT4	459.294,641	98.557,993	347,674
AVT5	459.286,998	98.613,475	347,769
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459.236,107	98.592,309	348,748
AVT4	459.294,643	98.557,992	347,693
AVT5	459.287,001	98.613,476	347,810

Odstopanja zaradi uporabe broadcast efemerid v primerjavi s preciznimi z navezavo na stalni postaji Radovljica in Trebnje

Točka	Odstopanja [m] - Radovljica			Odstopanja [m] - Trebnje		
	Δe	Δn	Δh	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev						
AVT3	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001
AVT4	0,001	0,001	-0,003	0,002	0,001	-0,003
AVT5	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev						
AVT3	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,002
AVT4	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,002
AVT5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,002
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev						
AVT3	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001
AVT4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
AVT5	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001

Koordinate točk v D96/TM koordinatnem sistemu pridobljenih s spletno storitvijo TrimbleRTX

Točka	Koordinate v D96/TM koordinatnem sistemu [m]		
	e	n	h
Instrumenti Leica na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459236,440	98592,678	348,844
AVT4	459294,983	98558,331	347,815
AVT5	459287,336	98613,826	347,914
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459236,435	98592,650	348,915
AVT4	459294,969	98558,337	347,821
AVT5	459287,332	98613,823	347,902
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	459236,432	98592,650	348,915
AVT4	459294,969	98558,337	347,821
AVT5	459287,316	98613,821	347,898

Odstopanja koordinat točk pridobljenih s storitvijo TrimbleRTX na podlagi 2. in 3. serije opazovanj od koordinat pridobljenih s statično metodo izmere

Točka	Odstopanja koordinat [m]		
	Δe	Δn	Δh
Instrumenti Trimble na krajiščih baznih vektorjev			
AVT3	0,322	0,342	0,044
AVT4	0,326	0,352	0,003
AVT5	0,333	0,355	-0,011
Kombinacija instrumentov Leica in Trimble na krajiščih baznih vektorjev			

AVT3	0,324	0,345	0,045
AVT4	0,322	0,348	0,006
AVT5	0,311	0,348	-0,034