

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski strokovni študij  
geodezije, Geodezija v inženirstvu

Kandidatka:

**Kristina Slatinek**

# **Analiza kakovosti določitve koordinat točk s terestrično in izmero GNSS na majhnem območju**

**Diplomska naloga št.: 312**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**

doc. dr. Simona Savšek

Ljubljana, 2010

## **ERRATA**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **KRISTINA SLATINEK** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »**ANALIZA KAKOVOSTI DOLOČITVE KOORDINAT TOČK S TERESTRIČNO IN IZMERO GNSS NA MAJHNEM OBMOČJU**«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 2010

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali profesorji geodetske smeri:

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

- UDK:** 528.236(043.2)
- Avtor:** Kristina Slatinek
- Mentor:**izr. prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.
- Somentorica:** doc. dr. Simona Savšek, univ. dipl. inž. geod.
- Naslov:** Analiza kakovosti določitve koordinat točk s terestrično in izmero GNSS na majhnem območju
- Obseg in oprema:** 56 str., 37 pregl., 15 sl., 11 en., 15 pril.
- Ključne besede:** izmera GNSS, klasična terestrična izmera, izravnava opazovanj, prostorska transformacija, natančnost koordinat

### **Izvleček**

V diplomski nalogi so predstavljene različne metode izmere in postopki izračunov, s katerimi smo določali koordinate točk v manjši geodetski mreži. Najprej so podrobneje predstavljene uporabljene metode izmere in sicer izmera GPS s statično metodo, izmera GPS z metodo VRS, klasična terestrična izmera in na koncu postopek prostorske transformacije koordinatnih sistemov. Pri vsaki od naštetih metod je postopek izmere in obdelava meritev drugačen, rezultati pa bi morali biti praktično enaki. V naslednjem poglavju je podrobneje predstavljen potek vzpostavitve geodetske mreže, merska oprema in potek terenske izmere. Predstavljeni so tudi rezultati opravljenih izmer, obdelava pridobljenih podatkov in rezultati izravnave. Na koncu je podana še podrobna analiza vseh pridobljenih rezultatov.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>528.236(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Kristina Slatinek</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>assoc. prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.</b>
<b>Cosupervisor:</b>	<b>assist. prof. dr. Simona Savšek, univ. dipl. inž. geod.</b>
<b>Title:</b>	<b>Point coordinate determination quality analysis with the terrestrial and GNSS measurement methods in a small area</b>
<b>Notes:</b>	<b>56 p., 37 tab., 15 fig., 11 eq., 15 enc.</b>
<b>Key words:</b>	<b>GNSS measurement, classic terrestrial measurement, observation gradualization, areal transformation, coordinate accuracy</b>

### **Abstract**

The BA Thesis consists of a presentation of all different measurement methods and calculation procedures which are used to determine point coordinates in a geodesic net. The first part consists of a detailed presentation of measurement methods, namely the GPS measurement with the static method, the GPS measurement with the VRS method, the classic terrestrial measurement method and finally the coordinate system areal transformation method. For each method a different measurement and processing procedure were used, although the results should have been practically the same. The next chapter includes a detailed presentation of the geodesic net setup, the measurement tools and the areal measurement procedure. The results of the performed measurements, data analysis and the graduation results are also presented. The conclusion consists of a detailed analysis of the acquired data.

## **ZAHVALA**

Za vso podporo in pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Bojanu Stoparju in somentorici doc. dr. Simoni Savšek, podjetju Geomeritve d.o.o. iz Slovenj Gradca za posojen instrumentarij in ostalo opremo ter podjetju Geoservis d.o.o. iz Ljubljane, predvsem Gregorju Bilbanu za vse koristne nasvete in pomoč pri obdelavi podatkov. Prav tako se zahvaljujem prijateljem, ki so mi pomagali pri izvedbi meritev in družini. Brez vaše potrpežljivosti in podpore ne bi šlo. Hvala vsem.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 METODE IZMERE IN METODE IZRAČUNA KOORDINAT TOČK .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Izmera GNSS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1 Statična metoda izmere GPS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Navidezna (virtualna) referenčna postaja (VRS) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Klasična terestrična izmera .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Izmera ter obdelava horizontalnih kotov in zenitnih razdalj.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Izmera in obdelava podatkov meritev dolžin.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3 Obdelava podatkov meritev pri trigonometričnem višinerstvu.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Izravnava in analiza opazovanj v geodetski mreži .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1 A-priori natančnost opazovanj.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2 Izravnava opazovanj .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.3 Natančnosti geodetske mreže.....</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Prostorska transformacija .....</b>	<b>10</b>
<b>3 TERENSKA IZMERA IN REZULTATI MERITEV.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Vzpostavitev mreže in stabilizacija točk.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Uporabljen merska in programska oprema.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Izmera geodetske mreže in rezultati meritev .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.1 Izmera GPS s statično metodo.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.2 Izmera GPS z metodo VRS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.3 Klasična terestrična izmera mreže.....</b>	<b>25</b>
<b>4 ANALIZA REZULTATOV IZMERE .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Analiza rezultatov izmere GPS s statično metodo .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Analiza rezultatov izmere GPS z metodo VRS .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3 Analiza rezultatov klasične terestrične izmere .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 Analiza rezultatov prostorske transformacije .....</b>	<b>48</b>



**5 ZAKLJUČEK .....53**

**VIRI .....55**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Podatki o meritvah pri izmeri GPS s statično metodo.....	17
Preglednica 2:	Rezultati izmere GPS s statično metodo.....	18
Preglednica 3:	Srednje vrednosti izmere GPS s statično metodo.....	18
Preglednica 4:	Pretvorjene koordinate posamezne serije izmere GPS s statično metodo ...	19
Preglednica 5:	Pretvorjene koordinate srednjih vrednosti izmere GPS s statično metodo..	19
Preglednica 6:	Rezultati izmere GPS z metodo VRS v posamezni seriji.....	21
Preglednica 7:	Srednje vrednosti koordinat izmere GPS z metodo VRS.....	22
Preglednica 8:	Ravninske UTM koordinate točk, določene v posameznih serijah z metodo VRS .....	23
Preglednica 9:	Srednje vrednosti ravninskih UTM koordinat izmere GPS z metodo VRS	24
Preglednica 10:	Višine instrumenta in reflektorjev .....	28
Preglednica 11:	Meteorološki parametri .....	28
Preglednica 12:	Koordinate danih trigonometričnih točk in njihov opis.....	29
Preglednica 13:	Koordinate danih navezovalnih točk .....	29
Preglednica 14:	Srednje vrednosti meritev klasične terestrične izmere .....	30
Preglednica 15:	Približne koordinate novih točk.....	31
Preglednica 16:	Približne višine novih točk .....	32
Preglednica 17:	Ocene natančnosti izmerjenih horizontalnih kotov v posameznih girusih ..	32
Preglednica 18:	Ocene zanesljivosti referenčnega standardnega odklona a-posteriori $\hat{\sigma}_0$ ...	34
Preglednica 19:	Izravnane vrednosti koordinat pri prosti mreži s pripadajočimi natančnostmi .....	35
Preglednica 20:	Parametri standardnih elips pogreškov pri prosti mreži .....	35
Preglednica 21:	Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dana točka 50010).....	39
Preglednica 22:	Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dana točka 50012).....	39
Preglednica 23:	Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dani točki 50010 in 50012).....	40
Preglednica 24:	Standardne deviacije koordinat točk izmere GPS s statično metodo .....	41
Preglednica 25:	Odstopanja med posameznimi serijami in srednjimi vrednostmi izmere GPS z metodo VRS.....	42

Preglednica 26: Standardne deviacije koordinat točk določene z izmero GPS z metodo VRS .....	43
Preglednica 27: Odstopanja med srednjimi vrednostmi izmere GPS po statični in metodi VRS .....	44
Preglednica 28: Izravnane vrednosti koordinat pri vpeti mreži s pripadajočimi natančnostmi .....	45
Preglednica 29: Parametri standardnih elips pogreškov pri vpeti mreži .....	45
Preglednica 30: Odstopanja v posameznih zaključenih zankah .....	47
Preglednica 31: Odstopanja poligonov .....	48
Preglednica 32: Izračunani transformacijski parametri .....	49
Preglednica 33: Transformirane koordinate točk z izračunanimi transformacijskimi parametri.....	50
Preglednica 34: Razlike med danimi in transformiranimi koordinatami z izračunanimi transformacijskimi parametri.....	50
Preglednica 35: Dani transformacijski parametri .....	51
Preglednica 36: Transformirane koordinate točk z danimi transformacijskimi parametri.....	51
Preglednica 37: Razlike med transformiranimi koordinatami točk pri izračunanih in danih transformacijskih parametrih.....	52

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Določanje položaja točk po metodi VRS .....	5
Slika 2:	Zveze med različnima koordinatnima sistemoma.....	11
Slika 3:	Stabilizacija točk z lesenimi količki.....	13
Slika 4:	Stabilizacija točk s plastificiranimi betonskimi glavami in s kovinskim sidrom...	14
Slika 5:	Instrument GPS1200 .....	15
Slika 6:	Instrument TPS1200.....	15
Slika 7:	Namestitev antene pri statični metodi izmere GPS.....	16
Slika 8:	Postavitev instrumenta pri statični metodi izmere GPS .....	17
Slika 9:	Skica izmere GPS s statično metodo.....	20
Slika 10:	Postavitev instrumenta pri izmeri GPS z VRS metodo.....	21
Slika 11:	Skica izmere GPS z metodo VRS .....	25
Slika 12:	Signaliziranje točk pri klasični terestrični izmeri.....	26
Slika 13:	Skica izmere mreže z metodami klasične terestrične izmere .....	27
Slika 14:	Standardne elipse pogreškov pri prosti mreži .....	36
Slika 15:	Skica meritev višin .....	38
Slika 16:	Standardne elipse pogreškov pri vpeti mreži .....	46

## KAZALO PRILOG

- Priloga A: Izpisi naknadne obdelave opazovanj izmere GPS s statično metodo
- A1 Izpis naknadne obdelave prve serije izmere GPS s statično metodo
- A2 Izpis naknadne obdelave druge serije izmere GPS s statično metodo
- A3 Izpis izračuna srednjih vrednosti koordinat izmere GPS s statično metodo
- Priloga B: Izpis terenskega zapisnika izmere GPS z metodo VRS
- Priloga C: Podatki o meritvah s klasično terestrično izmero
- Priloga Č: Ocene natančnosti posameznega girusa
- Č1 Ocene natančnosti posameznega girusa na posameznem stojišču
- Č2 Ocene natančnosti posameznega girusa na stojišču 2
- Priloga D: Izpisi izravnave v položajnem in višinskem smislu
- D1 Izpis izravnave proste mreže v položajnem smislu z uporabljenimi ocenjenimi apriori natančnostmi
- D2 Izpis izravnave proste mreže v položajnem smislu
- D3 Izpis izravnave mreže v višinskem smislu pri dani točki 50010
- D4 Izpis izravnave mreže v višinskem smislu pri dani točki 50012
- D5 Izpis izravnave mreže v višinskem smislu pri danih točkah 50010 in 50012
- D6 Izpis izravnave vpete mreže v položajnem smislu
- Priloga E: Izpisi opravljenih transformacij

## 1 UVOD

V diplomski nalogi predstavljamo določitev koordinat novih točk in njihovih natančnosti v manjši geodetski mreži z različnimi metodami izmere. 1. januarja 2008 smo v Republiki Sloveniji v skladu z zahtevami Zakona o evidentiranju nepremičnin začeli uporabljati nov državni koordinatni sistem ETRS 89. S tem pa so se, poleg že uveljavljenih klasičnih terestričnih metod izmere, še bolj uveljavile tudi metode izmere GNSS. Z vsemi temi metodami se bom v prihodnje kot izvajalka geodetskih storitev srečevala tudi sama, zato sem si za temo diplomske naloge izbrala prav problem določitve koordinat točk v geodetski mreži z različnimi metodami izmere. Geodetska mreža, ki smo jo vzpostavili, služi samo za potrebe diplomske naloge. Lokacijo za vzpostavitev smo izbrali tako, da je ustrezala vsem pogojem izmere GNSS (v bližini ne sme biti objektov, ki bi motili sprejem signalov GPS), vidnih pa je moralo biti tudi zadostno število trigonometričnih točk za potrebe določitve koordinat novih točk z metodo notranjega ureza. Zagotovljena je bila vidnost med novo stabiliziranimi točkami, kar je potreben pogoj za izvedbo terestrične izmere.

Pri izbiri merske opreme nismo imeli posebno težke naloge. Potrebovali smo opremo za izmero GNSS, ki zagotavlja geodetsko natančnost, elektronski tahimeter, zadostno število stativov in reflektorjev ter instrumente za merjenje meteoroloških parametrov. Vse potrebno smo si izposodili pri geodetskem podjetju Geomeritve d.o.o. iz Slovenj Gradca.

Če želimo opazovanja izravnati, moramo zagotoviti nadštevilna opazovanja. Pred izvedbo meritev se je bilo treba odločiti s katerimi metodami in v koliko serijah naj opravimo izmero z metodami GNSS, in v koliko girusih in ponovitvah naj opravimo izmero horizontalnih kotov in zenitnih razdalj ter poševno merjenih dolžin, da bomo lahko dosegli željeno natančnost koordinat novih točk.

Opazovanja, ki jih pridobimo s statično metodo izmere GPS, zahtevajo naknadno obdelavo za pridobitev ustreznih koordinat točk. Enako velja za opazovanja, ki jih opravimo s klasičnimi terestričnimi metodami izmere. Naknadno obdelavo opazovanj je bilo treba opraviti z ustrežno programsko opremo. Glede na to, da smo meritve izvajali z instrumenti iz skupine Leica 1200, smo za naknadno obdelavo podatkov izbrali program Leica GeoOffice. Za

izračun približnih koordinat novih točk smo uporabili program LisCAD. Za izravnavo opazovanj v horizontalnem smislu, pridobljenih s klasično terestrično izmero, smo uporabili program GEM, v višinskem smislu pa program VimWin.

Koordinate točk, pridobljene z izmero GNSS in s klasično terestrično izmero, se nanašajo na različne koordinatne sisteme. Za lažjo primerjavo ter tudi v skladu z zahtevami Zakona o evidentiranju nepremičnin (v primeru katastrske izmere), je bilo treba koordinate točk, pridobljene po klasični terestrični izmeri v Gauß – Krügerjevi projekcijski ravnini v koordinatnem sistemu D-48, transformirati v koordinatni sistem ETRS 89, v katerem so koordinate točk, pridobljene po metodah izmere GNSS. Transformacijo smo opravili s pomočjo programa SiTraNet.

Rezultati izmer in izračunov po vseh metodah bi morali biti po vrednostih in natančnostih koordinat točk med seboj primerljivi. V nadaljevanju so podrobneje predstavljene vse metode izmer in postopki izračunov, ki smo jih pri nalogi uporabili, lastnosti uporabljene merske opreme ter podroben prikaz rezultatov izmer in njihova analiza.

## 2 METODE IZMERE IN METODE IZRAČUNA KOORDINAT TOČK

V tem poglavju predstavljamo metode terenske izmere in metode izračunov obdelave podatkov meritev, ki smo jih uporabili v nalogi. Za izmero GNSS smo uporabili statično in metodo izmere VRS, pri klasični terestrični metodi izmere pa smo merili horizontalne kote in zenitne razdalje ter poševne dolžine. Opazovanja smo ustrezno reducirali in izravnali. Rezultat izravnave so koordinate v različnih koordinatnih sistemih, ki jih je bilo treba za lažjo primerjavo še transformirati v koordinatni sistem ETRS 89.

### 2.1 Izmera GNSS

Položaj na Zemlji, kjer uporabimo izmero GPS, določimo na podlagi izmerjene vrednosti razdalje med sateliti GPS in sprejemnikom GPS na Zemlji. Na natančnost, točnost in kakovost, s katero je ta položaj določen, vplivajo številni dejavniki, ki izvirajo iz položajev satelitov, atmosfere, instrumentarija, okolice, kjer izvajamo meritve, in programske opreme (Kozmus, Stopar, 2003).

Poznamo več metod izmere GPS. Ločimo med absolutnimi in relativnimi, pri čemer v geodeziji uporabljamo samo relativne, ki nam trenutno zagotavljajo ustrezno natančnost koordinat točk. Za izmero potrebujemo najmanj dva sprejemnika GPS. Eden je postavljen na referenčni oz. bazni točki, drugi pa na točki, ki ji določamo položaj. Glede na način kako izvajamo meritve, ločimo med statičnimi (sprejemnik med izmero stoji na točki, ki jo merimo) in kinematičnimi metodami (sprejemnik premikamo od točke do točke, katerih položaj določamo). Metode pa se ločijo tudi glede na to, kdaj dobimo rezultat izmere, torej koordinate točk. Ločimo metode, ki zahtevajo naknadno obdelavo in tiste, pri katerih dobimo položaj točke v realnem času (Stopar, Prešeren Pavlovčič, Kozmus, 2006).

Geodetsko mrežo pri nalogi smo izmerili s statično metodo, ki je osnovna metoda za določanje relativnega položaja in kjer je bilo treba opazovanja naknadno obdelati, ter s



kinematično metodo RTK-VRS, kjer smo rezultate meritev, torej koordinate točk, dobili v realnem času. Podrobneje sta predstavljeni v nadaljevanju.

### **2.1.1 Statična metoda izmere GPS**

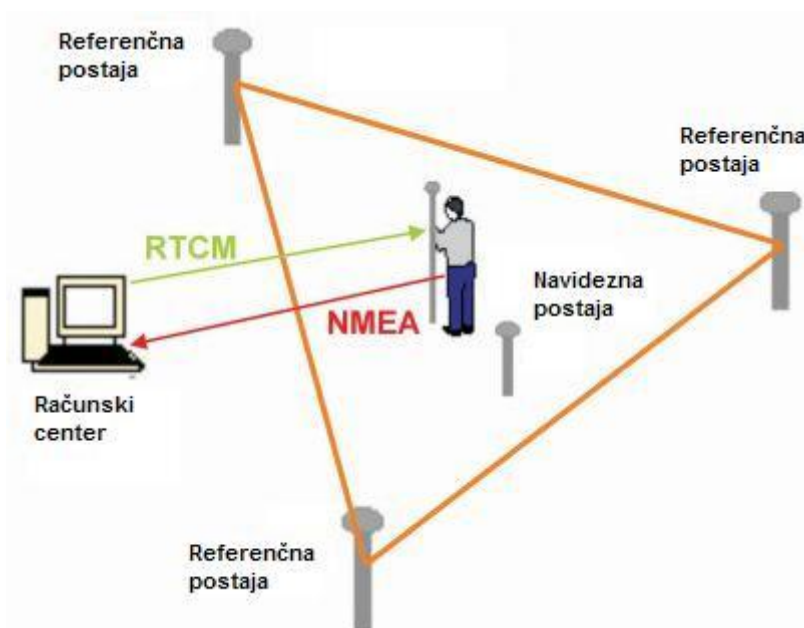
Geometrijska razporeditev satelitov se v času opazovanj spreminja. Opazovanja, ki jih opravljamo s statično metodo izmere GPS, temeljijo na teh spremembah. Da lahko izmero GPS s statično metodo opravimo korektno, mora biti izpolnjenih nekaj pogojev: opazovanja morajo biti izvedena z več kot enim sprejemnikom, pri čemer je vsaj eden postavljen na bazni točki, drugi pa na točkah, katerih položaj določamo, opazovati moramo signal vsaj štirih satelitov, pomembno pa je tudi, da v okolici točk, katerih položaj določamo, ni fizičnih ovir, ki bi onemogočale sprejem signala GPS (Stopar, Pavlovčič Prešeren, Kozmus, 2006).

Opazovanja praviloma izvajamo v serijah. Pri tem morajo biti postavitve instrumentov v vsaki seriji neodvisne. Trajanje opazovanj in število serij je odvisno od zahtevane ali želene natančnosti, geometrijske razporeditve satelitov in merskih pogojev.

Pridobljena opazovanja je potrebno še naknadno obdelati z ustrežno programsko opremo. Po prenosu podatkov s sprejemnika na računalnik najprej preverimo skladnost terenskega zapisnika z opazovanji. Če smo kot bazno točko uporabili permanentno postajo omrežja GNSS postaj (npr. SIGNAL), je treba pridobiti tudi podatke o opazovanjih na tej točki. Že med opazovanji na točkah na terenu pridobimo tudi podatke o tirnicah satelitov, t. i. s satelita oddane efemeride. Vendar za najnatančnejšo izmero niso ustrezne kakovosti. Zato v obdelavo vključimo natančnejše podatke o tirnicah satelitov, t. i. precizne efemeride, ki so na voljo z nekaj dnevnim zamikom. Obdelana opazovanja v primeru nadštevilnih opazovanj izravnamo in kot končni rezultat obdelave dobimo koordinate točk z ustrežno natančnostjo (Kozmus, Stopar, 2003).

### 2.1.2 Navidezna (virtualna) referenčna postaja (VRS)

Pojem VRS (Virtual Reference Station) je opredeljen kot metoda določanja položaja na osnovi opazovanj GPS v aktivnem omrežju postaj GPS. Podatki opazovanj za virtualno referenčno postajo (VRS) so generirani na podlagi pravih opazovanj GPS, ki so opravljena na referenčnih postajah aktivnega omrežja. Princip izhaja iz računske določitve navideznih opazovanj tako, kot da bi jih izvajala referenčna postaja v neposredni bližini mobilnega sprejemnika. Podatki VRS so identični podatkom, ki bi jih pridobili s pravim sprejemnikom. Za izračun VRS v računskem centru je potreben podatek o približnem položaju uporabnika. Ta podatek uporabnik posreduje v računski center in računski center omrežja nato generira opazovanja in popravke za virtualno referenčno postajo tako, kot da bi prihajali iz resnične postaje (slika 1) in jih posreduje uporabniku.



Slika 1: Določanje položaja točk po metodi VRS

Za metodo VRS je torej potreben prenos podatkov o položaju od uporabnika do računskega centra omrežja ter podatkov opazovanj in popravkov opazovanj za virtualno referenčno postajo s pomočjo podatkovne povezave od računskega centra do uporabnika. Pri izmeri v

načinu VRS zato potrebujemo dvosmerno komunikacijo med uporabnikom in računskim centrom, ki jo lahko zagotovimo z uporabo GSM, GPRS in ostalih tehnologij tretje generacije mobilne telefonije. Problem nastane, če povezava med računskim centrom in uporabnikom ni dovolj kakovostna.

Položaj uporabnika z metodo VRS je določen glede na virtualno referenčno postajo ter z upoštevanjem vplivov na opazovanja, ki so računsko interpolirani na položaj virtualne referenčne postaje.

Prednosti metode VRS so: položaj uporabnika je določen z upoštevanjem popravkov opazovanj psevdorazdalj v omrežju referenčnih postaj, metoda omogoča kompleksno modeliranje vplivov ionosfere in troposfere za celotno območje mreže, zahteva po velikih računskih zmogljivostih na strani uporabnikovega sprejemnika GPS odpade, saj je večji del izračunov opravljen v centru omrežja. Slabosti metode VRS so: število uporabnikov je s strani centra, ki izvaja preračune, zaradi programskih in strojnih omejitev omejena ter pri velikih oddaljenostih uporabnika od navideznih referenčnih postaj, popravki niso nujno pravilni (Lavbič, 2005).

## **2.2 Klasična terestrična izmera**

S klasično terestrično izmero v geodetski mreži merimo horizontalne kote ali smeri, zenitne razdalje, poševne dolžine in višinske razlike. Vrednosti, ki jih dobimo po izmeri, je potrebno obdelati (izračunati srednje vrednosti kotov oziroma smeri in reducirati dolžine na računsko ploskev). Z obdelanimi vrednostmi meritev in drugimi danimi količinami (npr. koordinatami točk, ki jih privzamemo kot dane) nato določimo koordinate novih točk v mreži.

### **2.2.1 Izmera ter obdelava horizontalnih kotov in zenitnih razdalj**

Horizontalne kote ali smeri lahko izmerimo z različnimi metodami. Izbira metode je odvisna od namena izmere in zahtevane natančnosti koordinat novih točk. Pri izmeri zenitnih razdalj moramo za zagotovitev ustrezne natančnosti določitve višin točk opraviti dovolj veliko število

meritev. Horizontalne kote in zenitne razdalje merimo v dveh krožnih legah. S tem odstranimo vpliv več pogreškov in povečamo natančnost meritev.

Osnovna metoda za izmero horizontalnih kotov je girusna metoda pri kateri izmerimo kote z istim temenom istočasno v obeh krožnih legah v pravilnem zaporedju. Rezultat meritev so reducirane smeri, ki so med seboj mersko odvisne vrednosti, obremenjene s pogreškom začetne smeri.

Zelo pomembno pri izmeri zenitnih razdalj je dobro definirano in enolično določeno mesto viziranja. Zenitne razdalje merimo obojestransko in tako povečamo natančnost, s tem pa tudi zmanjšamo vpliv vertikalne refrakcije (Kogoj, Stopar, 2009).

### **2.2.2 Izmera in obdelava podatkov meritev dolžin**

Na terenu izmerimo dolžino med dvema točkama v prostoru, ki jo moramo za določitev koordinat točk še dodatno obdelati. Neposredno izmerjena dolžina je, zaradi meteoroloških vplivov, dolžina refrakcijske krivulje. Ker je izmerjena med dvema točkama v prostoru, ki se nahajata na neki nadmorski višini, še ni uporabna za določitev koordinat na izbrani referenčni ploskvi. Izmerjeno dolžino moramo popraviti za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke.

Pri meteoroloških popravkih izračunamo razliko med vrednostjo, ki jo prikaže instrument, in geometrično dolžino poti svetlobnega žarka med razdaljemero in reflektorjem. Za izračun meteoroloških popravkov je na terenu potrebno meriti temperaturo, zračni tlak in relativno vlažnost. Ločimo prvi popravek hitrosti (upoštevanje dejanske hitrosti svetlobe zaradi spremenjenih optičnih lastnosti atmosfere), ki ga moramo obvezno upoštevati, in drugi popravek hitrosti, katerega vrednost je bistvena pri daljših dolžinah. Geometrični popravki zahtevajo dodatne dane ali merjene količine, kot so višinska razlika, zenitna razdalja, ukrivljenost Zemlje, višina instrumenta in reflektorja. Te popravke moramo upoštevati zaradi horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera in reflektorja ter zaradi oblike refrakcijske krivulje, s katero opišemo pot žarka. Rezultat je poševna dolžina na nivoju točk,

imenovana tudi dolžina »kamen – kamen«. Izračun in upoštevanje projekcijskih popravkov pomeni prehod s prostorske poševne dolžine, ki je na nivoju točk, na dolžino sfernega loka, ki je na nivoju referenčnega horizonta (na referenčni ploskvi). Nato dolžino reduciramo na izbrano projekcijsko ravnino (npr. Gauß – Krügerjevo projekcijsko ravnino) in jo lahko uporabimo za nadaljnja računanja (Kogoj, 2002).

### **2.2.3 Obdelava podatkov meritev pri trigonometričnem višinerstvu**

Višinsko razliko med točkama določimo na osnovi izmerjene zenitne razdalje in poznane horizontalne ali izmerjene poševne dolžine. Poleg instrumentalnih pogreškov poznamo pri trigonometričnem višinerstvu dodatne subjektivne in objektivne pogreške, ki omejujejo natančnost te metode. Največji problem predstavlja atmosferska refrakcija, ki je posledica prehoda žarka skozi plasti zraka različne gostote in velja za glavni problem trigonometričnega višinerstva. Njen vpliv zmanjšamo z uporabo obojestransko opravljenih meritev ter z zmanjšanjem oddaljenosti med točkami, ne moremo pa ga v celoti odpraviti.

## **2.3 Izravnava in analiza opazovanj v geodetski mreži**

V postopku izravnave z ustreznim matematičnim modelom povežemo merjene količine, dane količine in iskane količine. Rešitev matematičnega modela nam da definitivne vrednosti iskanih količin in izravnane koordinate točk mreže, izravnava pa nam omogoča tudi določitev natančnosti iskanih in merjenih količin.

### **2.3.1 A-priori natančnost opazovanj**

A-priori ocena natančnosti meritev je pogoj za oceno določitve natančnosti iskanih količin. A-priori ocena natančnosti meritev je lahko subjektivna ali objektivna, rezultat so standardne deviacije  $\sigma_l$  merjenih količin. Natančnost izmerjenih količin je mogoče oceniti na osnovi oblike in dimenzije mreže, natančnosti uporabljenega instrumentarija ter uporabljene metode izmere in izkušenj opazovalca. Objektivno vrednost a-priori ocene natančnosti pridobimo iz

rezultatov meritev na osnovi npr. odstopanj od aritmetične sredine ali iz razlik dvojnih merjenj. V primeru, da nimamo druge možnosti, a-priori natančnost meritev ocenimo iz deklarirane natančnosti uporabljenega instrumenta ali na podlagi izkušenj. V našem primeru smo imeli dve vrsti opazovanj, kotna in dolžinska. Zato je smiselno izračunati a-priori natančnost za posamezno vrsto opazovanj. Navadno predpostavimo, da so istovrstna opazovanja enake natančnosti (Kogoj, Stopar, 2009).

### 2.3.2 Izravnava opazovanj

Danes za izravnavo večinoma uporabljamo posredno izravnavo opazovanj. Po ustrezni pripravi vrednosti opazovanj vzpostavimo zvezo med opazovanimi in neznanimi količinami v geodetski mreži. Matematično predstavljajo te zveze poddoločen, določen ali predoločen problem. Praktično uporabne rezultate lahko pridobivamo samo na osnovi predoločenega (na razpolago imamo več neodvisnih opazovanj kot neodvisnih neznank) in določenega problema (na razpolago imamo toliko neodvisnih opazovanj kolikor je neodvisnih neznank v mreži). Grobo pogrešena opazovanja lahko evidentiramo samo na osnovi predoločenega problema, to je kadar imamo nadštevilna opazovanja. Za predoločen problem lahko zagotovimo enolično rešitev samo pod dodatnimi zahtevami, ki jih morajo opazovanja izpolniti. V praksi je najbolj pogosto v uporabi zahteva, da mora biti vsota kvadratov popravkov opazovanj minimalna. Izravnavo nadštevilnih opazovanj pod tem pogojem imenujemo izravnava po metodi najmanjših kvadratov (Kogoj, Stopar, 2009).

### 2.3.3 Natančnosti geodetske mreže

Podatke o natančnosti ocenjenih neznank pridobimo iz matrike kofaktorjev  $Q_{\Delta\Delta}$  oziroma iz kovariančne matrike  $\Sigma_{\Delta\Delta}$ . Če so neznanke koordinate točk, lahko iz teh matrik pridobimo različna merila natančnosti koordinat točk v geodetski mreži.

Standardne deviacije koordinat točk  $(\sigma_y, \sigma_x)$  so definirane kot pozitivni kvadratni koreni odgovarjajočih varianc. Standardni deviaciji  $\sigma_y$  in  $\sigma_x$  predstavljata natančnost koordinat točk

v mreži v smeri koordinatnih osi  $y$  in  $x$ , s tem pa ne dobimo popolne informacije o natančnosti položaja. To dobimo po formuli

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2} \quad (1)$$

kjer je  $\sigma_p$  največja pričakovana standardna deviacija položaja točke.

Grafično natančnost položaja točk prikažemo z absolutnimi elipsami pogreškov. Te predstavljajo območje zaupanja v katerem se nahaja pravi položaj točke z ustrezno verjetnostjo 39.4% (Kogoj, Stopar, 2009).

## 2.4 Prostorska transformacija

Rezultat izmere GPS v našem primeru so koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS 89. Koordinate točk, ki smo jih pridobili s klasično terestrično izmero, pa so določene v Gauß – Krügerjevi projekcijski ravnini v koordinatnem sistemu D-48. Koordinatna sistema imata različni izhodišči, različno orientacijo koordinatnih osi in različno merilo (Stopar, Pavlovčič Prešeren, Kozmus, 2006). Da bi rezultate lahko primerjali, poleg tega pa tako zahteva tudi Zakon o evidentiranju nepremičnin, je treba koordinate točk, ne glede na metodo izmere, preračunati v ETRS 89 koordinatni sistem. Za ta preračun smo uporabili prostorsko podobnostno transformacijo.

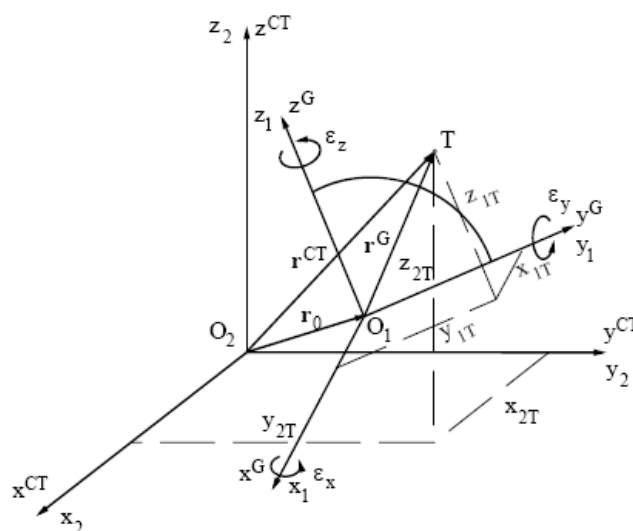
Lastnosti določenega tipa transformacije določajo transformacijski parametri. Lahko so vnaprej znani, največkrat pa jih moramo izračunati sami. Da jih lahko izračunamo, potrebujemo določeno število točk, ki imajo znane koordinate v obeh koordinatnih sistemih. Te točke imenujemo vezne točke, koliko jih potrebujemo pa je odvisno od tipa transformacije (Stopar, Pavlovčič Prešeren, Kozmus, 2006).

Obstaja več tipov transformacij koordinatnih sistemov, ki imajo različne lastnosti. Mi smo uporabili 7-parametrično podobnostno transformacijo. Za to transformacijo potrebujemo

najmanj tri vezne točke. Točke morajo biti enakomerno razporejene po obodu obravnavanega območja. Njene lastnosti so, da premice transformira v premice, ohranjajo se koti, zaradi spremembe merila pa se lahko položaji v mreži spremenijo. Zveza med različnima koordinatnima sistemoma (slika 2) je dana s sedmimi transformacijskimi parametri: tremi premiki med koordinatnima sistemoma, tremi zasuki med koordinatnima sistemoma in enim razmerjem enote dolžine med koordinatnima sistemoma. Enačba te transformacije je:

$$X_{CT} = m \cdot R \cdot X_G + T . \quad (2)$$

V vektorju  $X_{CT}$  so koordinate točk v končnem koordinatnem sistemu,  $m$  je razmerje merila med koordinatnima sistemoma,  $R$  je ortogonalna rotacijska matrika, v vektorju  $X_G$  so koordinate točk izhodiščnega koordinatnega sistema, vektor  $T$  pa je vektor premika med koordinatnima sistemoma (Stopar, Pavlovčič Prešeren, Kozmus, 2006).



Slika 2: Zveze med različnima koordinatnima sistemoma

V primeru, da smo za izračun transformacijskih parametrov uporabili več veznih točk kot jih nujno potrebujemo, lahko izvedemo izravnavo transformacije. Natančnost transformiranih koordinat je odvisna od natančnosti koordinat, ki jih uporabimo za izračun transformacijskih



parametrov in od natančnosti ocene le-teh. V izravnavi transformacije predstavljajo opazovanja koordinate točk v obeh koordinatnih sistemih, transformacijski parametri so neznanke, ki so ocenjene z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Kakovost izravnave ovrednotimo na podlagi vrednosti transformacijskih parametrov in popravkov, ki jih predstavljajo odstopanja med danimi in transformiranimi koordinatami veznih točk (Stopar, Pavlovčič Prešeren, Kozmus, 2006).

### 3 TERENSKA IZMERA IN REZULTATI MERITEV

V tem poglavju predstavljamo praktično delo pri vzpostavitvi geodetske mreže, način stabilizacije geodetskih točk, uporabljeno mersko in programsko opremo, potek izmere GNSS in klasične terestrične izmere, rezultate izmer, rezultate naknadnih obdelav podatkov meritev in rezultate izravnave meritev v geodetski mreži.

#### 3.1 Vzpostavitev mreže in stabilizacija točk

Mreža, ki smo jo vzpostavili, je služila samo za potrebe diplomske naloge. Mreža je vzpostavljena na dokaj ravnem terenu. Izmera GNSS zahteva, da v okolici točk ne sme biti fizičnih ovir, ki bi ovirale sprejem signala GNSS, in temu pogoju je bilo zadoščeno. Izpolnjen je bil tudi pogoj za uspešno izvedbo terestrične mreže, to je vidnost med točkami.

Za stabilizacijo točk smo uporabili lesene količke z žabljem in točke, ki imajo plastificirane betonske glave in kovinsko sidro (sliki 3 in 4).



Slika 3: Stabilizacija točk z lesenimi količki



Slika 4: Stabilizacija točk s plastificiranimi betonskimi glavami in s kovinskim sidrom

### 3.2 Uporabljena merska in programska oprema

Za meritve smo uporabili instrumente proizvajalca Leica iz serije 1200. Za izmero GNSS smo uporabili sprejemnik z oznako GX1230 in anteno z oznako AX1202 (slika 5). Sprejemnik je dvofrekvenčni in sprejema le signale satelitov iz sistema GPS (signale 12 satelitov na frekvenci L1 in na frekvenci L2). Z njim lahko opravimo izmero tako s statično metodo kot tudi z metodo RTK-GPS izmere. Če so izpolnjeni vsi pogoji, ki jih metodi za izmero zahtevata, nam zagotavlja potrebno geodetsko natančnost (Leica, 2006). Uporabljen tahimeter ima oznako Leica TCRM 1203 (slika 6). Deklarirana natančnost izmerjenih kotov je 3", deklarirana natančnost izmere dolžin pa 2 mm; 2 ppm (Leica, 2005).

Za naknadno obdelavo opazovanj GNSS in obdelavo podatkov terestrične izmere (redukcije dolžin, izračun sredin girusov) smo uporabili program Leica GeoOffice (verzija 7.0.0.0.). Približne koordinate smo izračunali s pomočjo programa LisCAD (verzija 6.0). Za izravnavo terestričnih opazovanj v položajnem smislu smo uporabili program GEM, v višinskem smislu pa program VimWin. Transformacijo koordinat smo izvedli s programom SiTraNet (verzija 2.10). Za pomožne izračune smo uporabili program MS Excel.



Slika 5: Instrument GPS1200



Slika 6: Instrument TPS1200

### 3.3 Izmera geodetske mreže in rezultati meritev

V tem podpoglavju predstavljamo podroben potek izmere mreže, rezultate izmer in postopke izračunov mreže ter rezultate izravnave.

#### 3.3.1 Izmera GPS s statično metodo

Najprej smo mrežo izmerili s statično metodo izmere GPS. Na stativ smo s pomočjo podnožja, peclja in posebnega nastavka privili anteno (sliki 7 in 8). Izmerili smo višino antene od točke na tleh do ustreznega mesta na anteni (do točke MRP – mehanska referenčna točka). Na vsaki točki smo opazovanja opravili neodvisno v dveh serijah v trajanju po eno uro. Izmerjene vrednosti višin anten in časi opazovanj so navedeni v preglednici 1. Meritve smo opravljali samo z enim sprejemnikom, pogoj za izmero pa je več kot en sprejemnik. Kot drugi sprejemnik smo uporabili permanentno postajo Slovenj Gradec iz omrežja SIGNAL, ki je od lokacije mreže oddaljena približno 4 km.



Slika 7: Namestitev antene pri statični metodi izmere GPS



Slika 8: Postavitev instrumenta pri statični metodi izmere GPS

Preglednica 1: Podatki o meritvah pri izmeri GPS s statično metodo

Točka	Serijska	Datum	Začetek meritve [ura]	Konec meritve [ura]	Višina antene [m]
1	1	24.10.2009	14.36	15.38	1.573
1	2	31.10.2009	13.05	14.06	1.589
2	1	24.10.2009	15.53	16.55	1.526
2	2	31.10.2009	14.14	15.14	1.574
3	1	24.10.2009	17.18	18.20	1.582
3	2	31.10.2009	15.22	16.23	1.474
4	1	24.10.2009	18.37	19.40	1.552
4	2	31.10.2009	16.29	17.30	1.567

Meritve smo izvedli v dveh serijah neodvisno. Opazovanja, ki smo jih pridobili s statično izmero GPS, je bilo potrebno naknadno obdelati. Naknadno obdelavo smo opravili s pomočjo programa Leica GeoOffice. Poleg podatkov o meritvah, je bilo potrebno uporabiti še podatke o meritvah na permanentni postaji (v formatu RINEX), ki smo jih dobili na portalu službe

SIGNAL, in podatke o efemeridah, ki smo jih dobili na spletnem strežniku službe IGS. Uporabili smo natančne efemeride tipa »rapid«.

Ko smo imeli vse potrebne podatke, smo izvedli obdelavo vsake serije meritev posebej in na koncu še izravnavo baznih vektorjev, pridobljenih v okviru obeh serij. Rezultati naknadne obdelave posamezne serije so navedeni v preglednici 2. Rezultat izravnave so srednje vrednosti koordinat točk, navedene v preglednici 3. Celotni izpisi obdelave podatkov opazovanj v posameznih serijah in rezultati izravnave so priloženi v prilogah A1, A2 in A3.

Preglednica 2: Rezultati izmere GPS s statično metodo

Točka	Serijs	$\varphi_1$	$\lambda_1$	h [m]
1	1	46° 29' 19.04732"	15° 06' 55.20255"	494.6352
	2	46° 29' 19.04738"	15° 06' 55.20265"	494.6425
2	1	46° 29' 22.02541"	15° 07' 00.93072"	494.8433
	2	46° 29' 22.02556"	15° 07' 00.93080"	494.8383
3	1	46° 29' 25.33841"	15° 06' 56.89372"	492.5367
	2	46° 29' 25.33832"	15° 06' 56.89361"	492.5332
4	1	46° 29' 22.29911"	15° 06' 52.36377"	493.2704
	2	46° 29' 22.29917"	15° 06' 52.36367"	493.3071

Preglednica 3: Srednje vrednosti izmere GPS s statično metodo

Točka	$\bar{\varphi}_1$	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{h}_1$ [m]
1	46° 29' 19.04735"	15° 06' 55.20260"	494.6391
2	46° 29' 22.02552"	15° 07' 00.93078"	494.8395
3	46° 29' 25.33834"	15° 06' 56.89364"	492.5343
4	46° 29' 22.29914"	15° 06' 52.36373"	493.2906

Ker so praktično bolj uporabne ravninske koordinate, smo geografske koordinate koordinatnega sistema ETRS 89 pretvorili v ravninske koordinate v prečni Mercatorjevi projekciji v koordinatnem sistemu ETRS 89. Pretvorbo smo izvedli s pomočjo programa, ki smo ga sami izdelali v programskem okolju MS Excel. Rezultat pretvorbe navajamo v preglednicah 4 in 5.

Preglednica 4: Pretvorjene koordinate posamezne serije izmere GPS s statično metodo

Točka	Serijska	$E_{(i)}$ [m]	$N_{(i)}$ [m]	$h_{(i)}$ [m]
1	1	508854.3005	149890.9091	494.6352
	2	508854.3027	149890.9110	494.6425
2	1	508976.3191	149983.0370	494.8433
	2	508976.3208	149983.0416	494.8383
3	1	508890.0805	150085.1988	492.5367
	2	508890.0781	150085.1961	492.5332
4	1	508793.6173	149991.2198	493.2704
	2	508793.6151	149991.2217	493.3071

Preglednica 5: Pretvorjene koordinate srednjih vrednosti izmere GPS s statično metodo

Točka	$\bar{E}_{(i)}$ [m]	$\bar{N}_{(i)}$ [m]	$\bar{h}_{(i)}$ [m]
1	508854.3016	149890.9100	494.6391
2	508976.3204	149983.0404	494.8395
3	508890.0787	150085.1967	492.5343
4	508793.6164	149991.2207	493.2906

Skica izmere je prikazana na sliki 9. Dolžine baznih vektorjev so zaradi boljše preglednosti skice prirejeni.



Slika 9: Skica izmere GPS s statično metodo

### 3.3.2 Izmera GPS z metodo VRS

Naslednjo izmero mreže smo opravili z VRS metodo GPS izmere. Anteno smo privili na togo grezilo, ki je bilo podprto z dvonožnim stojalom (slika 10). Višina antene je bila ves čas enaka in je znašala 2 metra. Vsako točko smo opazovali v petih serijah, čas opazovanja v vsaki seriji je bil približno 5 minut. Povezavo z omrežjem SIGNAL prek klicnega centra smo vzpostavili samo enkrat, postopek inicializacije pa se je izvedel ob vsaki novi postavitvi na točke. Pridobljene vrednosti koordinat so navedene v preglednici 6. Celoten izpis terenske izmere je priložen v prilogi B.



Slika 10: Postavitev instrumenta pri izmeri GPS z VRS metodo

Preglednica 6: Rezultati izmere GPS z metodo VRS v posamezni seriji

Točka	Serijska	$\varphi_2$	$\lambda_2$	$h_2$ [m]
1	1	46° 29' 19.04725"	15° 06' 55.20221"	494.6395
	2	46° 29' 19.04710"	15° 06' 55.20245"	494.6360
	3	46° 29' 19.04729"	15° 06' 55.20243"	494.6170
	4	46° 29' 19.04725"	15° 06' 55.20236"	494.6330
	5	46° 29' 19.04753"	15° 06' 55.20232"	494.6378
2	1	46° 29' 22.02598"	15° 07' 00.93092"	494.8200

	2	46° 29' 22.02562"	15° 07' 00.93069"	494.8321
	3	46° 29' 22.02536"	15° 07' 00.93044"	494.8293
	4	46° 29' 22.02566"	15° 07' 00.93052"	494.8129
	5	46° 29' 22.02561"	15° 07' 00.93071"	494.8327
3	1	46° 29' 25.33861"	15° 06' 56.89362"	492.5405
	2	46° 29' 25.33870"	15° 06' 56.89383"	492.5257
	3	46° 29' 25.33861"	15° 06' 56.89345"	492.5221
	4	46° 29' 25.33841"	15° 06' 56.89356"	492.5214
	5	46° 29' 25.33845"	15° 06' 56.89337"	492.5390
4	1	46° 29' 22.29887"	15° 06' 52.36354"	493.2989
	2	46° 29' 22.29909"	15° 06' 52.36351"	493.2991
	3	46° 29' 22.29910"	15° 06' 52.36361"	493.2945
	4	46° 29' 22.29926"	15° 06' 52.36352"	493.3053
	5	46° 29' 22.29924"	15° 06' 52.36349"	493.3015

Srednje vrednosti koordinat iz vseh serij smo izračunali s pomočjo programa Leica GeoOffice (preglednica 7).

Preglednica 7: Srednje vrednosti koordinat izmere GPS z metodo VRS

Točka	$\bar{\varphi}_2$	$\bar{\lambda}_2$	$\bar{h}_2$ [m]
1	46° 29' 19.0479"	15° 06' 55.20236"	494.6333
2	46° 29' 22.02563"	15° 07' 00.93063"	494.8272
3	46° 29' 25.33851"	15° 06' 56.89353"	492.5295
4	46° 29' 22.29914"	15° 06' 52.36354"	493.2992

Tudi geografske koordinate, pridobljene z izmero v načinu VRS v koordinatnem sistemu ETRS 89, smo pretvorili v ravninske koordinate v prečni Mercatorjevi projekciji v koordinatnem sistemu ETRS 89. Ravninske koordinate točk, določene v posameznih serijah so navedene v preglednici 8, srednje vrednosti koordinat pa v preglednici 9.

Preglednica 8: Ravninske UTM koordinate točk, določene v posameznih serijah z metodo VRS

Točka	Seriya	$E_{(2)}$ [m]	$N_{(2)}$ [m]	$h_{(2)}$ [m]
1	1	508854.2933	149890.9069	494.6395
	2	508854.2984	149890.9023	494.6360
	3	508854.2980	149890.9082	494.6170
	4	508854.2965	149890.9069	494.6330
	5	508854.2956	149890.9080	494.6378
2	1	508976.3234	149983.0546	494.8200
	2	508976.3185	149983.0435	494.8321
	3	508976.3132	149983.0354	494.8293
	4	508976.3149	149983.0447	494.8129
	5	508976.3189	149983.0432	494.8327
3	1	508890.0783	150085.2050	492.5405
	2	508890.0828	150085.2078	492.5257
	3	508890.0747	150085.2050	492.5221
	4	508890.0770	150085.1988	492.5214
	5	508890.0730	150085.2001	492.5390
4	1	508793.6124	149991.2124	493.2989
	2	508793.6117	149991.2192	493.2991
	3	508793.6139	149991.2195	493.2945
	4	508793.6119	149991.2244	493.3053
	5	508793.6113	149991.2238	493.3015

Preglednica 9: Srednje vrednosti ravninskih UTM koordinat izmere GPS z metodo VRS

Točka	$\bar{E}_{(2)}$ [m]	$\bar{N}_{(2)}$ [m]	$\bar{h}_{(2)}$ [m]
1	508854.2965	149890.9082	494.6333
2	508976.3172	149983.0438	494.8272
3	508890.0764	150085.2019	492.5295
4	508793.6124	149991.2207	493.2992

Na sliki 11 je prikazana skica izmere GPS z metodo VRS. Razdalja med točko 1 in točko navidezne postaje je zaradi boljše preglednosti skice prirejena.

Slika 11: Skica izmere GPS z metodo VRS

### **3.3.3 Klasična terestrična izmera mreže**

Nazadnje smo opravili klasično terestrično izmero mreže. Med točkami v mreži smo horizontalne kote izmerili po girusni metodi v treh girusih, istočasno smo merili še zenitne razdalje in poševne dolžine, kar pomeni 3 meritve zenitnih razdalj v dveh krožnih legah in 6

meritev dolžin od vsake proti vsaki točki. Po istem postopku smo opravili meritve proti točki 50010, ki je navezovalna točka, stabilizirana v bližini naše mreže. To točko smo uporabili predvsem za povezavo naše mreže z državnim višinskim sistemom. Poleg naštetega smo na vsaki točki izmerili višino instrumenta in reflektorjev za potrebe izračuna višinskih razlik (preglednica 10) ter meteorološke parametre (temperatura, tlak in relativna vlažnost zraka) za potrebe redukcij izmerjenih dolžin (preglednica 11). Signalizacija točk je prikazana na sliki 12, skica izmere pa na sliki 13.



Slika 12: Signaliziranje točk pri klasični terestrični izmeri

Slika 13: Skica izmere mreže z metodami klasične terestrične izmere



Preglednica 10: Višine instrumenta in reflektorjev

<b>Stojišče</b>	<b>i [m]</b>	<b>Vizirana točka</b>	<b>l [m]</b>
1	1.587	2	1.567
		3	1.507
		4	1.584
2	1.563	1	1.591
		3	1.507
		4	1.584
3	1.499	1	1.591
		2	1.566
		4	1.584
4	1.581	1	1.592
		2	1.566
		3	1.503
50010	1.537	2	1.566
		3	1.503

Preglednica 11: Meteorološki parametri

<b>Točka</b>	<b>T [°C]</b>	<b>p [mbar]</b>	<b>Vlaga [%]</b>
1	4	1008	93
2	4	1007	92
3	5	1006	90
4	5	1006	88
50010	7	1005	84

Za izračun koordinat novih točk mreže po metodi notranjega ureza (določitev koordinat točk z merjenji iz nove na dane točke) smo izmerili horizontalne kote proti trigonometričnim točkam, ki smo jih uporabili kot dane točke. Tudi te horizontalne kote smo izmerili v treh

girusih. Koordinate vseh danih točk, ki smo jih uporabili za izračun koordinat novih točk mreže in izravnavo v položajnem smislu, so navedene v preglednici 12.

Preglednica 12: Koordinate danih trigonometričnih točk in njihov opis

Točka	y [m]	x [m]	Opis točke
31149	505924.49	152992.96	Oddajnik (Rahtel)
41185	508673.22	150772.44	Cerkev (Sv. Jurij, Legen)
41287	510087.76	148564.70	Cerkev (Sv. Tomaž, Tomaška vas )
43152	505473.35	151569.50	Grad (Stari trg)
51022	511208.64	148590.80	Cerkev (Sv. Filip, Brda)

Za potrebe določitve višin točk v mreži, smo kot dani točki uporabili višini navezovalnih točk, ki sta stabilizirani v bližini naše mreže. Njune koordinate so navedene v preglednici 13.

Preglednica 13: Koordinate danih navezovalnih točk

Točka	y	x	H
50010	509268.16	149685.96	444.61
50012	509080.88	148735.15	454.17

Za izračun srednjih vrednosti horizontalnih smeri, zenitnih razdalj ter za redukcije dolžin, smo uporabili program Leica GeoOffice. Podatki o vseh merjenih vrednostih so priloženi v prilogi C. Vse srednje vrednosti, ki smo jih uporabili pri izravnavi, so navedene v preglednici 14.

Preglednica 14: Srednje vrednosti meritev klasične terestrične izmere

Točka	Smer	Horizontalna smer	Zenitna razdalja	Poševna dolžina [m]	Horizontalna dolžina [m]	Višinska razlika [m]
1	4	0° 00' 00.0"	90° 39' 05.2"	117.2666	117.2392	-1.3293
1	3	41° 36' 29.9"	90° 38' 07.0"	197.5985	197.5530	-2.1083
1	2	84° 07' 10.6"	89° 56' 07.0"	152.9155	152.8895	0.1944
1	43152	0° 00' 00.0"				
1	41185	38° 05' 27.2"				
1	51022	172° 18' 19.4"				
1	41287	194° 11' 28.8"				
2	1	0° 00' 00.0"	90° 03' 38.2"	152.9158	152.8899	-0.1881
2	4	39° 37' 07.8"	90° 28' 13.1"	182.9214	182.8844	-1.5202
2	3	86° 53' 09.7"	91° 00' 38.7"	133.7341	133.6908	-2.3018
2	43152	0° 00' 00.0"				
2	31149	17° 28' 07.1"				
2	41185	34° 03' 12.5"				
2	51022	177° 46' 56.8"				
3	2	0° 00' 00.0"	88° 59' 04.3"	133.7347	133.6911	2.3043
3	1	50° 36' 07.4"	89° 21' 41.6"	197.5989	197.5532	2.1125
3	4	85° 55' 03.9"	89° 37' 57.3"	134.6964	134.6709	0.7800
3	31149	0° 00' 00.0"				
3	41185	17° 57' 25.5"				
3	41287	185° 47' 59.0"				
4	3	0° 00' 00.0"	90° 21' 47.1"	134.6965	134.6711	-0.7744
4	2	46° 49' 02.7"	89° 31' 35.0"	182.9213	182.8841	1.5293
4	1	103° 04' 45.0"	89° 20' 30.9"	117.2665	117.2390	1.3368
4	43152	0° 00' 00.0"				
4	31149	17° 53' 50.3"				
4	41185	39° 39' 14.5"				

4	51022	174° 51' 21.4"				
50010	2	0° 00' 00.0"	89° 08' 11.3"	204.0257	203.9680	3.0486
	3	28° 13' 22.3"	89° 31' 56.7"	87.1623	87.1447	0.7459

Izračun približnih koordinat novih točk mreže smo opravili s pomočjo programa LisCAD. Za izračun smo uporabili koordinate danih točk in srednje vrednosti merjenih horizontalnih smeri. Rezultat izračuna so približne koordinate novih točk, navedene v preglednici 15.

Preglednica 15: Približne koordinate novih točk

Točka	y [m]	x [m]
1	509223.31	149405.00
2	509345.31	149497.15
3	509259.05	149599.29
4	509162.61	149505.30

Prav tako smo izračunali približne višine in sicer po formuli:

$$\Delta h = S_r \cdot \cos z + \frac{S_r^2}{2 \cdot R} \cdot (1 - k) \cdot \sin z + i - l, \quad (3)$$

kjer so  $S_r$  poševno merjena dolžina, reducirana za meteorološke popravke,  $z$  srednja vrednost merjenih zenitnih razdalj,  $R$  radij Zemlje (6374000 m),  $k$  koeficient refrakcije (0.13),  $i$  višina instrumenta in  $l$  višina reflektorja. Izračunane približne višine točk so navedene v preglednici 16.

Preglednica 16: Približne višine novih točk

Točka	H [m]
1	447.472
2	447.660
3	445.360
4	446.136

Vhodni podatki za določitev horizontalnih koordinat z izravnavo so koordinate danih točk, približne koordinate novih točk, uteži in a-priori ocene natančnosti kotnih ter dolžinskih opazovanj. A-priori ocena natančnosti meritev je pogoj za oceno določitve natančnosti iskanih količin. To pomeni, da jo moramo določiti pred izravnavo. Njeno vrednost lahko določimo na več načinov, kot je navedeno v podpoglavju 2.3.1. Ena izmed možnosti je, da privzamemo deklarirano natančnost, ki jo navaja proizvajalec (3" in 2 mm; 2 ppm), druga pa, da a-priori oceno natančnosti določimo iz meritev.

Za določitev natančnosti kotnih opazovanj smo ocenili natančnost posameznega girusa. Celoten izračun je priložen v prilogi Č1. Rezultati ocene natančnosti izmerjenih horizontalnih kotov so navedeni v preglednici 17.

Preglednica 17: Ocene natančnosti izmerjenih horizontalnih kotov v posameznih girusih

Stojišče	Smer	$\sigma$ ["]	Stojišče	Smer	$\sigma$ ["]
1	4	3.21	1	43152	1.68
	3			41185	
	2			51022	
				41287	
2	1	3.93	2	43152	6.92
	4			31149	
	3			41185	

				51022	
3	2	3.88	3	31149	1.11
	1			41185	
	4			41287	
4	3	2.91	4	43152	2.09
	2			31149	
	1			41185	
				51022	

Na podlagi dobljenih ocen natančnosti posameznega girusa smo izračunali njihovo aritmetično sredino, ki smo jo uporabili kot a-priori natančnost kotnih opazovanj v izravnavi. Za izravnavo proste mreže je imel a-priori standardni odklon vrednost 3.48".

Za določitev natančnosti dolžinskih opazovanj smo uporabili deklarirano natančnost proizvajalca in sicer 2 mm; 2 ppm. Tako smo a-priori standardni odklon dolžinskih opazovanj izračunali po enačbi

$$\sigma_{D_{[mm]}} = \sqrt{\sigma_{k_a}^2 + \sigma_{k_m}^2 \cdot S_{[km]}^2}, \quad (4)$$

kjer je  $k_a$  konstanta, neodvisna od merjene dolžine,  $k_m$  konstanta, odvisna od merjene dolžine,  $S_{[km]}$  pa povprečna dolžina v mreži. Ker so dolžine v mreži kratke, je natančnost skoraj neodvisna od merjene dolžine. Rezultat izračuna je vrednost 2.023 mm, ki predstavlja a-priori standardni odklon dolžinskih opazovanj.

Pridobljene a-priori vrednosti kotnih in dolžinskih opazovanj smo uporabili v izravnavi proste mreže ter ocenili zanesljivost referenčnega standardnega odklona a-posteriori  $\hat{\sigma}_0$ . Rezultate predstavljamo v preglednici 18. Izpis rezultatov izravnavave z ocenjenimi a-priori kotnimi in a-priori dolžinskimi natančnostmi je priložen v prilogi D1.

Preglednica 18: Ocene zanesljivosti referenčnega standardnega odklona a-posteriori  $\hat{\sigma}_0$

Izravnava mreže	Apriori natančnost		$\hat{\sigma}_0$
	$\sigma_\alpha$ ["]	$\sigma_D$ [mm]	
Prosta	3.48	/	0.74
Prosta	/	2.023	0.17
Prosta	3.48	2.023	0.56

Iz preglednice je razvidno, da ocenjena a-priori natančnost kotnih opazovanj daje zanesljive vrednosti referenčnega standardnega odklona po izravnavi. Hkrati pa lahko zaključimo, da je ocenjena a-priori natančnost dolžinskih opazovanj preveč pesimistična, kar se kaže v nezanesljivi vrednosti referenčnega standardnega odklona po izravnavi. S tem lahko potrdimo trditev, da so dosti bolj zanesljive vrednosti a-priori natančnosti, pridobljene iz rezultatov meritev, kot pa na osnovi privzete deklarirane natančnosti proizvajalca. S tem je hkrati potrjena splošna resnica, da na kratkih razdaljah dosegamo visoke natančnosti merjenja dolžin, kotna natančnost pa komajda dosega deklarirano natančnost proizvajalca. Z ugotovitvami želimo poudariti pomen in način izračuna a-priori natančnosti posamezne vrste opazovanj, čemur pogosto ne posvetimo dovolj pozornosti.

Iz zapsanega povzemamo, da je a-priori kotna natančnost meritev blizu 3", dolžinska pa boljša od 1 mm. Zato v nadaljnjih izračunih proste in vpete mreže privzemamo vrednosti za a-priori kotno natančnost 3" in za a-priori dolžinsko natančnost 1 mm.

Izravnavo v položajnem smislu smo izvedli s programom GEM. Najprej smo izravnali prosto mrežo, kar pomeni, da v izravnavo niso bile vključene koordinate danih trigonometričnih in navezovalnih točk. Uteži vseh opazovanj so imele vrednost 1. Izravnane koordinate s pripadajočimi natančnostmi so navedene v preglednici 19, celoten izpis izravnave je v prilogi D2.

Preglednica 19: Izravnane vrednosti koordinat pri prosti mreži s pripadajočimi natančnostmi

Točka	y [m]	$\sigma_y$ [m]	x [m]	$\sigma_x$ [m]	$\sigma_p$ [m]
1	509223.3114	0.0002	149404.9993	0.0003	0.0004
2	509345.3093	0.0003	149497.1496	0.0002	0.0004
3	509259.0524	0.0002	149599.2921	0.0003	0.0004
4	509162.6070	0.0003	149505.2990	0.0002	0.0004

Prosta mreža izkazuje visoko natančnost koordinat točk. Grafično prikazemo natančnost koordinat s standardnimi elipsami pogreškov, ki so prikazane na sliki 14, njihovi parametri pa so navedeni v preglednici 20.

Preglednica 20: Parametri standardnih elips pogreškov pri prosti mreži

Točka	Polos a [m]	Polos b [m]	Kot $\theta$ [°]
1	0.0003	0.0002	24
2	0.0003	0.0002	94
3	0.0003	0.0002	175
4	0.0003	0.0002	99



Slika 14: Standardne elipse pogreškov pri prosti mreži

Ostali podatki o natančnosti, ki so v celoti prestavljeni v prilogi D2, so: referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  je 0.72529, srednji pogrešek smeri  $\hat{\sigma}_\alpha$  je 2.1759", srednji pogrešek dolžin  $\hat{\sigma}_D$  je 0.7253 mm.

Z globalnim testom modela preverimo skladnost referenčne variance a-posteriori in referenčne variance a-priori. Da lahko govorimo o skladnosti, se mora izračunana vrednost nahajati na intervalu med 0.7 in 1.3. Z vrednostjo 0.7253 lahko trdimo, da sta referenčni varianci skladni. Srednja pogreška smeri in dolžin pokažeta, da so bila opazovanja kotov in dolžin dobro opravljena.

Mrežo smo izravnali tudi v višinskem smislu in sicer s programom VimWin. Vhodni podatki izravnave so bile srednje višinske razlike med točkami, višine danih točk in približne višine novih točk, ki smo jih izračunali iz opazovanj. Ker so višinske razlike določene z metodo trigonometričnega višinomerstva, kjer natančnost pada s kvadratom dolžine, smo tudi uteži poračunali na ta način. Za izračun uteži smo uporabili horizontalne dolžine v km po enačbi

$$p = \frac{1}{S^2}, \quad (5)$$

ker so bile višinske razlike merjene obojestransko. Višine točk smo prenesli iz navezovalnih točk 50010 in 50012. Skica meritev je prikazana na sliki 15.

Slika 15: Skica meritev višin

Najprej smo mrežo izravnali tako, da smo kot dano višino uporabili višino navezovalne točke 50010 (celoten izpis je priložen v prilogi D3) in nato še višino navezovalne točke 50012 (celoten izpis je priložen v prilogi D4). Rezultat izravnave so višine novih točk in njihove natančnosti, navedene v preglednicah 21 in 22.

Preglednica 21: Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dana točka 50010)

Točka	H [m]	$\sigma_H$ [m]
1	447.4667	0.0004
2	447.6585	0.0004
3	445.3559	0.0003
4	446.1335	0.0004

Referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  je 0.00323 m.

Preglednica 22: Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dana točka 50012)

Točka	H [m]	$\sigma_H$ [m]
1	447.4185	0.0019
2	447.6103	0.0019
3	445.3078	0.0019
4	446.0853	0.0019

Referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  je 0.00372 m.

Kot se vidi iz rezultatov, so natančnosti v izravnavi določenih višin pri uporabljeni višini dane navezovalne točke 50010 dobre. V drugem primeru so natančnosti slabše. Vzrok temu je večja oddaljenost navezovalne točke 50012 od mreže, zaradi česar je bilo potrebno vzpostaviti dodatni dve stojišči (slika 15). Z večjo razdaljo med točkami mreže se natančnost višin slabša. Precej različne so tudi izravnane višine. Srednja pogreška utežne enote sta pričakovana. Ker

izravnane višine, pridobljene z različnima danima višinama točk, niso primerljive med seboj, smo opravili dodatne kontrole, ki so predstavljene v naslednjem poglavju.

Nato smo kot dani višini uporabili višini obeh navezovalnih točk 50010 in 50012. Rezultati izravnave so navedeni v preglednici 23, celoten izpis izravnave je priložen v prilogi D5.

Preglednica 23: Izravnane višine točk pri vpeti mreži (dani točki 50010 in 50012)

Točka	H	$\sigma_H$ [m]
1	447.4637	0.0052
2	447.6569	0.0046
3	445.3549	0.0033
4	446.1314	0.0050

Referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  je 0.04109 m.

V tem primeru se natančnosti višin bistveno poslabšajo, glede na uporabljeno metodo izmere in kratke razdalje med točkami pa je precej velik tudi srednji pogrešek utežne enote.

## 4 ANALIZA REZULTATOV IZMERE

V tem poglavju predstavljamo analizo natančnosti koordinat točk, ki smo jih pridobili z izmero GNSS, rezultate izravnave vpete mreže in potek ter rezultate prostorske transformacije.

### 4.1 Analiza rezultatov izmere GPS s statično metodo

V preglednici 5 so navedene koordinate točk, ki smo jih pridobili z izmero GPS s statično metodo in naknadno obdelavo. Pripadajoče standardne deviacije koordinat točk, določenih iz večkrat določenih vrednosti koordinat navajamo v preglednici 24.

Preglednica 24: Standardne deviacije koordinat točk izmere GPS s statično metodo

Točka	$S_{E_{(i)}}$ [m]	$S_{N_{(i)}}$ [m]	$S_{h_{(i)}}$ [m]
1	0.0011	0.0009	0.0036
2	0.0008	0.0022	0.0021
3	0.0010	0.0011	0.0016
4	0.0011	0.0008	0.0183

Natančnost koordinat v položajnem smislu je boljša kot natančnost višin. Razlog za to je lahko manj natančna izmera višin antene ali vpliv troposferske refrakcije, ki bolj vpliva na višine kot na položajne koordinate točk. Na natančnost vplivajo tudi faktorji DOP, ki so povezani z geometrijsko razporeditvijo satelitov. Njihova vrednost mora biti čim manjša. V našem primeru je faktor PDOP, ki vpliva na položaj, znašal med 1.8 in 5.2. Najvišji je bil prav na točki 4, kar se odraža na natančnosti koordinat.

## 4.2 Analiza rezultatov izmere GPS z metodo VRS

Natančnost koordinat točk, pridobljenih z izmero GPS z metodo VRS, ki so navedene v preglednici 8, smo ocenili na podlagi odstopanj med koordinatami točk, pridobljenimi s posameznimi serijami in srednjimi vrednostmi koordinat posameznih točk, določenih v vseh serijah:

$$\Delta E_{(2)} = E_{(2)} - \bar{E}_{(2)}, \quad (6)$$

$$\Delta N_{(2)} = N_{(2)} - \bar{N}_{(2)}, \quad (7)$$

$$\Delta h_{(2)} = h_{(2)} - \bar{h}_{(2)}. \quad (8)$$

Odstopanja so navedena v preglednici 25.

Preglednica 25: Odstopanja med posameznimi serijami in srednjimi vrednostmi izmere GPS  
 z metodo VRS

Točka	Serijs	$\Delta E_{(2)}$ [m]	$\Delta N_{(2)}$ [m]	$\Delta h_{(2)}$ [m]
1	1	-0.0032	-0.0012	0.0062
	2	0.0019	-0.0059	0.0027
	3	0.0015	0.0000	-0.0163
	4	0.0000	-0.0012	-0.0003
	5	-0.0009	0.0074	0.0045
2	1	0.0062	0.0108	-0.0072
	2	0.0013	-0.0003	0.0049
	3	-0.0040	-0.0083	0.0021
	4	-0.0023	0.0009	-0.0143
	5	0.0017	-0.0006	0.0055
3	1	0.0019	0.0031	0.0110
	2	0.0064	0.0059	-0.0038

	3	-0.0017	0.0031	-0.0074
	4	0.0006	-0.0031	-0.0081
	5	-0.0034	-0.0019	0.0095
4	1	0.0000	-0.0083	-0.0003
	2	-0.0006	-0.0015	-0.0001
	3	0.0015	-0.0012	-0.0047
	4	-0.0004	0.0037	0.0061
	5	-0.0011	0.0031	0.0023

Standardne deviacije koordinat, določenih iz večkrat določenih vrednosti koordinat posameznih točk, smo določili z izrazi:

$$S_{E_{(2)}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^5 (\Delta E_{(2)i})^2}, \quad (9)$$

$$S_{N_{(2)}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^5 (\Delta N_{(2)i})^2}, \quad (10)$$

$$S_{h_{(2)}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^5 (\Delta h_{(2)i})^2} \quad (11)$$

pri čemer  $n$  predstavlja število serij, torej 5. Izračunane standardne deviacije so navedene v preglednici 26.

Preglednica 26: Standardne deviacije koordinat točk določene z izmero GPS z metodo VRS

Točka	$S_{E_{(2)}} [m]$	$S_{N_{(2)}} [m]$	$S_{h_{(2)}} [m]$
1	0.0021	0.0048	0.0091
2	0.0040	0.0069	0.0089
3	0.0039	0.0041	0.0093
4	0.0010	0.0049	0.0040



Natančnosti koordinat točk so dobre in so primerljive z natančnostmi izmere GPS s statično metodo. Če bi izmero GPS z metodo VRS opravili v manjšem številu serij in krajšem času, bi bil rezultat verjetno slabši.

Izračunali smo še odstopanja med srednjimi vrednostmi koordinat, pridobljenimi s statično izmero in izmero VRS. Navedene so v preglednici 27.

Preglednica 27: Odstopanja med srednjimi vrednostmi izmere GPS po statični in metodi VRS

Točka	$\bar{E}_{(1)} - \bar{E}_{(2)}$ [m]	$\bar{N}_{(1)} - \bar{N}_{(2)}$ [m]	$\bar{h}_{(1)} - \bar{h}_{(2)}$ [m]
1	0.0051	0.0019	0.0058
2	0.0032	-0.0034	0.0123
3	0.0024	-0.0052	0.0048
4	0.0041	0.0000	-0.0086

Odstopanja so v položajnem smislu manjša kot po višini.

### 4.3 Analiza rezultatov klasične terestrične izmere

Izravnava proste mreže v položajnem smislu je pokazala zelo dobre rezultate, kar se vidi iz natančnosti koordinat in vrednostih parametrov standardnih elips pogreškov. Druga izravnava mreže v položajnem smislu, je bila izravnava vpete mreže. Pri tem smo uporabili koordinate danih trigonometričnih točk in dane navezovalne točke 50010, uteži so imele vrednost 1. Tako kot pri prosti mreži, smo se tudi tukaj odločili, da za a-priori kotno in dolžinsko natančnost privzamemo vrednosti 3" in 1 mm.

Iz preglednice 17 se vidi, da je ocena natančnosti horizontalnih kotov v posameznih girusih na stojišču 2 pri opazovanju smeri proti trigonometričnim točkam zelo slaba. Da bi ugotovili zakaj, smo izračunali vse kombinacije med girusi na tem stojišču (priloga Č2) in ugotovili, da

to ni posledica slabše natančnosti celotnega girusa, ampak posledica slabših opazovanj (velik pogrešek začetne smeri) na točko 31149. Odločili smo se, da opazovanja na to točko izločimo. Izravnane koordinate s pripadajočimi natančnostmi so navedene v preglednici 28, celoten izpis izravnave pa je priložen v prilogi D6.

Preglednica 28: Izravnane vrednosti koordinat pri vpeti mreži s pripadajočimi natančnostmi

Točka	y [m]	$\sigma_y$ [m]	x [m]	$\sigma_x$ [m]	$\sigma_p$ [m]
1	509223.3078	0.0163	149405.0001	0.0030	0.0166
2	509345.3091	0.0109	149497.1460	0.0045	0.0118
3	509259.0556	0.0052	149599.2918	0.0011	0.0053
4	509162.6070	0.0105	149505.3020	0.0065	0.0123

Vpeta mreža izkazuje bistveno slabšo natančnost od proste mreže, še posebej v smeri osi y. Vzrok za to so, poleg pogreškov pri merjenju, lahko tudi slabi dani podatki, na katere nimamo vpliva, geometrija mreže ali viziranje na nepravo mesto. Grafično prikazemo natančnost koordinat s standardnimi elipsami pogreškov, ki so prikazane na sliki 16, njihovi parametri pa so navedeni v preglednici 29.

Preglednica 29: Parametri standardnih elips pogreškov pri vpeti mreži

Točka	Polos a [m]	Polos b [m]	Kot $\theta$ [°]
1	0.0165	0.0013	100
2	0.0118	0.0010	68
3	0.0052	0.0010	95
4	0.0122	0.0019	121

Slika 16: Standardne elipse pogreškov pri vpeti mreži

Ostali podatki o natančnosti so: referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  je 1.13191, srednji pogrešek smeri  $\hat{\sigma}_\alpha$  je 3.3957", srednji pogrešek dolžin  $\hat{\sigma}_0$  je 1.1319 mm.

Tudi v primeru izravnave opazovanj v vpeti mreži v položajnem smislu referenčni standardni odklon a-posteriori uporabimo za ugotavljanje skladnosti z referenčnim standardnim odklonom a-priori. S tem testom, to je globalni test modela lahko ugotovimo ali so pridobljeni rezultati izravnave smiselni. Vrednost referenčnega standardnega odklona  $\hat{\sigma}_0$  mora ležati na intervalu med 0.7 in 1.3. Vrednost 1.13191 potrjuje smiselnost rezultatov izravnave. Za razliko od proste mreže sta srednja pogreška smeri in dolžin slabša. Za takšno vrednost srednjega pogreška smeri so najverjetnejši vzrok slabša opazovanja smeri na dane trigonometrične točke, čeprav je pridobljena vrednost primerljiva z deklarirano natančnostjo proizvajalca. Srednji pogrešek dolžin izkazuje boljšo natančnost od deklarirane.

Iz izravnave v višinskem smislu je razvidno, da so popravki merjenih višinskih razlik zelo veliki. Da bi izločili morebiti prisotne grobe pogreške v opazovanjih, smo izvedli kontrolo v smislu ugotavljanja odstopanj v posameznih zaključenih zankah (trikotnikov in četverkotnika). Rezultati so navedeni v preglednici 30.

Preglednica 30: Odstopanja v posameznih zaključenih zankah

Liki	Odstopanja [m]
1 – 2 – 3 – 1	-0.0014
1 – 2 – 4 – 1	-0.0005
1 – 3 – 4 – 1	-0.0002
2 – 3 – 4 – 2	-0.0011
1 – 2 – 3 – 4 – 1	-0.0016

Glede na velikosti odstopanj lahko trdimo, da so bile meritve med novimi točkami mreže dobro opravljene in med njimi ni grobo pogrešenega opazovanja. Nato smo izračunali razliko poligonov (preglednica 31). Oznake, ki so uporabljene, se nanašajo na sliko 15.

Preglednica 31: Odstopanja poligonov

Poligon	Odstopanja [m]
50010 – 3 – 2 – 1 – 4 – 3 – 50010	0.0016
50012 – 10 – 13 – 1 – 2 – 3 – 4 – 1 – 13 – 10 – 50012	-0.0016
50010 – 3 – 2 – 1 – 13 – 10 – 50012	0.0492
50010 – 3 – 4 – 1 – 13 – 10 – 50012	0.0476

Tudi tu lahko iz odstopanj pri prvih dveh poligonih sklepamo, da so bile meritve dobro opravljene. Po vsem tem bi pričakovali, da odstopanja drugih dveh poligonov ne bodo velika, vendar temu ni tako. Na podlagi teh kontrolnih izračunov lahko trdimo, da so bile meritve opravljene korektno in da so velika odstopanja posledica domnevno slabe višine navezovalne točke 50012. Za končne višine točk, ki smo jih uporabili v nadaljevanju za transformacijo, smo uporabili višine, določene glede na višino točke 50010. Tako smo se odločili zato, ker je navezovalna točka 50010 stabilizirana bližje naši mreži kot navezovalna točka 50012. Kot je razvidno iz slike 16, smo za prenos višine iz navezovalne točke 50012 morali vzpostaviti še dve dodatni stojišči, s tem pa se poveča možnost prisotnosti pogrškov med meritvami.

#### 4.4 Analiza rezultatov prostorske transformacije

Koordinate, ki smo jih določili s klasično terestrično metodo izmere, so koordinate v Gauß – Krügerjevi projekcijski ravnini v koordinatnem sistemu D-48, koordinate izmere GPS s statično in VRS metodo pa v koordinatnem sistemu ETRS 89. Višine, ki smo jih določili s klasično terestrično izmero so nadmorske višine (H), pri ostalih dveh metodah izmere pa smo določili elipsoidne višine (h). Da bi lahko primerjali rezultate vseh izmer in ker tako nalaga Zakon o evidentiranju nepremičnin, smo koordinate, določene v Gauß – Krügerjevi projekcijski ravnini v koordinatnem sistemu D-48, transformirali v ETRS 89 koordinatni sistem.

Transformacijo smo izvedli na dva načina. Pri prvem smo na podlagi koordinat veznih točk, ki imajo koordinate določene v obeh koordinatnih sistemih, z izravnavo transformacije

določili transformacijske parametre med obema sistemoma in nato transformirali koordinate točk. Za koordinate točk v koordinatnem sistemu D-48 smo privzeli izravnane vrednosti koordinat točk, določene s klasično terestrično izmero. Za koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS 89 smo privzeli srednje vrednosti koordinat točk, določene s statično metodo izmere GPS. Pri drugem postopku transformacije pa smo uporabili že izračunane transformacijske parametre, ki so veljavni za širše območje.

Prostorsko transformacijo za prvi primer smo izvedli s programom SiTraNet. Program omogoča transformacije z različnimi tipi transformacij. Uporabili smo 7-parametrično podobnostno transformacijo. Izbiramo lahko tudi med različnimi načini upoštevanja višin pri transformaciji transformacijskih parametrov in transformaciji koordinat. Sami smo uporabili dve možnosti, v obeh primerih pa je bila uporabljena Helmertova transformacija, kar pomeni, da so bile vse standardne deviacije koordinat točk enake. Najprej smo izbrali možnost, kjer se pri izračunu parametrov nadmorske in elipsoidne višine ne upoštevajo oziroma so enake 0 ( $h=0$ ,  $H=0$ ), nato smo izbrali možnost brez uporabe modela geoida, torej izračun transformacijskih parametrov z upoštevanjem višin in izračun transformiranih višin neposredno s transformacijo (Kozmus Trajkovski, Stopar, 2009).

Rezultat obeh transformacij je bil enak. V prilogi E sta priložena celotna izpisa obeh transformacij. V preglednici 32 so navedeni izračunani transformacijski parametri, v preglednici 33 pa transformirane koordinate točk. Sledi še preglednica 34 z razlikami med danimi in transformiranimi koordinatami.

Preglednica 32: Izračunani transformacijski parametri

$\Delta X$	231.830511 m
$\Delta Y$	888.309035 m
$\Delta Z$	456.058770 m
$\alpha$	- 4.987096"
$\beta$	- 4.260849"
$\gamma$	48.534911"
$m$	16.980447 ppm

Preglednica 33: Transformirane koordinate točk z izračunanimi transformacijskimi parametri

Točka	E [m]	N [m]	H [m]
1	508854.304	149890.910	447.467
2	508976.318	149983.039	447.659
3	508890.079	150085.198	445.356
4	508793.616	149991.221	446.134

Preglednica 34: Razlike med danimi in transformiranimi koordinatami z izračunanimi transformacijskimi parametri

Točka	$\Delta E$ [m]	$\Delta N$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	- 0.002	0.000	47.172
2	0.002	0.002	47.181
3	-0.000	- 0.002	47.178
4	0.000	- 0.000	47.157

Rezultat transformacije je dober. Razlike med danimi in transformiranimi koordinatami so majhne.

Nato smo izvedli transformacijo tako, da smo uporabili že izračunane, torej dane transformacijske parametre in izravnane koordinate, ki smo jih dobili s klasično terestrično izmero. Dane transformacijske parametre smo dobili pri podjetju Geomeritve d.o.o. iz Slovenj Gradca. Navedeni so v preglednici 35. Transformacijo smo izvedli s programom Leica GeoOffice.

Preglednica 35: Dani transformacijski parametri

<b><math>\Delta X</math></b>	-581.0235 m
<b><math>\Delta Y</math></b>	137.8486 m
<b><math>\Delta Z</math></b>	-364.0381 m
<b><math>\alpha</math></b>	- 2.68994"
<b><math>\beta</math></b>	- 1.63263"
<b><math>\gamma</math></b>	-7.17870"
<b><math>m</math></b>	-19.8589 ppm

Rezultat transformacije so transformirane koordinate, navedene v preglednici 36.

Preglednica 36: Transformirane koordinate točk z danimi transformacijskimi parametri

<b>Točka</b>	<b>E [m]</b>	<b>N [m]</b>	<b>H [m]</b>
1	508854.252	149890.842	447.060
2	508976.257	149982.986	447.243
3	508890.005	150085.135	444.940
4	508793.553	149991.146	445.726

Kot se iz rezultatov vidi, se transformirane koordinate točk po obeh načinih med seboj precej razlikujejo. Razlike med transformiranimi koordinatami točk (od vrednosti koordinat točk, transformiranih z izračunanimi transformacijskimi parametri smo odšteli vrednosti koordinat, transformiranih z danimi transformacijskimi parametri) po obeh načinih so navedene v preglednici 37.



Preglednica 37: Razlike med transformiranimi koordinatami točk pri izračunanih in danih transformacijskih parametrih

Točka	$\Delta E$ [m]	$\Delta N$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0.052	0.068	0.407
2	0.061	0.054	0.416
3	0.074	0.063	0.416
4	0.064	0.075	0.408

Na podlagi teh razlik lahko ugotovimo, da so za transformacijo bolj ustrezni transformacijski parametri, ki so bili izračunani za področje, kjer je stabilizirana naša mreža. Razlike, ki nastanejo pri višini, so tako velike zato, ker pri nadmorskih višinah, ki jih dobimo pri klasični terestrični izmeri, ni upoštevan model geoida. V primeru transformacije, ki smo jo opravili s pomočjo programa SiTraNet pa je model geoida že upoštevan.

## 5 ZAKLJUČEK

Vse meritve, naknadne obdelave in izračuni, ki smo jih opravili, so bili izvedeni korektno. To dokazujejo dobre natančnosti koordinat točk, ki smo jih dobili z vsemi uporabljenimi metodami izmere. Problem se je pojavil le v primeru izravnave vpete mreže pri klasični terestrični izmeri, ko smo vključili dane količine.

Rezultat izmere GPS s statično metodo je v splošnem dober, opazna pa je razlika med položajno in višinsko natančnostjo koordinat točk. Na tak rezultat je lahko vplivala manj natančna izmera višine antene ter vplivi troposferske in ionosferske refrakcije. Očitno je tudi, da so natančnosti koordinat točk slabše, ko so vrednosti faktorjev DOP večje. Podobno velja pri izmeri GPS z metodo VRS. Za zagotovitev dobrih rezultatov, moramo biti pozorni na več vplivov, ki lahko poslabšajo kakovost rezultatov. Na voljo moramo imeti dovolj vidnih satelitov, ki morajo biti tudi primerno razporejeni. Pomembno je tudi, koliko časa in v koliko serijah opravimo opazovanja.

Izravnava proste mreže v položajnem smislu je pokazala zelo dobre rezultate, vsaj glede natančnosti koordinat in vrednosti parametrov standardnih elips pogreškov. Kot smo pokazali že v prejšnjih poglavjih, za dober končni rezultat, ki potrjuje zanesljivost mreže, niso pomembne samo dobro opravljene meritve. Dovolj veliko pozornost moramo posvetiti tudi oceni vrednosti a-priori natančnosti količin, ki so vključene v izravnavo. Najbolj zanesljivo rešitev dobimo, če vrednost a-priori natančnosti določimo iz opravljenih meritev.

Pri položajni izravnavi vpete mreže so rezultati slabši. Vzrok za to so, poleg pogreškov pri izmeri, lahko tudi slabi dani podatki, na katere nimamo vpliva. Natančnosti koordinat točk so slabše kot pri prosti mreži, predvsem v smeri osi y. Vzrok temu je lahko geometrija mreže, viziranje na nepravo mesto ali vpliv danih količin.

Problem vpliva danih količin se je pokazal tudi v primeru višinske izravnave pri klasični terestrični izmeri. Rezultat višinske izravnave je v primeru vključene samo navezovalne točke

50010 dober. Ko smo kot dano točko uporabili navezovalno točko 50012, se natančnost zaradi dodatnih vmesnih točk še poslabša. Če pa vključimo kot dani točki obe navezovalni točki 50010 in 50012, dobimo zelo slab rezultat. Po vseh izračunanih kontrolah lahko trdimo, da so meritve dobro opravljene in je vzrok za slabo natančnost najverjetneje v podatkih. Katera višina navezovalnih točk je »prava« ne moremo vedeti, saj v danih podatkih ni navedene natančnosti posamezne točke ali metode, s katero je bila višina določena. Odločili smo se, da za končni rezultat uporabimo rezultate izravnave, kjer je bila kot dana točka uporabljena navezovalna točka 50010, saj smo z nje lahko direktno merili točke mreže, s tem pa smo se izognili dodatnim pogreškom, ki bi lahko bili narejeni pri postavitvah in meritvah vmesnih točk.

Ali je transformacija dobro opravljena ali ne, nam pove podatek o razlikah med danimi in transformiranimi koordinatami točk. Glede na te rezultate lahko trdimo, da je bila transformacija, kjer smo transformacijske parametre izračunali iz veznih točk vzpostavljene mreže in so značilni za to območje, dobro opravljena, kar pokažejo majhne razlike med danimi in transformiranimi koordinatami. Manj primerna je transformacija koordinat točk z danimi transformacijskimi parametri. Razlike med koordinatami točk, določenih z obema postopkoma, so precej velike. Rezultat sicer ni napačen, boljše pa je, da imajo transformacijski parametri lastnosti, ki ustrezajo območju, kjer opravljamo meritve. Poleg tega pa moramo posebno pozornost nameniti transformaciji višin točk, še posebej če imamo opravka z različnimi tipi višin.

V diplomski nalogi smo predstavili več metod in postopkov, s katerimi lahko opravimo izmero in pridemo do končnega rezultata, to je koordinat novih točk. V praksi je izbira metode in obseg meritev pogojen z zahtevano ali pričakovano natančnostjo koordinat novih točk. Vsaka metoda ima svoje posebne zahteve, ki jih moramo poznati in upoštevati pri opravljanju meritev. Te moramo opraviti čim bolj korektno, njihov obseg pa prilagajati nalogi, ki jo opravljamo. Na končni rezultat vplivajo tudi dane količine in moramo se znati odločiti katere in zakaj jih lahko vključimo v izračune in katere za to niso najbolj primerne. Veliko nam pri vseh naštetih odločitvah pomagajo izkušnje. Upam, da bom izkušnje, ki sem jih pridobila med opravljanjem in pisanjem diplomske naloge, v praksi lahko uporabila v največji možni meri.

## VIRI

Kogoj, D. 2002. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 158 str.

Kogoj, D., Stopar, B. Geodetska izmera: 35 str.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Geodetska\\_izmera\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf)  
(24.12.2009)

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

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. Navodila za uporabo spletne aplikacije za transformacije koordinatnih sistemov SiTraNet v2.10

<http://193.2.92.129/SiTraNet2.10-navodila.pdf> (15.12.2009)

Lavbič, D. 2005. Analiza kakovosti metode v omrežju SIGNAL ter kakovosti transformacij med ETRS 89 in državnim koordinatnim sistemom na območju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 112 str.

Leica. 2006. Leica GPS1200 Series High performance GNSS System.

<http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/GPS1200.pdf> (25.11.2009)

Leica. 2006. Leica TPS1200 Series Total Station.

[http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/TPS1200\\_Tech.pdf](http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/TPS1200_Tech.pdf) (25.11.2009)

Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Kozmus, K. 2006. GPS v geodetski praksi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 50 str.

Slika 1: Določanje položaja po metodi VRS

<http://www.mobilentrip.com/mobilentrip30c.htm> (5.12.2009)