

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:

Grum, Š., 2016. Vključitev PP Radovljica v nivelmansko mrežo Slovenije. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 43 str.

Datum arhiviranja: 05-09-2016

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:

Grum, Š., 2016. Vključitev PP Radovljica v nivelmansko mrežo Slovenije. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 43 pp.

Archiving Date: 05-09-2016

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

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

Kandidatka:

**ŠTEFKA GRUM**

**VKLJUČITEV PP RADOVLJICA V NIVELMANSKO  
MREŽO SLOVENIJE**

Diplomska naloga št.: 64/TUN

**THE INCLUSION OF PERMANENT GNSS STATION  
RADOVLJICA INTO LEVELLING NETWORK OF  
SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 64/TUN

**Mentor:**

doc. dr. Božo Koler

**Somentor:**

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 30. 08. 2016

STRAN Z NAPAKO

VRSTICA Z NAPAKO

NAMESTO

NAJ BO

»Ta stran je namenoma prazna«.

## IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Štefka Grum, vpisna številka 26203540, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vključitev PP Radovljica v nivelmansko mrežo Slovenije

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a 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 pravico 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.

Ljubljana, 18. 8. 2016

Podpis študentke:

---

»Ta stran je namenoma prazna«

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

**UDK: 528.2/.3(497.4)(043.2)**

**Avtor: Štefka Grum**

**Mentor: doc. dr. Božo Koler**

**Somentor: asist. Tilen Urbančič**

**Naslov: Vključitev PP Radovljica v nivelmansko mrežo Slovenije**

**Tip dokumenta: Diplomaska naloga – visokošolski strokovni študij**

**Obseg in oprema: 43 str., 15 pregl., 10 sl., 13 vir., 4 pril.**

**Ključne besede: geoid, permanentna postaja Radovljica, višinski sistem, določanje položaja, določanje višine, nivelmanska mreža**

### **Izvleček**

V diplomski nalogi je predstavljen postopek priključitve permanentne postaje v Radovljici v nivelmansko mrežo Slovenije. Vključitev dane permanentne postaje je potrebna zaradi uporabe točke za vpetje ploskve novega geoida.

Prvi del diplomske naloge predstavlja teoretične osnove. Na kratko je opisan trenutni vertikalni datum višinske mreže Slovenije v Trstu, različni geodetski višinski sistemi ter razlika med staro in novo ploskvijo geoida. Opisane so tudi metode, ki so bile uporabljene na terenu. Merjenje horizontalnih smeri ter merjenje dolžin smo uporabili za določitev horizontalnega položaja točk lokalne mreže in permanentne postaje, za navezavo PP Radovljica na nivelmansko mrežo pa smo uporabili precizno nivelmansko izmero in trigonometrično višinomerstvo. Pri vseh uporabljenih metodah in postopkih so opisani računski postopki do končnih rezultatov in ocene natančnosti.

V drugem delu so prikazani rezultati terenske izmere, obdelava podatkov ter končna izravnava in izračunana natančnost pridobljenih rezultatov.

»Ta stran je namenoma prazna«.



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC: 528.2/.3(497.4)(043.2)**

**Author: Štefka Grum**

**Supervisor: doc. dr. Božo Koler**

**Cosupervisor: asist. Tilen Urbančič**

**Title: The inclusion of permanent GNSS station Radovljica into levelling network of Slovenia**

**Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies**

**Scope and tools: 43 p., 15 tab., 10 fig., 13 ref., 4 ann.**

**Keywords: geoid, permanent GNSS station Radovljica, high system, determining of the location, determining of the amount, levelling network**

### **Abstract**

In the graduation thesis are presented the process of annexation permanent GNSS station in Radovljica into the leveling network of Slovenia. The inclusion of a given permanent GNSS station is needed because the application of point clamping surface of the new geoid.

The first part is present the theoretical basis. It briefly described the current vertical date of height system of Slovenia in Trieste, different geodetic height systems and difference between of old and new surface of the geoid. Also described are methods which have been used in the field. Measuring the horizontal directions and measuring of the lengths were used to determine the horizontal position of points in the local network and point of permanent GNSS station. For connecting of permanent GNSS station Radovljica in leveling network was used geometric and trigonometric leveling. For all the methods and procedures are described calculation procedures to the final results and estimates of accuracy.

The second part is present the results of field measurements, data processing and final leveling and calculated accuracy of the results obtained.

»Ta stran je namenoma prazna«.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Božu Kolerju za vodenje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi somentorju asist. Tilnu Urbančiču za vso pomoč pri vodenju skozi računske postopke ter samo teorijo.

Zahvala gre tudi vsem profesorjem Fakultete za gradbeništvo in geodezijo za vso prejeto znanje skozi moje študijsko obdobje.

Hvala vsem mojim sošolcem in prijateljem, kateri so me bodrili, mi stali ob strani in verjeli vame.

Najbolj se zahvaljujem svoji družini za vso podporo ter fantu Leonu za vso ljubezen in moralno podporo v času študija.

»Ta stran je namenoma prazna«.

## **KAZALO VSEBINE**

|   |             |
|---|-------------|
| <b>IZJAVE .....</b>   | <b>II</b>   |
| <b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....</b>  | <b>IV</b>   |
| <b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>   | <b>VII</b>  |
| <b>ZAHVALA.....</b>   | <b>VIII</b> |
| <br>  |             |
| <b>1 UVOD.....</b>  | <b>1</b>    |
| <br>  |             |
| <b>2 VIŠINSKI SISTEMI .....</b>   | <b>3</b>    |
| <br>  |             |
| <b>3 NOVA NIVELMANSKA MREŽA REPUBLIKE SLOVENIJE.....</b>  | <b>5</b>    |
| <br>  |             |
| <b>4 GEOID IN GEOPOTENCIALNA PLOSKEV.....</b>   | <b>5</b>    |
| <br>  |             |
| <b>5 DOLOČITEV POLOŽAJA GEODETSKIH TOČK.....</b>  | <b>7</b>    |
| 5.1 Določitev horizontalnega položaja točk.....   | 7           |
| 5.1.1 Merjenje horizontalnih smeri .....  | 8           |
| 5.1.2 Merjenje dolžin in redukcija dolžin.....  | 8           |
| <br>  |             |
| <b>6 DOLOČITEV VIŠINE GEODETSKIH TOČK.....</b>  | <b>13</b>   |
| 6.1 Trigonometrično višinomerstvo .....   | 13          |
| 6.1.1 Izračun določitve višine točke s trigonometričnim višinomerstvom.....   | 14          |
| 6.2 Geometrični nivelman.....   | 18          |
| <br>  |             |
| <b>7 TERENSKO DELO .....</b>  | <b>22</b>   |
| 7.1 Vzpostavitev lokalne mikro mreže v okolici permanentne postaje Radovljica.....  | 22          |
| 7.1.1 Izmera horizontalnih kotov in zenitnih razdalj.....   | 23          |
| 7.1.2 Izmera dolžin.....  | 29          |
| 7.2 Navezava lokalne mikro mreže PP Radovljica na nivelmansko mrežo Republike Slovenije.....  | 31          |
| <br>  |             |
| <b>8 IZRAVNAVA LOKALNE MIKRO GEODETSKE MIKRO MREŽE PP RADOVLJICA IN<br/>DOLOČITEV GEOIDNE VIŠINE PERMANENTNE POSTAJE RADOVLJICA .....</b> | <b>35</b>   |
| 8.1 Izravnava lokalne mikro geodetske mreže Radovljica.....   | 36          |
| 8.2 Določitev normalne višine antene permanentne postaje Radovljica.....  | 37          |
| 8.3 Določitev nadmorske višine točke permanentne postaje Radovljica .....   | 38          |

---

|  |           |
|--|-----------|
| 8.4 Določitev geoidne višine permanentne postaje Radovljica..... | 40        |
| <b>9 ZAKLJUČEK.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>VIRI.....</b>   | <b>43</b> |

## KAZALO SLIK

|  |    |
|--|----|
| Slika 1: Višine v različnih višinskih sistemih (Koler, et al., 2007). .....                | 4  |
| Slika 2: Mreža geodetskih točk, ki so uporabljene za vpetje novega geoida. ....            | 7  |
| Slika 3: Prikaz prehoda dolžine iz prostora na nivo referenčne ploskve (Kogoj, 2002). .... | 12 |
| Slika 4: Merjene količine pri trigonometričnem višinomerstvu. ....                         | 14 |
| Slika 5: Princip niveliranja med točko A in točko B. ....                                  | 19 |
| Slika 6: Niveliranje z upoštevanjem ukrivljenosti Zemlje (Vodopivec, 1997). ....           | 19 |
| Slika 7: Princip nivelmanskega poligona (Vodopivec, 1997). ....                            | 20 |
| Slika 8: Prikaz situacije lokalne mikro mreže. ....  | 23 |
| Slika 9: Nivelmanska linija. ....  | 33 |
| Slika 10: Prikaz mest viziranja na GNSS sprejemniku. ....                                  | 39 |

**KAZALO PREGLEDNIC**

|   |    |
|---|----|
| Preglednica 1: Tehnični podatki za tahimeter Leica TCRP1201+ .....                            | 24 |
| Preglednica 2: Prikaz sredine girusov opazovanj horizontalnih smeri.....                      | 27 |
| Preglednica 3: Srednje vrednosti opazovanih zenitnih distanc. ....                            | 28 |
| Preglednica 4: Redukcija dolžin med točkami lokalne mikro mreže. ....                         | 30 |
| Preglednica 5: Tehnični podatki za nivelir Leica DNA03. ....                                  | 32 |
| Preglednica 6: Primerjava meritev nivelmanske linije N1016 – CP486 iz leta 2008 in 2015. .... | 34 |
| Preglednica 7: Prikaz dopustnega in dejanskega odstopanja meritev linije.....                 | 34 |
| Preglednica 8: Normalne ortometrične višine točk mreže in ocena natančnosti.....              | 35 |
| Preglednica 9: Približne koordinate točk mikro mreže. ....                                    | 36 |
| Preglednica 10: Izravnane koordinate lokalne mreže z ocenami natančnosti. ....                | 36 |
| Preglednica 11: Horizontalne dolžine med točkami lokalne mreže in točko RAD.....              | 37 |
| Preglednica 12: Višinske razlike od točke do točke RAD in natančnost določitve višin.....     | 38 |
| Preglednica 13: Prikaz ostalih natančnosti.....   | 38 |
| Preglednica 14: Prikaz višin antene postaje ter ocena natančnosti njihove določitve.....      | 39 |
| Preglednica 15: Prikaz določitve geoidne višne na dva načina.....                             | 40 |



## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: TERENSKÉ MERITVE TER REDUKCIJA MERJENIH DOLŽIN

PRILOGA B: MERITVE PRECIZNEGA NIVELMANA

PRILOGA C: VHODNA DATOTEKA HORIZONTALNE IZRAVNAVE LOKALNE MIKRO  
MREŽE

PRILOGA D: IZHODNA DATOTEKA HORIZONTALNE IZRAVNAVE LOKALNE MIKRO  
MREŽE

PRILOGA E: VHODNA DATOTEKA HORIZONTALNE IZRAVNAVE LOKALNE MIKRO  
GEODETSKE MREŽE

PRILOGA F: IZHODNA DATOTEKA VIŠINSKE IZRAVNAVE LOKALNE MIKRO  
GEODETSKE MREŽE

PRILOGA G: IZRAČUN DOLOČITVE VIŠINE ANTENE PP RADOVLJICA

**SEZNAM OKRAJŠAV**

|        |   |
|--------|---|
| PP     | permanentna postaja                     |
| GNSS   | Global Navigation Satellite System      |
| SIGNAL | SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija |
| GPS    | Global Positioning System               |
| EMV    | elektromagnetno valovanje               |

## 1 UVOD

Že v zgodovini se je porajalo vprašanje, kakšne oblike je Zemlja. Prve civilizacije so si Zemljo predstavljale kot ravno ploščo, ki je uprta na stebre, ter ploščo, ki plava po ogromnem oceanu. Kasneje so znanstveniki dokazovali, da je Zemlja kroglja oz. elipsoid. Danes vemo, da je oblika Zemlje nepravilne oblike, in da je matematično nedefinirana.

V geodeziji ločimo fizično in teoretično površino Zemlje. Fizična površina definira lastnosti zunanje površine Zemlje, prostor v katerem živimo. Druga površina je nepravilne oblike in predstavlja obliko Zemlje. Tej površini pravimo geoid. Geoid je ekvipotencialna ploskev, ki sovпада s srednjo gladino oceanov.

Prostor, v katerem živimo, v geodeziji definiramo v dveh sistemih, in sicer v horizontalnem in višinskem. V horizontalnem sistemu opredeljujemo položaj v 2D prostoru, v višinskem sistemu pa opredeljujemo položaj v 1D prostoru. Oba sistema skupaj tvorita 3D položaj.

Za določitev horizontalnega položaja geodetske točke so se uporabljale razne geodetske terestrične metode, ki so temeljile na opazovanjih horizontalnih smeri, vertikalnih kotov oz. zenitnih distanc in merjenja dolžin.

Za določitev višinske razlike so se razvile ne-geodetske metode, med katere spada merjenje višinske razlike z merskim trakom, hidrostatičnim nivelmanom in barometričnim višinomerstvom. Med geodetske metode pa spadata trigonometrično višinomerstvo in geometrični nivelman.

Ne-geodetske metode se v geodeziji ne uporabljajo, saj je rezultat metod za potrebe geodetskih meritev slabe natančnosti. Zato se za potrebe geodezije uporabljata trigonometrično višinomerstvo in geometrični nivelman. Katero metodo uporabimo pa je odvisno od želene natančnosti rezultatov meritev, terena meritev, obstoječih podatkov itd.

Poleg terestrične metode za določitev horizontalnega in višinskega položaja se je uveljavila tudi sodobna GNSS metoda, ki temelji na opazovanjih signalov satelitov v vesolju.

V Sloveniji je bilo za natančnejše rezultate GNSS metode izmere vzpostavljeno omrežje referenčnih GNSS postaj. Omrežje SIGNAL sestavlja 16 permanentnih postaj. Ena izmed njih je tudi PP Radovljica, katera je obravnavana v diplomski nalogi.

Rezultat terestričnih meritev je normalna ortometrična višina oziroma nadmorska višina, rezultat GNSS meritev pa je elipsoidna višina.

Za prehod med elipsoidnimi in normalnimi višinami potrebujemo geoid oziroma geoidne višine. Geoidna višina predstavlja razliko med normalno in elipsoidno višino oziroma višinsko razliko med geoidom in elipsoidom. Izkazalo se je, da trenutni model geoida ne omogoča dovolj kakovostnega prehoda iz elipsoidnih višin v normalne višine. Tako se je z omrežjem SIGNAL pojavila možnost, da se točke signala, katere imajo dobro določene elipsoidne višine, navežejo v višinski sistem Republike Slovenije.

Leta 2010 je Geodetske uprave Republike Slovenije izvedla projekt vklopa ploskve novega geoida v višinski sistem Republike Slovenije. Pri vklopu je bilo uporabljenih 60 točk, ki so enakomerno razporejene po območju Slovenije. Ena izmed 60 točk je tudi PP Radovljica. Prehod med elipsoidnimi in normalnimi višinami bo tako boljši in kakovostnejši.

Za vključitev PP Radovljica v nivelmansko mrežo Republike Slovenije so bile izvedene terestrične terenske meritve. Vsa merjenja so imela nadštevilna opazovanja in so tako bila tudi izravnana. V prvem delu diplomske naloge so predstavljene teoretične osnove, uporabljene metode, računski postopki in ocene natančnosti. V drugem delu so prikazani rezultati terenske izmere, obdelava podatkov ter končna izravnava in izračunana natančnost pridobljenih rezultatov.

## 2 VIŠINSKI SISTEMI

Zaradi težnostnega polja Zemlje ima višinski sistem ne samo geometrijski pomen ampak tudi fizikalni pomen. Meritve težnostnega polja ter težnostnega pospeška izvajamo s t. i. gravimetričnimi izmerami. Rezultati teh izmer imajo velik pomen za celotno geodezijo, saj se vse (poleg meritev z GNSS izmero) geodetske meritve izvajajo na fizični površini Zemlje in v težnostnem polju Zemlje. Višina, ki ni povezana s težnostnim poljem, je elipsoidna višina, ki je določena z GNSS višinsko izmero. Pri vseh ostalih metodah pa je potrebno upoštevati vpliv težnostnega polja na meritve in opazovanja.

Definiranje višinskega sistema je težavno delo in je odvisno od metode, ki jo uporabimo za določitev višine. Po temu sodeč idealni višinski sistem ne obstaja. Pri izbiri višinskega sistema je potrebno izbrati kompromisno rešitev glede na zahteve uporabnikov, znanosti in posameznih strok ter na namen uporabe (Koler, et al., 2007).

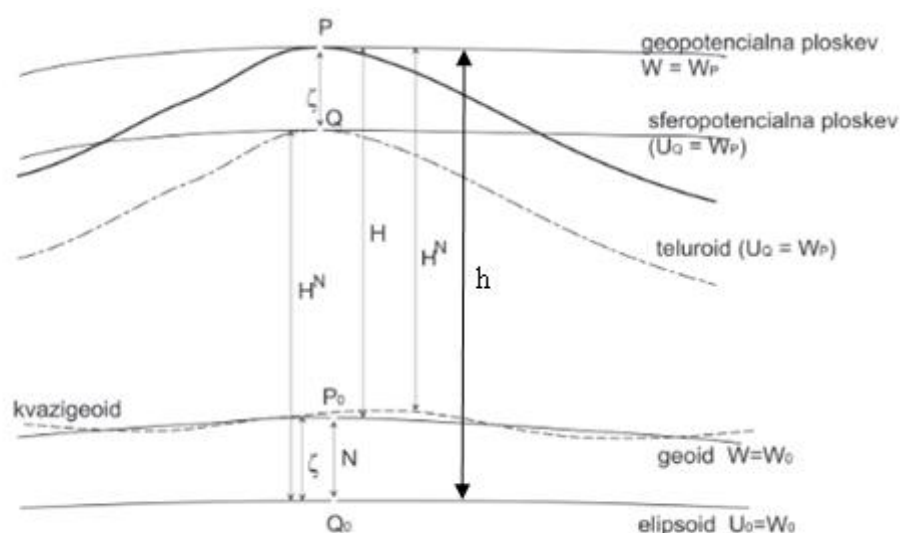
Višine točk so lahko določene v naslednjih višinskih sistemih:

- geopotencialne višine,
- dinamične višine,
- ortometrične višine,
- normalne višine,
- normalne ortometrične višine,
- elipsoidne višine.

Višine reperjev nove nivelmanske mreže Slovenije so določene na osnovi geopotencialnih višin, ki so preračunane v normalne višine. Z uveljavitvijo GNSS metod izmere lahko določimo tudi elipsoidne višine. Da lahko elipsoidne višine preračunamo v normalne višine, moramo poznati geoidno višino, ki predstavlja odstopanje med ploskvijo geoida in elipsoida, ki jo imenujemo tudi geoidna ondulacija.

Elipsoidna višina je najkrajša razdalja med poljubno točko P na površju Zemlje in referenčnim elipsoidom, ki predstavlja višinsko izhodišče. Elipsoidne višine od ploskve geoida odstopajo od 44 m do 49 m, kar pomeni, da niso primerne za vsakdanjo uporabo (Lisec, et al., 2003).

Zaradi vse pogostejše uporabe GNSS meritev in določevanja položaja točk ter s tem določitve višin, je za državni višinski sistem pomemben prehod ter povezava med elipsoidnimi in normalnimi višinami. Oddaljenost elipsoida od geoida predstavlja geoidna višina ( $N$ ), anomalija višine ( $\zeta$ ) pa od elipsoida in kvazigeoida (Slika 1), ki se danes vse bolj uveljavlja. Kvazigeoid ne sovпада z geoidom, ampak se le nahaja v njegovi bližini (Kuhar, et al., 2011).



Slika 1: Višine v različnih višinskih sistemih (Koler, et al., 2007, str. 780).

Če pogledamo zgornjo sliko (Slika 1), dobimo spodnjo enostavno enačbo povezave med normalnimi in elipsoidnimi višinami:

$$h = H + N \quad (1)$$

kjer so

$H$ ...normalna višina,

$h$ ...elipsoidna višina,

$N$ ...geoidna višina.

### **3 NOVA NIVELMANSKA MREŽA REPUBLIKE SLOVENIJE**

Višinsko mrežo Republike Slovenije predstavljajo stabilizirane točke, ki jih imenujemo reperji. Višine reperjev v novi nivelmanski mreži so določene v sistemu normalnih višin.

Za določitev višin reperjev v nivelmanski mreži je pomemben tudi vertikalni datum. Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oz. srednji nivo morja, kateri predstavlja izhodišče za merjenje višin reperjev nivelmanske mreže. Izhodišče uradnega vertikalnega datuma Slovenije je trenutno vertikalni datum Trst. Ničelni nivo je bil določen na osnovi enoletnih opazovanja morja v letu 1875.

Višine točk v novi nivelmanski mreži Slovenije so določene na osnovi mareografskih opazovanj na mareografski postaji Koper, torej v vertikalnem datumu Koper.

### **4 GEOID IN GEOPOTENCIALNA PLOSKEV**

Po besedah Gaußa je geoid kot ekvipotencialna ploskev zemeljskega dela, ponazorjena s srednjo gladino svetovnih morij in je v mislih podaljšana pod celinami. Ploskve geoida ne moremo prikazati z matematičnimi enačbami, ker se ukrivljenost geoida spreminja skupaj z spremembo reliefa oziroma z gostoto mase pod površjem zemljine skorje. Z modelom geoida določimo eno izmed nivojskih ploskev Zemljinega težnostnega polja oz. s tem določimo obliko Zemlje (Kuhar, et al., 2011).

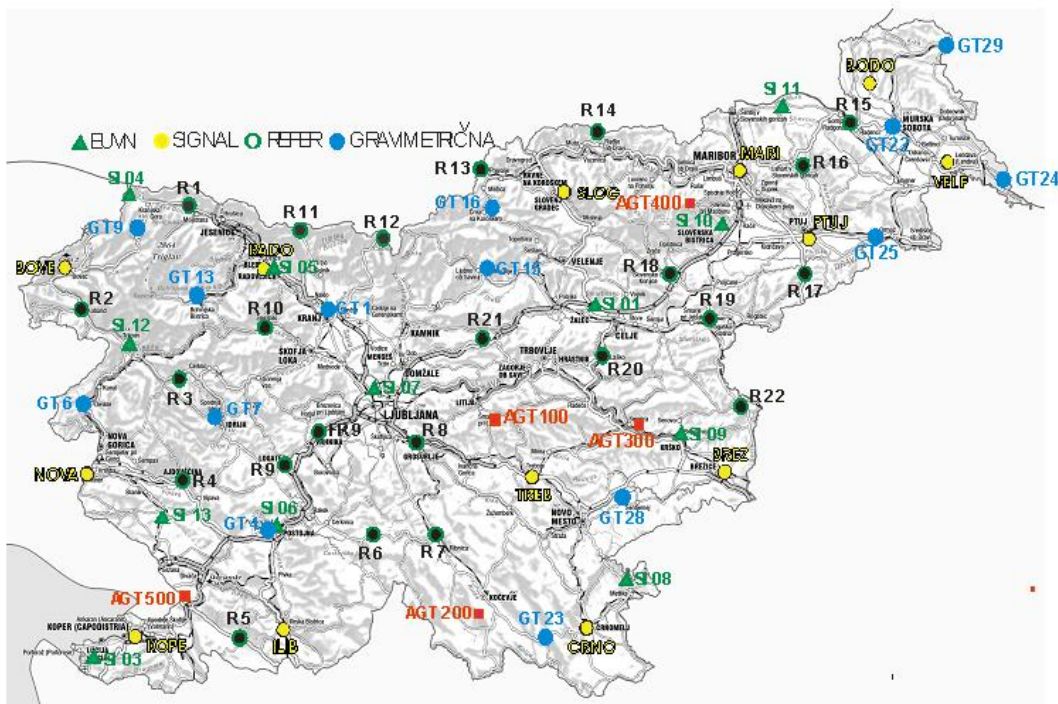
V Sloveniji je trenutno v uveljavi absolutni model geoida iz leta 2000. Nastal je v okviru doktorske disertacije, ki ga je izračunal Boško Pribičević iz Geodetske fakultete v Zagrebu (Pribičević, 2000). Ploskev geoida je bila določena s tehniko kolokacije po metodi najmanjših kvadratov. Pri izračunu so uporabili 99 točk, ki so bile v Sloveniji, Avstriji, na Hrvaškem in Madžarskem, in 4605 točkastih anomalij težnosti. Zaradi uporabe točk v različnih državah in v različnih koordinatnih sistemih, so bile te točke transformirane v koordinatni sistem ETRS89. Ploskev geoida je bila vpeta na 163 GNSS in nivelmanskih točk, ki so bile enakomerno razporejene po območju Slovenije.

Po opravljenem preračunu višinske mreže Slovenije so se pojavile težave pri uporabi modela geoida. Največjo težavo predstavljajo točke, ki so bile uporabljene za vpetje ploskve geoida. Večina višin točk je bila določena po metodi trigonometričnega višinomerstva, ki ne dosega natančnosti določitve višin z geometričnim nivelmanom (Kuhar, et al., 2011).

Zaradi različnih metod določevanja geoidnih višin, se je pojavil predlog in potreba po izboljšanjem in boljšem vklopu geoida v višinsko mrežo Slovenije. Tako je bil oktobra 2010 za območje Slovenije opravljen nov izračun testnega modela geoida v okviru projekta "Vzpostavljanje omrežja postaj GPS in evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji". Namen projekta je bil vzpostavitev sodobne geoinformacijske infrastrukture kot osnove za trajnostni razvoj države. Testna rešitev ploskve novega geoida je bila vpeta na 24 GNSS/nivelman točkah. Na vseh teh točkah so se za določitev elipsoidnih višin izvajala GNSS opazovanja, ki so trajala neprekinjeno vsaj 36 ur. Za določitev normalne višine pa so se te točke z geometričnim nivelmanom navezale na nivelmanski poligon višjega reda. Točke, ki bodo uporabljene za vpetje ploskve geoida, so enakomerno porazdeljene po območju Slovenije, kar prikazuje Slika 2.

Glede na izračun ploskve geoida iz leta 2000 in 2010, bodo v novem izračunu modela geoida uporabljeni izboljšani in novejši vhodni podatki. Tako bi na osnovi izračunane nove ploskve geoida ustrezno zadovoljili uporabnike s kakovostnimi podatki.





Slika 2: Mreža geodetskih točk, ki bodo uporabljene za vpetje novega geoida.

Cilj moje diplomske naloge je, da na podlagi razlike elipsoidne višine in normalne višine določimo geoidno višino na točki SIGNAL-a v Radovljici. Ta geoidna višina točke, ki je ena izmed 60 uporabljenih točk, bo kasneje uporabljena pri vpetju za izračun novega modela geoida.

## 5 DOLOČITEV POLOŽAJA GEODETSKIH TOČK

### 5.1 Določitev horizontalnega položaja točk

Za določitev horizontalnega položaja geodetskih točk obstaja več različnih metod meritev.

Pri izmeri za potrebe diplomske naloge je bila uporabljena kombinirana terestrična metoda. Pri tej metodi s pomočjo merjenja horizontalnih smeri ter merjenjem dolžin določimo točkam horizontalno lego v prostoru.

### 5.1.1 Merjenje horizontalnih smeri

Merjenje oziroma opazovanje horizontalnih smeri je ena izmed merskih nalog geodezije, ki se največ uporablja. Za opazovanje horizontalnih smeri v diplomski nalogi je bila uporabljena girusna metoda. Pri tej metodi si zberemo točko, ki je najbolj definirana, dobro vidna, stabilna in je primerno oddaljena. Ta točka nam predstavlja začetno smer. Meritve v prvi krožni legi izvajamo od začetne točke v desni smeri proti končni točki. Ko z opazovanji pridemo na zadnjo točko, tahimeter obrnemo v drugo krožno lego in nadaljujemo opazovanja v obratni smeri, od končne proti začetni točki, v levi smeri.

Z merjenjem v obeh krožnih legah eliminiramo kolimacijski pogrešek, napako instrumenta nepravokotnosti osi daljnogleda in vizurne osi. Število opazovanj je odvisno od količine točk, ki so vključene v določevanje horizontalnega položaja. Na posameznih stojiščih se opravi meritve v več girusih (število si določimo sami), ki nam predstavljajo nadštevila merjenja in jih kasneje uporabimo pri postopku izravnave.

### 5.1.2 Merjenje dolžin in redukcija dolžin

Merjenje dolžin je tudi ena izmed geodetskih klasičnih meritev. Dolžine so se v preteklosti merile na različne načine in z različnimi merskimi pripomočki. Danes pa se za merjenje uporabljajo tahimetri, v katerih so vgrajeni elektrooptični razdaljemerji.

Na terenu se med poljubnimi točkami večinoma merijo poševne dolžine, ta pa je zaradi meteoroloških vplivov lahko tudi ukrivljena. Horizontalno dolžino določimo računsko.

Izmerjene dolžine so podvržene zunanjim vplivom in geometričnim vplivom. Zato moramo dolžino reducirati, da jo popravimo za neko izračunano vrednost.

Izračun redukcije dolžin delimo na tri osnovne vrste (Kogoj, 2005):

- meteorološki popravki,
- geometrični popravki,
- projekcijski popravki.

### 5.1.1.1 Meteorološki popravki

Izmerjena dolžina na terenu je podvržena vplivom atmosfere. Elektromagnetno valovanje, ki ga pošlje razdaljemer, potuje skozi atmosfero. Za določitev dolžine se meri hitrost potovanja elektromagnetnega valovanja (EMV) od razdaljemera do reflektorja na točki, in od reflektorja do razdaljemera nazaj.

Dolžine merimo v različnih meteoroloških pogojih, kar pomeni različno optično gostoto zraka in s tem tudi hitrost potovanja valovanja. Ta sprememba hitrosti pa ima vpliv na vrednost izmerjene dolžine.

Optično gostoto zraka določimo na osnovi naslednjih meteoroloških parametrov:

- temperatura,
- zračni tlak,
- delni tlak vodne pare.

Te meteorološke parametre običajno izmerimo na krajiščih merjenj. Izmerjeni parametri so osnova za določitev realnega stanja atmosfere v času merjenja dolžine.

Prvi popravek hitrosti izračunamo po naslednji enačbi:

$$D_1 = \frac{n_0}{n_D} * D_0 \quad (2)$$

kjer so:

$D_0$ ... izmerjena dolžina,

$n_0$ ... nominalni (referenčni) lomni količnik ob normalnih atmosferskih pogojih merjenja,

$n_D$ ... dejanski lomni količnik ob dejanskih atmosferskih pogojih merjenja.

Za izračun enačbe (2) je potrebno določiti vrednost dejanskega lomnega količnika. Vrednost dejanskega količnika določimo s pomočjo grupnega količnika, katerega izračun le-tega prikazuje naslednja enačba (3):

$$N_G = (n_G - 1) * 10^6 = A + 3 * \frac{B}{\lambda^2} + 5 * \frac{C}{\lambda^4} \quad (3)$$

kjer so:

$\lambda$ ... valovna dolžina nosilnega valovanja

A... koeficient ( $A = 287,6155$ ),

B... koeficient ( $B = 1,62887$ ),

C... koeficient ( $C = 0,01360$ ).

Ko poznamo vrednost grupnega količnika, lahko izračunamo dejanski lomni količnik po naslednji enačbi (4):

$$n_D = 1 + (n_G - 1) * \frac{273,5}{1013,25} * \frac{p}{T} - \frac{11,27 * 10^{-6}}{T} * e \quad (4)$$

kjer so:

$n_D$ ... dejanski lomni količnik ob dejanskih atmosferskih pogojih merjenja,

$n_G$ ... grupni lomni količnik,

$t$ ... temperatura v času merjenja (v °C),

$p$ ... zračni tlak v času merjenja (v hPa),

$e$ ... parcialni tlak vodne pare v času merjenja (v hPa).

Ko imamo izračunani vrednosti enačb (3 in 4), lahko po enačbi (2) izmerjeno dolžino popravimo za prvi popravek hitrosti.

Poleg popravka prve hitrosti poznamo popravek druge hitrosti. Popravek druge hitrosti v praksi upoštevamo pri dolžinah, ki so večje od 65 km.

Pri izračunih v diplomski nalogi sem ta popravek zanemarila.

### 5.1.1.2 Geometrični popravki

Geometrijski popravki predstavljajo razliko med merjeno dolžino in refrakcijsko krivuljo. Refrakcijska krivulja nastane zaradi vpliva atmosferske refrakcije.

Geometrične popravke izračunamo v dveh korakih.

### 1. Korak: Redukcija na nivo točk

Pri redukciji na nivo točk obravnavamo popravek zaradi ukrivljenosti refrakcijske krivulje in popravke zaradi horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet. Pri izračunu določimo razliko med refrakcijsko krivuljo (izmerjena dolžina) in pripadajočo tetivo (reducirana merjena dolžina). Za izračun redukcije na nivo točk uporabimo enačbo (5):

$$S_p = S' - (l - i) * \cos z + \frac{[(l - i) * \sin z]^2}{2 * S'} \quad (5)$$

kjer so:

$z$ ... merjena zenitna distanca,

$i$ ... višina instrumenta na točki,

$l$ ... višina reflektorja na točki.

### 2. Korak: Redukcija "kamen-kamen"

Merjenje dolžine poteka nad centrom točke, saj so na njih postavljeni instrumenti in reflektorji.

Zato pri redukciji "kamen-kamen" izračunamo poševno dolžino med točkama na nivo terena. Za izračun je predstavljena enačba (6):

$$S_K = S_p - \frac{S_p * i}{R} \quad (6)$$

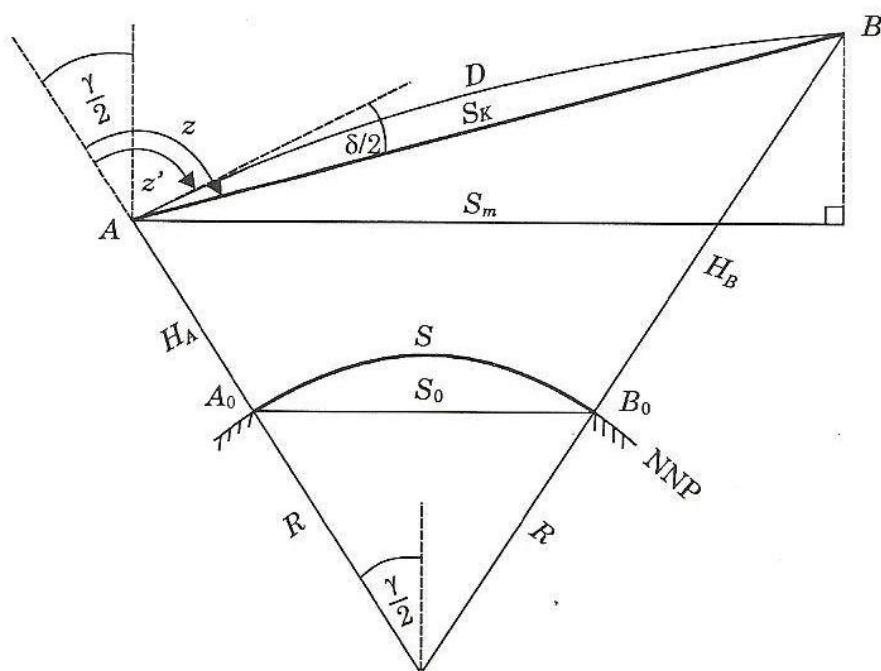
kjer so:

$i$ ... višina instrumenta na točki

$R$ ... polmer Zemlje ( $R = 6378$  km).

### 5.1.1.3 Projekcijski popravki

Z izračunom projekcijskih popravkov ponazorimo prehod s prostorske poševne dolžine na nivo točk  $S_K$  na sferni lok  $S_M$  na nivo referenčne ploskve ter nato v izbrano projekcijsko ravnino, kar ponazarja spodnja slika (Slika 3).



Slika 3: Prikaz prehoda dolžine iz prostora na nivo referenčne ploskve (Kogoj, 2002, str. 141).

Postopek horizontiranja in redukcije dolžine na ničelni nivo prikazujeta enačbi (7 in 8):

$$S_m = S_K * \sin ( z' + \varepsilon ) \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{S_k}{2 * R} * (k - \sin z') \quad (8)$$

kjer sta:

$z' \approx z$ ... merjena zenitna distanca

$k$ ... koeficient refrakcije ( $k = 0,13$ ).

Ko imamo merjeno in reducirano dolžino na določeni nadmorski višini, jo je potrebno reducirati na ničelni nivo, predvsem v primeru državne mreže. Za to redukcijo se uporabljata enačbi (9 in 10):

$$S_0 = S_m * \frac{H_m}{R + H_m} \quad (9)$$

$$H_m = \frac{H_A + H_B}{2} \quad (10)$$

kje je:

$H_m$ ... srednja nadmorska višina med krajnima točkama merjene dolžine.

## 6 DOLOČITEV VIŠINE GEODETSKIH TOČK

Za določitev višinskega položaja geodetskih točk obstaja več različnih metod meritev. Pri izmeri za potrebe diplomske naloge smo uporabili trigonometrično višinomerstvo in geometrični nivelman.

### 6.1 Trigonometrično višinomerstvo

Metoda trigonometrično višinomerstvo se uporablja na razgibanem in strmem pobočju ter tam, kje je dostopnost omejena. Slabost te metode je, da je zaradi fizikalnih vplivov Zemlje in njene okolice, obremenjena z vplivom atmosferske refrakcije ter da z večanjem razdalje slabšamo natančnost izmere. Zaradi te slabosti je ta metoda manj natančna kot geometrični nivelman. Metoda je enostavna, hitrejša, cenejša in iz enega stojišča lahko določimo več višinskih razlik (Vodopivec, 1997).

Ker je bila dostopnost do antene permanentne postaje Radovljica nemogoča, smo za navezavo in kasnejšo določitev višine antene uporabili trigonometrično višinomerstvo. Uporabili smo enostransko trigonometrično višinomerstvo, saj smo višinsko razliko določevali samo iz enega stojišča.

### 6.1.1 Izračun določitve višine točke s trigonometričnim višino merstvom

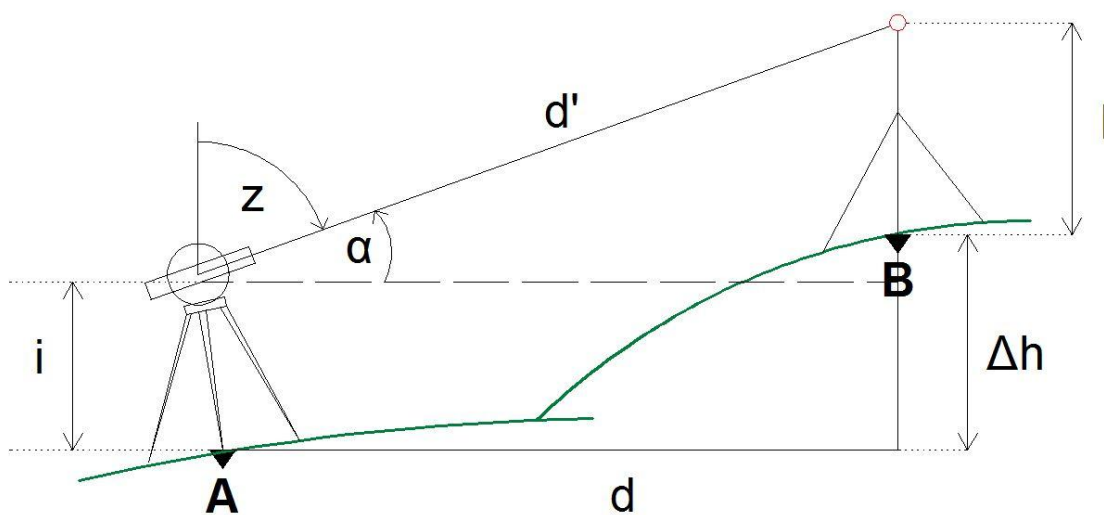
Za določitev višin pri tej metodi merimo zenitne distance oz. vertikalne kote. Poleg tega moramo izmeriti še razdaljo med stojiščem in točko, kateri določamo višino. Dolžina je lahko poševna ali horizontalna.

Vertikalne kote oz. zenitne distance večinoma merimo v obeh krožnih legah, da eliminiramo indeksni pogrešek tahimetra, kateri pomeni, da mesto čitanja na vertikalnem krogu ni pravilno.

Vertikalne kote oz. zenitne distance ter dolžine med točkami merimo v obeh krožnih legah in v več girusih, da imamo nadštevilna opazovanja, ki jih lahko uporabimo v kasnejši izravnavi.

Da lahko določimo višino točke, moramo še izmeriti višino tahimetra na stojišču in višino signala na točki, kateri določamo višino.

Princip trigonometričnega višino merstva prikazuje Slika 4.



Slika 4: Merjene količine pri trigonometričnem višino merstvu.



Za izračun višinske razlike, ko poznamo horizontalno dolžino, uporabimo naslednjo enačbo (11):

$$\Delta h_A^B = S * \cot z_A^B + \frac{1 - k}{2 * (R + H_A)} * S^2 + i_A + l_B \quad (11)$$

kjer so:

$S$ ... horizontalna razdalja med točkama A in B,

$z_A^B$ ... zenitna distanca merjena na točki A proti točki B,

$k$ ..koeficient refrakcije ( $k = 0,13$ ),

$R$ ... polmer Zemlje ( $R = 6378$  km),

$H_A$ ... nadmorska višina na točki A,

$i_A$ ...višina instrumenta na stojšču (na točki A),

$l_B$ ... višina signala na točki, kateri določamo višino (na točki B).

Ker v praksi večinoma merimo poševne dolžine, enačbo za določanje višinske razlike z znano horizontalno dolžino preuredimo, in uporabimo enačbo (12) za direktno določitev višinske razlike:

$$\Delta h_A^B = S' * \cos z_A^B + \frac{1 - k}{2 * (R + H_A)} * S^2 + i_A + l_B \quad (12)$$

kjer je,

$S'$ ... poševna razdalja med točkama A in B.

Koeficient refrakcije je na območju Slovenije določen na vrednost  $k = 0,13$ .

Višino inštrumenta in signala moramo izmeriti, saj z merjenjem ne določamo višine točno na fizično določeni točki. Višino določamo navideznim točkam, ki so za izmerjene vrednosti oddaljene navpično nad točkama.

Pri določitvi višinske razlike je potrebno upoštevati enačbo (13) za popravek ukrivljenosti Zemlje in enačbo (14) za popravek refrakcije.

$$\Delta_{ukr} = \frac{d^2}{2 * R} \quad (13)$$

$$\Delta_{ref} = \Delta_{ukr} * (-k) \quad (14)$$

Vsem elementom določitve višinske razlike lahko določimo natančnost. Skupno natančnost, ko imamo poznano horizontalno dolžino, izračunamo po enačbi (15):

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{(\sigma_S * \cot z)^2 + \left(\frac{S}{\sin^2 z} * \frac{\sigma_z}{r}\right)^2 + \sigma_i^2 + \sigma_l^2} \quad (15)$$

kjer so:

$\sigma_S$  ... natančnost merjenja dolžine,

$\sigma_z$  ... natančnost merjenja zenitne distance,

$\sigma_i^2$  ... natančnost merjenja višine inštrumenta,

$\sigma_l^2$  ... natančnost merjenja višine signala.

Slika 4 prikazuje potek določitve višine s trigonometričnim višinomerstvom in iz nje lahko razberemo enačbo (16) za določitev višine točke B :

$$H_B = H_A + \Delta h_A^B \quad (16)$$

Oceno natančnosti določene nadmorske višine točke B pa izračunamo po enačbi (17):

$$\sigma_{H_B} = \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_{\Delta h_A^B}^2} \quad (17)$$

kje sta,

$\sigma_{H_A}$ .... natančnost določitve nadmorske višine na točki A (na stojišču),

$\sigma_{\Delta h_A^B}$ ... natančnost določitve višinske razlike med točko A in točko B.

Končno vrednost nadmorske višine točke B določimo na osnovi aritmetične sredine večkrat določene nadmorske višine zaradi merjenj v več girusih, za kar uporabimo enačbo (18):

$$\overline{H_B} = \sum_{i=1}^n H_{Bi} / n \quad (18)$$

Empirični standardni odklon določitve povprečne nadmorske višine točke dobimo z enačbo (19):

$$\sigma_{\overline{H_B}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{B_i}^2 / n} \quad (19)$$

## 6.2 Geometrični nivelman

Geometrični nivelman je ena izmed najbolj natančnih geodetskih metod za določanje višinskih razlik med geodetskimi točkami.

Metoda se uporablja za merjenje na ravninskem in dostopnem terenu. Slabost metode je, da je za izvedbo meritev potrebno veliko časa.

Princip geometričnega nivelmana je določanje vertikalnih odmikov od horizontalne osi nivelirja. Vertikalne odmike nivelir odčitava na nivelmanskih latah, ki so vertikalno postavljene na točkah (Vodopivec, 1997).

Z razliko odčitkov na nivelmanskih latah na točki A in točki B, dobimo višinsko razliko med točkama, kar prikazuje enačba (20):

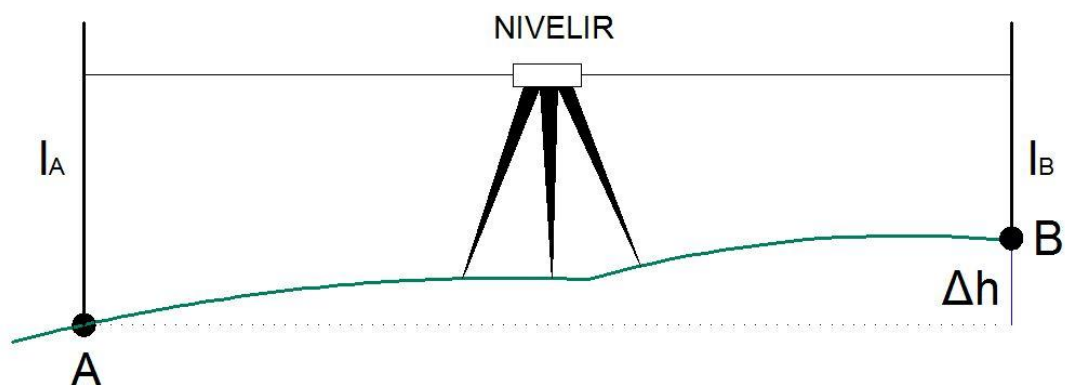
$$\Delta h_A^B = l_B - l_A \quad (20)$$

kje sta:

$l_B$  ... odčitek na nivelmanski lati na točki B,

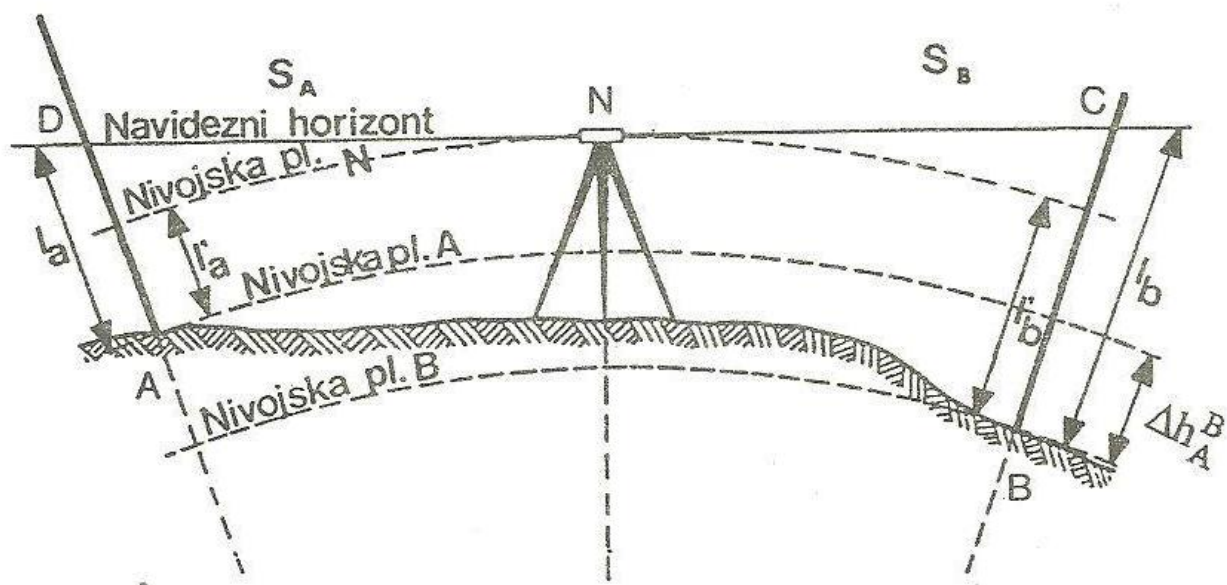
$l_A$  ... odčitek na nivelmanski lati na točki A.

Princip geometričnega nivelmana prikazuje spodnja slika (Slika 5):



Slika 5: Princip niveliranja med točko A in točko B.

Ker je Zemlja ukrivljena, je enačba (18) neveljavna za izračun višinskih razlik v praksi, saj velja le za pravokotni koordinatni sistem. Pri izračunu višinske razlike je potrebno upoštevati ukrivljenost Zemlje, kar prikazuje spodnja slika (Slika 6).



Slika 6: Niveliranje z upoštevanjem ukrivljenosti Zemlje (Vodopivec, 1997, str. 3).

Vpliv ukrivljenosti Zemlje lahko odpravimo z niveliranjem iz sredine. Ker niveliramo kratke razdalje med točkama, lahko uporabimo enačbo (21):

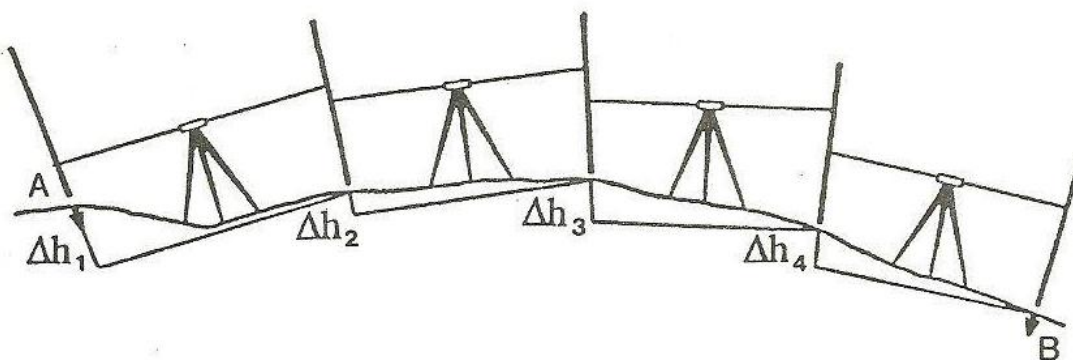
$$\delta h = \frac{S^2}{2 * R} \quad (21)$$

kjer je (enačba 22):

$$S = K (l_A + l_B) \quad (22)$$

Če imamo med dvema točkama, med katerima določamo višinsko razliko, večjo razdaljo, moramo prej omenjeni postopek ponavljati, dokler ne pridemo do končne točke. V tem primeru merimo nivelmanski poligon od začetne do končne točke. Z nivelmanski poligonom pridobimo n število višinskih razlik. Vsota teh n višinskih razlik je  $\Delta h_A^B$ .

Princip nivelmanskega poligona prikazuje spodnja slika (Slika 7):



Slika 7: Princip nivelmanskega poligona (Vodopivec, 1997, str. 3).

Pri izračunu višinske razlike moramo upoštevati tudi popravek pete late in sistematični pogrešek razdelbe late ter temperaturni popravek nivelmanske late.

Popravek višinske razlike, z upoštevanjem vseh treh popravkov, izračunamo po naslednji enačbi (23):

$$\Delta h_A^B = l_0 + \Delta h_A^B * [m_0 + \alpha * (T - T_0)] * 10^{-6} \quad (23)$$

kjer so:

$l_0$  ... popravek pete late,

$\Delta h_A^B$  ... izmerjena višinska razlika [m],

$\alpha$  ... linearni razteznostni koeficient (0,5 – 0,8 ppm/°C),

$m_0$  ... popravek razdelbe late,

$T$  ... izmerjena temperatura med meritvami,

$T_0$  ... referenčna temperatura ( $T_0 = 20^\circ\text{C}$ )

Popravek sam je zelo majhen, vendar sem ga v diplomski nalogi pri izračunu vseeno upoštevala.

## **7 TERENSKO DELO**

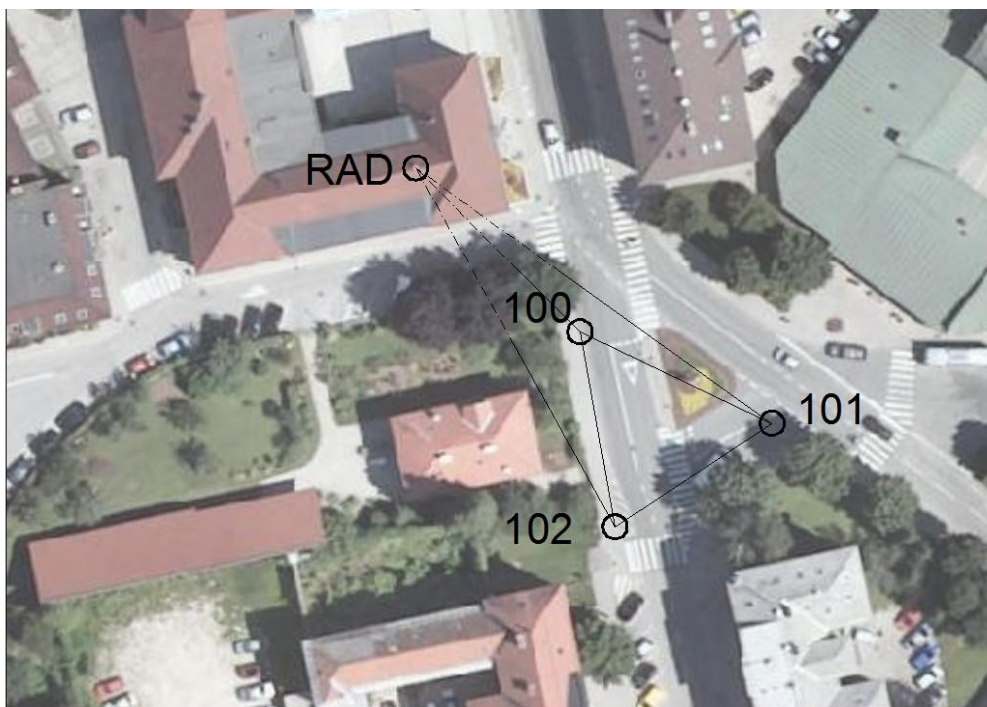
Na terenu je bila stabilizirana lokalna mikro mreža. Koordinate točk mikro mreže so bile določene na osnovi kombinirane geodetske izmere. Normalna višina permanentne postaje Radovljica je bila določena s trigonometričnim višinomerstvom. Lokalna mikro geodetska mreža je bila z nivelmansko izmero navezana na nivelmansko mrežo Republike Slovenije.

### **7.1 Vzpostavitev lokalne mikro mreže v okolici permanentne postaje Radovljica**

Lokalna mikro geodetska mreža je bila vzpostavljena v okolici permanentne postaje Radovljica, ki je nameščena na objektu Občine Radovljica. Za vzpostavitev mreže so bile stabilizirane tri geodetske točke. Koordinate stabiliziranih točk smo potrebovali za izračun dolžine do točke PP Radovljica, saj je bila direktna izmera zaradi nedostopnosti točke nemogoča. Izračunano dolžino smo kasneje potrebovali za izračun višinske razlike med PP točko in točkami mreže po metodi trigonometričnega višinomerstva.

Geodetskim točkam lokalne mikro mreže, ki so bile stabilizirane s kovinskimi čepi, sem izbrala oznake 100, 101 in 102, permanentni postaji pa oznako RAD. Na spodnji sliki so prikazane točke lokalne mikro mreže v okolici permanentne postaje Radovljica.





Slika 8: Prikaz situacije lokalne mikro mreže (vir podlage: <https://www.google.si/maps>).

### 7.1.1 Izmera horizontalnih kotov in zenitnih razdalj

Za določitev koordinat geodetskih točk lokalne mikro mreže so bila izvedena kotna in dolžinska opazovanja s tahimetrom Leica TCRP1201+.

V Preglednici 1 so prikazani nekateri tehnični podatki uporabljenega inštrumenta, ki so bili prevzeti iz uradne spletne strani podjetja Leica Geosystems in so objavljeni na naslednji internetni povezavi:

[http://www.leica-geosystems.de/downloads/123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica\\_TPS1200+\\_TechnicalData\\_de.pdf](http://www.leica-geosystems.de/downloads/123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica_TPS1200+_TechnicalData_de.pdf).

Preglednica 1: Tehnični podatki za tahimeter Leica TCRP1201+.

| <b>Tehnični podatek</b>                    | <b>Opis in vrednost</b>      |
|--|------------------------------|
| Natančnost kotnih opazovanj<br>ISO 17123-3 | 1" (0.3 mgon)                |
| Natančnost ločljivosti zaslona             | 0.1" (0.1 mgon)              |
| Kompenzator                                | Natančnost : 0,5"            |
| Natančnost merjenja dolžin<br>ISO 17123-4  | 1 mm + 1.5 ppm               |
| Čas merjenja                               | 2,4 s                        |
| Premer leče objektiva                      | 40 mm                        |
| Povečava leče                              | 30x                          |
| Temperaturno območje delovanja             | -30°C do 65°C                |
| Napajanje                                  | Baterijski vložek 7,4V/4,4Ah |
| Masa inštrumenta                           | 4,8 kg - 5,5 kg              |

Opazovanja horizontalnih smeri, zenitnih distanc in tudi dolžin so bila merjena v obeh krožnih legah in v treh girusih ter na vseh treh točkah.

Iz opazovanj sem izračunala srednje vrednosti opazovanja horizontalnih smeri proti vsem točkam lokalne mikro mreže v obeh krožnih legah.

Za izračun sredine opazovanih horizontalnih smeri v prvi in drugi krožni legi je bila uporabljena enačba (24), ter za izračun sredine opazovanih zenitnih distanc v obeh krožnih legah enačba (25).

$$\alpha_{i,j} = \frac{\alpha_{i,j}^I + \alpha_{i,j}^{II} \pm 200^{gon}}{2} \quad (24)$$

$$z_{i,j} = \frac{z_{i,j}^I + z_{i,j}^{II} \pm 400^{gon}}{2} \quad (25)$$

kjer so,

$i$ ... indeks opazovane smeri ( $i = 1, 2 \dots s$ ;  $s$  = število smeri),

$j$ ... indeks girusa ( $j = 1, 2 \dots n$ ;  $n$  = število girusov),

$\alpha$ ... opazovana horizontalna smer (I. = v prvi krožni legi, II. = v drugi krožni legi),

$z$ ... opazovana zenitna distanca (I. = v prvi krožni legi, II. = v drugi krožni legi).

Za izračun sredine vseh girusov za opazovane horizontalne smeri je bila uporabljena enačba (26) ter za izračun sredine vseh girusov za opazovane zenitne distance pa je bila uporabljena enačba (27):

$$\bar{\alpha}_j = \frac{\alpha_{i,1} + \alpha_{i,2} + \alpha_{i,3} + \dots + \alpha_{i,n}}{2} \quad (26)$$

$$\bar{z}_j = \frac{z_{i,1} + z_{i,2} + z_{i,3} + \dots + z_{i,n}}{2} \quad (27)$$

kjer so:

$n$ ... število girusov ( $n = 3$ ),

$i$ ... indeks opazovane smeri ( $i = 1, 2 \dots s$ ;  $s$  = število smeri),

$\alpha_{i,1} \dots$  srednje vrednosti opazovanih horizontalnih smeri v obeh krožnih legah,

$z_{i,1} \dots$  srednje vrednosti opazovanih zenitnih distanc v obeh krožnih legah.

Za izračun ocene natančnosti opazovanj horizontalnih smeri se postopek izračuna nadaljuje s pomočjo naslednjih računskih postopkov. Enačbe so opisane za izračun ocene natančnosti opazovanj horizontalnih smeri. Enačbe so iste tudi za izračun natančnosti opazovanj zenitnih distanc. Namesto oznake  $\alpha$  v enačbo vstopi oznaka  $z$ .

Iz izračunanih srednjih vrednosti horizontalnih smeri (enačba 28) se izračuna popravke za vsak girus posebej:

$$r_{i,j} = \alpha_{i,j} - \bar{\alpha}_{i,j} \quad (28)$$

kjer sta:

$\alpha_{i,j}$ ...izmerjena horizontalna smer

$\bar{\alpha}_{i,j}$ ...izračunana sredina girusov.

Te popravke se uporabi v naslednji enačbi (29):

$$\sum r^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^n r_{i,j}^2 \quad (29)$$

Za izračun natančnosti opazovanih horizontalnih smeri v več girusih se uporabi enačbi (30 in 31) za izračun empiričnega standardnega odklona:

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{v}} \quad (30)$$

kjer je :

$$v = (n - 1) * (m - 1) \quad (31)$$

$v$ ... število prostostnih stopenj,

$n$ ... število girusov,

$m$ ... število smeri.

Za izračun empiričnega standardnega odklona opazovanj posameznega girusa se uporabi enačbo (32):

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (32)$$

Empirični standardni odklon opazovanj predstavlja natančnost opazovanja horizontalnih smeri na posameznih stojiščih.

V Preglednici 2 so prikazane vrednosti horizontalnih smeri, katere sem izračunala na osnovi aritmetične sredine vseh treh girusov na vsakem stojišču točke lokalne mikro mreže. Opazovanja O1, O2 in RAD predstavljajo opazovanja z stojišč proti anteni permanentne postaje Radovljica.

Opazovanje O1 je opazovanje na levi rob sprejemnika antene, O2 pa je opazovanje na desni rob sprejemnika antene. Opazovanje proti točki RAD je bilo pridobljeno računsko, in sicer na podlagi aritmetične sredine opazovanj O1 in O2.

Preglednica 2: Prikaz sredine girusov opazovanj horizontalnih smeri.

| Stojišče   | Vizura     | Sredina girusov |    |      |
|------------|------------|-----------------|----|------|
|            |            | o               | ‘  | “    |
| <b>100</b> | <b>101</b> | 0               | 0  | 0.0  |
| <b>100</b> | <b>102</b> | 64              | 45 | 44.2 |
| <b>100</b> | <b>O1</b>  | 213             | 29 | 36.7 |
| <b>100</b> | <b>O2</b>  | 213             | 36 | 17.6 |
| <b>100</b> | <b>RAD</b> | 213             | 32 | 57.1 |
| <b>101</b> | <b>102</b> | 0               | 0  | 0.0  |
| <b>101</b> | <b>100</b> | 54              | 16 | 33.6 |
| <b>101</b> | <b>O1</b>  | 71              | 47 | 9.4  |
| <b>101</b> | <b>O2</b>  | 71              | 50 | 46.0 |
| <b>101</b> | <b>RAD</b> | 71              | 48 | 57.7 |
| <b>102</b> | <b>100</b> | 0               | 0  | 0.0  |
| <b>102</b> | <b>101</b> | 60              | 57 | 42.7 |
| <b>102</b> | <b>O1</b>  | 343             | 3  | 36.4 |
| <b>102</b> | <b>O2</b>  | 343             | 7  | 18.1 |
| <b>102</b> | <b>RAD</b> | 343             | 5  | 27.2 |

V Preglednici 3 so prikazane vrednosti zenitnih distanc, katere sem izračunala na osnovi aritmetične sredine vseh treh girusov na vsakem stojišču točke lokalne mikro mreže. Oznake opazovanj so iste kot oznake opazovanj horizontalnih smeri.

Preglednica 3: Srednje vrednosti opazovanih zenitnih distanc.

| Stojišče   | Vizura     | Sredina girusov |    |      |
|------------|------------|-----------------|----|------|
|            |            | o               | ‘  | “    |
| <b>100</b> | <b>101</b> | 90              | 29 | 5.0  |
| <b>100</b> | <b>102</b> | 89              | 44 | 12.5 |
| <b>100</b> | <b>O1</b>  | 67              | 54 | 12.9 |
| <b>100</b> | <b>O2</b>  | 67              | 57 | 49.9 |
| <b>100</b> | <b>RAD</b> | 67              | 56 | 31.4 |
| <b>101</b> | <b>102</b> | 89              | 18 | 39.8 |
| <b>101</b> | <b>100</b> | 89              | 31 | 50.8 |
| <b>101</b> | <b>O1</b>  | 77              | 17 | 11.2 |
| <b>101</b> | <b>O2</b>  | 77              | 19 | 43.0 |
| <b>101</b> | <b>RAD</b> | 77              | 17 | 57.1 |
| <b>102</b> | <b>100</b> | 90              | 16 | 43.9 |
| <b>102</b> | <b>101</b> | 90              | 42 | 16.7 |
| <b>102</b> | <b>O1</b>  | 77              | 17 | 5.3  |
| <b>102</b> | <b>O2</b>  | 77              | 19 | 41.8 |
| <b>102</b> | <b>RAD</b> | 77              | 18 | 53.5 |

Vsa opazovanja horizontalnih smeri in zenitnih distanc v obeh krožnih legah in v treh girusih so prikazana v **Prilogi A**.

### 7.1.2 Izmera dolžin

Dolžine stranic v mikro mreži so bile izmerjene s tahimetrom Leica TCRP1201+. Tehnični podatki uporabljenega inštrumenta so predstavljeni v Preglednici 1 v poglavju 7.1.1.

Opazovane so bile poševne dolžine med točkami lokalne mikro mreže v treh girusih. Poleg opazovanj sta bila izmerjena meteorološka parametra temperatura zraka in zračni tlak za kasnejšo redukcijo dolžine za meteorološki popravek.

Najprej je bilo potrebno izračunati sredine opazovanih poševnih dolžin v obeh krožnih legah po enačbi (33):

$$d_{i,j} = \frac{d_{i,j}^I + d_{i,j}^{II}}{2} \quad (33)$$

kjer so:

*i*... indeks opazovane dolžine ( $i = 1, 2 \dots s$ ;  $s$  = število merjenih dolžin),

*j*.. indeks girusa ( $j = 1, 2 \dots n$ ;  $n$  = število girusov),

*d*... opazovana poševna dolžina (I. = v prvi krožni legi, II. = v drugi krožni legi).

Nato sem izračunala aritmetično sredino izmerjenih poševnih dolžin po enačbi (34):

$$d_i = \frac{d_{i,1} + d_{i,2} + d_{i,3}}{3} \quad (34)$$

Izračunane aritmetične sredine dolžin sem nato reducirala za naslednje popravke:

- meteorološki popravki,
- geometrični popravki,
- projekcijski popravki.

Enačbe in potek izračunov je podrobno opisan v poglavju 5.1.2.

Preglednica 4 prikazuje reducirane merjene dolžine med točkami lokalne mikro mreže, kjer so:

$S_m$ ... merjena poševna dolžina,

$S'$ ... popravljena dolžina za prvi popravek hitrosti,

$S_p$ ... dolžina po redukciji na nivo točk,

$S_m$ ... dolžina po redukciji "kamen – kamen",

$S_0$ ... končna dolžina redukcije (horizontalna dolžina)

Preglednica 4: Redukcija dolžin med točkami lokalne mikro mreže.

| Stojišče | Vizura | $S_m$ [m] | $S'$ [m] | $S_p$ [m] | $S_k$ [m] | $S_0$ [m] |
|----------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 100      | 101    | 32.43963  | 32.43986 | 32.43958  | 32.4396   | 32.43870  |
|          | 102    | 30.12135  | 30.12255 | 30.12273  | 30.1227   | 30.12223  |
| 101      | 102    | 33.56318  | 33.56423 | 33.56469  | 33.5647   | 33.56168  |
|          | 100    | 32.43965  | 32.43969 | 32.44001  | 32.4400   | 32.43852  |
| 102      | 100    | 30.12123  | 30.12125 | 30.12110  | 30.1211   | 30.12093  |
|          | 101    | 33.56317  | 33.56420 | 33.56378  | 33.5638   | 33.56167  |

Računski postopek za izračun ocene natančnosti merjenja dolžin se nadaljuje iz zgornje enačbe (34) in sicer s spodnjo enačbo (35) s katero se izračuna popravke za vsak girus posebej.

$$r_{i,j} = d_{i,j} - \bar{d}_{i,j} \quad (35)$$

kjer sta:

$d_{i,j}$ ...izmerjena dolžina,

$\bar{d}_{i,j}$ ...izračunana sredina girusov.

Te popravke se uporabi v naslednji enačbi (36):

$$\sum r^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^n r_{i,j}^2 \quad (36)$$



Za izračun natančnosti merjenih dolžin v več girusih se uporabi enačbi (37 in 38) za izračun empiričnega standardnega odklona:

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{v}} \quad (37)$$

kjer je :

$$v = (n - 1) * (m - 1) \quad (38)$$

$v$ ... število prostostnih stopenj,

$n$ ... število girusov,

$m$ ... število smeri.

Za izračun empiričnega standardnega odklona opazovanj posameznega girusa se uporabi enačba (39):

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (39)$$

Empirični standardni odklon predstavlja oceno natančnost merjenja dolžin na posameznih stojiščih.

Vse merjene dolžine v vseh treh girusih in v obeh krožnih legah so prikazane v **Prilogi A**. V dani prilogi je prikazan tudi računski postopek redukcije dolžin z vmesnimi rezultati.

## 7.2 Navezava lokalne mikro mreže PP Radovljica na nivelmansko mrežo Republike Slovenije

Lokalna mikro mreže PP Radovljica je navezana na nivelmansko mrežo Republike Slovenije. Navezava je bila izvedena z metodo preciznega geometričnega nivelmana.

Za izvajanje meritve nivelmanskega poligona je bil uporabljen nivelir Leica DNA03.

V Preglednici 5 so prikazani nekateri tehnični podatki uporabljenega inštrumenta, ki so bili prevzeti iz uradne spletne strani podjetja Leica Geosystems in so objavljeni na naslednji internetni povezavi:

<http://leica-geosystems.com/products/levels/digital-levels/leica-dna03>.

Preglednica 5: Tehnični podatki za nivelir Leica DNA03.

| <b>Tehnični podatek</b>      | <b>Opis in vrednosti</b>  |
|------------------------------|---|
| Natančnost<br>(ISO17123-2)   | 0.3 mm (uporaba invar late)<br>1.0 mm (uporaba standardne late)<br>2.0 mm                 |
| Meritev dolžin z nivelirjem  | 1 cm / 20 m (500 ppm)   |
| Območje merjenja             | 1.8 m - 110 m (elektronsko merjenje)<br>od 0.6 m (optično merjenje)                       |
| Čas meritve                  | 3 s   |
| Povečava daljnogleda         | 24 x  |
| Kompenzator                  | Nihalo z magnetnim dušenjem<br>± 10' (delovno območje)<br>0.3" (natančnost kompenzatorja) |
| Temperaturno delovno območje | -20°C do +50°C  |
| Teža (vključno z baterijo)   | 2,8 kg  |

Geodetske točke 100, 101 in 102 tvorijo nivelmansko zanko, ki je bila navezana na izhodiščni reper CP486.

Slika 3 prikazuje potek nivelmanske linije, na podlagi katere smo določili nadmorske višine točkam lokalne mikro mreže.



Slika 9: Nivelmanska linija (vir podlage: <https://www.google.si/maps>).

Preverili smo tudi stabilnost navezovalnega reperja. Izvedena je bila kontrolna meritev višinske razlike med reperjema N1016 in CP486. Kontrolna višinska razlika se je primerjala z višinsko razliko, ki je bila izmerjena leta 2008. Izmero je izvedla Geodetske uprave Republike Slovenije.

V Preglednici 6 sta prikazani meritvi višinske razlike iz merjenj leta 2008 in merjenj za potrebe diplomske naloge, kjer je:

$\Delta h_1 \dots$  meritev v eno smer (N1016 – CP486).

Celoten izračun merjenih višinskih razlik na osnovi metode geometričnega nivelmana, skupaj s popravki, je prikazan v **Prilogi B**.

Preglednica 6: Primerjava meritev nivelmanske linije N1016 – CP486 iz leta 2008 in 2015.

|              |              |                |                                    |                           |                                    |
|--------------|--------------|----------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 2008         |              | <b>d [km]</b>  | <b><math>\Delta h_1</math> [m]</b> | <b>d [km]</b>             | <b><math>\Delta h_2</math> [m]</b> |
| <b>N1016</b> | <b>CP486</b> | 1.21           | 11.2163                            | 1.21                      | -11.2150                           |
|              |              | $\bar{d}$ [km] |                                    | $\overline{\Delta h}$ [m] |                                    |
|              |              | 1.21           |                                    | 11.21561                  |                                    |
| 2015         |              | <b>d [km]</b>  | <b><math>\Delta h_1</math> [m]</b> | <b>d [km]</b>             | <b><math>\Delta h_2</math> [m]</b> |
| <b>N1016</b> | <b>CP486</b> | 1.21           | 11.2147                            | 1.21                      | -11.2142                           |
|              |              | $\bar{d}$ [km] |                                    | $\overline{\Delta h}$ [m] |                                    |
|              |              | 1.21           |                                    | 11.21444                  |                                    |

Dovoljeno odstopanje sem izračunala po naslednji enačbi (40):

$$\Delta_{dop} = 2 * \sqrt{(d[km] + 0,04 * d^2[km])} \quad (40)$$

kjer je:

$d$ ... dolžina med reperjema

Dejansko odstopanje pa sem izračunala po enačbi (41):

$$\Delta = \overline{\Delta h_1} - \overline{\Delta h_2} \quad (41)$$

Preglednica 7 prikazuje izračune enačb (35 in 36) in dokazuje, da je navezovalni reper stabilen in primeren za navezavo.

Preglednica 7: Prikaz dopustnega in dejanskega odstopanja meritev linije.

|                |         |
|----------------|---------|
| $\Delta$       | -1,2 mm |
| $\Delta_{dop}$ | 2,3 mm  |

Obdelane nivelmanske podatke smo izravnali s programom za višinsko izravnavo geodetskih mrež VIMWIN (Turk in Ambrožič, 2007).

Izravnane vrednosti predstavljajo nadmorske višine točk 100, 101 in 102, ki so predstavljene v Preglednici 8.

Preglednica 8: Normalne ortometrične višine točk mreže in ocena natančnosti.

| Točka      | Normalna višina [m] | $\sigma_H$ [mm] |
|------------|---------------------|-----------------|
| <b>101</b> | 490.5829            | 0,33            |
| <b>100</b> | 490.8221            | 0,33            |
| <b>102</b> | 490.9010            | 0,33            |

V **Prilogi E** je zbrana vhodna datoteka za višinsko izravnavo lokalne mikro mreže, izhodna datoteka višinske izravnave mreže pa je prikazana v **Prilogi F**.

## **8 IZRAVNAVA LOKALNE MIKRO GEODETSKE MIKRO MREŽE PP RADOVLJICA IN DOLOČITEV GEOIDNE VIŠINE PERMANENTNE POSTAJE RADOVLJICA**

Vzpostavljena lokalna mikro mreža, ki vsebuje tri geodetske točke in PP Radovljica, omogoča izravnavo ravninskih koordinat. Iz geodetskih točk so bila proti PP Radovljica izvedena opazovanja horizontalnih smeri ter zenitnih distanc in merjenje dolžin. Ker smo imeli nadštevilna opazovanja in merjenja, je bila možna izravnavo količin, na podlagi katerih je bila določitev ravninskih koordinat lokalne mikro mreže bolj natančnejša.

Po izravnani lokalni mikro mreži smo lahko na podlagi podatkov preciznega nivelmana in trigonometričnega višinomerstva določili normalno višino antene permanentne postaje, na podlagi katere smo lahko kasneje določili geoidno višino.

## 8.1 Izravnava lokalne mikro geodetske mreže Radovljica

Za izravnavo smo potrebovali približne koordinate točk (Preglednica 9), popravljena kotna opazovanja (Preglednica 2 in Preglednica 3) ter reducirne dolžinske meritve (Preglednica 4).

Točkam lokalne mikro mreže sem določila približne koordinate z grafično metodo. V programskem okolju AutoCad sem s pomočjo opazovanih horizontalnih smeri in merjenih dolžin določila približne koordinate, ki jih prikazuje Preglednica 7.

Preglednica 9: Približne koordinate točk mikro mreže.

| Točka      | Y[m]      | X[m]      |
|------------|-----------|-----------|
| <b>100</b> | 1000      | 1000      |
| <b>101</b> | 1000.0000 | 1032.4393 |
| <b>102</b> | 1027.2469 | 1012.8433 |
| <b>RAD</b> | 980.4083  | 970.4538  |

Izravnava mikro mreže je bila izvedena s pomočjo programa za izravnavo horizontalnih geodetskih mrež GEM4 verzija 4.0 (Amrožoč, Truk, Jamšek), kjer poteka izravnava po modelu posredne izravnave.

V Preglednici 10 so prikazane izravnane koordinate točk lokalne mikro mreže in točke PP Radovljica ter njihove ocene natančnosti.

Preglednica 10: Izravnane koordinate lokalne mreže z ocenami natančnosti.

| Točka      | Y[m]      | X[m]      | $\sigma_y$ [m] | $\sigma_x$ [m] |
|------------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| <b>100</b> | 1000.0005 | 1000.0004 | 0.0004         | 0.0006         |
| <b>101</b> | 1000.0003 | 1032.4393 | 0.0004         | 0.0007         |
| <b>102</b> | 1027.2468 | 1012.8434 | 0.0005         | 0.0007         |
| <b>RAD</b> | 980.4076  | 970.4526  | 0.0012         | 0.0019         |

V izravnavo so bila vključena vsa opazovanja horizontalnih kotov in dolžin.

Rezultat izravnave sta tudi standardna deviacija opazovanih smeri, ki znaša 3.5190" in standardna deviacija opazovanih dolžin, ki znaša 0.6487 mm.

V **Prilogi C** je prikazana vhodna datoteka za horizontalno izravnavo lokalne mikro mreže, izhodna datoteka horizontalne izravnave mreže pa je zbrana v **Prilogi D**.

## 8.2 Določitev normalne višine antene permanentne postaje Radovljica

Normalno višino permanentne postaje Radovljica smo določili z metodo trigonometričnega višinomerstva. Iz izravnanih koordinat točk lokalne mikro mreže so bile določene dolžine med točkami. Iz teh točk so bile proti točki antene permanentne postaje opazovane zenitne distance.

Na vsakem stojišču so bile opazovane zenitne distance na vrh nosilnega stebra ( $z_1$ ) in sredino vmesnika med nosilnim stebrom in anteno ( $z_2$ ). V Preglednici 11 so prikazane izračunane horizontalne dolžine med točkami in točko RAD, ki so bile izračunane na osnovi izravnanih koordinat točk.

Preglednica 11: Horizontalne dolžine med točkami lokalne mreže in točko RAD.

| Stojišče | Vizura | Horizontalna dolžina [m] |
|----------|--------|--------------------------|
| 100      | RAD    | 35.4536                  |
| 101      | RAD    | 65.0094                  |
| 102      | RAD    | 63.1735                  |

Srednje vrednosti opazovanih zenitnih distanc so prikazane v Preglednici 3.

V poglavju 6.1.1 je opisan uporabljen računski postopek za izračun višinskih razlik med točkami 100, 101 in 102 ter točko RAD. Izravnanim normalnim višinam točk naše lokalne mreže (Preglednica 6) smo za določitev normalne višine točke RAD prišteli izračunane višinske razlike.

V Preglednici 12 so prikazane izračunane višinske razlike od geodetskih točk do točke RAD (enačba 11) in natančnosti določitve teh višinskih razlik (enačba 15) po enačbah, ki sta predstavljeni v poglavju 6.1.1.

Preglednica 12: Višinske razlike od točke do točke RAD in natančnost določitve višin.

| Stojišče | Vizura | $\Delta h$ [m] | $\sigma\Delta h$ [mm] |
|----------|--------|----------------|-----------------------|
| 100      | RAD 1  | 14.3937        | 0.14                  |
|          | RAD 2  | 14.3623        | 0.14                  |
| 101      | RAD 1  | 14.6670        | 0.06                  |
|          | RAD 2  | 14.6366        | 0.06                  |
| 102      | RAD 1  | 14.2547        | 0.07                  |
|          | RAD 2  | 14.2236        | 0.07                  |

V Preglednici 13 so prikazane še natančnosti izmere višine instrumenta ( $\sigma_i$  [mm]), natančnost opazovanja dolžin ( $\sigma_d$  [mm]), natančnost izmere višin signala ( $\sigma_l$  [mm]) in natančnost opazovanja zenitnih distanc ( $\sigma_z$  ["]). Natančnost višine signala znaša 0 mm, ker višina signala pri izvajanju meritev ni bila izmerjena.

Preglednica 13: Prikaz ostalih natančnosti.

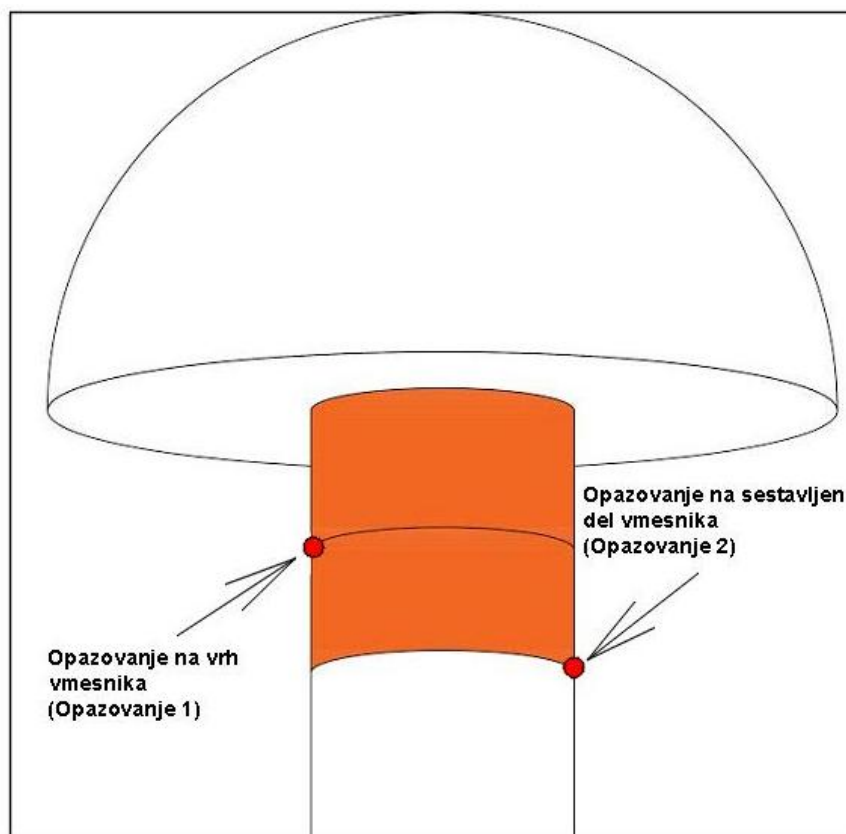
| Stojišče | $\sigma_i$ [mm] | $\sigma_d$ [mm] | $\sigma_l$ [mm] | $\sigma_z$ ["] |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 100      | 0.35            | 0.12            | 0.00            | 0.9            |
| 101      | 0.35            | 0.07            | 0.00            | 0.8            |
| 102      | 0.35            | 0.08            | 0.00            | 0.4            |

V Prilogi C je prikazan celoten potek izračuna do višine točke PP Radovljica.

### 8.3 Določitev nadmorske višine točke permanentne postaje Radovljica

Nadmorska višina točke je bila določena na osnovi izračunanih nadmorskih višin geodetskih točk in merjenih višinskih razlik do permanentne postaje Radovljica. Kot sem že omenila, opazovanje RAD1 predstavlja opazovanje na spoj vmesnika, opazovanje RAD2 pa opazovanje na spodnji rob vmesnika, kar prikazuje spodnja slika.





Slika 10: Prikaz mest viziranja na GNSS sprejemniku.

Da dobimo normalno višino ARP antene sprejemnika na permanentni postaji moramo višinski razliki opazovanja RAD1 prišteti 3,5 cm, opazovanju RAD2 pa 6,5 cm. Na podlagi teh opazovanj in dodanih vrednosti, smo dobili višini antene, katerih aritmetična sredina predstavlja višino antene permanentne postaje Radovljica. V Preglednici 14 so prikazane vse višine ter njihove natančnosti določitev.

Preglednica 14: Prikaz višin antene postaje ter ocena natančnosti njihove določitve.

| Opazovanje  | Viš. antene [m] | $\sigma_{\text{višina}}$ [mm] |
|-------------|-----------------|-------------------------------|
| RAD1        | 506.8648        | 0.37                          |
| <b>RAD2</b> | 506.8639        | 0.37                          |
| <b>RAD</b>  | <b>506.8644</b> | <b>0.52</b>                   |

V **Prilogi D** je prikazan celoten postopek določitve višine z oceno natančnosti določitve višine.

#### 8.4 Določitev geoidne višine permanentne postaje Radovljica

Glavna naloga diplomske naloge je bila določitev geoidne višine permanentne postaje Radovljica za potrebe vzpostavitve novega višinskega sistema Republike Slovenije. Ker imajo točke permanentne postaje zelo dobro in natančno določene elipsoidne višine, so primerne za zgostitev EUVN mreže.

Geoidno višino točke lahko določimo na dva načina:

- na osnovi interpolacije modela geoida Slovenije,
- na osnovi razlike elipsoidne in nadmorske višine točke RAD.

Pri prvem načinu je bila uporabljena programska oprema (SitraNet 2.10). V izračun programske pretvorbe koordinat ETRS89 v D96/TM so bile vnešene elipsoidne koordinate in elipsodna višina točke RAD. Na podlagi elipsoidne in nadmorske višine je bila izračunana geoidna višina, ki znaša  $N_{\text{geoid}} = 47,498$  m. Geoidno višino si lahko izračunamo tudi po sledeči enačbi (42):

$$N = H - h \quad (42)$$

kjer so:

$N$ ...geoidna višina,

$h$ ...elipsodina višina,

$H$ ...normalna višina.

Elipsoidna višina točke RAD, ki znaša 554,3035 m, je določena na osnovi daljših meritev GNSS sprejemnika ([www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)). Normalna višina v novem vertikalnem datumu Koper, določena v diplomski nalogi, znaša 506,8644 m. Za določitev geoidne višine pa potrebujemo normalno višino v vertikalnem datumu Trst, ki znaša 506,9807 m. Spodnja Preglednica 15 prikazuje geoidni višini določeni na podlagi obeh načinov določitve geoidne višine.

Preglednica 15: Prikaz določitve geoidne višine na dva načina.

| <b>N RAD</b>       | <b>[m]</b> |
|--------------------|------------|
| $N_{\text{izrač}}$ | 47,323     |
| $N_{\text{geoid}}$ | 47,498     |

Razlika med interpolirano in izračunano vrednostjo geoidne višine točke RAD znaša 0,175 m. Na osnovi ugotovljene razlike se obstoječi model geoida na točki RAD ne prilega na obstoječi višinski sistem Republike Slovenije. Na podlagi pridobljene razlike lahko sklepam, da je obstoječi model geoida na točki PP Radovljica za vrednost razlike pod višinskim sistemom Republike Slovenije. Celoten potek izračuna določitve višine antene PP Radovljica je prikazan v **Prilogi D**.

## 9 ZAKLJUČEK

Trigonometrično višinomerstvo in geometrični nivelman sta metodi, ki se za določevanje višinskih razlik najbolj uporabljata. Geometrični nivelman je natančnejši od trigonometričnega višinomerstva.

Iz ocene natančnosti določitve nadmorske višine točke permanentne postaje Radovljica, lahko rečem, da kombinacija različnih metod višinomerstva omogoča doseganje dobre natančnosti določitve normalne višine PP Radovljica.

K doseženi natančnosti določitve nadmorske višine točke, ki znaša 0,52 mm, je pripomoglo še več drugih dejavnikov, kot so pravilna izbira oblike lokalne mikro mreže, ustrezno izbran instrumentarij ter potek opazovanj.

Na osnovi razlike primerjav določitve geoidne višine točke PP Radovljica na podlagi interpolacije modela geoida ter na podlagi razlike elipsoidne in normalne višine v vertikalnem datumu Trst, sklepam, da je obstoječi model geoida na območju Radovljica nižji od novega višinskega sistema Republike Slovenije. Glede na razliko med novim geoidom in višinskim sistemom, ki znaša 17,5 cm, sklepam, da je na območju PP Radovljice novi model geoida slabše natančnosti in ne zadovoljuje natančnosti določitve višin z GNSS izmero.

V diplomski nalogi sem določila višino točke PP Radovljica tudi v vertikalnem datumu Koper. Če bi za določitev višin uporabili višino v novem višinskem datumu Koper, bi bila razlika med novim geoidom in novim višinskim sistemom manjša, in sicer 5,89 cm. Določanje višin z GNSS metodo, bi bilo tako bolj zadovoljivo.

Po izpolnjenem cilju diplomske naloge menim, da je vključitev vseh permanentnih postaj, točk omrežja SIGNAL, pravilen predlog. Na podlagi dobro določenih nadmorskih višin danih točk in poznavanju elipsoidnih višin, katere so rezultat daljših meritev GNSS sprejemnikov na permanentnih postajah, bi bilo vpetje novega modela geoida boljše in natančnejše od trenutnega modela.

Tako bi se zagotovili boljši in kvalitetnejši podatki, ki bi zadovoljili potrebe uporabnikov.

Pri vpetju geoida bo uporabljenih več točk razporejenih po območju Slovenije. Tako bo razlika med geoidno ploskvijo in višinskim sistemom manjša. Nova ploskev geoida pa bo omogočala določitev višin točk z GNSS višinomerstvom točnejše in natančnejše.

## VIRI

- Ambrožič, T., Turk, G. 2007. Izravnava višinske geodetske mreže: aplikacija VimWin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Ambrožič, T., Turk, G., Jamšek, Z. 2005. Izravnava ravninske geodetske mreže: aplikacija GEM4, ver. 4.0. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Blejec, J. 2010. Vključitev permanentne postaje Bilje v višinski sistem Republike Slovenije. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Blejec): str. 17-20, 55
- Golob, T. 2015. Vzpostavitev geodetske mreže za spremljanje stabilnosti melišča na Potoški planini. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Golob): str. 19-26
- Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 254 str.
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik. 51, 4: str. 777-792
- Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O., Solheim, D. 2011. Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. Geodetski vestnik. 55, 2: str. 226-234.
- Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2004. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistem. V: Strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, 15. januar 2004. Ljubljana. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 36-39
- Vodopivec, F. 1997. Geodezija II. Višinomerstvo, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 284 str.

- Vodopivec, F. 1988. Precizni nivelman, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 154 str.

#### **Spletni viri:**

- Elipsoidna višina.  
<http://www.gu-signal.si>, (Pridobljeno 15. 6. 2016)
- NivelirLeica DNA03.  
<http://leica-geosystems.com/products/levels/digital-levels/leica-dna03>, (Pridobljeno 8. 7. 2016)
- Tahimeter Leica TCRP1201+.  
[http://www.leica-geosystems.de/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica\\_TPS1200+\\_TechnicalData\\_de.pdf](http://www.leica-geosystems.de/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica_TPS1200+_TechnicalData_de.pdf), (Pridobljeno 8. 7. 2016)
- Podloga načrtov.  
<https://www.google.si/maps>, (Pridobljeno 27. 5. 2016)