

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:

Velikonja, M. 2012. Od rezultatov merjenja do podatkov za izravnavo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentorica Savšek, S.): 47 str.

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:

Velikonja, M. 2012. Od rezultatov merjenja do podatkov za izravnavo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Savšek, S.): 47 pp.

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 ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidatka:

MANCA VELIKONJA

**OD REZULTATOV MERJENJA DO PODATKOV ZA
IZRAVNAVO**

Diplomska naloga št.: 389/GI

**FROM RESULTS OF MEASUREMENT TO DATA FOR
ADJUSTMENT**

Graduation thesis No.: 389/GI

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Predsednik komisije:

viš. pred. mag. Samo Drobne

Somentorica:

doc. dr. Simona Savšek

Član komisije:

doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

viš. pred. mag. Mojca Foški

Ljubljana, 30. 11. 2012

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



ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana MANCA VELIKONJA izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Od rezultatov merjenja do podatkov za izravnavo«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, november 2012

Manca Velikonja

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.1(043.2)
Avtor:	Manca Velikonja
Mentor:	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentorica:	doc. dr. Simona Savšek
Naslov:	Od rezultatov merjenja do podatkov za izravnavo
Obseg in oprema:	47 str., 31 pregl., 18 sl.
Ključne besede:	horizontalni kot, zenitna razdalja, dolžina, redukcija dolžin, ocena natančnosti

Izveček

Teoretični del diplomske naloge predstavlja postopek izračuna ocene natančnosti na način, da bi bilo enostavno sprogramirati postopek obdelave. Predstavljene so vse enačbe, potrebne za postopen izračun ocene natančnosti za merjene horizontalne kote, zenitne razdalje in dolžine.

V praktičnem delu diplomske naloge pa smo izračun ocene natančnosti predstavili na primeru iz prakse. Meritve smo opravili z dvema instrumentoma, in sicer Leica Wild TC1600 in Leica TS30. Merili smo horizontalne kote, zenitne razdalje in dolžine ter meteorološke parametre. Opazovali smo štiri smeri v treh oziroma petih girusih. Pri horizontalnih kotih smo izvedli oceno natančnosti iz odstopanj od aritmetične sredine in oceno natančnosti z upoštevanjem pogreška začetne smeri. Pri zenitnih razdaljah smo izračunali oceno natančnosti iz odstopanj od aritmetične sredine, ravno tako pri dolžinah.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALIST INFORMATION

UDC: 528.1(043.2)
Author: Manca Velikonja
Supervisor: assoc. prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.
Co–advisor: assist. prof. Simona Savšek, Ph.D.
Title: From results of measurement to data for adjustment
Notes: 47 p., 31 tab., 18 fig.
Key words: horizontal angle, vertical angle, length, reduction of the length, estimate accuracy

Abstract

In the theoretic part of my thesis, a method of calculation estimate accuracy is theoretically presented in a way that enables easy programming of the processing. All the necessary equations to calculate the gradual estimate accuracy for measuring horizontal angles, vertical angles and lengths, are presented here.

In the practical part of my work, the same method is presented in a practical example. We performed measurements with two instruments, namely Leica Wild TC1600 and Leica TS30. We measured horizontal and vertical angles, lengths and meteorological parameters and observed 4 directions in 3 or 5 sets of angles. For horizontal angles we carried out estimate accuracy from deviations from the arithmetic mean and the estimate accuracy by taking into account the direction of the initial error. For vertical angles and lengths, we calculated the estimate accuracy from the deviation of the arithmetic mean.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge, za strokovno vodenje in usmerjanje se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču in somentorici doc. dr. Simoni Savšek.

Zahvaljujem se tudi moji družini, ki mi je stala ob strani in me podpirala vsa študijska leta.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

ERRATA	I
IZJAVA O AVTORSTVU	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALIST INFORMATION	VII
ZAHVALA	IX
1 UVOD	1
2 METODE MERJENJA HORIZONTALNIH KOTOV	2
2.1 Definicija horizontalnega kota.....	2
2.2 Instrumenti za merjenje horizontalnih kotov	2
2.3 Metode merjenja horizontalnih kotov	3
2.3.1 Schreiberjeva metoda.....	3
2.3.2 Metoda zapiranja horizonta	4
2.3.3 Metoda dvojnih kombinacij	4
2.3.4 Sektorska (Švicarska) metoda.....	5
2.3.5 Francoska metoda	5
2.3.6 Girusna metoda	6
2.3.6.1 Postopek merjenja.....	6
2.4 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov.....	7
2.4.1 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine.....	7
2.4.2 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri.....	8
3 METODE MERJENJA VERTIKALNIH KOTOV OZ. ZENITNIH RAZDALJ	11
3.1 Definicija vertikalnega kota in zenitne razdalje.....	11
3.2 Instrumenti za merjenje vertikalnih kotov oziroma zenitnih razdalj	11
3.3 Metode merjenja vertikalnih kotov oziroma zenitnih razdalj	12
3.4 Postopek merjenja.....	12
3.5 Ocena natančnosti merjenja zenitnih razdalj iz odstopanj od aritmetične sredine.....	13
4 METODA MERJENJA DOLŽIN	14
4.1 Princip merjenja in zgradba elektronskih razdaljemerov.....	14
4.2 Redukcija dolžin	15
4.2.1 Meteorološki popravki	16
4.2.1.1 Izračun meteoroloških parametrov	16
4.2.2 Geometrični popravki	18
4.2.2.1 Izračun poševne dolžine med točkama na nivoju terena	19
4.2.3 Projekcijski popravki	21
4.2.3.1 Izračun dolžine loka na referenčni ploskvi	24
4.2.4 Redukcija na Gauß–Krügerjevo projekcijsko ravnino.....	25
4.3 Ocena natančnosti merjenja dolžin iz odstopanj od aritmetične sredine	25
5 PRIMER	26
5.1 Meritve z instrumentom Leica Wild TC1600.....	27
5.1.1 Horizontalni koti	27

5.1.1.1	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine	28
5.1.1.2	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri ...	28
5.1.2	Zenitne razdalje.....	30
5.1.3	Dolžine.....	31
5.1.3.1	Meteorološki popravki	32
5.1.3.2	Geometrični popravki	33
5.1.3.3	Projekcijski popravki	34
5.2	Meritve z instrumentom Leica TS30.....	35
5.2.1	Horizontalni koti	35
5.2.1.1	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine	36
5.2.1.2	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri ...	37
5.2.2	Zenitne razdalje.....	38
5.2.3	Dolžine.....	40
5.2.3.1	Meteorološki popravki	41
5.2.3.2	Geometrični popravki	42
5.2.3.3	Projekcijski popravki	42
5.3	Primerjava rezultatov	44
5.3.1	Horizontalni koti	44
5.3.1.1	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine	44
5.3.1.2	Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri ...	44
5.3.2	Zenitne razdalje.....	45
5.3.3	Dolžine.....	45
6	ZAKLJUČEK.....	46
VIRI	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izračun vsote

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz kotov v prostoru (Berdajs, Ulbl, 2010, str. 34)	2
Slika 2: Schreiberjeva metoda (Ježovnik, 2006)	3
Slika 3: Metoda zapiranja horizonta (Ježovnik, 2006)	4
Slika 4: Metoda dvojnih kombinacij (Mihailović, 1981, str. 131)	4
Slika 5: Sektorska (Švicarska) metoda (Ježovnik, 2006)	5
Slika 6: Francoska metoda (Mihailović, 1981, str. 131)	5
Slika 7: Neprekinjena razdelba v smeri urinega kazalca	11
Slika 8: Neprekinjena razdelba v nasprotni smeri urinega kazalca	12
Slika 9: Merjenje dolžine z elektronskim razdaljemerom (Kogoj, 2005, str. 11)	14
Slika 10: Kamen–kamen redukcija (Kogoj, 2005, str. 129)	19
Slika 11: Izračun dolžine na nivoju točk ob merjeni zenitni razdalji (Kogoj, 2005, str. 130)	20
Slika 12: Upoštevanje višine instrumenta (Kogoj, 2005, str. 132)	21
Slika 13: Redukcija na ničelni nivo (Kogoj, 2005, str. 133)	21
Slika 14: Postopna redukcija (Kogoj, 2005, str. 134)	22
Slika 15: Postopna redukcija poševne dolžine z merjeno zenitno razdaljo (Kogoj, 2005, str. 141)	23
Slika 16: Prehod s tetive na pripadajoči krožni lok (Kogoj, 2005, str. 144)	25
Slika 17: Skica opazovanj	26
Slika 18: Leica TS30 (levo) in Leica Wild TC1600 (desno)	26

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Z geodetskimi meritvami želimo določiti prostorske odnose naravnih in umetnih objektov in pojavov v prostoru. Na osnovi geodetskih meritev prikažemo položaj in obliko zemeljske površine in objektov ter pojavov v primerni metrični obliki. Meritve obravnavamo kot skupek ali niz opravil za določanje velikosti določene značilnosti telesa, relativno na enoto meritve ali etalon. Meritve izvajamo v zemeljskem težnostnem prostoru, t. i. merskem prostoru, izračune pa izvajamo v geometričnem prostoru, t. i. koordinatnem prostoru. V geodeziji direktne meritve, kjer je iskana količina direktno izmerjena, niso prav pogoste. Navadno izvajamo indirektne meritve, kjer je iskana količina funkcija merjenih količin. Ker so meritve obremenjene s pogreški, ki se prenesejo na iskano količino, je zelo pomembno, da ocenimo natančnost merjenih količin. Ocena natančnosti meritev je pomemben podatek pri geodetskih meritvah, ki nam opisuje kakovost opazovanj. Poleg tega z oceno natančnosti ugotovimo prisotnost grobih pogreškov v opazovanjih.

Natančnost opazovanj je definirana kot stopnja medsebojne skladnosti ponovljenih opazovanj iste količine. Če so ponovljena opazovanja zgoščena skupaj, imajo visoko natančnost, če so razpršena, imajo nizko natančnost. Natančnost predstavlja standardna deviacija σ opazovanj. Višja, kot je natančnost, manjša je standardna deviacija σ in obratno.

Postopek za izračun ocene natančnosti je sestavljen iz več korakov, zato smo se s podjetjem Geodetska družba d. o. o. (Gerbičeva ulica 51a, Ljubljana) dogovorili, da v diplomski nalogi predstavimo postopek ocene natančnosti za posamezne merjene količine. To bi naredili tako, da bi enostavno sprogramirali postopek za obdelavo. S tem bi nadgradili geodetski program GeoPro, ki bi vseboval postopek ocene natančnosti opazovanj.

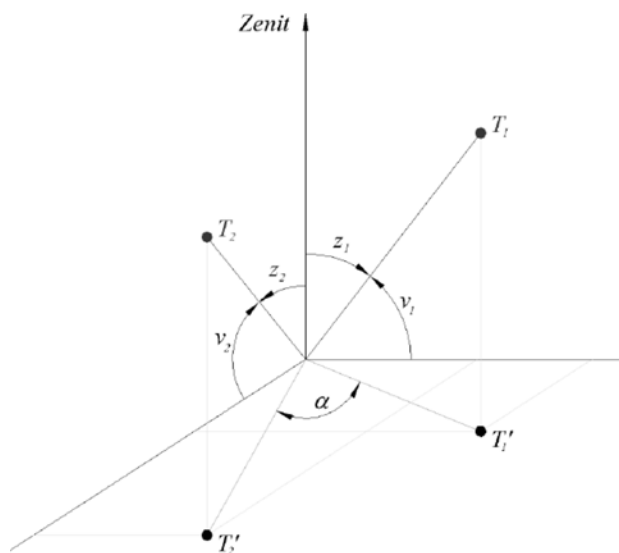
Odločili smo se, da bomo meritve na terenu izvedli z dvema različnima instrumentoma: Leica Wild TC1600 in Leica TS30, in sicer zato, da bi dobili različne *.gsi formate v notranjem pomnilniku instrumenta. Opazovali smo štiri smeri v treh oziroma petih girusih. Točke smo poljubno razporedili po območju. Na terenu smo izmerili tudi meteorološke parametre: zračni tlak, suho temperaturo, mokro temperaturo in relativno vlažnost. Izmerili smo višino inštrumenta in višine reflektorjev.

2 METODE MERJENJA HORIZONTALNIH KOTOV

2.1 Definicija horizontalnega kota

Kot je del ravnine, ki ga omejujeta dva poltraka – kraka kota. Poltraka imata isto izhodišče, ki ga imenujemo vrh kota. Na terenu imamo kot podan s tremi točkami, ena od njih predstavlja vrh kota. Običajno je to stojišče, preostali točki pa sta vizirani točki. Kraka kota v prostoru oklepata prostorski kot (Berdajs, Ulbl, 2010).

Prostorski kot v 3D prostoru razstavimo na horizontalni kot in zenitno razdaljo oziroma vertikalni kot. Horizontalni kot α tvorita projekciji krakov prostorskega kota na horizontalno ravnino in je pozitiven ter zavzema vrednosti

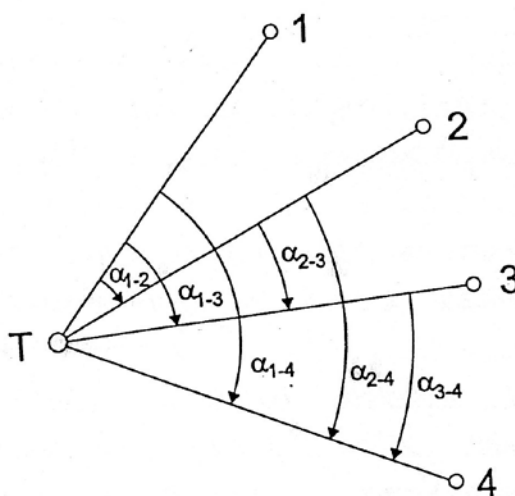


2.3 Metode merjenja horizontalnih kotov

Pri merjenju horizontalnih kotov poznamo več različnih postopkov oziroma metod merjenja. Izbira metode merjenja je odvisna od zahtevane natančnosti meritev. Na celovitost metode merjenja vpliva več parametrov: natančnost, način stabilizacije, meteorološki vplivi in objektivne okoliščine, ki so prisotne pri merjenju.

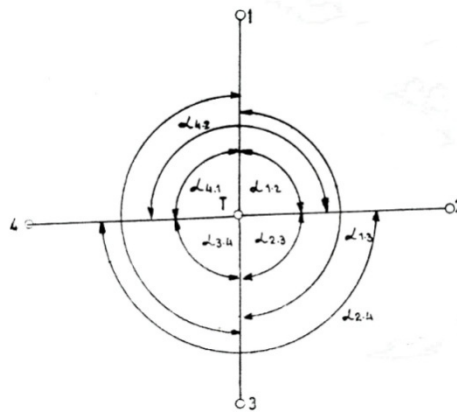
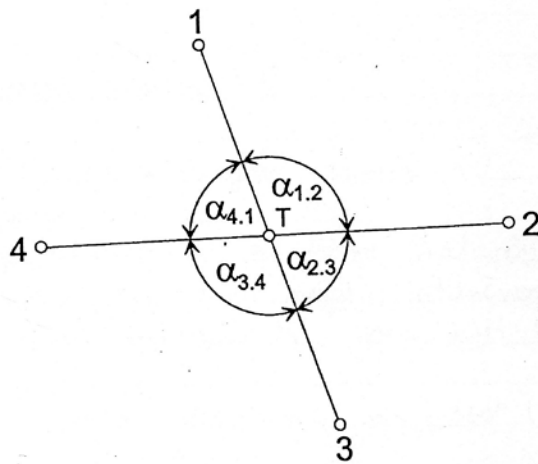
2.3.1 Schreiberjeva metoda

Je metoda merjenja vseh kombinacij kotov med smermi posameznih kotov. Ločeno merimo kot med dvema smerema po girusni metodi neodvisno. Na osnovi števila smeri lahko izračunamo število kotov (kombinacij) po enačbi (Mihailović, 1981):



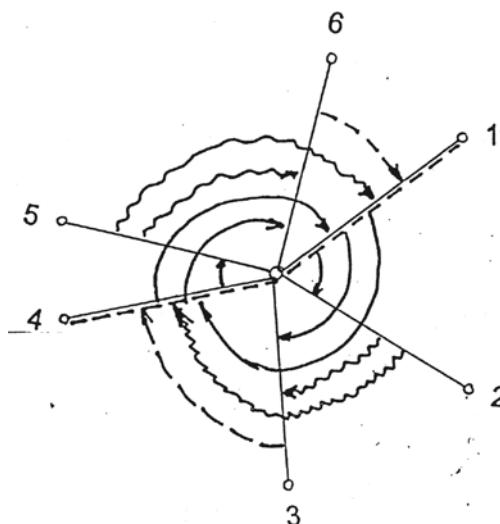
2.3.2 Metoda zapiranja horizonta

Pri tej metodi merimo vse kote med sosednjima smerema, ki zapirajo horizont. Istočasno merimo posamezni kot po girusni metodi. Pri merjenju izberemo med seboj mersko neodvisne kote. Izpolnjen mora biti pogoj, da je vsota kotov enaka 360° . Odstopanje lahko izračunamo po enačbi (Mihailović, 1984):



2.3.4 Sektorska (Švicarska) metoda

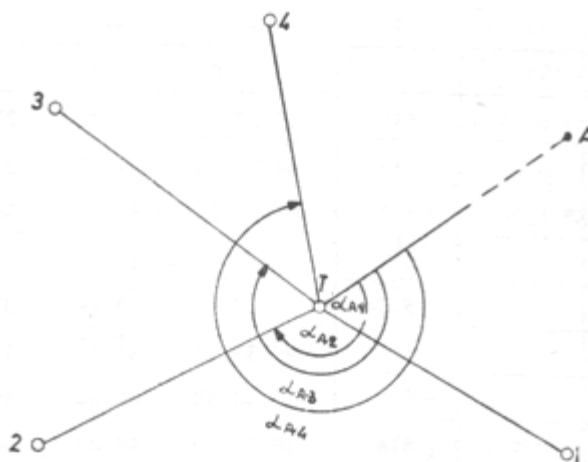
Pri tej metodi se koti merijo po sektorjih in podsektorjih, na katere je razdeljen horizont. Znotraj posameznega sektorja merimo po Schreiberjevi metodi. Sektorsko metodo uporabimo, kadar imamo veliko smeri ali ko je del horizonta slabo viden. Ta metoda je zamudna in zahtevna (Ambrožič, 2008).



Slika 5: Sektorska (Švicarska) metoda (Ježovnik, 2006)

2.3.5 Francoska metoda

Je girusna metoda, pri kateri se poljubno izbere začetno smer, ki ni nujno geodetska točka (Mihailović, 1981).



Slika 6: Francoska metoda (Mihailović, 1981, str. 131)

2.3.6 Girusna metoda

Je najbolj znana metoda merjenja horizontalnih kotov in je osnova za druge metode. Pri tej merimo več smeri hkrati in v obeh krožnih legah.

2.3.6.1 Postopek merjenja

Pred začetkom merjenja, ko so vizurne točke signalizirane in instrument centriran ter horizontiran, moramo izbrati začetno smer. To je točka, ki je dobro vidna, najbolj stabilna in primerno oddaljena (Ježovnik, 2006).

Opazovanje smeri se prične z viziranjem začetne smeri v prvi krožni legi. Merjenje točk nadaljujemo v smeri urinega kazalca do zadnje točke – končne vizure. S tem, ko izmerimo zadnjo točko, zaključimo prvi polgirus. Merjenje drugega polgirusa izvedemo v drugi krožni legi. Tokrat točke opazujemo v nasprotni smeri urinega kazalca in pričnemo na zadnji izmerjeni točki v prvem polgirusu. Ko končamo prvi girus, za kontrolo izračunamo kolimacijski pogrešek:

2.4 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov

Natančnost merjenja horizontalnih kotov po opravljenih meritvah ocenimo zato, da izračunamo standardno deviacijo merjenja in zaradi odkrivanja grobih oziroma sistematičnih pogreškov. Pogoj za oceno natančnosti so nadštevilne meritve. Poznamo dve metodi ocene natančnosti merjenja horizontalnih kotov:

- iz odstopanj od aritmetične sredine,
- z upoštevanjem pogreška začetne smeri.

2.4.1 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine

Pogoj pri tej metodi je, da moramo imeti več meritev istega kota, ki so med seboj mersko neodvisne vrednosti (Ambrožič, 2008). Izračunamo aritmetično sredino:

2.4.2 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri

Najverjetnejša vrednost smeri je aritmetična sredina vrednosti v posameznih girusih (Ambrožič, 2008):

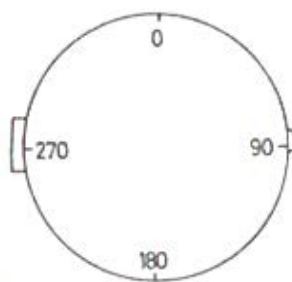
- izračunamo

V Preglednici 1 prikazujemo izračun vsote

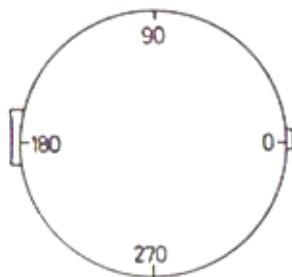
3 METODE MERJENJA VERTIKALNIH KOTOV OZ. ZENITNIH RAZDALJ

3.1 Definicija vertikalnega kota in zenitne razdalje

Zenitna razdalja z je kot, ki ga oklepa krak prostorskega kota z vertikalo skozi vrh kota (smer zenita) in zavzema vrednosti



- neprekinjena razdelba v nasprotni smeri urinega kazalca, kjer je pri horizontalni vizuri ničla pri okularju. To razdelbo vsebujejo predvsem starejši inštrumenti:



Slika 8: Neprekinjena razdelba v nasprotni smeri urinega kazalca za merjenje zenitnih razdalj (Mihailović, 1984, str. 173)

Za pravilno delovanje instrumenta pri merjenju vertikalnih kotov oz. zenitnih razdalj mora biti izpolnjenih več pogojev (Ambrožič, 2008):

- vizurna oziroma kolimacijska os mora biti pravokotna na vrtilno os daljnogleda,
- vrtilna os daljnogleda oziroma horizontalna os mora biti pravokotna na vrtilno os alhidade,
- vrtilna os alhidade oziroma vertikalna os mora biti pravokotna na os alhidadnih libel,
- horizontalna nit nitnega križa mora biti horizontalna,
- pri horizontalni vizuri mora biti odčitek na vertikalnem krogu 0° ali 90° .

3.3 Metode merjenja vertikalnih kotov oziroma zenitnih razdalj

Vertikalne kote oziroma zenitne razdalje merimo v več ponovitvah, navadno v treh. Merjenje poteka s trikratnim viziranjem na srednjo horizontalno nit nitnega križa v obeh krožnih legah (novejši instrumenti) ali pa z viziranjem na vse tri horizontalne niti nitnega križa (zgornjo, srednjo, spodnjo) v obeh krožnih legah (starejši instrumenti). Število ponovitev je odvisno od zahtevane natančnosti določitve zenitne razdalje oziroma vertikalnega kota.

3.4 Postopek merjenja

Ko centriramo in horizontiramo instrument v teme kota (stojišče) in signaliziramo vizurne točke, naviziramo posamezno točko in izvedemo merjenje. Pri novejših instrumentih imamo le srednjo horizontalno nit, s katero viziramo na cilj in čitamo oziroma s pritiskom na gumb izvedemo merjenje. Pri starejših instrumentih pa čitamo na vseh treh nitih nitnega križa, od zgornje do spodnje. Merimo navadno v obeh krožnih legah.

3.5 Ocena natančnosti merjenja zenitnih razdalj iz odstopanj od aritmetične sredine

Izračunamo aritmetično sredino merjenih zenitnih razdalj:

4 METODA MERJENJA DOLŽIN

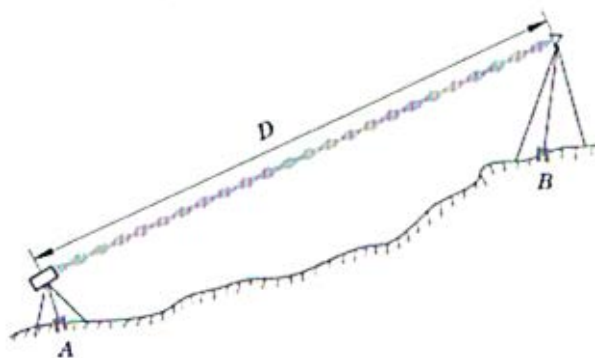
V geodeziji pod besedo razdalja med dvema točkama razumemo horizontalno oddaljenost točk, projiciranih na ničelno nivojsko ploskev. V naravi imamo zaradi razgibanega terena običajno poševne dolžine, zato moramo le-te navadno reducirati na ničelno nivojsko ploskev.

Pred izumom elektronskih razdaljemerov je merjenje dolžin predstavljalo veliko težavo. Dolžine so merili le z merskimi trakovi ali invar žicami. Danes merjenje dolžin ne predstavlja večjih težav, saj s pritiskom na gumb razdaljemera sprožimo merjenje in tako dobimo izmerjeno poševno dolžino, ki pa jo moramo za nadaljnjo uporabo reducirati.

4.1 Princip merjenja in zgradba elektronskih razdaljemerov

Elektronski razdaljemerji določijo velikost dolžine na osnovi izmerjenega časa, ki ga potrebuje elektromagnetno valovanje, da prepotuje razdaljo med začetno in končno točko. Začetna točka je točka, kjer je postavljen instrument; končna točka je točka, kjer je postavljen reflektor (Kogoj, 2005).

Pri merjenju razdalje med instrumentom in reflektorjem valovanje pade na prizmo reflektorja, od koder se elektromagnetni valovi odbijejo nazaj proti instrumentu, prepotujejo merjeno dolžino v obratni smeri in padejo na sprejemno optiko instrumenta.



Slika 9: Merjenje dolžine z elektronskim razdaljemerom (Kogoj, 2005, str. 11)

Če predpostavimo, da poznamo čas oddaje t_o in čas sprejema t_s elektromagnetnega valovanja, lahko določimo čas potovanja valovanja:

Ker se v homogenem ozračju elektromagnetno valovanje širi s konstantno – enakomerno hitrostjo, dolžino med dvema točkama izračunamo po enačbi:

4.2.1 Meteorološki popravki

So nujno potrebni in jih moramo upoštevati pri vsaki meritvi. Da lahko določimo meteorološke popravke, moramo na terenu zajeti določene meteorološke parametre. S tem ugotovimo gostoto zraka, skozi katerega potuje elektromagnetno valovanje pri merjenju dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Gostota plinov, ki sestavljajo zrak, je odvisna predvsem od temperature zraka, zračnega tlaka, količine vode v zraku ter vsebnosti dodatnih trdnih delcev (Kogoj, 2005):

- temperatura zraka t je posledica gibanja najmanjših delcev snovi. Merimo jo s termometri, ki izkoriščajo fizikalne odvisnosti lastnosti snovi od temperature;
- zračni tlak p je odvisen od temperature zraka, zračne vlage in višine. Pojmujemo ga kot težo zračnega stebra nad horizontalno ploskvijo na enoto površine. Zračni tlak pada z večanjem oddaljenosti od ničelne nivojske ploskve, spreminja pa se tudi zaradi vremenskih vplivov. Merimo ga z barometri;
- vlažnost zraka obravnavamo kot zmes suhega zraka in vodne pare. Vodna para ustvarja dodatni tlak, zato je zračni tlak p po Daltonovem zakonu enak vsoti delnega tlaka suhega zraka in delnega tlaka vodne pare e . Zrak pri dani temperaturi sprejme le omejeno količino vode. Pri največji količini vode ima vodna para tlak E , nasičeni tlak vodne pare. Od razmerja delnega in nasičenega tlaka vodne pare je odvisno, ali zrak še vedno sprejema vlago ali ne. To razmerje imenujemo relativna vlažnost η , izražamo jo v odstotkih in merimo s higrometri, delni tlak vodne pare e pa s psihrometri.

4.2.1.1 Izračun meteoroloških parametrov

Pri elektronsko merjeni dolžini D_0' ima modulacijska valovna dolžina

Iz zgornje enačbe izrazimo n_0 :

t ... temperatura suhega termometra [$^{\circ}\text{C}$]

t_m ... temperatura mokrega termometra [$^{\circ}\text{C}$]

p ... zračni tlak [torr]

E_m ... nasičeni tlak vodne pare, izračunan s temperaturo mokrega termometra [torr]

K ... empirično določena konstanta.

Nasičeni tlak vodne pare E_m kot tudi konstanta K sta odvisna od tega, ali merimo mokro temperaturo t_m z mokrim ali zaledenelim termometrom.

E_m izračunamo po enačbi:

- geometrični popravki predstavljajo razliko med prostorsko krivuljo, definirano z refrakcijsko krivuljo, in premo poševno dolžino na nivoju točk (dolžina kamen–kamen). Popravki pomenijo upoštevanje ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera ter reflektorja. V tem primeru uporabimo približne vrednosti višin oziroma zenitnih razdalj, zato so potrebne dodatno merjene količine.

4.2.2.1 Izračun poševne dolžine med točkama na nivoju terena

Izračun se nanaša na vse dolžine, ki so izmerjene tako, da instrument in reflektor postavimo na stativ. Običajno sta višini instrumenta in reflektorja različni. Poznamo dva primera izračuna.

- a) Podano imamo višinsko razliko med točkama

Dane oz. dodatno merjene količine:

S_r ... izmerjena in na poševno tetivo na nivoju stativov reducirana dolžina

i ... višina instrumenta

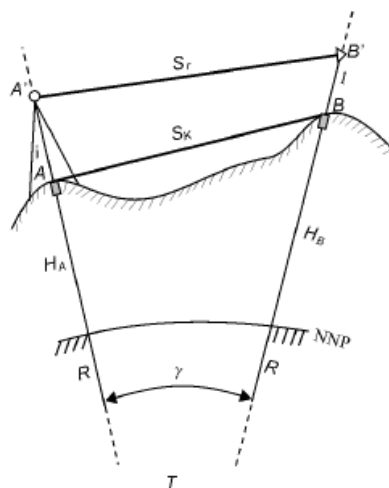
l ... višina reflektorja

H_A ... nadmorska višina točke stojišča instrumenta

H_B ... nadmorska višina točke stojišča reflektorja

Računamo:

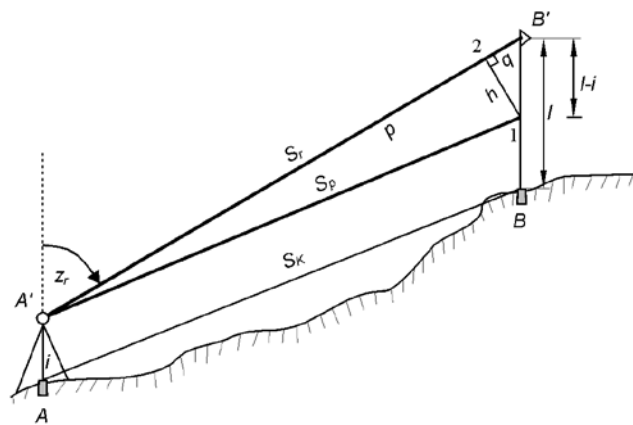
S_K ... poševna dolžina na nivoju točk na terenu

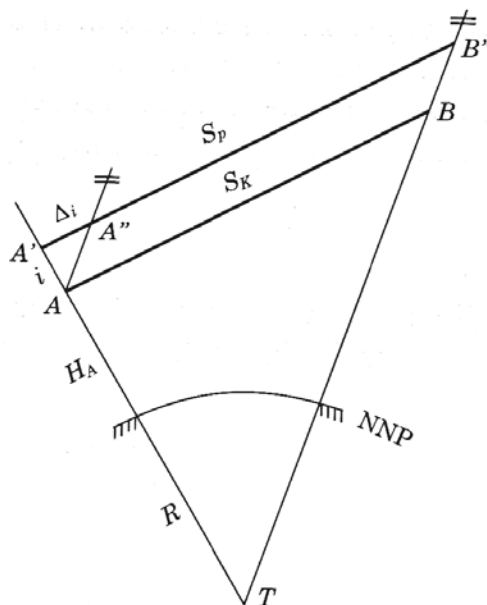


Slika 10: Kamen–kamen redukcija (Kogoj, 2005, str. 129)

Popravek dolžine izračunamo po enačbi:

Vrednost dolžine kamen–kamen:

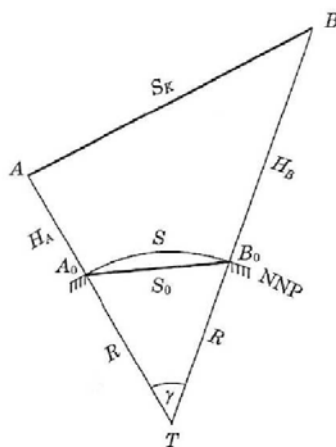




Slika 12: Upoštevanje višine instrumenta (Kogoj, 2005, str. 132)

4.2.3 Projekcijski popravki

Reducirano dolžino S_k moramo najprej horizontirati ter izvesti redukcijo dolžine na ničelni nivo. Ta redukcija je potrebna, ko želimo meritve vklopiti v državni sistem, saj so državne mreže definirane na določeni nivojski ploskvi. Običajno je to ničelna nivojska ploskev. Če obravnavamo lokalne mreže, pa imamo lahko definirano neko drugo poljubno nivojsko ploskev; dolžine moramo reducirati na to ploskev.

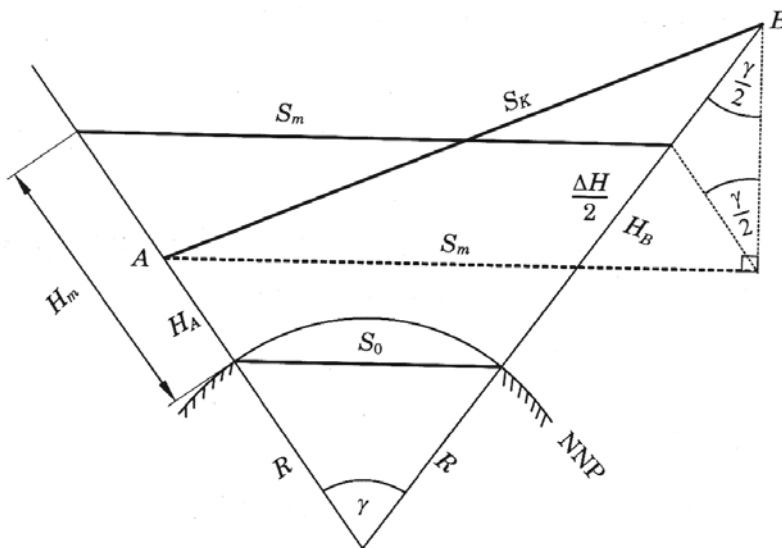


Slika 13: Redukcija na ničelni nivo (Kogoj, 2005, str. 133)

Za izračun iz prostorske tetive S_k na tetivo S_0 v nivoju horizonta morajo biti znane višine krajnih točk H_A in H_B ali višina ene krajne točke H_A in merjena zenitna razdalja z_A .

a) Redukcija z znanimi nadmorskimi višinami

Redukcijo prostorske tetive S_K izvedemo v dveh korakih. Prvi korak je izračun vrednosti horizontalne dolžine na srednjem nivoju med točkama, drugi korak pa je redukcija na izbrani nivo.

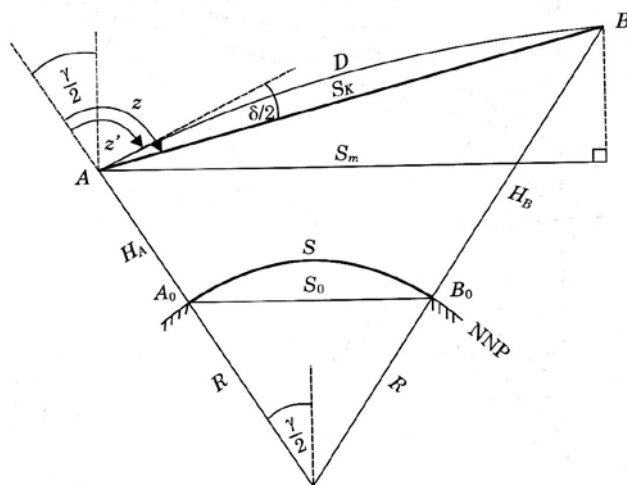


Slika 14: Postopna redukcija (Kogoj, 2005, str. 134)

1. korak – horizontiranje:

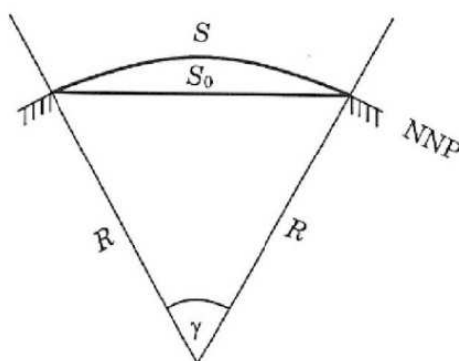
Horizontiranje pomeni izračun naklonskega popravka k_{AH} prostorske tetive S_K na tetivo S_M na nivoju srednje nadmorske višine

Zanima nas, kolikšna je velikost popravka pri prehodu s S_K na S_m :



Naklonske in višinske redukcije so izvedene v dveh ločenih korakih.

1. korak – horizontiranje:



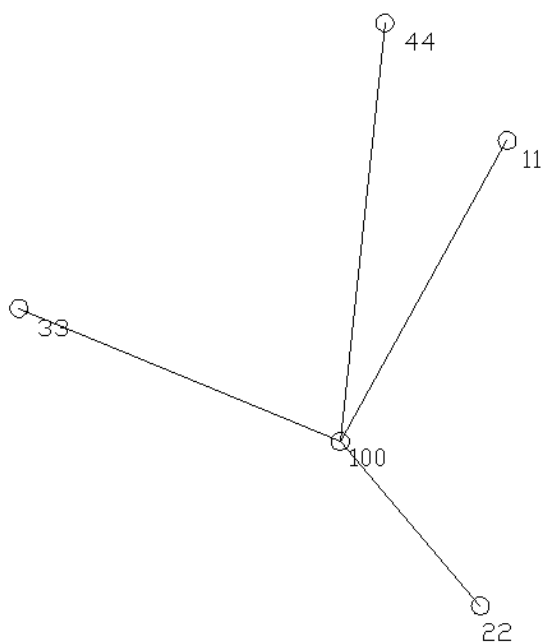
Slika 16: Prehod s tetive na pripadajoči krožni lok (Kogoj, 2005, str. 144)

4.2.4 Redukcija na Gauß–Krügerjevo projekcijsko ravnino

Pri nas se uporablja kot državna kartografska projekcija Gauß–Krügerjeva projekcija. Dolžinske deformacije zmanjšamo z uporabo modulacije, kar pomeni, da vse koordinate in dolžine pomnožimo z modulom:

5 PRIMER

Na terenu smo izvedli meritve horizontalnih kotov, zenitnih razdalj in poševnih dolžin z dvema instrumentoma. Uporabili smo instrumenta Leica Wild TC1600 in Leica TS30. Meritve smo izvedli v treh girusih oziroma treh ponovitvah.



Slika 17: Skica opazovanj

Preglednica 3: Primerjava tehničnih podatkov Leica Wild TC1600 in Leica TS30

	Dolžinska natančnost	Kotna natančnost	Doseg
Leica Wild TC1600	3 mm; 2 ppm	1,5"	2500 m
Leica TS30	0,6 mm; 1 ppm	0,5"	3500 m



Slika 18: Leica TS30 (levo) in Leica Wild TC1600 (desno)

5.1 Meritve z instrumentom Leica Wild TC1600

5.1.1 Horizontalni koti

Iz opazovanih kotov v prvi in drugi krožni legi smo najprej izračunali sredine in reducirane sredine ter dvojni kolimacijski pogrešek $2c$. Za izračun smo si pomagali s Trigonometričnim obrazcem 1Hz.

Preglednica 4: Opazovane smeri in izračun sredin, reduciranih sredin in $2c$

GIRUS	TOČKA	I. krožna lega	II. krožna lega	Sredina	Reducirana sredina	
1. girus	11	0°00'10"	180°00'04"	0°00'07"	0°0'0"	-6"
	22	173°55'58"	353°55'54"	173°55'56"	173°55'49"	-4"
	33	276°14'01"	96°14'04"	276°14'2,5"	276°13'55,5"	3"
	44	350°57'06"	170°57'11"	350°57'8,5"	350°57'1,5"	5"
2. girus	11	45°00'00"	224°59'58"	44°59'59"	0°0'0"	-2"
	22	218°55'50"	38°55'45"	218°55'47,5"	173°55'48,5"	-5"
	33	321°13'52"	141°13'55"	321°13'53,5"	276°13'54,5"	3"
	44	35°56'58"	215°57'03"	35°57'0,5"	350°57'1,5"	5"
3. girus	11	90°00'00"	269°59'55"	89°59'57,5"	0°0'0"	-5"
	22	263°55'47"	83°55'45"	263°55'46"	173°55'48,5"	-2"
	33	6°13'48"	186°13'51"	6°13'49,5"	276°13'52"	3"
	44	80°56'57"	260°57'01"	80°56'59"	350°57'1,5"	4"

Po enačbi

5.1.1.1 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine

Iz aritmetične sredine izračunamo odstopanja:

Preglednica 7: Izračun vsote [v_i]

GIRUS	TOČKA	v_{ij}	v_{ij}^2	$[v_i^2]$
1. girus	11	0,458	0,210	1,52
	22	0,125	0,016	
	33	-1,042	1,085	
	44	0,458	0,210	
2. girus	11	0,083	0,007	0,25
	22	0,250	0,063	
	33	-0,417	0,174	
	44	0,083	0,007	
3. girus	11	-0,542	0,293	2,85
	22	-0,375	0,141	
	33	1,458	2,127	
	44	-0,542	0,293	
				4,63

Standardno deviacijo merjenega horizontalnega kota v enem girusu izračunamo po enačbi:

5.1.2 Zenitne razdalje

Iz opazovanih kotov v prvi in drugi krožni legi smo najprej izračunali zenitne razdalje.

Iz aritmetičnih sredin izračunamo odstopanja:

Na terenu smo z instrumentom Leica Wild TC1600 izmerili sledeče dolžine in izračunali popravke zaradi multiplikacijske in adicijske konstante reflektorja:

Preglednica 12: Izračun dejanskih dolžin D

TOČKA	D
11	105,32350 105,32350
	105,32350 105,32350
	105,32350 105,32350
22	66,086059 66,086059
	66,085059 66,086059
	66,085059 66,086059
33	106,37649 106,37649
	106,37649 106,37649
	106,37749 106,37749

Drugega popravka hitrosti nismo obravnavali, saj je zanemarljiva vrednost. Zato lahko zapišemo, da je

5.1.3.3 Projekcijski popravki

Nato smo izračunali dolžine na srednjem nivoju in aritmetične sredine:

5.2 Meritve z instrumentom Leica TS30

5.2.1 Horizontalni koti

Iz opazovanih kotov v prvi in drugi krožni legi smo najprej izračunali sredine in reducirane sredine ter dvojni kolimacijski pogrešek $2c$. Meritve smo izvedli v petih girusih oziroma petih ponovitvah.

Preglednica 16: Opazovane smeri in izračun sredin, reduciranih sredin in $2c$

GIRUS	TOČKA	I. krožna lega	II. krožna lega	Sredina	Reducirana sredina	
1. girus	11	307°32'43,3"	127°32'42,3"	307°32'42,8"	0°0'0"	-1,0"
	22	121°28'36,6"	301°28'37,3"	121°28'37"	173°55'54,2"	0,7"
	33	223°46'41,6"	43°46'41,2"	223°46'41,4"	276°13'58,6"	-0,4"
	44	298°29'33"	118°29'32,4"	298°29'32,7"	350°56'49,9"	-0,6"
2. girus	11	307°32'45,7"	127°32'44"	307°32'44,9"	0°0'0"	-1,7"
	22	121°28'40"	301°28'39,2"	121°28'39,6"	173°55'54,7"	-0,8"
	33	223°46'46,4"	43°46'43,1"	223°46'44,8"	276°13'59,9"	-3,3"
	44	298°29'31,4"	118°29'32,2"	298°29'31,8"	350°56'46,9"	0,8"
3. girus	11	307°32'46,5"	127°32'44,1"	307°32'45,3"	0°0'0"	-2,4"
	22	121°28'40,1"	301°28'40,1"	121°28'40,1"	173°55'54,8"	0,0"
	33	223°46'46,2"	43°46'43,9"	223°46'45,1"	276°13'59,8"	-2,3"
	44	298°29'32,1"	118°29'36,6"	298°29'34,4"	350°56'49,1"	4,5"
4. girus	11	307°32'46,4"	127°32'44,5"	307°32'45,5"	0°0'0"	-1,9"
	22	121°28'41,9"	301°28'40,1"	121°28'41"	173°55'55,5"	-1,8"
	33	223°46'47,4"	43°46'45,2"	223°46'46,3"	276°14'0,8"	-2,2"
	44	298°29'37,1"	118°29'37,1"	298°29'37,1"	350°56'51,6"	0,0"
5. girus	11	307°32'45,7"	127°32'44,1"	307°32'44,9"	0°0'0"	-1,6"
	22	121°28'39,6"	301°28'39,2"	121°28'39,4"	173°55'54,5"	-0,4"
	33	223°46'47,6"	43°46'45,6"	223°46'46,6"	276°14'1,7"	-2,0"
	44	298°29'31,2"	118°29'36,5"	298°29'33,9"	350°56'49"	5,3"

Po enačbi

5.2.1.1 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine

Iz aritmetične sredine izračunamo odstopanja:

5.2.1.2 Ocena natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri

n ... število girusov = 5

s ... število smeri = 4

Najverjetnejši popravek opazovane smeri v_{ij} , pri katerem ni več prisotnega pogreška začetne smeri, izračunamo po enačbi:

Po enačbi

Standardno deviacijo merjene zenitne razdalje pri n ponovitvah izračunamo:

5.2.3.1 Meteorološki popravki

Najprej smo izračunali grupni lomni količnik:

5.2.3.2 Geometrični popravki

Izračunali smo dolžine S_p na nivoju višine razdaljemera, ki so vzporedne poševni dolžini na nivoju točk:

Preglednica 26: Izračun S_m in aritmetičnih sredin

TOČKA	S_m	Aritmetična sredina
11	105,3253 105,3254	105,3255
	105,3255 105,3254	
	105,3253 105,3255	
	105,3254 105,3255	
	105,3257 105,3255	
22	66,0020 66,0021	66,0021
	66,0024 66,0023	
	66,0018 66,0022	
	66,0024 66,0019	
	66,0024 66,0019	
33	106,3776 106,3779	106,3780
	106,3780 106,3781	
	106,3779 106,3781	
	106,3780 106,3777	
	106,3780 106,3780	

Iz aritmetične sredine smo izračunali odstopanja:

Standardno deviacijo merjene dolžine smo izračunali po enačbi:

$$n = 10,$$

logičen, saj pri oceni natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri ta pogrešek izločimo na drugih smereh. Pri oceni natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine pa je pogrešek vsebovan tudi pri drugih smereh, zato je tudi standardna deviacija horizontalnega kota v enem girusu

6 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga je razdeljena na dva dela, in sicer na teoretični del, kjer je z enačbami predstavljen postopek obdelave meritev in ocene natančnosti merjenih količin, ki so vhodni podatek za izravnavo, in na praktični del, kjer smo izračunali oceno natančnosti merjenih horizontalnih kotov, zenitnih razdalj in dolžin. Enačbe, ki jih podajamo v poglavjih 2, 3 in 4, predstavljajo osnovo za dopolnitev računalniškega programa GeoPro (Geodetska družba d. o. o.), ki bo poleg postopka izravnave imel možnost izračuna pravilne ocene natančnosti merjenih količin. Enačbe so predstavljene dovolj sistematično in sledijo merski logiki na terenu, zato ocenjujemo, da bo zapis programske kode enostaven.

Kot dopolnitev teoriji smo izračun ocene natančnosti merjenih količin predstavili še na primeru iz prakse. Pri horizontalnih kotih smo izvedli dve možni oceni natančnosti, in sicer oceno natančnosti merjenja horizontalnih kotov iz odstopanj od aritmetične sredine in oceno natančnosti merjenja horizontalnih kotov z upoštevanjem pogreška začetne smeri. Pri zenitnih razdaljah smo prikazali in izračunali natančnosti merjenja zenitnih razdalj iz odstopanj od aritmetične sredine. Merjene dolžine smo reducirali samo na nivojsko ploskev, ki gre skozi presečišče osi instrumenta, saj nismo imeli podanih oziroma merjenih višin točk. Oceno natančnosti merjenja dolžin smo izvedli iz odstopanj od aritmetične sredine.

Dobljene rezultate lahko uporabimo za izravnavo, kjer s pomočjo ocene natančnosti merjenih količin σ izračunamo matriko uteži, ki predstavlja stohastični model izravnave. Na ta način želimo pokazati, da je za nadaljnja računanja, bolj kot privzeta vrednost, ki jo deklarira proizvajalec uporabljene merske opreme, korektnjša ocena natančnosti, izračunana iz dejanskih meritev.

VIRI

Ambrožič, T. 2008/2009. Predavanja Geodezija 2. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Ježovnik, V. 2006/2007. Predavanja Geodezija 1. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 159 str.

Mihailović, K. 1981. Geodezija II, 1. deo. Beograd, Građevinska knjiga: 548 str.

Mihailović, K., Vračarić, K. 1984. Geodezija I. Beograd, Naučna knjiga: 837 str.

Skriti dokumenti. 2012. http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Inzenirska_geodezija-Berdajs_Ulbl.pdf (Pridobljeno 20. 08. 2012.)