

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:

Šuštar, T., 2015. Določitev nevertikalnosti zvonika v Črnem Kalu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 29 str.

Datum arhiviranja: 21-12-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Šuštar, T., 2015. Določitev nevertikalnosti zvonika v Črnem Kalu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 29 pp.

Archiving Date: 21-12-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

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

Kandidat:

TOMAŽ ŠUŠTAR

**DOLOČITEV NEVERTIKALNOSTI ZVONIKA V
ČRNEM KALU**

Diplomska naloga št.: 54/TUN

**DETERMINATION OF NONVERTICALITY OF BELL
TOWER IN ČRNI KAL**

Graduation thesis No.: 54/TUN

Mentor:

doc. dr. Božo Koler

Somentor:

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 27. 11. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani TOMAŽ ŠUŠTAR izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:

»DOLOČITEV NEVERTIKALNOSTI ZVONIKA V ČRNEM KALU«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, november 2015

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Tomaž Šuštar
Mentor:	doc. dr. Božo Koler
Somentor:	asist. Tilen Urbančič
Naslov:	Določitev nevertikalnosti zvonika v Črnem Kalu
Obseg in oprema:	29 str., 5 pregl., 13 sl.
Ključne besede:	zvonik, geodetska mreža, trigonometrično višinomerstvo, nevertikalnost, Črni Kal

Izvleček:

V diplomski nalogi je opisan postopek in osnovne enačbe, potrebne za določitev nevertikalnosti zvonika. S klasično geodetsko izmero smo izmerili geodetsko mrežo. Na terenu smo izmerili meteorološke parametre, ki smo jih kasneje uporabili pri redukciji dolžin. Izvedli smo ločeni izravnavi horizontalne in višinske geodetske mreže. S točk geodetske mreže smo s polarno metodo izmerili karakteristične točke zvonika in tako pridobili njegov položaj in obliko. S pomočjo točk na temelju smo določili odklik osi zvonika od navpičnice, po določitvi višine zvonika pa tudi naklonski kot. Dobljene rezultate smo primerjali z rezultati obdelave oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja iz druge diplomske naloge.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.2(497.4)(043.2)
Author:	Tomaž Šuštar
Supervisor:	Asist. Prof. Božo Koler, Ph.D.
Co-supervisor:	Assist. Tilen Urbančič, B.Sc
Title:	Determination of nonverticality of bell tower in Črni Kal
Document tipe:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes:	29 p., 5 tab., 13 fig.
Key words:	bell tower, geodetic network, trigonometric levelling, nonverticality, Črni Kal

Abstract:

This graduate thesis presents methods and basic equations needed for practical determinations of non verticality of the bell tower . Geodetic network was established in local coordinate system, measured with classic terrestrial surveying methods, together with meteorological parameters, needed for distance reduction calculation. Separately, horizontal and vertical procedures of least square adjustment was calculated. Based on points with adjusted coordinates, the characteristic points of bell tower was measured. Using the points located on the base stone and on the top of the bell tower, the hight and lean angle was calculated. These results were compared with results of terrestrial laser scanning thesis.

»Ta stran je namenoma prazna«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Božu Kolerju za vodenje in pomoč pri izdelavi te diplomske naloge.

Zahvala gre asist. Tilnu Urbančiču za pomoč pri terenski izmeri, vodenje skozi izračune in izzive izdelave te diplomske naloge. Hvala tudi profesorjem, ki so mi tekom študija pojasnili marsikatero vprašanje o geodeziji.

Hvala tudi Tanji, ki je pomagala pri terenski izmeri zvonika ter mojim sošolcem in kolegom, ki so študij spremenili v nepozabno izkušnjo.

Najlepše se zahvaljujem svoji družini za vso podporo in puncu Mateji, ki je z mano prehodila najlepša študentska leta.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE METOD ZA DOLOČITEV NEVERTIKALNOSTI ZVONIKA	2
2.1	Izbira točk geodetske mreže.....	2
2.2	Metoda izmere.....	3
2.3	Uporabljen instrumentarij.....	3
3	OBDELAVA MERJENIH KOLIČIN	5
3.1	Obdelava podatkov.....	5
3.2	Redukcija dolžin.....	8
3.2.1	Meteorološki popravki.....	8
3.2.2	Geometrijski popravki.....	10
3.2.3	Projekcijski popravki.....	11
4	IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE	13
4.1	Izravnava horizontalne geodetske mreže.....	13
4.1.1	Analiza natančnosti horizontalne izravnave.....	14
4.2	Vertikalna izravnava geodetske mreže.....	15
5	IZRAČUN LOKALNIH KOORDINAT IN NADMORSKIH VIŠIN DETAJLNIH TOČK	16
5.1	Izračun višin detajlnih točk.....	18
6	IZRAČUN NAKLONKEGA KOTA IN ODKLONA VRHA ZVONIKA	19
6.1	Izračun višine zvonika.....	19
6.2	Izračun naklonskega kota γ	20
7	PRIMERJAVA IZRAČUNANIH KOLIČIN	25
7.1	Vpliv vizure na določitev točke pod jabolkom.....	25
7.2	Vpliv oddaljenosti stojišča na natančnost določitve geometrije krogle pri TLS.....	26
8	ZAKLJUČEK	27
	VIRI	28

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO SLIK

Slika 1: Skica geodetske mreže	2
Slika 2: Tahimeter Leica Geosystems TCRP1201+ R1000 na stativu	4
Slika 3: Redukcija dolžine z merjeno zenitno razdaljo na izbran višinski nivo (Kogoj, 2005)	11
Slika 4: Elipse napak na točkah geodetske mreže	14
Slika 5: Izračun smernega kota detajlnim točkam	16
Slika 6: Redukcija poševno merjene dolžine na horizontalno ravnino	17
Slika 7: Določitev višinske razlike detajlne točke z enostransko merjeno zenitno razdaljo	18
Slika 8: Določitev višine jabolka na zvoniku	20
Slika 9: Izračun naklonskega kota zvonika	21
Slika 10: Prerez jabolka na vrhu zvonika	22
Slika 11: Izhodišče višin od temelja in od vrha jeklene traverze	23
Slika 12: Smer nagiba zvonika	24
Slika 13: Vpadni kot vizur s točk 3000, 2000 in 4000 na jabolko zvonika	26

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki tahimetra Leica Geosystems TCRP 1201+ R1000.....	4
Preglednica 2: Reducirane dolžine stranic v geodetski mreži	12
Preglednica 3: Izravnane koordinate in višine točk v mreži ter standardni odkloni količin	15
Preglednica 4: Primerjava izračunanih količin v odvisnosti od višine temelja	23
Preglednica 5: Primerjava rezultatov med polarno geodetsko izmero in TLS	25

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Izvor besede geodezija se nanaša na izmero ali meritve Zemlje, na mikro območju pa lahko metode geodezije uporabimo za določitev dimenzij, lege in deformacij objektov. V tej diplomski nalogi je predstavljen problem določitve nagiba zvonika cerkve Sv. Valentina v vasi Črni Kal.

Vas Črni Kal je naselje v primorskem zaledju in spada v občino Koper. Kraj poleg modernega viadukta, mimo katerega ne more oko inženirja in nosi krajevno ime, premore še najstarejšo stanovanjsko hišo v občini, porušen grad na kamnitem osamelcu iz 11. stoletja in kamnito plezalno steno. Zvonik je s svojo figuro zaščitni znak naselja. Sezidali so ga leta 1802-1807 pod vodstvom mojstra Giana Battiste Pozzolija. V preseku meri 4 x 4 m in je v celoti zgrajen iz kamna. Njegova značilnost je tudi odprta rebrasta kupola iz kamna, pod katero je konstrukcija s tremi zvonovi. Največji zvon je bil ulit leta 1807. Zaradi velike teže zvonika in mehke, krušeče flišne podlage se je zvonik začel nagibati. Po letu 1997 je zvonik z jeklenico pripet na sidro, ki se nahaja severovzhodno od zvonika. Zvonik je obdan z jeklenimi traverzami dolžine 4 m in višine 20 cm (Mužič, 2012).

Za določitev kota nagiba in horizontalnega odmika središča pečlja pod jabolkom na vrhu zvonika, od središča zvonika na nivoju temeljev, smo uporabili polarno geodetsko izmero. Koordinate geodetske mreže so izračunane v lokalnem koordinatnem sistemu.

Za polarno geodetsko izmero smo uporabili sekundni tahimeter Leica Geosystems TCRP 1201+R1000, z avtomatsko registracijo horizontalnih smeri in zenitnih razdalj, ter možnostjo merjenja dolžin brez reflektorja. Za izmero geodetske mreže smo uporabili prisilno centriranje na stativih. Horizontalne kote med točkami mreže smo izmerili po girusni metodi v treh girusih. Hkrati smo registrirali tudi merjene zenitne razdalje in dolžine. Vse dolžine med točkami geodetske mreže smo reducirali na srednji nivo točk v mreži. Geodetsko mrežo smo izravnali ločeno vertikalno – s programom VimWin ver. 5.1 (Ambrožič in Turk, 2007) in horizontalno – s programom GEM 4.0 (Ambrožič in sod, 2005). Sredino zvonika smo definirali kot srednjo smer proti skrajnemu levemu in desnemu vidnemu robu pečlja pod jabolkom na vrhu zvonika. Položaj sredine pečlja tako predstavlja presek srednjih smeri opazovanih iz treh različnih stojišč. Z uporabo trigonometričnega višinomerstva smo izračunali višino zvonika. Iz izračunanih koordinat detajlnih točk na temelju in vrhu zvonika, smo po Pitagorovem izreku izračunali odklik vrha zvonika od navpičnice na temelju, naklonski kot zvonika pa s kotnimi funkcijami.

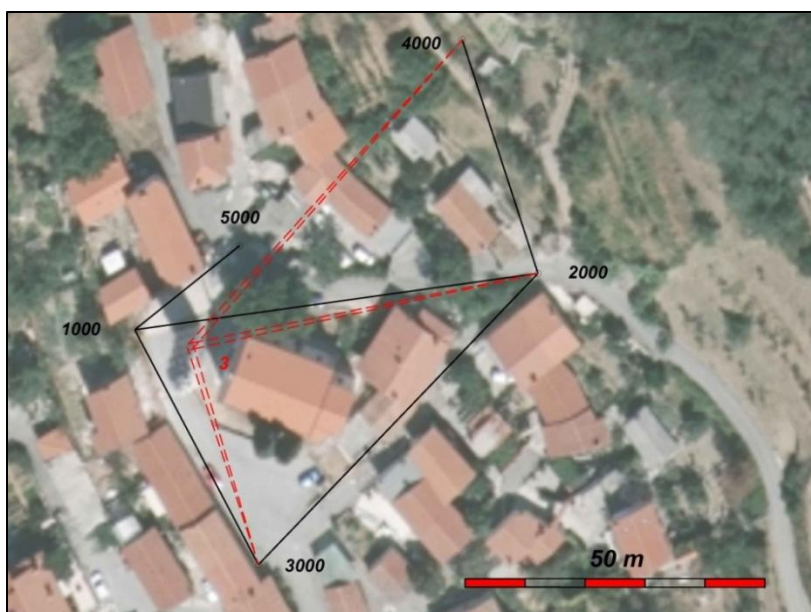
2 TEORETIČNE OSNOVE METOD ZA DOLOČITEV NEVERTIKALNOSTI ZVONIKA

Naklonski kot visokega objekta najbolj natančno in smotrno določamo s polarno geodetsko izmero in trigonometričnim višinomerstvom. Pri polarni geodetski izmeri, merimo horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine.

2.1 Izbira točk geodetske mreže

Premike in deformacije objekta, v našem primeru nagib zvonika, smo ugotavljali z opazovanjem karakterističnih točk objekta. Za ta namen smo na terenu v okolici zvonika vzpostavili geodetsko mrežo. Geodetske točke smo v okolici zvonika razporedili tako, da smo vrh zvonika opazovali s treh stojišč. Oblika geodetske mreže vpliva na natančnost določitve pravokotnih koordinat točk in ugoden presek vizur v smislu triangulacije. Stojišča so bila postavljena tako, da je presek vizur s stojišč proti vrhu zvonika tvoril kot blizu 90° . S kombinacijo kotnih in dolžinskih opazovanj omilimo obliko geodetske mreže, ki ni optimalna. Zaradi majhnih dimenzij mreže, na natančnost določitve pravokotnih koordinat točk v mreži bolj vplivajo opazovanja smeri (Ambrožič, 2013).

Na sliki 1 je predstavljena geodetska mreža. Stojišča 1000, 2000 in 3000 tvorijo trikotnik, kjer je s posameznega stojišča možno opazovati horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine proti najmanj dvema točkama mreže. Proti točki 4000 smo količine merili le s stojišča 2000. Točka 5000, ki je vključena v geodetsko mrežo, je bila izmerjena le z enega stojišča v eni krožni legi. S te točke smo izmerili rob temelja zvonika, katerega s točke 1000 nismo mogli.



Slika 1: Skica geodetske mreže

2.2 Metoda izmere

Horizontalne smeri smo izmerili v treh girusih. Obenem smo zenitne razdalje in poševne dolžine merili trikrat v obeh krožnih legah. V prvi krožni legi smo opazovali horizontalne smeri proti točkam geodetske mreže v smeri urinega kazalca, v drugi krožni legi pa v obratni smeri. Prva vizura proti prvi točki je hkrati tudi zadnja. Iz razlik horizontalnih smeri smo izračunali horizontalne kote (Mihailović, 2008).

Ker ima kovinski del pod jabolkom obliko valja, ni bilo mogoče točno določiti sredine, zato smo vizirali na skrajni levi in desni rob pečlja. Kasneje smo iz opazovanih horizontalnih smeri na levi in desni rob pečlja izračunali povprečje opazovanih levih in desnih horizontalnih smeri. To povprečje smeri predstavlja sredino pečlja.

Položaj točk predstavlja presečišče X, Y in Z osi tahimetra na vsakem stojišču. Geodetsko mrežo smo izmerili z uporabo prisilnega centriranja. Pri izmeri mreže smo uporabljali stativo in podnožja z optičnim grezilom ter dozno libelo za grobo in cevno libelo za fino horizontiranje. Z žepnim merskim trakom smo izmerili višine instrumenta in reflektorjev.

2.3 Uporabljen instrumentarij

Za izmero geodetske mreže in detajlnih točk na zvoniku smo uporabili:

- tahimeter Leica Geosystems TCRP 1201 + R1000,
- 5 stativov,
- 3 precizne reflektorje (GPR111 in GPH1)
- 1 žepni merski trak
- 1 živosrebrni termometer
- 1 žepni barometer

Preglednica 1: Tehnični podatki tahimetra Leica Geosystems TCRP 1201+ R1000

Območje delovanja	Od -20°C do +50°C
Ločljivost dozne libele	8'/2mm
Ločljivost elektronske libele	30"/2mm
Doseg merjenja dolžin	1,5-1200 m
Način čitanja na krogih	Absolutna statična metoda
Način merjenja dolžin	Fazna metoda
Nosilno valovanje	0,658 μ m
Merska frekvenca / Valovna dolžina	50Mhz/3m
Referenčni pogoji: n_0 , p_0 , t_0	1,0002863, 1013,25 hPa, 12°C
Natančnost opazovanja smeri: $\sigma_{ISO-17123-3}$	1"
Natančnost merjenja dolžin: $\sigma_{ISO-17123-4}$	1 mm + 1.5 ppm
Natančnost merjenja dolžine brez reflektorja: $\sigma_{ISO-17123-4}$	2 mm + 2 ppm



Slika 2: Tahimeter Leica Geosystems TCRP1201+ R1000 na stativu

Opisani tahimeter smo izbrali, ker ustreza zahtevam po natančnosti izmere geodetske mreže. Iz podatkov o natančnosti merjenja smeri in dolžin točneje določimo referenčno varianco a-priori σ_0^2 za izravnavo mreže. Za izmero meteoroloških parametrov smo uporabili preizkušen živosrebni termometer in žepni barometer. Meteorološke parametre smo uporabili za izračun popravkov pri redukciji dolžin.

3 OBDELAVA MERJENIH KOLIČIN

3.1 Obdelava podatkov

Podatke izmere smo izvozili v GSI datoteko s 16 bitnim zapisom. Za boljšo obvladljivost rezultatov smo statistične izračune izvedli ročno v programu Microsoft Office Excel. Ločili smo obdelavo horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševnih dolžin. Uredili smo številčenje opazovanj po vrstnem redu, kot ga narekuje menjavanje krožnih leg.

Izračunali smo sredine horizontalnih smeri in zenitnih razdalj, odstopanje smeri med girusi, popravke smeri in empirični standardni odklon smeri po ISO standardu 17123-3. Iz opazovanih horizontalnih smeri (enačba 1) in zenitnih razdalj (enačba 3) smo izračunali sredine smeri v prvi in drugi krožni legi.

Izračun sredine opazovanih horizontalnih smeri v obeh krožnih legah:

$$\alpha_{j,k}^{Hz} = \frac{\alpha_{j,k}^I + \alpha_{j,k}^{II} \pm 200gon}{2} \quad (1)$$

kjer so:

j indeks opazovane horizontalne smeri ($j = 1 - n$),

k indeks girusa ($k = 1 - n$).

$\alpha_{j,k}^I$ opazovana horizontalna smer v prvi krožni legi,

$\alpha_{j,k}^{II}$ opazovana horizontalna smer v drugi krožni legi.

Izračun sredine girusov za opazovane horizontalne smeri:

$$\bar{\alpha}_k = \frac{\alpha'_{1,k} + \alpha'_{2,k} + \alpha'_{3,k} + \dots + \alpha'_{n,k}}{n} \quad (2)$$

kjer sta:

n število girusov: $n = 3$,

$\alpha'_{1-n,k}$ srednje vrednosti opazovanih horizontalnih smeri iz obeh krožnih leg.

Izračun sredine med dvema krožnima legama pri zenitnih razdaljah:

$$z_{i,j} = \frac{v_{j,k}^I + v_{j,k}^{II} \pm 400gon}{2} \quad (3)$$

kjer so:

j indeks opazovane zenitne razdalje ($j = 1 - n$),

k indeks girusa ($k = 1, 2, 3$),

$v_{j,k}^I$ opazovana zenitna razdalja v prvi krožni legi,

$v_{j,k}^{II}$ opazovana zenitna razdalja v drugi krožni legi.

Izračun sredine girusov za opazovane zenitne razdalje:

$$\bar{z}_k = \frac{z'_{1,m} + z'_{2,m} + z'_{3,m} + \dots + z'_{n,m}}{m} \quad (4)$$

kjer sta:

m število girusov: $m = 3$,

$z'_{1-n,k}$ srednje vrednosti opazovanih horizontalnih smeri iz obeh krožnih leg.

Za vsako horizontalno smer in zenitno razdaljo v girusih smo izračunali sredino smeri vseh treh girusov (enačba 2 in 4). Razlika med aritmetično sredino in merjeno horizontalno smerjo ali zenitno razdaljo se izračuna za vsako smer (ISO 17123-3).

Izračun aritmetične sredine izmerjene dolžine:

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3}}{3} \quad (5)$$

kjer sta:

j indeks merjene dolžine,

$d_{j,n}$ sredina izmerjene dolžine v prvi in drugi krožni legi.

Iz izračunanih sredin za horizontalne smeri izračunamo popravke za vsak girus:

$$r_{j,k} = x_{j,k} - \bar{x}_j \quad (6)$$

kjer je:

x izmerjena količina

\bar{x} izračunana sredina računane količine

j indeks merjene količine ($j = 1 - n$),

k indeks girusa ($k = 1, 2, 3$).

Vsak girus mora zadoščati pogoju v enačbi 7. Opravimo preizkus:

$$\sum_{k=1}^n r_{j,k} = 0 \quad (7)$$

kjer sta:

j indeks opazovane količine ($j = 1 - n$),

k indeks girusa ($k = 1, 2, 3$).

Popravke smeri za vsak girus kvadriramo in seštejemo:

$$\sum r^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n r_{j,k}^2 \quad (8)$$

Število prostostnih stopenj smo izračunali iz števila girusov in opazovanih smeri:

$$v = (3 - 1) \cdot (m - 1) \quad (9)$$

Z enačbama 8 in 9 lahko sestavimo enačbo za izračun empiričnega standardnega odklona v miligonih (enačba 10), ki nam pove natančnost opazovanja smeri ali dolžin v treh girusih:

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{v}} \quad (10)$$

Za horizontalne smeri empirični standardni odklon posameznega girusa delimo s korenem števila girusov:

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Rezultati izračuna natančnosti za merjene količine v geodetski mreži so v **prilogi B**.

3.2 Redukcija dolžin

Na terenu so bile poševne dolžine izmerjene z elektrooptičnim razdaljemerom. Laserski žarek potuje skozi zrak, pri čemer se njegova pot deformira zaradi pogojev, ki vladajo v atmosferi. Dolžina je merjena na nadmorski višini in zato še ni primerna za izračun na izbranem višinskem nivoju. Dolžine moramo reducirati in jih računsko popraviti za izračunano vrednost (Kogoj, 2005).

3.2.1 Meteorološki popravki

3.2.1.1 Prvi popravek hitrosti

Pri merjenju dolžin z elektronskim razdaljemerom moramo upoštevati dejavnike okolja, ki vplivajo na hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja. Ker sprememba delnega tlaka vodne pare pomeni približno 0,3 ppm, ga smemo pri kratkih razdaljah zanemariti (Ambrožič, 2013).

Pri merjenju dolžin z elektronskim razdaljemerom ima modulacijska valovna dolžina λ_M določeno nominalno vrednost. Ta je odvisna od nominalnega lomnega količnika n_0 , ki ga proizvajalec z enakimi referenčnimi pogoji določi za vse razdaljemere (Kogoj, 2005).

$$n_0 = n(\lambda_{Neff}, t_0, p_0, e_0)$$

Najprej izračunamo grupni lomni količnik n_G na podlagi efektivne valovne dolžine λ_{Neff} in empirično določenih konstant A, B in C (Ambrožič, 2013).

$$(n_G - 1) \cdot 10^6 = A + 3 \cdot \frac{B}{\lambda_{Neff}^2} + 5 \cdot \frac{C}{\lambda_{Neff}^4} \quad (12)$$

kjer so:

λ valovna dolžina nosilnega valovanja ($\lambda = 0,658$ nm),

A, B, C empirično določene konstante, (A = 287.6155, B = 1.62887, C = 0.01360).

Pri merjenju dolžin na terenu pa moramo upoštevati dejanski lomni količnik n_G ki ga izračunamo na osnovi izmerjenih meteoroloških parametrov:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha \cdot t} \cdot \frac{p}{1013,25} - \frac{4,125 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha \cdot t} \cdot e \quad (13)$$

kjer so:

n_G grupni lomni količnik po dejanskih meteoroloških parametrih,

p zračni tlak v torrih,

t temperatura v °C,

e delni tlak vodne pare v torrih,

α razteznostni koeficient zraka ($\frac{1}{273,16 \text{ °C}}$).

Člen e v enačbi 13 dobimo:

$$e = E_m - (t - t_m) \cdot \frac{K}{755} \cdot p \quad (14)$$

kjer so:

E_m nasičen tlak vodne pare v torrih,

t temperatura suhega termometra v psihrometru,

t_m temperatura mokrega termometra v psihrometru,

K empirično določena konstanta,

p tračni tlak v torrih.

Ker je optična pot za referenčne in dejanske pogoje enaka, dolžino refrakcijske krivulje D zapišemo kot funkcijo nominalnega lomnega količnika, dejanskega lomnega količnika in merjene dolžine D_a :

$$D = \frac{n_0}{n_D} \cdot D_a \quad (15)$$

Razliko med dolžinama predstavlja atmosferska korekcija k_n :

$$k_n = D_a - D \quad (16)$$

kjer sta:

D_a merjena dolžina,

D dolžina popravljena za prvi popravek hitrosti,

Atmosferska korekcija tako predstavlja prvi popravek hitrosti, ki ga izrazimo kot eno enoto na milijon enot oz ppm .

3.2.1.2 *Drugi popravek hitrosti*

Drugi popravek hitrosti obravnava dejstvo, da ukrivljenost površine Zemlje in ukrivljenost svetlobnega žarka ne sovpadata, ker slednji zaradi manjše ukrivljenosti prehaja skozi gostejše zračne plasti bližje površini (Kogoj, 2005).

Drugi popravek hitrosti je potrebno upoštevati pri daljših dolžinah, saj pri dolžinah večjih od 65 km presega velikost 1 ppm (Ambrožič, 2013). Ker so stranice naše geodetske mreže bistveno krajše, lahko popravek izpustimo.

3.2.2 Geometrijski popravki

Dolžina, ki jo izmerimo z razdaljemerom predstavlja dolžino prostorske krivulje, mi pa moramo določiti dolžino tetive krivulje. Popravek izračunamo, odvisen pa je od koeficienta refrakcije. Ta je v našem prostoru in v normalnih pogojih izmere enak $k = 0,13$. Ker je pri dolžinah do 100 km popravek manjši od 1 ppm, lahko računanje tega koeficienta izpustimo (Kogoj, 2005). Popravek dolžine, ki nastane zaradi ukrivljenosti merskega žarka izračunamo po enačbi:

$$S_r = D - k^2 \cdot \frac{D^2}{24 \cdot R^2} \quad (17)$$

kjer je:

k koeficient refrakcije,

R polmer Zemlje,

D dolžina popravljena za prvi popravek hitrosti.

Izračun popravka zaradi vertikalne ekscentricitete je odvisen od razpoložljivih podatkov. Podane imamo lahko višine točk ali, kot v našem primeru, merjeno zenitno razdaljo med točkama. Tu lahko zaradi majhne razlike med višinama instrumenta in reflektorja predpostavimo, da sta vertikali v dveh točkah geodetske mreže med seboj vzporedni. Po enačbi 18, izračunamo dolžino S_p , ki se nahaja v višini presečišča X, Y in Z osi instrumenta in sovpada z naklonskim kotom dolžine (Kogoj, 2005):

$$S_p = S_r - (l - i) \cdot \cos z_r + \frac{[(l-i) \cdot \sin z_r]^2}{2 \cdot S_r} \quad (18)$$

kjer je:

i višina instrumenta,

l višina reflektorja.

V enačbo 18 vstavimo popravljeno z_r :

$$z_r = z' + \frac{S_r}{2R} k \quad (19)$$

kjer je:

z' merjena zenitna razdalja.

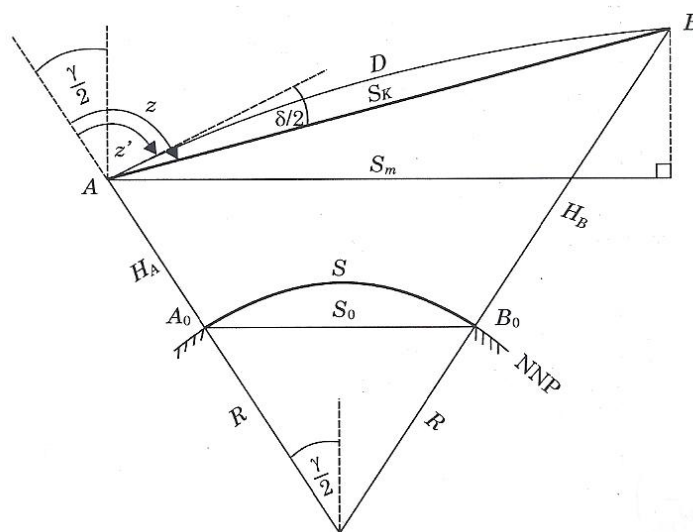
Višinsko ekscentriciteto popravimo s spustom dolžine na nivo kamen-kamen:

$$S_k = S_p - \frac{i - S_p}{R} \quad (20)$$

3.2.3 Projekcijski popravki

Dolžine, ki jih v geodeziji uporabljamo za računanje koordinat točk (razen detajlnih), moramo reducirati na horizontalno ravnino. V zadnji fazi izračuna popravkov pa smo vse razdalje reducirali še na izbrano nivojsko ploskev. V našem primeru smo za referenčno višino ploskve izbrali srednji nivo vseh točk v mreži, ker smo si s tem zagotovili majhne popravke. Večja kot je višinska razlika med trenutnim nivojem dolžine in ničelnim oz. izbranim nivojem, večji je popravek dolžine.

Dolžina D je izmerjena z instrumentom in ima obliko prostorske krivulje. S_k je tetiva prostorske krivulje in je pripeta na točki A in B. S_m je dolžina na srednji nadmorski višini, S_0 pa razdalja med točkama na izbranem višinskem nivoju (slika 3).



Slika 3: Redukcija dolžine z merjeno zenitno razdaljo na izbran višinski nivo (Kogoj, 2005)

V prvem koraku izračuna popravkov dolžin izvedemo horizontiranje dolžine:

$$S_m = S_r \cdot \sin(z' + \varepsilon), \quad (21)$$

kjer člen ε predhodno izračunamo po enačbi:

$$\varepsilon = \frac{S_k}{2R} \cdot (k - \sin z') \quad (22)$$

Dolžino na izbran nivo reduciramo z enačbo:

$$S_0 = S_m \cdot \frac{R+H_0}{R+H_0+H_m} \quad (23)$$

kjer je:

H_0 nadmorska višina izbranega nivoja,

H_m srednja nadmorska višina izračunana po spodnji enačbi:

$$H_m = \frac{(H_A - H_0) + (S_k \cdot \cos(z_k))}{2} \quad (24)$$

z_k iz enačbe 24, dobimo po enačbi 25:

$$z_k = z_r + \tan^{-1} \left(\frac{(l-i) \cdot \sin(z_r)}{S_r - (l-i) \cdot \cos(z_r)} \right) \quad (25)$$

H_0 je enak nadmorski višini točke 3000. Koraki omenjenih redukcij dolžin in vmesni rezultati so zbrani v **prilogi C**.

Preglednica 2: Reducirane dolžine stranic v geodetski mreži

T_i	T_j	S_0 [m]
3000	1000	45,749
1000	3000	45,749
3000	2000	67,069
2000	3000	67,069
1000	2000	65,765
2000	1000	65,765
2000	4000	41,872
4000	2000	41,872
1000	5000	22,095

4 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE

4.1 Izravnavna horizontalne geodetske mreže

Z reduciranimi dolžinami in reduciranimi horizontalnimi smerni smo izračunali lokalne koordinate točk v mreži. Izbrani koordinatni sistem ni poljuben, saj smo koordinate točk 3000 in 1000 določili grafično iz DOF5. Koordinate točk v D48/GK smo izrisali v programu AutoCAD in grafično izmerili smerni kot $v_{3000}^{1000} = 328^\circ$ oz. 364.44444° . Koordinatni razliki Δy in Δx med točkama 3000 in 1000 smo izračunali s spodnjima enačbama, te pa prišteli Y in X koordinatam točke 3000 (Kuhar, 2008):

$$\begin{aligned}\Delta y &= \sin v_{3000}^{1000} \cdot S_{03000}^{1000} \\ \Delta x &= \cos v_{3000}^{1000} \cdot S_{03000}^{1000}\end{aligned}\tag{26}$$

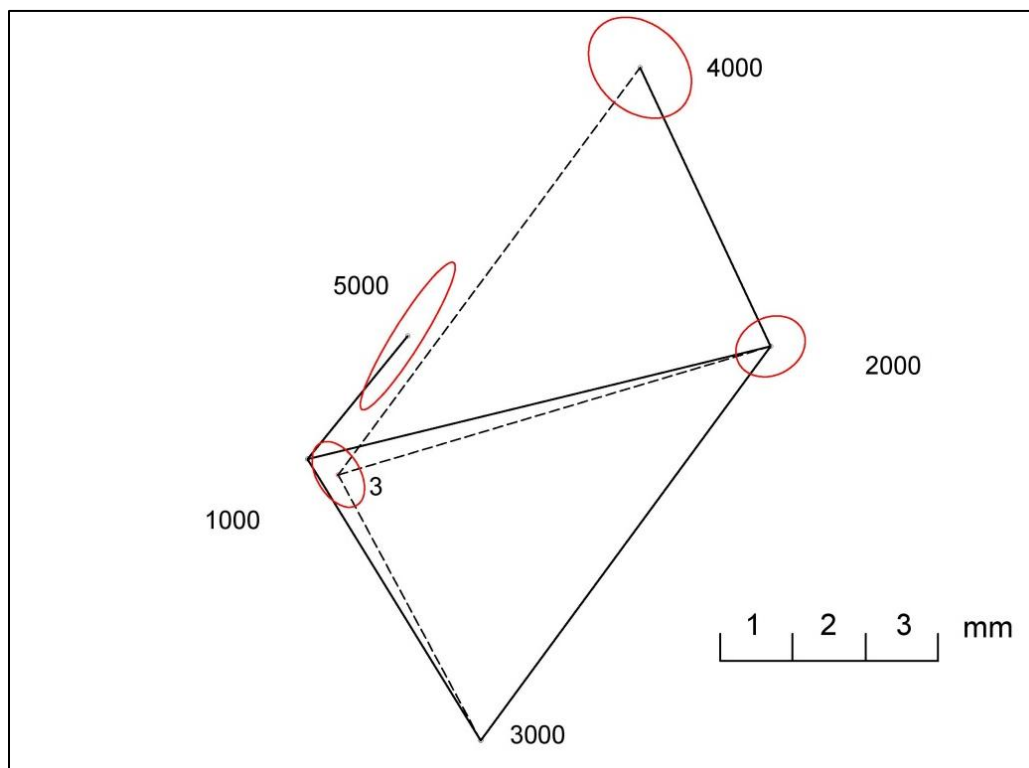
S pomočjo dobljenih koordinat točk 3000 in 1000, ter zgoraj zapisanih enačb smo izračunali koordinate ostalim točkam v mreži.

Horizontalno geodetsko mrežo smo izravnali s pomočjo programa GEM 4.0, po metodi najmanjših kvadratov. Vhodna datoteka (*.pod) za program je sestavljena iz koordinat danih točk, približnih koordinat novih točk, kotnih in dolžinskih opazovanj ter ukazov, ki programu povejo željen izpis koordinat ter natančnost vnesenih opazovanj (Ambrožič, 2013). Rezultat izravnavne je tekstovna datoteka s končnico *.GEM (**Priloga D**).

Z aritmetično sredino opazovanih horizontalnih smeri proti levi in desni strani vrha zvonika dobimo srednjo horizontalno smer proti sredini vrha zvonika. Točko smo imenovali točka 3. Srednjo horizontalno smer proti tej točki, uporabimo kot vhodni podatek za izravnavo točke 3. Koordinati točke 3 smo v programu GEM 4.0 izračunali s triangulacijo smeri s stojišč 3000, 2000 in 4000.

4.1.1 Analiza natančnosti horizontalne izravnave

Rezultat izravnave je tudi ocenjena kakovost opazovanj. Iz izravnave po metodi najmanjših kvadratov sledi tudi izračun parametrov elips napak, manjše polosi a , večje polosi b in smernega kota zasuka Θ (Stopar in Setrle, 2013). Na danih točkah 3000 in 1000 nimamo izračunanih parametrov, ker so njihove koordinate podane kot absolutne. Položaj točk 3 in 2000 je določen boljše, kot pri točki 4000, katere položaj je izračunan posredno preko točke 2000. Točke 5000 nismo opazovali po girusni metodi ampak smo jo določili le v eni krožni legi, zato je standardni odklon določitve koordinat na tej točki največji v mreži. Polne črte v mreži na sliki 1 pomenijo opazovane smeri in dolžine, črtkane črte pa opazovane smeri v treh girusih s treh stojišč na točko 3.



Slika 4: Elipse napak na točkah geodetske mreže

Največji standardni odklon koordinat v mreži znaša 1 mm, najmanjši pa 0,4 mm. Izravnava nam pokaže, da sta točki 2000 in 3 določeni s precej boljše natančnostjo kot točki 4000 in 5000 (preglednica 3). Točki 3000 in 1000 sta dani točki z absolutnima koordinatama, zato na njih ni izračunanih standardnih odklonov.

Standardni odklon smeri v mreži je znašal 1,3 ", odklon dolžin pa 1,23 mm. Rezultati izvedene horizontalne izravnave geodetske mreže so navedeni v **prilogi D**.

4.2 Vertikalna izravnava geodetske mreže

Reducirane dolžine so primerne za izračun iskanih vrednosti v geodetski mreži. Z reduciranimi dolžinami izračunamo višinske razlike med točkami, ki so vključene v geodetsko mrežo. Višinske razlike med točkami izračunamo po enačbi (Ambrožič, 2013):

$$\Delta h = S_k \cdot \sin(z) + \frac{S_k^2}{2R} \cdot (1 - k) \cdot \sin(z) \quad (27)$$

kjer je:

S_k dolžina reducirana na nivo kamen-kamen,

z merjena zenitna razdalja,

k koeficient refrakcije,

R polmer Zemlje.

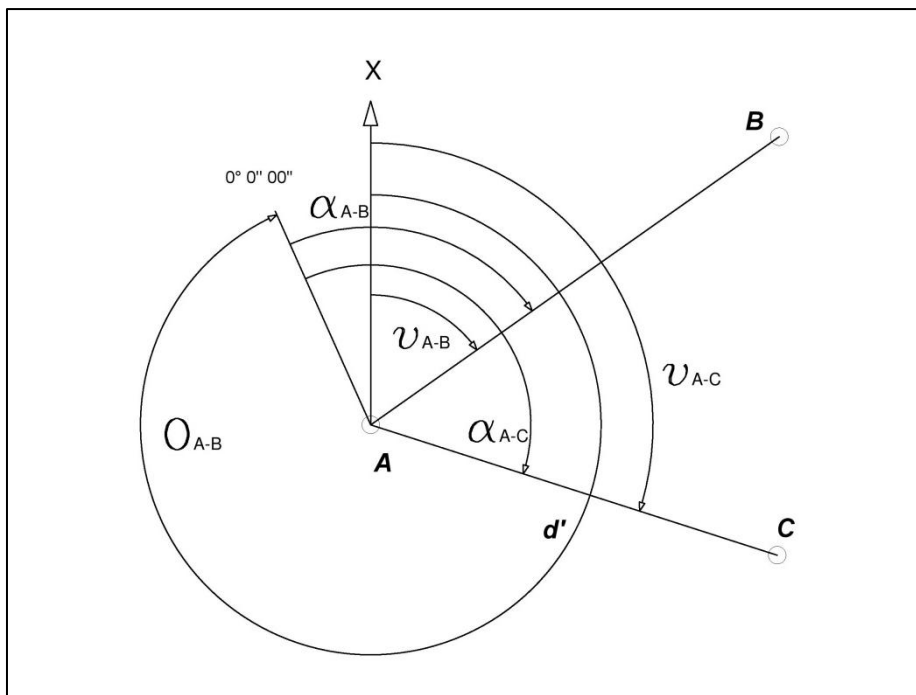
Izračunane višinske razlike smo prišteli višini točke 3000. Višina 260 m za točko 3000 je bila za potrebe redukcije dolžin določena s spletne karte. Približno določena višina velja za neko izohipso v bližini mreže. Točkama 5000 in 4000, ki nista bili neposredno opazovani s točke 3000, smo izračunali višino posredno preko točk 1000 in 2000. Mrežo smo v vertikalnem smislu izravnali s pomočjo programa VimWin. Pri tem smo pripravili vhodno datoteko v tekstovni obliki (*.pod). Vhodna datoteka je sestavljena iz vrstic, ki zaporedno vsebujejo imena danih točk in njihovih višin, imena novih točk, njihove približne višine, višinske razlike med točkami in dolžine med točkami izražene v kilometrih. Program po ukazani izravnavi v mapo z vhodno datoteko zapiše tekstovne datoteke, ki vsebujejo podatke o vnesenih točkah, njihovih višinah in parametre izravnave (Ambrožič, 1999). Datoteka z rezultati (*.rez) nam nudi vse podatke o izravnavi, višinah novih točk in standardnih odklonih višin. Pri izravnavi višinske mreže določitev približnih višin ni ključna, zato smo vsem točkam razen dani točki 3000, pripisali višino 0 m. Največji standardni odklon višine znaša 0,71 mm, najmanjši pa 0,45 mm. Izravnava je pokazala zelo dobre rezultate, saj so tako standardni odkloni definitivnih višin, kot višinskih razlik manjši od 1 mm. Rezultati izravnave so zbrani v **prilogi E**.

Preglednica 3: Izravnane koordinate in višine točk v mreži ter standardni odkloni količin

Točka	Y [m]	X[m]	H[m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_H [mm]
3000	412797,000	45765,000	260,000	/	/	/
1000	412772,757	45803,797	264,109	/	/	0,5
2000	412836,733	45819,034	269,988	0,5	0,4	0,5
4000	412818,971	45856,952	278,237	0,7	0,7	0,7
5000	412786,890	45820,781	266,978	0,8	1,0	0,7
3	412779,424	45802,000	288,402	0,4	0,4	/

5 IZRAČUN LOKALNIH KOORDINAT IN NADMORSKIH VIŠIN DETAJLNIH TOČK

Pravokotne koordinate detajlnih točk smo izračunali s pomočjo merjene poševne dolžine reducirane na horizontalno ravnino in horizontalnega kota. Slednjemu smo odšteli orientacijski kot.



Slika 5: Izračun smernega kota detajlnim točkam

Predpostavimo, da imamo dani točki A in B, izračunati pa moramo pravokotne koordinate točke C. Izmerjeno imamo poševno dolžino d ter horizontalni smeri proti B in C. Smeri kot lahko izračunamo kot funkcijo koordinat točk A in B (Kuhar, 2008):

$$v_A^B = \arctan\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right) \quad (28)$$

Za izračun pravokotnih koordinat točke C potrebujemo smeri kot v_A^C in horizontalno razdaljo d . Smeri kot detajlne točke izračunamo s pomočjo orientacijskega kota. Kot je razvidno s slike 5, smeri kot v_A^C ustreza:

$$v_A^C = v_A^B + (\alpha_A^C - \alpha_A^B) \quad (29)$$

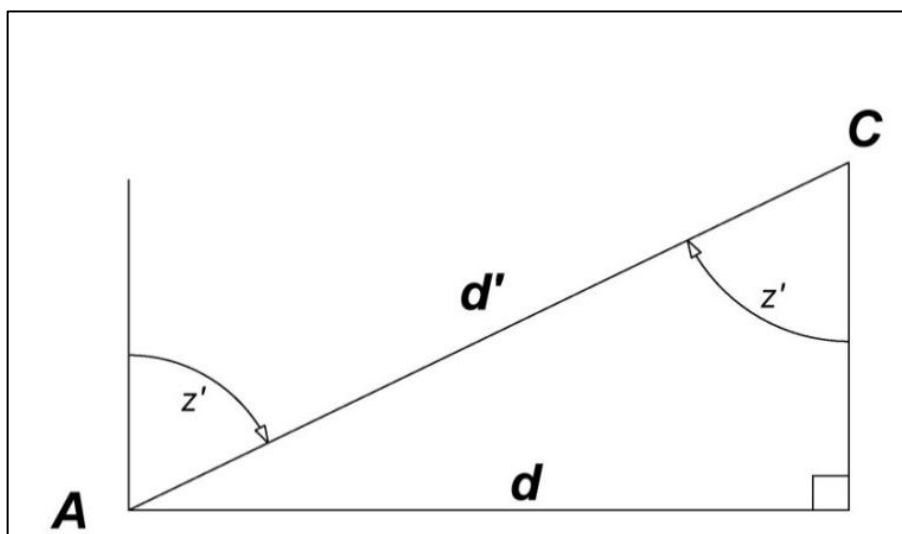
Merjeno poševno dolžino moramo za namen izračuna koordinat točk reducirati na horizontalno ravnino. Zaradi kratkih razdalj, lahko merjeno poševno dolžino reduciramo na horizontalno ravnino brez upoštevanja atmosfarske refrakcije in ukrivljenosti Zemlje. Napaka je ob tem zanemarljivo majhna, saj z merjenjem dolžine do detajlnih točk na zvoniku brez uporabe reflektorja, dosežemo manjšo natančnost.

Situacijo redukcije poševno merjene dolžine ponazorimo s pravokotnim trikotnikom (slika 6). Poševno merjeno dolžino do detajlne točke C, lahko reduciramo na horizontalno ravnino s pomočjo sinusnega izreka (Kuhar, 2008):

$$\frac{\sin(z')}{d} = \frac{\sin(90^\circ)}{d'} \quad (30)$$

Enačbo poenostavimo, ker velja: $\sin(90^\circ) = 1$. Po sklepnem računu dobimo enačbo:

$$d = \sin(z') \cdot d' \quad (31)$$



Slika 6: Redukcija poševno merjene dolžine na horizontalno ravnino

Pravokotni koordinati detajlnih točk izračunamo iz zgoraj izračunanih smernih kotov in reduciranih dolžin po koordinatnem računu:

$$\begin{aligned} \Delta y &= \sin v_A^C \cdot d_A^C \\ \Delta x &= \cos v_A^C \cdot d_A^C \end{aligned} \quad (32)$$

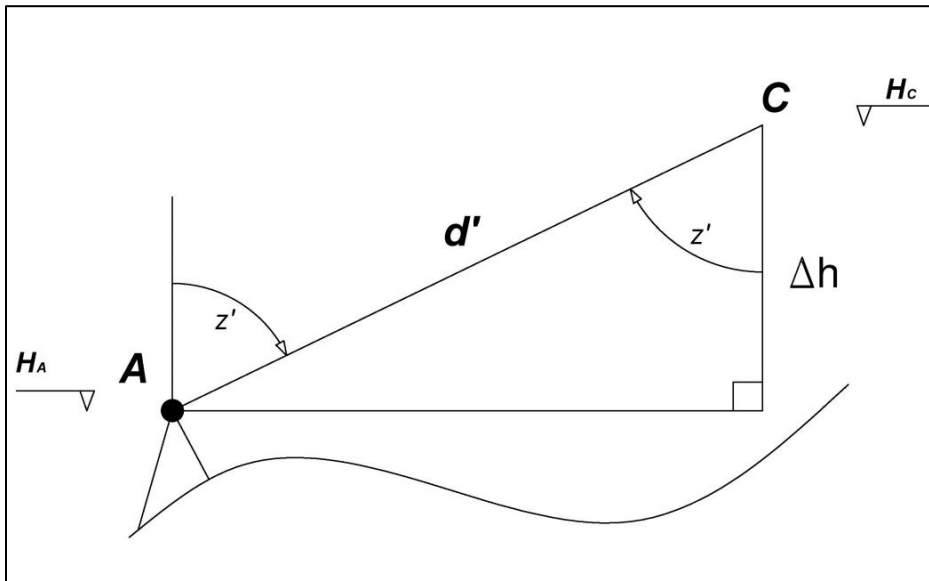
$$Y_C = Y_A + \Delta y$$

$$X_C = X_A + \Delta x \quad (33)$$

Koordinatni razliki Δy in Δx izračunamo za vsako detajlno točko posebej in jo prištejemo koordinatam stojišča, s katerega smo detajlno točko opazovali.

5.1 Izračun višin detajlnih točk

Pri polarni detajlni metodi izmere, merimo tudi zenitno razdaljo do vsake detajlne točke. S slike 7 je razviden princip izračuna višinske razlike detajlnim točkam. Višinsko razliko prištejemo nadmorski višini stojišča, s katerega smo jo opazovali. Zaradi kratkih razdalj lahko zanemarimo vpliv atmosfarske refrakcije in ukrivljenosti Zemlje.



Slika 7: Določitev višinske razlike detajlne točke z enostransko merjeno zenitno razdaljo

Iz zgornje slike lahko izpeljemo enačbo:

$$\cos(z') = \frac{\Delta h}{d'} \quad (34)$$

ter ga preuredimo:

$$\Delta h = \cos(z') \cdot d' \quad (35)$$

Nadmorsko višino detajlnih točk dobimo, ko posamezno višinsko razliko Δh prištejemo nadmorski višini stojišča, s katerega smo detajlne točke opazovali:

$$H_C = H_A + \Delta h_i \quad (36)$$

kjer Δh_i pomeni detajlni točki pripadajočo višinsko razliko.

6 IZRAČUN NAKLONKEGA KOTA IN ODKLONA VRHA ZVONIKA

Iz detajlnih točk na robovih temelja zvonika lahko izračunamo presečišče diagonal in s tem sredino horizontalnega preseka na nivoju temelja. Koordinati točke 3_A sta povprečna vrednost koordinat nasprotnih si točk robov zvonika. Višina točke 3_A je povprečna višina detajlnih točk na temelju zvonika. Točka 3_B , ima enaki pravokotni koordinati kot točka 3_A , vendar ima višino zvonika do točke pod vrhom zvonika.

6.1 Izračun višine zvonika

Iz pravokotnih koordinat med stojiščem in točko 3 izračunamo horizontalno razdaljo po Pitagorovem izreku:

$$d = \sqrt{(Y_i - Y_3)^2 + (X_i - X_3)^2} \quad (37)$$

kjer je:

d horizontalna razdalja med točko 3 in stojiščem,

Y_i, X_i pravokotni koordinati vsakega izmed stojišč 3000, 2000 in 4000.

Višino zvonika smo določili iz treh stojišč neodvisno. Iz merjene zenitne razdalje in izračunane horizontalne dolžine, izračunamo višinsko razliko med stojiščem in točko 3 (slika 8):

$$\tan(z') = \frac{d}{\Delta h_i} \quad (38)$$

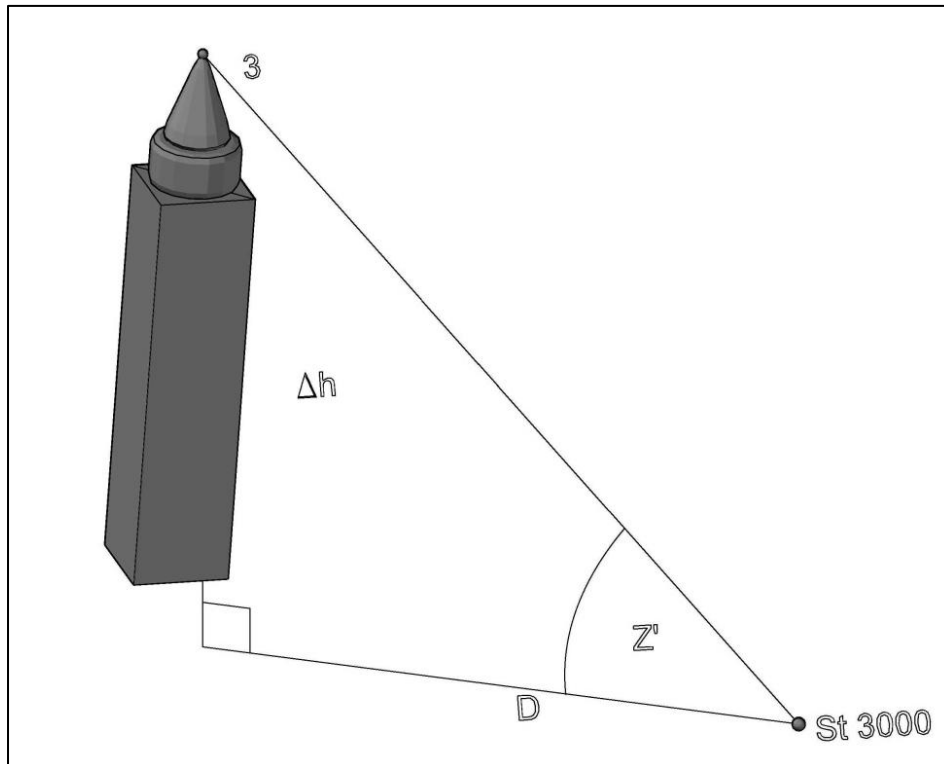
kjer je:

Δh_i višinska razlika med posameznim stojiščem in točko na vrhu zvonika.

Če zgornjo enačbo preuredimo, dobimo enačbo, po kateri izračunamo višinsko razliko med stojiščem in točko 3:

$$\Delta h_i = d \cdot \tan(z') \quad (39)$$

Višini vsakega stojišča prištejemo pripadajočo višinsko razliko Δh_i med stojiščem in točko na vrhu zvonika. Aritmetična sredina vseh višin za točko 3 pod jabolkom znaša: **288,410 m (Priloga F)**.



Slika 8: Določitev višine jabolka na zvoniku

6.2 Izračun naklonskega kota γ

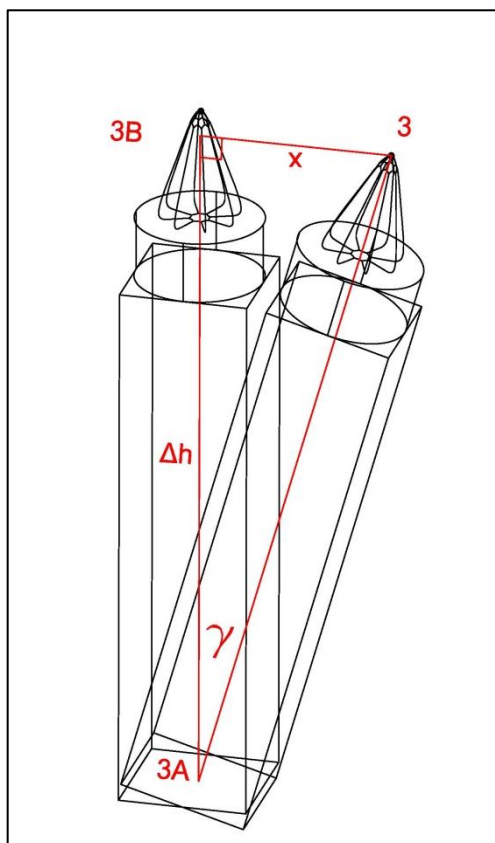
Naklonski kot zvonika najlažje izračunamo, če os zvonika, odmik vrha zvonika in navpičnica na temelj zvonika tvorijo pravokotni trikotnik. Poznamo krajšo kateto x in hipotenuzo Δh :

$$\sin(\gamma) = \frac{x}{\Delta h} \quad (40)$$

Vrednost naklonskega kota γ znaša $2^\circ 52' 42''$. Naklonski kot se nanaša na višino na vrhu jeklene traverze, ki obdaja zvonik na vznožju, na nadmorski višini 264,511 m. Če pa zvonik obravnavamo od vrha temelja, na nadmorski višini 264,309 m se višina zvonika poveča za višino traverze. V tem primeru znaša naklonski kot $2^\circ 51' 15''$.

Izračun parametrov Δh in γ je prikazan v **prilogi F**.

S pomočjo Pitagorovega izreka izračunamo tudi dejanski odklon sredine vrha zvonika od navpičnice. Razdalja x med točkama 3_B in 3 znaša **1,212 m**. Na sliki 9 je vertikalni položaj zvonika teoretičen in je namenjen ponazoritvi izračuna odklona zvonika od navpičnice. Izračun naklonskega kota in odklona zvonika je prikazan v **prilogi F**.



Slika 9: Izračun naklonskega kota zvonika

Radij jabolka R na vrhu zvonika znaša **0,177 m** (Gabršček, 2015). Izračunano višino točke 3 smo ob upoštevanju naklonskega kota γ popravili za vrednost $\Delta h'$ (slika 10):

$$\cos(\gamma) = \frac{\Delta h'}{R} \quad (41)$$

kjer je:

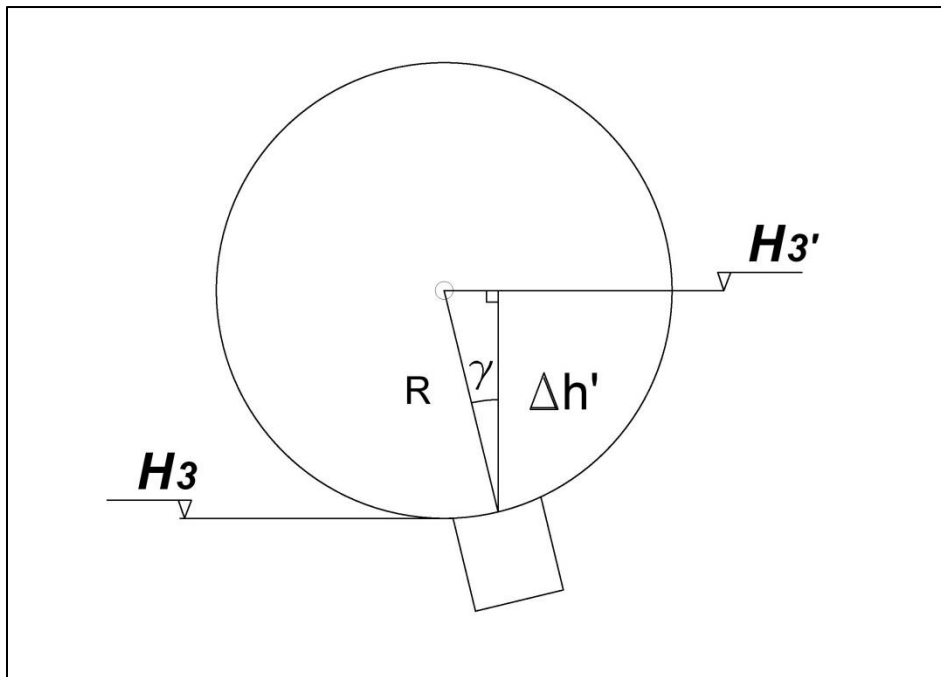
R radij Zemlje.

Ko preuredimo enačbo 41, dobimo enačbo za popravek nadmorske višine točke 3:

$$\Delta h' = \cos(\gamma) \cdot R \quad (42)$$

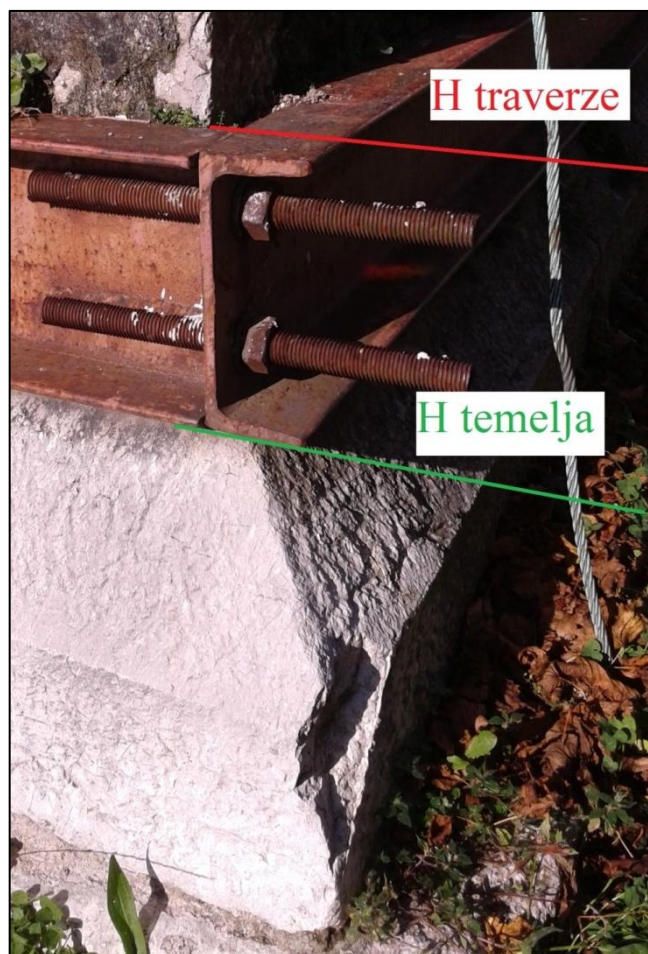
$$\Delta h' = 0,177 \text{ m}$$

Izračunani popravek višinske razlike prištejemo višini točke 3 pod jabolkom. Višina zvonika z upoštevanim radijem krogle znaša 24,112 m (**Priloga F**).



Slika 10: Prerez jabolka na vrhu zvonika

V času terenske izmere smo izmerili tudi višino jeklene traverze, ki obdaja zvonik. Višino jeklene traverze (20.3 cm), smo upoštevali pri določitvi višine kamnitega temelja (slika 11), tako da znaša celotna višina zvonika od temelja, do središča jabolka **24,315 m (Priloga F)**.



Slika 11: Izhodišče višin od temelja in od vrha jeklene traverze

Preglednica 4: Primerjava izračunanih količin v odvisnosti od višine temelja

Referenčna točka je središčna točka na višini vrha kamnitega temelja	
Nadmorska višina	264,309 m
Višina zvonika	24,315 m
Naklonski kot zvonika	2° 51' 15"

Referenčna točka je središčna točka na višini vrha jeklene traverze	
Nadmorska višina	264,511 m
Višina zvonika	24,112 m
Naklonski kot zvonika	2° 52' 42"

Odklon osi zvonika od navpičnice na temelje, razdaljo $x = 1,212$ m smo nanegli na obod zvonika, sestavljenega iz štirih detajlnih točk. Obod iz polne črte predstavlja prerez zvonika na nivoju temelja, črtkan pa obod zvonika na najvišji etaži. Izračun odmika osi zvonika od navpičnice je v **prilogi F**. Za podlago smo uporabili DOF5. Vektor smo nato povečali s faktorjem 10, da je smer nagiba zvonika nazornejša (slika 12).



Slika 12: Smer nagiba zvonika

7 PRIMERJAVA IZRAČUNANIH KOLIČIN

Rezultate obdelave smo primerjali z diplomsko nalogo Analiza geometrije objekta kulturne dediščine iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja (Gabršček, 2015), v kateri je bil obravnavan isti zvonik. Referenčna točka temelja zvonika predstavlja vrh traverze. Primerjali smo končne rezultate obeh obdelav.

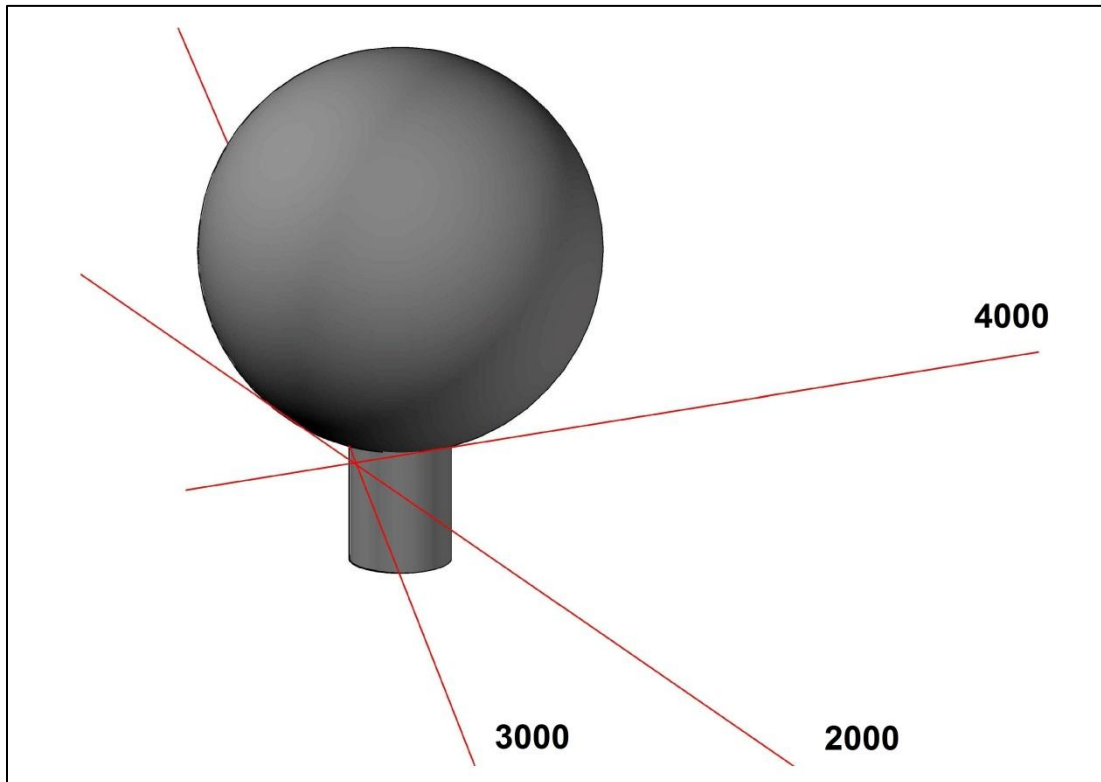
Preglednica 5: Primerjava rezultatov med polarno geodetsko izmero in TLS

	Polarna geodetska izmera	Terestrično lasersko skeniranje	Razlika
Odmik osi od navpičnice	1,212 m	1,211 m	1 mm
Višina zvonika	24,112 m	24,104 m	8 mm
Naklonski kot	2° 52' 42"	2° 52' 51"	9"

Razlike odmika, višine in naklonskega kota so majhne, vendar lahko njihov vzrok pojasnimo z vplivi slučajnih napak, ki se pojavljajo pri obeh metodah.

7.1 Vpliv vizure na določitev točke pod jabolkom

Razlika v višini zvonika med skeniranim oblakom točk in višino izmerjeno s trigonometričnim višinomerstvom, je najverjetneje posledica naklonskega kota opazovanja točke pod jabolkom, saj je natančno viziranje oteženo, čim bližje zvoniku smo. Najbolje je bila višina zvonika določena s stojišča 4000, ki je zaradi svoje nadmorske višine skoraj na enaki višini kot jabolko. V tem primeru nam jabolko ne ovira vizure. Bližje kot smo s stojišča opazovali smeri proti vrhu peclja pod jabolkom, bolj jabolko ovira vizuro. S tem povečamo zenitno razdaljo do točke pod jabolkom (slika 13).



Slika 13: Vpadni kot vizur s točk 3000, 2000 in 4000 na jabolko zvonika

7.2 Vpliv oddaljenosti stojišča na natančnost določitve geometrije krogle pri TLS

Pri terestričnem laserskem skeniranju pa natančnost določitve jabolka oz. krogle na vrhu zvonika vpliva oddaljenost stojišča, ker se s tem zmanjša gostota točk, zajetih na detajlu.

Iz primerjalne diplomske naloge razberemo, da je gostota posnetih točk na zvoniku proti vrhu manjša: »Na zgornjem delu zvonika imamo manj posnetih točk, kar pomeni majhno gostoto točk...« (Gabršček, 2015, str. 45).

Manjša gostota točk lahko poslabša natančnost določitve geometrije telesa iz oblaka točk, kar je bilo ugotovljeno s testiranjem. Glede na oddaljenost krogle od stojišča je mogoče sklepati na večji σ_s , torej manjšo gostoto točk in s tem slabšo natančnost določanja centra krogle s TLS (Urbančič in sod., 2014).

8 ZAKLJUČEK

Polarna geodetska izmera točk velja za eno najnatančnejših metod zajema prostorskih informacij. Izbira terestrične izmere geodetske mreže za določitev nevertikalnosti objekta, kot je obravnavani zvonik, se je izkazala za uspešno. Prav tako trigonometrično višinomerstvo.

Z izravnavo geodetske mreže smo pridobili izravnane lokalne koordinate točk, s katerih smo opazovali karakteristične točke zvonika, torej robove temeljev in robova pečlja pod jabolkom. Po analizi natančnosti določitve položaja smo ugotovili, da lahko višine zvonika, odklone navpičnice in naklonske kote primerjamo z rezultati diplomske naloge, ki isti zvonik obravnava z oblakom točk pridobljenim s TLS. Razlike v položaju so minimalne in so odvisne od razdalje do točk na zvoniku in od kakovosti določitve položaja stojišča, s katerega opazujemo točke. Razlika višine zvonika, izmerjena iz oblaka točk in izračunana s trigonometričnim višinomerstvom je verjetno posledica natančnosti umestitve krogle (jabolka) v oblak točk. Drugi možni razlog je manj natančno viziranje na točko pod jabolkom, zaradi majhne oddaljenosti stojišča od zvonika oziroma strmih vizur. Pri tem krivina krogle moti natančno viziranje.

S TLS zajamemo obsežno količino prostorskih podatkov, s katerimi izvajamo najrazličnejše analize v prostoru. S polarno geodetsko izmero pa si zagotovimo potrebne merske količine, da ugotovimo deformacije in premike v prostoru. Obe metodi sta se izkazali za uspešni pri zajemu točk objekta in določitvi parametrov nevertikalnosti, saj je razlika med izračunanimi rezultati zelo majhna. Razlika med izračunanimi odklikoma vrha zvonika od vertikale znaša 1 mm, kar pri višini zvonika ustreza 9" razlike določitve naklonskega kota zvonika.

VIRI

Ambrožič, T., Turk, G. 1999. Navodila za uporabo programa ViM, ver. 3.1, feb. '99.

Ambrožič, T. 2013. Geodetski inštrumenti in metode. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.

Drobne, S. 2009. Statistika z elementi informatike. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 52 str.

Gabršček, T. 2015. Analiza geometrije objekta kulturne dediščine iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Gabršček): 49 str.

Geopedia – interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije. 2015.

http://www.geopedia.si/#T105_F1173:15268_x412821.3125_y45782.5625_s20_b2

(Pridobljeno 16. 9. 2015.)

International standard ISO 17123-3. 2001. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments. Part 3: Theodolites.

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

Kogoj, D., Stopar, B. Geodetska izmera, strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Matična sekcija geodetov pri Inženirski zbornici Slovenije: 41 str.

Kogoj, D., Ambrožič, T., Savšek-Safič, S., Bogatin, S., Marjetič, A., Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Mesner, N. 2006. Navodilo za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu: Ljubljana, E-prostor.gov.si: 14 str.

[http://www.e-](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_klasicno_izmero.pdf)

[prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_klasicno_izmero.pdf](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_klasicno_izmero.pdf)

(Pridobljeno 6. 10. 2015.)

Kuhar, M., 2008. Geodezija (TUN) – izbrana poglavja. Določanje 2-D položaja.. Ljubljana, ULFGG: 13 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Geod/gradivo/2D_dolocanje_polozaja.pdf

(Pridobljeno 25. 9. 2015.)

Kuhar, M., 2008. Geodezija (TUN) – izbrana poglavja, Trigonometrija v ravnini. Ljubljana, ULFGG: 7 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Geod/gradivo/06-Geodezija_Trigonometrija_v_ravnini.pdf

(Pridobljeno 29. 9. 2015.)

Leica TPS1200+ User Manual, Version 6.0 English.

Mužič, J. Vas z nagnjenim zvonikom. Regional Obala. Regional, digitalni mediji d.o.o.. 17. 8. 2012.
1 str. Dostopno na naslovu: <http://www.regionalobala.si/novica/vas-z-nagnjenim-zvonikom>
(Pridobljeno 16. 9. 2015.)

Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. 2014. Analiza kakovosti določitve parametrov krogle pri terestričnem laserskem skeniranju. Geodetski vestnik 58, 1: 11-27.

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGE

Priloga A: Urejena opazovanja iz datoteke GSI

Priloga B: Izračun standardnih odklonov merjenih količin

Priloga C: Izračun redukcije dolžin

Priloga D: Izhodna datoteka horizontalne izravnave mreže

Priloga E: Izhodna datoteka vertikalne izravnave mreže

Priloga F: Izračun količin nevertikalnosti zvonika

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA A: UREJENA OPAZOVANJA IZ DATOTEKE GSI

Stojišče	Vizura	Hz	Zr	D ₃₀₀₀ ⁿ	Hz'	Δ Hz	Hz	Zr'	Δ Zr	Zr	D'	Δ D	D
3000	1000	227,28786	94,30017	45,9322	227,28865	-0,00015	227,28850	94,29766	0,00010	94,29776	45,9321	0,12	45,9322
	1	234,51758	61,41950		234,52664	0,00092	234,52756	61,41813	0,00258	61,42071			
	2	234,68840	61,41941		234,69674	-0,00080	234,69593	61,41223	-0,00280	61,40942			
	2000	303,20356	90,59428	67,8079	303,20543	0,00103	303,20646	90,59464	-0,00181	90,59283	67,8080	-0,15	67,8078
	2000	103,20729	309,40500	67,8080									
	2	34,70507	338,59496										
	1	34,53569	338,58324										
	1000	27,28944	305,70486	45,9320									
	1000	227,28622	94,30062	45,9322	227,28808	0,00042		94,29836	-0,00060		45,9323	-0,08	
	1	234,51991	61,42282		234,52801	-0,00045		61,42247	-0,00176				
	2	234,68675	61,40891		234,69527	0,00066		61,40738	0,00204				
	2000	303,20504	90,59318	67,8077	303,20728	-0,00082		90,59150	0,00133		67,8078	0,05	
	2000	103,20951	309,41019	67,8078									
	2	34,70379	338,59415										
	1	34,53610	338,57788										
	1000	27,28993	305,70390	45,9324									
1000	227,28741	94,29908	45,9323	227,28877	-0,00027		94,29726	0,00050		45,9323	-0,03		
1	234,51940	61,42033		234,52803	-0,00047		61,42153	-0,00082					
2	234,68575	61,40650		234,69579	0,00015		61,40866	0,00076					
2000	303,20527	90,59399	67,8076	303,20667	-0,00021	σ = 2,1 ''	90,59235	0,00048	σ = 5,3 ''	67,8077	0,10	σ = 0,11 mm	
2000	103,20807	309,40929	67,8078										
2	34,70582	338,58918											
1	34,53666	338,57728											
1000	27,29012	305,70457	45,9322										

$$\sigma['] = st. dev(\Delta Hz) \cdot \frac{9}{10} \cdot 3600$$

$$\sigma['] = st. dev(\Delta Zr) \cdot \frac{9}{10} \cdot 3600$$

$$\sigma[mm] = st. dev(\Delta D) \cdot 1000$$

Stojišče 1000	Vizura	Hz	Zr	D ₁₀₀₀ ⁿ
	2000	89,39546	94,32927	66,0267
3000	168,72977	105,70269	45,9325	
3000	368,72502	294,30033	45,9323	
2000	289,39601	305,67306	66,0269	
2000	89,39541	94,32951	66,0266	
3000	168,73020	105,70645	45,9322	
3000	368,72759	294,29947	45,9323	
2000	289,39495	305,67355	66,0269	
2000	89,39594	94,32929	66,0268	
3000	168,72991	105,70579	45,9321	

Hz	Δ Hz	Hz'
89,39574	-0,00019	89,39555
168,72740	0,00078	168,72817
89,39518	0,00037	
168,72890	-0,00073	
89,39572	-0,00017	
168,72822	-0,00005	σ = 1,7 "

Zr'	Δ Zr	Zr
94,32811	-0,00054	94,32757
105,70118	0,00136	105,70254
94,32798	-0,00041	
105,70349	-0,00095	
94,32662	0,00095	
105,70294	-0,00040	σ = 3,0 "

D'	Δ D	D
66,0268	-0,0167	66,0268
45,9324	-0,1167	45,9323
66,0268	0,0333	
45,9323	0,0333	
66,0268	-0,0167	
45,9322	0,0833	σ = 0,07 mm

Stojišče	Vizura	Hz	Zr	D ₂₀₀₀ ⁿ
2000	3000	132,24335	109,40959	67,8080
	1	173,41844	80,97740	
	2	173,53554	80,99593	
	1000	176,99107	105,67555	66,0269
	4000	263,98592	87,69175	42,6670
	4000	63,99019	312,31037	42,6668
	1000	376,99057	294,32587	66,0266
	2	373,54225	319,01678	
	1	373,42456	319,01001	
	3000	332,23827	290,59197	67,8079
	3000	132,24112	109,41194	67,8080
	1	173,41938	80,99880	
	2	173,53629	80,98585	
	1000	176,99100	105,67541	66,0265
	4000	263,98498	87,69147	42,6670
	4000	63,99068	312,31308	42,6673
	1000	376,98935	294,32729	66,0268
	2	373,54240	319,01609	
1	373,42576	319,00529		
3000	332,24013	290,59229	67,8077	

Hz	Δ Hz	Hz'
132,24081	-0,00025	132,24056
173,42150	0,00078	173,42228
173,53890	0,00039	173,53929
176,99082	-0,00064	176,99018
263,98806	-0,00060	263,98746
132,24063	-0,00007	
173,42257	-0,00029	
173,53935	-0,00006	
176,99018	0,00000	
263,98783	-0,00037	

Zr'	Δ Zr	Zr
109,40881	0,00012	109,40893
80,98370	0,00645	80,99015
80,98958	-0,00139	80,98819
105,67484	-0,00075	105,67409
87,69069	-0,00147	87,68922
109,40983	-0,00090	
80,99676	-0,00661	
80,98488	0,00331	
105,67406	0,00003	
87,68920	0,00002	

D'	Δ D	D
67,8080	0,0167	67,8080
66,0268	-0,0167	66,0267
42,6669	0,1500	42,6671
67,8079	0,1167	
66,0267	0,0833	
42,6672	-0,1000	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

3000	132,24267	109,40952	67,8081
1	173,41920	80,98931	
2	173,53651	80,98954	
1000	176,99036	105,67516	66,0268
4000	263,98511	87,68827	42,6673
4000	63,98786	312,31273	42,6669
1000	376,98871	294,32844	66,0268
2	373,54273	319,00932	
1	373,42632	319,00934	
3000	332,23780	290,59321	67,8081

132,24024	0,00032	
173,42276	-0,00048	
173,53962	-0,00033	
176,98954	0,00064	
263,98649	0,00097	
		$\sigma = 1,6''$

109,40816	0,00078	
80,98999	0,00016	
80,99011	-0,00192	
105,67336	0,00073	
87,68777	0,00145	
		$\sigma = 9,0''$

67,8081	-0,1333	
66,0268	-0,0667	
42,6671	-0,0500	
		$\sigma = 0,10 \text{ mm}$

Stojišče	Vizura	Hz	Zr	D ₂₀₀₀ ⁿ
4000	2000	257,38011	112,31403	42,6668
	1	324,92686	90,47152	
	2	325,02593	90,47094	
	2	125,03055	309,52832	
	1	124,93161	309,53250	
	2000	57,37259	287,68679	42,6668
	2000	257,37839	112,31143	42,6668
	1	324,92448	90,47390	
	2	325,02626	90,47410	
	2	125,02941	309,52620	
	1	124,92916	309,52647	
	2000	57,37221	287,68941	42,6664
2000	257,37885	112,31201	42,6666	
1	324,92365	90,46190		
2	325,02587	90,47528		
2	125,02802	309,52297		
1	124,92618	309,52289		
2000	57,37182	287,68673	42,6667	

Hz	Δ Hz	Hz'
257,37635	-0,00069	257,37566
324,92924	-0,00225	324,92699
325,02824	-0,00057	325,02767
257,37530	0,00036	
324,92682	0,00017	
325,02784	-0,00016	
257,37534	0,00033	
324,92492	0,00207	
325,02695	0,00073	σ = 3,8 "

Zr'	Δ Zr	Zr
112,31362	-0,00120	112,31242
90,46951	0,00140	90,47091
90,47131	0,00250	90,47381
112,31101	0,00141	
90,47372	-0,00280	
90,47395	-0,00014	
112,31264	-0,00022	
90,46951	0,00141	
90,47616	-0,00235	σ = 6,0 "

D'	Δ D	D
42,6668	-0,1167	42,6667
42,6666	0,0833	
42,6667	0,0333	
		σ = 0,10 mm

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA B: IZRAČUN STANDARDNIH ODKLONOV MERJENIH KOLIČIN

- Izračun natančnosti za horizontalne smeri na stojšču 3000**

Stojišče	Vizura	Hz	Δ	Hz'	d	r	r^2
3000	1000	227,28865	-0,00015	227,28850	-0,497	1,303	1,697
	1	234,52664	0,00092	234,52756	2,986	-2,180	4,753
	2	234,69674	-0,00080	234,69593	-2,608	3,414	11,656
	2000	303,20543	0,00103	303,20646	3,343	-2,537	6,435
	2000				0,806		
	2						
	1						
	1000						
	1000	227,28808	0,00042		1,366	-1,516	2,298
	1	234,52801	-0,00045		-1,453	1,303	1,697
	2	234,69527	0,00066		2,138	-2,288	5,236
	2000	303,20728	-0,00082		-2,651	2,502	6,258
2000				-0,150			
2							
1							
1000							
1000	227,28877	-0,00027		-0,869	0,213	0,045	
1	234,52803	-0,00047		-1,534	0,877	0,770	
2	234,69579	0,00015		0,470	-1,126	1,268	
2000	303,20667	-0,00021		-0,691	0,035	0,001	
2000				-0,656			
2					$S r^2$	42,1	
1					S_{HZ}	2,7	
1000		$\sigma = 2,1''$			S_{3g}	1,5''	

• Izračun natančnosti za zenitne razdalje in dolžine na stojišču 3000

Stojišče	Vizura	Zr	Δ	Zr'	d	r	r ²
3000	1000	94,29766	0,00010	94,29776	0,329	-1,897	3,598
	1	61,41813	0,00258	61,42071	8,354	-9,921	98,429
	2	61,41223	-0,00280	61,40942	-9,083	7,515	56,482
	2000	90,59464	-0,00181	90,59283	-5,870	4,302	18,511
2000				-1,567			
2							
1							
1000							
1000	94,29836	-0,00060			-1,955	2,773	7,689
1	61,42247	-0,00176			-5,708	6,526	42,587
2	61,40738	0,00204			6,615	-5,797	33,604
2000	90,59150	0,00133			4,320	-3,502	12,263
2000					0,818		
2							
1							
1000							
1000	94,29726	0,00050			1,625	-0,876	0,768
1	61,42153	-0,00082			-2,646	3,395	11,528
2	61,40866	0,00076			2,468	-1,719	2,953
2000	90,59235	0,00048			1,550	-0,801	0,641
2000					0,749		
2							
1						S_{r^2}	289,05
1000		$\sigma = 5,3''$				S_V	6,9''

D	Δ	D'	d	r	r ²
45,9321	0,12	45,93222	0,12	-0,13	0,02
67,8080	-0,15	67,80780	-0,15	0,13	0,02
			-0,02		
45,9323	-0,08		-0,08	0,07	0,00
67,8078	0,05		0,05	-0,07	0,00
			-0,02		
45,9323	-0,03		-0,03	0,07	0,00
67,8077	0,10		0,10	-0,07	0,00
			0,03		
				S_{r^2}	0,05
				S_D	0,2 mm

$\sigma = 0,1 \text{ mm}$

• Izračun natančnosti za horizontalne smeri in zenitne razdalje na stojšču 1000

Stojišče	Vizura	Hz	Δ	Hz'	d	r	r^2
1000	2000	89,39574	-0,00019	89,39555	-0,616	1,563	2,444
	3000	168,72740	0,00078	168,72817	2,511	-1,563	2,444
	3000				0,948		
	2000						
	2000	89,39518	0,00037		1,183	-1,766	3,118
	3000	168,72890	-0,00073		-2,349	1,766	3,118
	3000				-0,583		
	2000						
	2000	89,39572	-0,00017		-0,567	0,202	0,041
	3000	168,72822	-0,00005		-0,162	-0,202	0,041
	3000				-0,365		
	2000			$\sigma = 1,7''$			
					S_{r^2}	11,2	
					S_{HZ}	2,4	
					S_{3g}	1,4''	

Zr	Δ	Zr'	d	r	r^2
94,32811	-0,00054	94,32757	-1,739	3,067	9,408
105,70118	0,00136	105,70254	4,396	-3,067	9,408
			1,328		
94,32798	-0,00041		-1,334	-0,877	0,770
105,70349	-0,00095		-3,089	0,877	0,770
			-2,211		
94,32662	0,00095		3,073	-2,190	4,795
105,70294	-0,00040		-1,307	2,190	4,795
			0,883		
		$\sigma = 3,0''$			
				S_{r^2}	30,0
				S_v	3,9''

- Izračun natančnosti za dolžine na stojšču 1000

Stojišče	Vizura	D	Δ	D'	d	r	r ²
1000	2000	66,0268	-0,02	66,02678	-0,02	-0,05	0,00
	3000	45,9324	-0,12	45,93228	-0,12	0,05	0,00
	3000				-0,07		
	2000						
	2000	66,0268	0,03		0,03	0,00	0,00
	3000	45,9323	0,03		0,03	0,00	0,00
	3000				0,03		
	2000						
	2000	66,0268	-0,02		-0,02	0,05	0,00
	3000	45,9322	0,08		0,08	-0,05	0,00
	3000				0,03		
	2000			$\sigma = 0,1 \text{ mm}$			
						S r²	0,0
						S_D	0,1 mm

Izračun natančnosti za horizontalne smeri na stojšču 2000

Stojišče	Vizura	Hz	Δ	Hz'	d	r	r^2
2000	3000	132,24081	-0,00025	132,24056	-0,821	0,609	0,371
	1	173,42150	0,00078	173,42228	2,516	-2,728	7,442
	2	173,53890	0,00039	173,53929	1,269	-1,481	2,192
	1000	176,99082	-0,00064	176,99018	-2,084	1,873	3,507
	4000	263,98806	-0,00060	263,98746	-1,939	1,727	2,982
	4000				-0,212		
	1000						
	2						
	1						
	3000						
	3000	132,24063	-0,00007		-0,221	-0,292	0,085
	1	173,42257	-0,00029		-0,950	0,437	0,191
	2	173,53935	-0,00006		-0,189	-0,324	0,105
	1000	176,99018	0,00000		0,005	-0,518	0,269
	4000	263,98783	-0,00037		-1,210	0,697	0,485
	4000				-0,513		
	1000						
	2						
	1						
	3000						
3000	132,24024	0,00032		1,042	-0,318	0,101	
1	173,42276	-0,00048		-1,566	2,291	5,247	
2	173,53962	-0,00033		-1,080	1,805	3,257	
1000	176,98954	0,00064		2,079	-1,354	1,834	
4000	263,98649	0,00097		3,148	-2,424	5,873	
4000				0,725			
1000							
2							
1							
3000			$\sigma = 1,6''$				
					S_{r^2}	33,94	
					S_{HZ}	2,06	
					S_{3g}	1,2''	

• Izračun natančnosti za zenitne razdalje na stojišču 2000

Stojišče	Vizura	Zr	Δ	Zr'	d	r	r^2
2000	3000	109.40881	0.00012	109.40893	-0.389	-1.528	2.335
	1	80.98370	0.00645	80.99015	-20.898	18.981	360.278
	2	80.98958	-0.00139	80.98819	4.493	-6.410	41.086
	1000	105.67484	-0.00075	105.67409	2.441	-4.358	18.990
	4000	87.69069	-0.00147	87.68922	4.768	-6.685	44.692
	4000				-1.917		
	1000						
	2						
	1						
	3000						
	3000	109.40983	-0.00090		2.900	-0.213	0.045
	1	80.99676	-0.00661		21.416	-18.729	350.789
	2	80.98488	0.00331		-10.719	13.406	179.722
	1000	105.67406	0.00003		-0.086	2.773	7.692
	4000	87.68920	0.00002		-0.076	2.763	7.632
	4000				2.687		
	1000						
	2						
	1						
	3000						
3000	109.40816	0.00078		-2.511	1.741	3.031	
1	80.98999	0.00016		-0.518	-0.252	0.063	
2	80.99011	-0.00192		6.226	-6.996	48.947	
1000	105.67336	0.00073		-2.354	1.584	2.510	
4000	87.68777	0.00145		-4.693	3.923	15.386	
4000				-0.770			
1000							
2							
1							
3000			$\sigma = 9.0''$				
					S_{r^2}	1083.20	
					S_v	11.6''	

• Izračun natančnosti za dolžine na stojšču 2000

Stojišče	Vizura	D	Δ	D'	d	r	r^2
2000	3000	67,808	0,02	67,808	-0,02	-0,03	0,00
	1						
	2						
	1000	66,027	-0,02	66,027	0,02	-0,07	0,00
	4000	42,667	0,15	42,667	-0,15	0,10	0,01
	4000				-0,05		
	1000						
	2						
	1						
	3000						
	3000	67,808	0,12		-0,12	0,08	0,01
	1						
	2						
	1000	66,027	0,08		-0,08	0,05	0,00
	4000	42,667	-0,10		0,10	-0,13	0,02
	4000				-0,03		
1000							
2							
1							
3000							
3000	67,808	-0,13		0,13	-0,05	0,00	
1							
2							
1000	66,027	-0,07		0,07	0,02	0,00	
4000	42,667	-0,05		0,05	0,03	0,00	
4000				0,08			
1000							
2							
1							
3000		$\sigma = 0,1\text{mm}$					
					$S r^2$	0,05	
					S_D	0,1mm	

• Izračun natančnosti za horizontalne smeri in zenitne razdalje na stojišču 4000

Stojišče	Vizura	Hz	Δ	Hz'	d	r	r ²
4000	2000	257,37635	-0,00069	257,3756617	-3,877	-0,452	0,204
	1	324,92924	-0,00225	324,9269900	-7,274	2,945	8,672
	2	325,02824	-0,00057	325,0276733	-1,836	-2,493	6,215
	2				-4,329		
	1						
	2000						
	2000	257,37530	0,00036		1,172	-0,772	0,596
	1	324,92682	0,00017		0,551	-0,151	0,023
	2	325,02784	-0,00016		-0,524	0,923	0,853
	2				0,400		
	1						
	2000						
	2000	257,37534	0,00033		1,058	2,322	5,392
	1	324,92492	0,00207		6,723	-3,343	11,173
	2	325,02695	0,00073		2,360	1,021	1,042
	2				3,380		
	1						
	2000		$\sigma = 3,8''$				
						Sr ²	34,17
						S _{Hz}	2,92
						S _{3g}	1,7''

Stojišče	Vizura	Zr	Δ	Zr'	d	r	r ²
4000	2000	112,31362	-0,00120	112,3124233	-3,877	6,791	46,123
	1	90,46951	0,00140	90,47091	4,536	-1,622	2,630
	2	90,47131	0,00250	90,473805	8,084	-5,170	26,725
	2				2,914		
	1						
	2000						
	2000	112,31101	0,00141		4,579	-6,239	38,923
	1	90,47372	-0,00280		-9,088	7,429	55,184
	2	90,47395	-0,00014		-0,470	-1,190	1,416
	2				-1,660		
	1						
	2000						
	2000	112,31264	-0,00022		-0,702	-0,553	0,305
	1	90,46951	0,00141		4,552	-5,807	33,719
	2	90,47616	-0,00235		-7,614	6,359	40,442
	2				-1,255		
	1						
	2000		$\sigma = 6,0''$				
						Sr ²	245,47
						S _v	7,8''

Stojišče	Vizura	D	Δ	D'
4000	2000	42,6668	-0,1167	42,66668
	1			
	2			
	2			
	1			
	2000			
	2000	42,6666	0,0833	
	1			
	2			
	2			
	1			
	2000			
	2000	42,6667	0,0333	
	1			
	2			
	2			
1				
2000			$\sigma = 0,1\text{mm}$	

Opomba: Ker imamo v vsakem girusu le po eno izmerjeno količino, natančnosti ne moremo izračunati po danih enačbah. Možen je le izračun standardne deviacije dolžine v treh girusih.

PRILOGA C: IZRAČUN REDUKCIJE DOLŽIN

Specifikacije po podatkih proizvajalca:

$t_0 =$	12 °C
$p_0 =$	1013,25 hPa
$e_0 =$	60 %
$\alpha =$	0,00366 1/°C

Parametri:

$A =$	287,6155
$B =$	1,62887
$C =$	0,0136
$\lambda =$	0,658 μm

Parametri refrakcije in ukrivljenosti:

$k =$	0,13
$R_{[m]} =$	6378000

Grupni lomni količnik : $n_G =$ 1.000299

Nominalni lomni količnik: $n_0 =$ 1.0002843

Stojišče	Vizura	d'	H	H ₀	Zr ^{gon}	Zr ^{rad}	i	l	t	p	e	n _D
3000	1000	45,9322	260,000	260,000	94,29776	1,481226	1,4280	1,5176	16,5	983,5	0,000	1,000274
1000	3000	45,9323	264,109	260,000	105,70254	1,660372	1,5176	1,4280	16,5	983,5	0,000	1,000274
3000	2000	67,8078	260,000	260,000	90,59283	1,423029	1,4280	1,2548	16,5	983,5	0,000	1,000274
2000	3000	67,8080	269,985	260,000	109,40893	1,718591	1,2548	1,4280	16,5	983,5	0,000	1,000274
1000	2000	66,0268	264,109	260,000	94,32757	1,481694	1,5176	1,2548	16,5	983,5	0,000	1,000274
2000	1000	66,0267	269,985	260,000	105,67409	1,659925	1,2548	1,5176	16,5	983,5	0,000	1,000274
2000	4000	42,6671	269,985	260,000	87,68922	1,377419	1,2548	0,0000	16,5	983,5	0,000	1,000274
4000	2000	42,6667	278,185	260,000	112,31242	1,764199	0,0000	1,2548	16,5	983,5	0,000	1,000274
1000	5000	22,2768	267,845	260,000	91,86689	1,443042	1,5176	0,0000	16,5	983,5	0,000	1,000274

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice

1. pop. hitr.	Sr	Zr ^{rad} (reduc.)	S _p	S _k	ε	S _m	H _m	S ₀	Stojišče	Vizura
45,9327	45,9327	1,481226	45,9248	45,9248	0,000	45,7486	4,019	45,7485	3000	1000
45,9328	45,9328	1,660372	45,9248	45,9248	0,000	45,7486	0,089	45,7486	1000	3000
67,8085	67,8085	1,423030	67,8342	67,8342	0,000	67,0695	10,157	67,0694	3000	2000
67,8087	67,8087	1,718592	67,8344	67,8344	0,000	67,0695	-0,174	67,0695	2000	3000
66,0275	66,0275	1,481695	66,0514	66,0514	0,000	65,7655	10,247	65,7654	1000	2000
66,0274	66,0274	1,659925	66,0513	66,0513	0,000	65,7654	3,845	65,7653	2000	1000
42,6675	42,6675	1,377419	42,9264	42,9264	0,000	41,8722	19,439	41,8721	2000	4000
42,6671	42,6671	1,764200	42,9261	42,9261	0,000	41,8717	8,729	41,8716	4000	2000
22,2770	22,2770	1,443042	22,5212	22,5212	0,000	22,0955	12,201	22,0954	1000	5000

PRILOGA D: IZHODNA DATOTEKA HORIZONTALNE IZRAVNAVE MREŽE

Izravnavna ravninske Geodetske Mreže
Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 13.8.2015
Cas : 13:34

Ime datoteke s podatki:	hz_gem_novo_2iter.pod
Ime datoteke za rezultate:	hz_gem_novo_2iter.gem
Ime datoteke z obvestili programa:	hz_gem_novo_2iter.obv
Ime datoteke za risanje slike mreže:	hz_gem_novo_2iter.ris
Ime datoteke za izračun premikov:	hz_gem_novo_2iter.koo
Ime datoteke z utežmi:	hz_gem_novo_2iter.ute
Ime datoteke za S-transformacijo:	hz_gem_novo_2iter.str
Ime datoteke za ProTra:	hz_gem_novo_2iter.ptr
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike:	hz_gem_novo_2iter.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover):	hz_gem_novo_2iter.dah
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin):	hz_gem_novo_2iter.daa
Ime datoteke za lastne vrednosti :	hz_gem_novo_2iter.svd
Ime datoteke za kvadrate popravkov opazovanj:	hz_gem_novo_2iter.pvv

Seznam koordinat DANIH točk

Točka	Y (m)	X (m)
3000	412797.0000	45765.0000
1000	412772.7570	45803.7970

Vseh danih točk je : 2

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

Točka	Y (m)	X (m)
2000	412836.7328	45819.0337
4000	412818.9712	45856.9517
5000	412786.8900	45820.7813
3	412779.4246	45801.9998

Vseh novih točk je : 4

Pregled opazovanih smeri

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (gradi)	W (")	Utež	Gr
1	3000	1000	227 28 85.0	0.000	1.00	1
2	3000	2000	303 20 64.6	0.000	1.00	1
3	3000	3	234 61 17.4	0.000	1.00	1
4	1000	2000	89 39 55.5	0.000	1.00	1
5	1000	3000	168 72 81.7	0.000	1.00	1
6	1000	5000	48 46 47.2	0.000	1.00	1
7	2000	3000	132 24 5.6	0.000	1.00	1
8	2000	1000	176 99 1.8	0.000	1.00	1
9	2000	3	173 48 17.8	0.000	1.00	1
10	2000	4000	263 98 74.6	0.000	1.00	1
11	4000	2000	257 37 56.6	0.000	1.00	1
12	4000	3	324 97 73.3	0.000	1.00	1

Pregled opazovanih dolžin

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
13	3000	1000	45.7485	0.0000	1.00
14	3000	2000	67.0694	0.0000	1.00
15	1000	2000	65.7654	0.0000	1.00
16	1000	3000	45.7486	0.0000	1.00
17	1000	5000	22.0954	0.0000	1.00
18	2000	3000	67.0695	0.0000	1.00
19	2000	1000	65.7653	0.0000	1.00
20	2000	4000	41.8721	0.0000	1.00
21	4000	2000	41.8716	0.0000	1.00

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 1.30 sekund.
Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.200 mm.

Število enacb popravkov je 21
 - Število enacb popravkov za smeri je 12
 - Število enacb popravkov za dolžine je 9
 Število neznank je 12
 - Število koordinatnih neznank je 8
 - Število orientacijskih neznank je 4
 Število nadštevilnih opazovanj je 9

POPRAVKI približnih vrednosti

=====
 Izravnava je izracunana klasicno z normalnimi enacbami.

Tocka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
2000	-0.0010	0.0029	-8.8
4000	-0.0020	0.0014	-6.9
5000	-0.0004	0.0004	
3	-0.0007	0.0001	
3000			-3.6
1000			-4.9

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

Tocka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
2000	412836.7318	45819.0366	0.0005	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004	63
4000	412818.9692	45856.9531	0.0007	0.0007	0.0010	0.0008	0.0006	133
5000	412786.8896	45820.7817	0.0008	0.0010	0.0012	0.0012	0.0002	40
3	412779.4239	45801.9999	0.0004	0.0004	0.0006	0.0005	0.0003	149

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.02702.
 [pvv] = 9.4929040213
 [xx] vseh neznank = 161.1535345984
 [xx] samo koordinatnih neznank = 0.0000164407
 Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00041.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 1.3351 sekund.
 Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dolžin/ je 1.2324 milimetrov.

Najvecji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0012 metrov.
 Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0006 metrov.
 Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0009 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====
 Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Dana tocka: 3000 Y = 412797.0000 X = 45765.0000
 Orientacijski kot = 137 15 59.3

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
1000	1	1.00	227 28 85.0	364 44 44.3	364 44 45.1	0.8	45.749
2000	1	1.00	303 20 64.6	40 36 23.9	40 36 24.0	0.1	67.071
3	1	1.00	234 61 17.4	371 76 76.7	371 76 75.8	-1.0	40.962

Dana tocka: 1000 Y = 412772.7570 X = 45803.7970
 Orientacijski kot = 395 71 65.8

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
2000	1	1.00	89 39 55.5	85 11 21.2	85 11 23.6	2.4	65.765
3000	1	1.00	168 72 81.7	164 44 47.5	164 44 45.1	-2.4	45.749
5000	1	1.00	48 46 47.2	44 18 13.0	44 18 13.0	0.0	22.095

Nova tocka: 2000 Y = 412836.7318 X = 45819.0366
 Orientacijski kot = 108 12 20.2

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
3000	1	1.00	132 24 5.6	240 36 25.8	240 36 24.0	-1.8	67.071
1000	1	1.00	176 99 1.8	285 11 22.0	285 11 23.6	1.6	65.765
3	1	1.00	173 48 17.8	281 60 38.0	281 60 40.0	2.0	59.787
4000	1	1.00	263 98 74.6	372 10 94.8	372 10 93.0	-1.8	41.871

Nova točka: 4000 Y = 412818.9692 X = 45856.9531
 Orientacijski kot = 314 73 33.8
 Vizura Gr Utež Opazov.smer Orient.smer Def. sm. kot Popravek Dolžina
 2000 1 1.00 257 37 56.6 172 10 90.5 172 10 93.0 2.5 41.871
 3 1 1.00 324 97 73.3 239 71 7.2 239 71 4.6 -2.5 67.703
 PREGLED merjenih DOLŽIN
 =====

Multiplikacijska konstanta ni bila izracunana (= 1).
 Adicijska konstanta ni bila izracunana (= 0 metra).

Od tocke	Do tocke	Utež dolž	Merjena dolžina	Modulirana 'Mer.*Mk+Ak	Definitivna Proj.-Du	Popravek Mod.dolž.	Projekcij. iz koo.
3000	1000	1.000	45.7485	45.7485	45.7486	0.0000	45.7486
3000	2000	1.000	67.0694	67.0694	67.0714	0.0020	67.0714
1000	2000	1.000	65.7654	65.7654	65.7649	-0.0005	65.7649
1000	3000	1.000	45.7486	45.7486	45.7486	-0.0001	45.7486
1000	5000	1.000	22.0954	22.0954	22.0954	0.0000	22.0954
2000	3000	1.000	67.0695	67.0695	67.0714	0.0020	67.0714
2000	1000	1.000	65.7653	65.7653	65.7649	-0.0004	65.7649
2000	4000	1.000	41.8721	41.8721	41.8709	-0.0012	41.8709
4000	2000	1.000	41.8716	41.8716	41.8709	-0.0007	41.8709

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA E: IZHODNA DATOTEKA VERTIKALNE IZRAVNAVE MREŽE

Izravnava VIŠINSKE geodetske Mreže
 Program: VIM, ver. 5.0, mar. 07
 Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: V_izravnava.pod
 Ime datoteke za rezultate: V_izravnava.rez
 Ime datoteke za deformacijsko analizo: V_izravnava.def
 Ime datoteke za S-transformacijo: V_izravnava.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: V_izravnava.koo

Datum: 5. 8.2015
 Čas: 14:55: 8

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
			a1	a2	f	
1	3000	1000	0.	1.	*****	21.7391
2	3000	2000	0.	1.	*****	14.7059
3	1000	2000	-1.	1.	-5.87784	15.1515
4	1000	3000	1.	0.	*****	21.7391
5	2000	3000	1.	0.	*****	14.7059
6	2000	1000	1.	-1.	-5.87896	15.1515
7	2000	4000	-1.	1.	-8.24947	23.2558
8	4000	2000	1.	-1.	-8.25025	23.2558
9	1000	5000	-1.	1.	-2.86940	45.4545

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
2	3000	2000	9.98756	0.00000	9.98756
3	1000	2000	5.87784	0.00117	5.87901
4	1000	3000	-4.10808	-0.00046	-4.10854
5	2000	3000	-9.98882	0.00126	-9.98756
6	2000	1000	-5.87896	-0.00005	-5.87901
7	2000	4000	8.24947	0.00039	8.24986
8	4000	2000	-8.25025	0.00039	-8.24986
9	1000	5000	2.86940	0.00000	2.86940

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.003449$

Izračunano odstopanje = ***** mm ($s = 0.468$ km).

Dopustni odstopanji v sklenjeni niv. zanki:
 - mreža NVM $f = \pm 1 \cdot \sqrt{s+0.04 \cdot s^2} = 0.7$ mm
 - mestna niv. mreža 1. reda $f = \pm 2 \cdot \sqrt{s+0.04 \cdot s^2} = 1.4$ mm

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
1000	0.00000	264.10854	264.10854	0.00045
2000	0.00000	269.98756	269.98756	0.00050
4000	0.00000	278.23742	278.23742	0.00071
5000	0.00000	266.97794	266.97794	0.00068

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Q11	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r
1	3000	1000	0.01712	0.00045	0.02888	0.62778
2	3000	2000	0.02116	0.00050	0.04684	0.68889
3	1000	2000	0.02090	0.00050	0.04510	0.68333
4	1000	3000	0.01712	0.00045	0.02888	0.62778
5	2000	3000	0.02116	0.00050	0.04684	0.68889
6	2000	1000	0.02090	0.00050	0.04510	0.68333
7	2000	4000	0.02150	0.00051	0.02150	0.50000
8	4000	2000	0.02150	0.00051	0.02150	0.50000
9	1000	5000	0.02200	0.00051	0.00000	0.00000

Skupno število nadštevilnosti je 5.0000000.
 Povprečno število nadštevilnosti je 0.55555556.

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA F: IZRAČUN KOLIČIN NEVERTIKALNOSTI ZVONIKA

Stojišče	Zr ^{gon}	d [m]	Δh [m]	H [m]	H' ₃ = Δh + H
2000	80,87892	59,787	18,404	296,988	288,392
3000	61,41507	40,962	28,392	260,000	288,392
4000	90,47236	67,703	10,209	278,237	288,446

$\bar{H}_3 = \frac{\sum H'_3}{3}$	288.410
Popravek radij krogle	+ 0,177
Nadmorska višina središča krogle	288,587

Točka temelja	Y	X	H
A	412777,738	45803,8234	264,196
B	412781,445	45805,3773	264,442
C	412779,296	45800,1050	264,153
D	412783,004	45801,6782	264,645

Višina točke 3_A:
 $H_{3A} = H_3$

Višina točke 3_B:
 $H_{3B} = \frac{\sum_A^D H}{4}$

Položaj točke 3_A

$$Y_{3A} = \frac{Y_A + Y_B}{2}$$

$$X_{3A} = \frac{X_B + X_C}{2}$$

Točka	Y	X	H
3	412779,424	45802,000	288,446
3 _B	412780,371	45802,741	264,511
3 _A	412780,371	45802,741	288,446

Odmik in višina točke 3 pod jabolkom od navpičnice:

Odmik vrha od navpičnice (3-3 _B) =	<i>x</i>	1,203 m
Višina zvonika pod jabolkom (3 _A -3 _B) =	<i>Δh</i>	23,935 m

V spodnjih rezultatih je upoštevan popravek radij krogle:	0,177 m
---	---------

Odmik sredine krogle od navpičnice:	1,212 m	Referenčna točka je vrh traverze
Višina zvonika do sredine krogle:	24,112 m	

Odmik sredine krogle od navpičnice:	1,212 m	Referenčna točka je vrh kamnitega temelja
Višina zvonika do sredine krogle:	24,315 m	

Naklonski kot zvonika γ :			
γ^{rad}	$\gamma^{\text{dec.}}$	$\gamma^{\text{°'\"}}$	
0.05023753	2.878398	2° 52' 42,2"	Referenčna točka je vrh traverze
0.04981553	2.85422	2° 51' 15,1"	Referenčna točka je vrh kamnitega temelja