

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:

Ozmec, T., 2015. Vzpostavitev geodetske mreže za potrebe ocenjevanja kakovosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 48 str.

Datum arhiviranja: 21-07-2015

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:

Ozmec, T., 2015. Vzpostavitev geodetske mreže za potrebe ocenjevanja kakovosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 48 p.

Archiving Date: 21-07-2015

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

TOMI OZMEC

**VZPOSTAVITEV GEODETSKE MREŽE ZA POTREBE
OCENJEVANJA KAKOVOSTI OBLAKOV TOČK
AEROLASERSKEGA SKENIRANJA**

Diplomska naloga št.: 977/G

**GEODETIC NETWORK ESTABLISHMENT FOR THE
PURPOSE OF ANALYSING THE QUALITY OF
AIRBORNE LASER SCANNING POINT CLOUD**

Graduation thesis No.: 977/G

Mentor:
doc. dr. Božo Koler

Predsednik komisije:
prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:
asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 30. 06. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **TOMI OZMEC** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Vzpostavitev geodetske mreže za potrebe ocenjevanja kakovosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja.**«.

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

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

Ljubljana, 12. 6. 2015

Tomi Ozmec

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.715(497.4)(043.2)
Avtor:	Tomi Ozmec
Mentor:	doc. dr. Božo Koler
Somentorja:	asist. Tilen Urbančič, univ.dipl.inž.geod., asist. Klemen Kregar, univ.dipl.inž.geod.
Naslov:	Vzpostavitev geodetske mreže za potrebe ocenjevanja kakovosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	48 str., 18 pregl., 2 graf., 11 sl., 50 en., 9 pril.
Ključne besede:	geodetska mreža, vzpostavitev, izmera, izravnava, 7 parametrična transformacija

Izvleček

V okviru diplomske naloge smo na območju mesta Radovljica vzpostavili geodetsko mrežo v lokalnem koordinatnem sistemu. Stabilizirali smo 31 točk, na katerih smo z instrumentom Leica TS30 opazovali horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine. Terensko delo je vsebovalo še višinsko izmero mreže z metodo geometričnega nivelmana. Merjene količine smo nato obdelali in pripravili za horizontalno in višinsko izravnavo. Izravnane koordinate mreže v lokalnem koordinatnem sistemu smo transformirali v državni koordinatni sistem D96/TM s 7 parametrično transformacijo in izračunali natančnosti transformiranih koordinat. Transformacija je bila narejena z izračunom 7 parametrov transformacije na osnovi 8 veznih točk, podanih v državnem koordinatnem sistemu. Vzpostavljena geodetska mreža se bo v nadaljnjih raziskavah uporabljala za potrebe ocenjevanja oblakov točk aerolaserskega skeniranja na tem območju.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.715(497.4)(043.2)
Author:	Tomi Ozmec
Supervisor:	Assist. Prof. Božo Koler, Ph.D
Cosupervisors:	Assist. Tilen Urbančič, B.Sc., Assist. Klemen Kregar, B.Sc.
Title:	Geodetic network establishment for the purpose of analysing the quality of airborne laser scanning point cloud
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	48 p., 18 tab., 11 fig., 2 diag., 50 eq., 9 ann.
Keywords:	geodetic network, establishment, measurement, adjustment, 7 parameter transformation

Abstract

Within the graduation thesis we established a geodetic network in local coordinate system in the area of the town Radovljica. We stabilized 31 points on which we observed horizontal angles, zenith distances and slope distances with the instrument Leica TS30. Fieldwork also included height measurements with geometric levelling method. Measured quantities were then processed and prepared for horizontal and height adjustments. We transformed the adjusted network coordinates in local coordinate system with the 7 parametric transformation into the national coordinate system D96/TM and calculated the precision of the transformed coordinates. The transformation was done with the calculation of 7 parameters based on 8 tie points which were given in the national coordinate system. Established geodetic network will be used in further research for the purpose of analysing the quality of airborne laser scanning point clouds in this area.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge bi se rad zahvalil mentorju, doc. dr. Božo Kolerju. Zahvaljujem se tudi somentorjema, asist. Tilnu Urbančiču in asist. Klemnu Kregarju, za prijaznost in strokovno pomoč na terenu ter pri obdelavi podatkov.

Hvala tudi teti Regini za lektoriranje diplomske naloge.

Prav tako se zahvaljujem svoji družini, sošolcem, prijateljem in Špeli za vso podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Opredelitev ciljev diplomske naloge.....	1
1.2 Struktura naloge.....	1
2 OPIS PROBLEMA IN METODOLOGIJA DELA.....	2
2.1 Merska in programska oprema	3
3 IZMERA GEODETSKE MREŽE IN OBDELAVA PODATKOV	6
3.1 Vzpostavitev geodetske mreže.....	6
3.2 Izmera horizontalne mreže.....	6
3.2.1 Izračun sredin merjenih količin	8
3.2.2 Redukcija merjenih dolžin	9
3.3 Ocena natančnosti opazovanj.....	14
3.3.1 Rezultati ocene natančnosti merjenih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj	15
3.3.2 Rezultati izračuna natančnosti merjenih dolžin	17
3.4 Izmera višinske mreže.....	19
4 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE.....	21
4.1 Izravnava horizontalne mreže.....	21
4.1.1 Rezultati izravnave horizontalne geodetske mreže.....	22
4.2 Izravnava višinske mreže.....	24
4.2.1 Rezultati izravnave višinske geodetske mreže.....	25
5 TRANSFORMACIJA GEODETSKE MREŽE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM	28
5.1 Izračun transformacijskih parametrov in test skladnosti parametrov	31
5.2 Metoda odkrivanja grobih pogreškov (data snooping).....	36
5.3 Natančnost transformiranih koordinat.....	37
6 REZULTATI TRANSFORMACIJE GEODETSKE MREŽE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM.....	40
6.1 Rezultati izravnave transformacije koordinatnega sistema	40
6.2 Rezultati testa skladnosti koordinatnih sistemov	42
6.3 Rezultati metode pregledovanja popravkov opazovanj (data snooping)	43
6.4 Rezultati izračuna natančnosti transformiranih koordinat	44
7 ZAKLJUČEK	46
VIRI	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta Leica TS30:	4
Preglednica 2: Tehnični podatki instrumenta Leica DNA03:	5
Preglednica 3: Izračun natančnosti opazovanih horizontalnih smeri za stojiščno točko 4.....	15
Preglednica 4: Izračun natančnosti opazovanih horizontalnih smeri za stojiščno točko 4 brez dveh girusov.....	16
Preglednica 5: Natančnost opazovanih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj za celotno mrežo	17
Preglednica 6: Natančnost in velikosti popravkov merjenih dolžin.....	18
Preglednica 7: Rezultati izravnave horizontalne mreže	22
Preglednica 8: Cenilke kakovosti izravnane mreže.....	24
Preglednica 9: Odstopanja v posameznih zaključenih nivelmanskih zankah	25
Preglednica 10: Rezultati izravnave nivelmanske mreže	26
Preglednica 11: Rezultati izravnave višinske mreže trigonometričnega višinomerstva.....	26
Preglednica 12: Rezultati horizontalne in višinske izravnave geodetske mreže ter geoidne višine točk	40
Preglednica 13: Elipsoidne koordinate osmih danih točk in njihove natančnosti	41
Preglednica 14: Vrednosti 7 parametrov transformacije in njihove natančnosti.....	41
Preglednica 15: Koordinate vseh točk v državnem koordinatnem sistemu.....	42
Preglednica 16: Rezultat testa skladnosti koordinatnih sistemov.....	43
Preglednica 17: Natančnosti transformiranih koordinat vseh točk mreže.....	44
Preglednica 18: Najmanjša, največja in srednja vrednost natančnosti koordinat E,N,h	45

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacije stabiliziranih točk na območju Radovljice	2
Slika 2: Elektronski tahimeter Leica TS30.....	4
Slika 3: Grafični prikaz enostranskih in obojestranskih opravljenih opazovanj	7
Slika 4: Redukcija dolžine na nivo točk S_K na osnovi znane zenitne razdalje med točkama.....	11
Slika 5: Redukcija dolžine za projekcijske popravke na osnovi znanih nadmorskih višin	13
Slika 6: Višinska izmera mreže	19
Slika 7: Elipse pogreškov točk geodetske mreže.....	23
Slika 8: Prikaz osmih veznih točk za izračun transformacijskih parametrov	29
Slika 9: Shema transformacije koordinat geodetske mreže	30
Slika 10: Izračun geoidnih višin s spletno aplikacijo SiTraNet.....	31
Slika 11: Prikaz 7 parametrične transformacije med CT in G koordinatnim sistemom, koti rotacije so na sliki označeni z $(\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z)$ (Kogoj, Stopar: str. 31)	33

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Porazdelitev standardne deviacije merjenih horizontalnih smeri	17
Grafikon 2: Porazdelitev standardne deviacije merjenih dolžin.....	18

KRATICE

ALS	Aerolasersko skeniranje (angl. Airborne Laser Scanning).
ATR	Avtomatsko viziranje tarče (angl. Automatic Target Recognition).
ZOPVIK	Zakon o prenosu varianc in kovarianc.
CT k.s.	Terestrični koordinatni sistem, vzpostavljen na osnovi GNSS meritev.
G k.s.	Astrogeodetski koordinatni sistem, vzpostavljen na osnovi klasičnih meritev.
D96/TM	Nov državni koordinatni sistem (od 1. 1. 2008), ki temelji na skupnem Evropskem koordinatnem sistemu ETRS.

1 UVOD

1.1 Opredelitev ciljev diplomske naloge

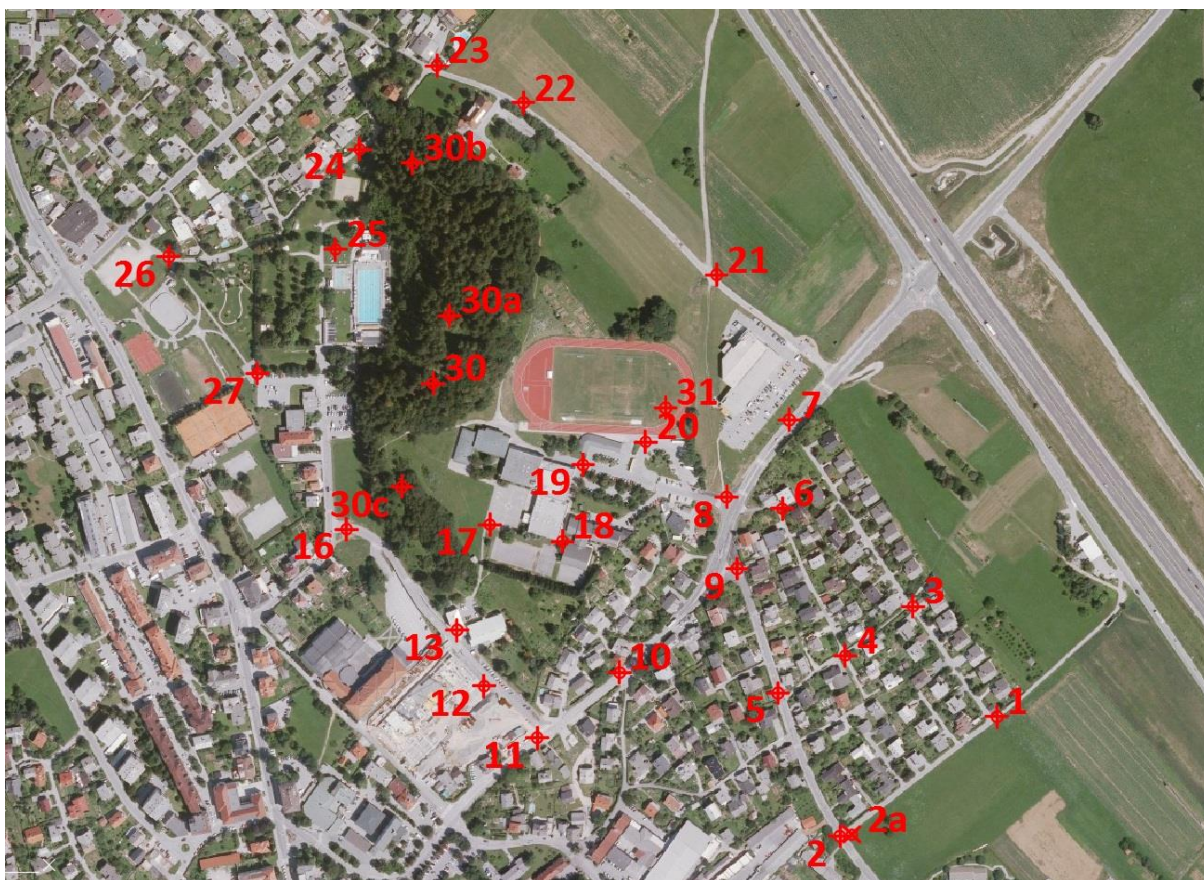
Glavni cilj diplomske naloge je vzpostavitev dovolj kakovostne geodetske mreže v državnem koordinatnem sistemu, ki se lahko v nadaljnjih raziskavah uporablja za ocenjevanje kakovosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja oz. ALS (angl. airborne laser scanning). ALS je tehnika daljinskega snemanja, s katero lahko pridobimo podatke o površju Zemlje in objektih na njem. Kakovost oblakov točk se bo preverjala tako, da bo vzpostavljena geodetska mreža služila kot koordinatno izhodišče za detajlno izmero karakterističnih točk, ki se jih bo dalo enolično določiti v oblakih točk ALS. Z detajlno izmero dobimo torej koordinate karakterističnih točk, ki jih potem lahko primerjamo s koordinatami, pridobljenimi z metodo ALS. Aerolasersko skeniranje na območju geodetske mreže je opravilo podjetje Flycom.d.o.o, ki za skeniranje uporablja instrument RIEGL LMS-Q780, ki s strani proizvajalca zagotavlja natančnost določitve točk 20 mm. Cilj diplomske naloge je vzpostaviti geodetsko mrežo, ki zagotavlja vsaj 3 krat boljšo natančnost točk, kot je natančnost ALS.

1.2 Struktura naloge

Diplomska naloga je razdeljena na 8 poglavij. V prvem predstavimo cilje in strukturo diplomske naloge. V drugem poglavju je predvsem opis problema in način reševanja opredeljenega problema ter opis merske in programske opreme. Tretje poglavje obsega vzpostavitev in izmero geodetske mreže ter obdelavo opazovanih količin za višinsko in horizontalno izravnavo. Četrto poglavje pa vsebuje horizontalno in višinsko izravnavo ter dobljene rezultate izravnave. Peto poglavje opisuje transformacijo koordinatnega sistema v državni koordinatni sistem, rezultati in natančnost transformacije pa so predstavljeni v šestem poglavju. Sledi še zaključek v sedmem poglavju in viri.

2 OPIS PROBLEMA IN METODOLOGIJA DELA

Reševanje problema je potekalo s terenskim delom in obdelavo pridobljenih podatkov. Terensko delo smo opravljali v treh delih. Prvi del je zajemal rekognosciranje terena in trajno stabiliziranje točk predvidene geodetske mreže, ki se razprostira na površini velikosti 0,5 km². Ker se mreža nahaja sredi urbanega naselja Radovljica, je skrbna izbira točk zelo pomembna. Stabilizirane točke morajo biti dobro povezane, da zagotovimo dobro natančnost. Vzpostavljena mreža točk je označena na sliki 1.



Slika 1: Lokacije stabiliziranih točk na območju Radovljice

V drugem delu je sledilo izvajanje meritev. Vzpostavljenih je bilo 31 stojiščnih točk, na katerih smo opazovali od 2 do 6 točk v petih girusih, kar pomeni precejšnje število meritev. Funkcija avtomatskega viziranja oz. ATR (angl. Automatic Target Recognition) na elektronskem tahimetru nam je s hitrim delovanjem omogočila, da smo meritve lahko opravili v enem dnevu. Opazovane točke smo označili z reflektorji, ki so bili postavljeni na stativ. Pri menjavi stojišča smo zamenjali prizmo in nosilec prizme s tahimetrom tako, da stativov med meritvami nismo premikali in s tem zagotovili isti položaj točk med celotno izmero. Med opravljanjem meritev smo vodili tudi zapisnik, kjer smo za vsako stojišče beležili točke, proti katerim smo merili, začetek in konec merjenja in višino instrumenta. Za potrebo redukcij merjenih dolžin smo izmerili še suho in mokro temperaturo, tlak in uro opravljanja meritve. Pri

opravljanju meritev je zaradi konstantnega prometa (avtomobilskega in pešcev) prišlo tudi do premika stojiščne točke 11, na kar nas je opozoril instrument, zato smo meritve do stojiščne točke morali ponoviti.

V tretjem delu terenskih meritev je sledila še višinska izmera mreže, in sicer z metodo geometričnega nivelmana. Vzpostavili smo 3 nivelmanske zanke in jih navezali na 3 dane reperje. Višine točk, ki so bile težje dostopne z metodo geometričnega nivelmana, smo določili z metodo trigonometričnega višinomerstva.

Po opravljenem terenskem delu je sledila obdelava podatkov, kjer smo v končni fazi izravnali horizontalno in višinsko mrežo, nato pa mrežo s 7 parametrično transformacijo transformirali v državni koordinatni sistem ETRS89/TM, in sicer z izračunom sedmih parametrov na osnovi prevzetih GPS meritev osmih stojiščnih točk.

2.1 Merska in programska oprema

Za izmero horizontalne mreže smo uporabili elektronski tahimeter Leica TS30 (slika 2), ki je namenjen najnatančnejšim meritvam kotov in dolžin v preciznih geodetskih mrežah. Instrument ima tudi funkcijo samodejnega viziranja in registracije merskih vrednosti, kar je v primeru velikega števila meritev zelo uporabno, predvsem zaradi hitro opravljenih meritev. Tehnični podatki instrumenta, navedeni s strani proizvajalca Leica, so prikazani v preglednici 1.



Slika 2: Elektronski tahimeter Leica TS30

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta Leica TS30:

Natančnost merjenja smeri: $\sigma_{\text{ISO-17123-3}}$	0,5" (0,15 mgon)
Natančnost merjenja dolžin z reflektorjem: $\sigma_{\text{ISO-17123-4}}$	0,6 mm + 1 ppm
Doseg s standardno prizmo (GPR1)	1,5 - 3500 m
Referenčni pogoji: n_0, p_0, t_0	1,0002863, 1013,25 hPa, 12 °C
Nosilno valovanje	0,658 μm
Merska frekvenca	50 MHz / 3 m
Zorno polje tahimetra	1°30' (1,66 gon)
Ločljivost dozne libele	6'/2 mm
Ločljivost elektronske libele	2"
Temperaturno območje delovanja	Od -20 °C do +50 °C
Sistemi ATR – Automatic Target Recognition	
Natančnost merjenja smeri: $\sigma_{\text{ISO-17123-3}}$	1 " (0,3 mgon)
Doseg (360° reflektor)	1,5 m - 1000 m
Čas iskanja v zornem polju tahimetra (1°25')	1,5 s
Čas spremembe krožne lege	2,9 s
Hitrost rotacije	180° (200 gon) / sec

Za vzpostavitev višinske mreže smo uporabili digitalni nivelir Leica DNA03, s katerim lahko opravimo meritve preciznega nivelmana. Tehnični podatki instrumenta, navedeni s strani proizvajalca, so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Tehnični podatki instrumenta Leica DNA03:

Standardni odklon km dvojnega nivelmana: $\sigma_{\text{ISO-17123-2}}$	0,3 mm (invar lata)
Natančnost čitanja	0,01 mm
Doseg elektronske meritve	1,8 - 110 m
Ločljivost dozne libele	8'/2 mm
Ločljivost kompenzatorja	0,3"
Delovno območje kompenzatorja	$\pm 10'$
Temperaturno območje delovanja	Od -20 °C do +50 °C

Uporabljali smo še naslednje merske pripomočke:

- precizni reflektorji Leica GPH1P,
- nosilci reflektorjev,
- stativi,
- žepni merski trak,
- digitalni barometer,
- precizni aspiracijski psihrometer,
- precizne invar late s kodno razdelbo,
- podstavki za postavljanje lat.

Programska oprema, s katero smo obdelovali meritve ter ostale izračune:

- Microsoft Excel (izračun sredin meritev, standardnih deviacij, redukcij dolžin),
- GEM 4.0 (izravnava horizontalne mreže),
- VimWin (izravnava višinske mreže),
- MATLAB R2011b (transformacija koordinatnega sistema, test skladnosti, iskanje grobih pogreškov, izračun natančnosti transformacije),
- SiTraNet 2.10 (pridobitev približnih geoidnih ondulacij),
- Wolfram Mathematica 10 (parcialno odvajanje obsežnih enačb),
- AutoCAD Civil 3D 2016 (izris mrež točk).

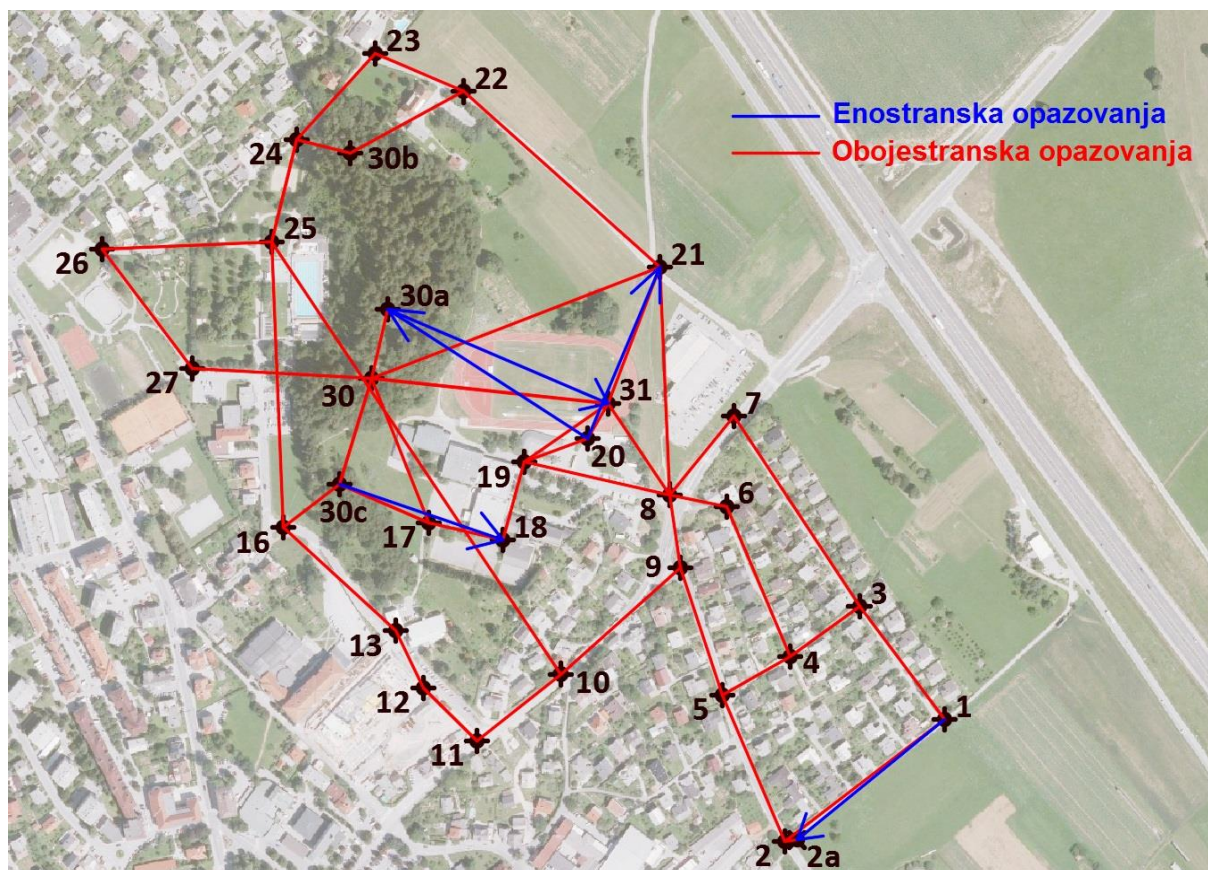
3 IZMERA GEODETSKE MREŽE IN OBDELAVA PODATKOV

3.1 Vzpostavitev geodetske mreže

Pri vzpostavitvi izmeritvene mreže moramo upoštevati pravila pri planiranju mreže, izbrati optimalno metodo izmere in se prilagoditi danim terenskim razmeram. Ker smo mrežo razvijali v urbanem območju, je bilo pomembno pred trajno stabilizacijo točk opraviti natančen pregled terena in preveriti vidljivost med posameznimi stojišči, saj nam v urbanem okolju predstavljajo problem razne fizične ovire. Na podlagi oglada terena smo se nato odločili o številu in razporeditvi stojiščnih točk. Pomemben dejavnik pri določitvi položajev točk pa je bil tudi osnovni namen vzpostavitve mreže. Mrežo smo razvili v lokalnem koordinatnem sistemu in točke po obdelavi pretvorili v državni koordinatni sistem. Meritve smo opravili po klasičnih terestričnih metodah izmere, torej z uporabo triangulacije, trilateracije, trigonometričnega višinomerstva in geometričnega nivelmana.

3.2 Izmera horizontalne mreže

Na vsakem izmed 31 stojiščnih točk smo opravili meritve horizontalnih smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine v petih girusih do drugih vidnih stojiščnih točk. Opazovanja smo opravljali po girusni metodi, ki je tudi najbolj pogosto uporabljena metoda in je v našem primeru tudi najbolj optimalna, saj zaradi merjenja v dveh krožnih legah eliminiramo večino instrumentalnih pogrškov, hkrati pa pridobimo nadštevila opazovanja, ki nam omogočajo izravnavo in oceno natančnosti mreže. Na vsakem stojišču smo za orientacijo vizirali najbolj oddaljeno dobro vidno točko. Nekatere meritve med točkami so bile opravljene le enostransko, kar prikazuje slika 3.



Slika 3: Grafični prikaz enostranskih in obojestranskih opravljenih opazovanj

Tahimeter Leica TS30 omogoča uporabo sistemov višje stopnje avtomatizacije: avtomatskega prepoznavanja tarče (angl. Power Search), avtomatskega viziranja tarče (angl. Automatic Target Recognition) in avtomatskega sledenja tarče (angl. LOCK). Od slednjih smo uporabili funkcijo avtomatskega viziranja tarče, ki bistveno poenostavi in pospeši geodetsko izmero, zlasti ko imamo opravka z večjim številom meritev na enem stojišču. Pri uporabi sistema ATR moramo sami na grobo usmeriti tahimeter proti merjenim tarčam v prvem pol girusu tako, da je vsaka posamezna tarča v vidnem polju instrumenta. Po nastavitvi števila girusov je postopek merjenja popolnoma avtomatiziran.

Največja prednost motoriziranega tahimetra z vgrajeno tehnologijo ATR je izvajanje samostojnih meritev, ki imajo periodični značaj. Girusna metoda izmere z uporabo ATR poteka približno dvakrat hitreje kot klasična izmera. Pomembna prednost je tudi, da je izmera popolnoma avtomatizirana in je operater po identifikaciji točk in nastavitvi števila girusov nepotreben. Pomanjkljivost sistema ATR je, da so natančnosti posameznih serij v primerjavi s klasično metodo izmere manj homogene, kar lahko nakazuje na boljšo kakovost opazovanih smeri pri klasičnem viziranju na tarčo (Valh in sod., 2009).

3.2.1 Izračun sredin merjenih količin

Meritve horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in dolžin smo opravili v dveh krožnih legah v petih girusih. Izračunati moramo torej srednjo vrednost merjenih kotov v obeh krožnih legah za posamezen girus in srednjo vrednost petih girusov. Omenjene izračune smo naredili v programu Microsoft Excel.

- Izračun sredine merjenih horizontalnih smeri v obeh krožnih legah

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

kjer so:

i indeks merjene horizontalne smeri ($i = 1, \dots, m$),

j indeks girusa ($j = 1, \dots, n$),

$\alpha_{i,j,I}$ meritev horizontalne smeri v prvi krožni legi,

$\alpha_{i,j,II}$ meritev horizontalne smeri v drugi krožni legi.

- Izračun aritmetične sredine girusov za merjene horizontalne smeri

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\alpha_{i,1} + \alpha_{i,2} + \alpha_{i,3} + \alpha_{i,4} + \alpha_{i,5}}{n}, \quad (2)$$

kjer so:

n število girusov ($n = 5$),

$\alpha_{i,1}, \dots, \alpha_{i,5}$ srednje vrednosti merjenih horizontalnih smeri v obeh krožnih legah.

- Izračun sredine merjenih zenitnih razdalj v obeh krožnih legah

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

kjer so:

i indeks opazovane zenitne razdalje ($i = 1, 2, \dots, m$),

j indeks girusa ($j = 1, 2, \dots, n$),

$v_{j,k,I}$ meritev zenitne razdalje v prvi krožni legi,

$v_{j,k,II}$ meritev zenitne razdalje v drugi krožni legi.

- Izračun aritmetične sredine girusov za merjene zenitne razdalje

$$\bar{z}_i = \frac{z_{i,1} + z_{i,2} + z_{i,3} + z_{i,4} + z_{i,5}}{n}, \quad (4)$$

kjer so:

n število girusov ($n = 5$),

$v_{1,k}, \dots, v_{5,k}$ srednje vrednosti merjenih zenitnih razdalj v obeh krožnih legah.

- Izračun aritmetične sredine za merjene dolžine

$$\overline{D}_i = \frac{D_{1,I} + D_{1,II} + D_{2,I} + D_{2,II} + \dots + D_{5,I} + D_{5,II}}{10}, \quad (5)$$

kjer so:

$D_{1,I}, \dots, D_{5,I}$ meritve dolžin v prvi krožni legi,

$D_{1,II}, \dots, D_{5,II}$ meritve dolžin v drugi krožni legi.

3.2.2 Redukcija merjenih dolžin

Razdaljo, ki jo s tahimetrom izmerimo na terenu, moramo pred izravnavo popraviti za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke. Vse popravke smo izračunali v programu Microsoft Excel.

- Meteorološki popravki

Merjenje meteoroloških parametrov smo izvedli na vsakem posameznem stojišču posebej. Merili smo zračni tlak in mokro ter suho temperaturo s preciznim aspiracijskim psihrometrom.

Dolžina, ki jo prikaže instrument, se nanaša na referenčni lomni količnik, ki je različen za različne tipe instrumentov in se razlikuje od dejanskega lomnega količnika, ki vlada v dejanski atmosferi med merjenjem. Njegova vrednost se izračuna na osnovi merjenih meteoroloških parametrov (Kogoj, 2005).

Prvi popravek hitrosti izračunamo po naslednji enačbi:

$$k_n = D_a - D. \quad (6)$$

Dolžino popravljeno za prvi popravek hitrosti pa izračunamo po enačbi:

$$D = \frac{n_0}{n_D} \cdot D_a, \quad (7)$$

kjer so za (10) in (11):

n_0 referenčni lomni količnik,

n_D dejanski lomni količnik,

D_a merjena dolžina [m].

Dejanski lomni količnik izračunamo po enačbi Barell-Sears, ki jo je preuredil Kohlrausch:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha \cdot t} \cdot \frac{p}{760} - \frac{4,1 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha \cdot t} \cdot e, \quad (8)$$

kjer so:

- n_G grupni lomni količnik pri dejanskih razmerah med merjenjem,
- p zračni tlak [torr],
- t temperatura [°C],
- e delni tlak vodne pare [torr],
- α razteznostni koeficient zraka ($\alpha = 0,00367^\circ\text{C}^{-1}$).

Delni tlak vodne pare e dobimo po Sprungovi enačbi za Assmannov aspiracijski psihrometer:

$$e = E_m - (t - t_m) \cdot \frac{K}{755} \cdot p, \quad (9)$$

kjer so:

- t temperatura suhega termometra [°C],
- t_m temperatura mokrega termometra [°C],
- p zračni tlak [torr],
- E_m nasičen tlak vodne pare [torr],
- K empirično določena konstanta.

Grupni lomni količnik izračunamo po enačbi:

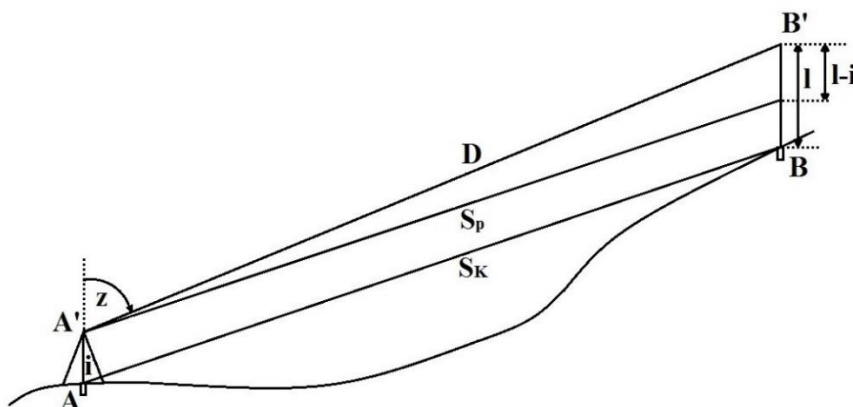
$$n_G = \left(A + 3 \cdot \frac{B}{\lambda^2} + 5 \cdot \frac{C}{\lambda^4} \right) \cdot 10^{-6} + 1, \quad (10)$$

kjer so:

- λ valovna dolžina nosilnega valovanja ($\lambda = 0,658\text{nm}$),
- A, B, C empirično določene konstante:
($A = 287,6155$; $B = 1,62887$; $C = 0,01360$ (Ciddor&Hill)).

Ker se drugi popravek hitrosti upošteva pri dolžinah, daljših od 65 km, smo ga lahko zanemarili, saj merjene dolžine niso presegale 300 m.

- Geometrični popravki



Slika 4: Redukcija dolžine na nivo točk S_K na osnovi znane zenitne razdalje med točkama

Geometrični popravki pomenijo razliko med prostorsko krivuljo D , definirano z refrakcijsko krivuljo in premo poševno dolžino na nivoju točk, to je dolžina kamen – kamen (slika 4). Popravki pomenijo upoštevanje ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter upoštevanje horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera in reflektorja (Kogoj, 2005).

Popravka zaradi horizontalne ekscentricitete razdaljemera in reflektorja nismo posebej računali, saj je bila vrednost adicijske konstante nastavljena na instrumentu že pred meritvami. Edini popravek, ki ga je bilo smiselno upoštevati, je ta, ki nastopi pri izračunu poševne dolžine med točkama na nivoju terena. Ker smo ob merjenju dolžin hkrati merili še zenitne razdalje, lahko dolžino izračunamo po naslednji enačbi ob predpostavki, da je $S_p \approx D$:

$$S_p = D - (l - i) \cdot \cos z + \frac{((l - i) \cdot \sin z)^2}{2D - (i - l) \cdot \cos z}, \quad (11)$$

kjer so:

- D izmerjena in na poševno tetivo na nivoju optične poti reducirana dolžina [m],
- i višina instrumenta [m],
- l višina reflektorja [m],
- z merjena zenitna razdalja.

Dolžino S_p , ki je na višini tahimetra in reflektorja, moramo še reducirati na nivo točk z enačbo:

$$S_K = S_p - \frac{i \cdot S_p}{R}, \quad (12)$$

kjer so:

- R polmer Zemlje [m],
 i višina instrumenta [m].

- Projekcijski popravki

Upoštevanje projekcijskih popravkov merjenih dolžin pomeni prehod s prostorske poševne dolžine na nivoju točk S_K na sferni lok S v nivoju referenčnega horizonta na referenčni ploskvi ter nato v izbrano projekcijsko ravnino (Kogoj, 2005).

Najprej smo izračunali višinske razlike med točkami na osnovi merjenih zenitnih razdalj in nato dolžine reducirali na skupni nivo 494 m, ki je srednja vrednost nadmorskih višin vseh točk mreže, zaokrožena na celo število.

Višinske razlike smo računali iz reduciranih dolžin na nivoju točk, zato smo tudi zenitno razdaljo reducirali na nivo točk po enačbi:

$$z_r = z + \arcsin\left((l - i) \cdot \frac{\sin z}{S_K}\right), \quad (13)$$

kjer so:

- z merjena zenitna razdalja,
 i višina instrumenta [m],
 l višina signala [m],
 S_K reducirana dolžina na nivoju točk.

Višinske razlike za enostransko merjene zenitne razdalje smo izračunali po enačbi:

$$\Delta h_A^B = S_K \cdot \cos z_r + \frac{1 - k}{2R} \cdot \frac{S_K^2}{\sin^2 z_r}, \quad (14)$$

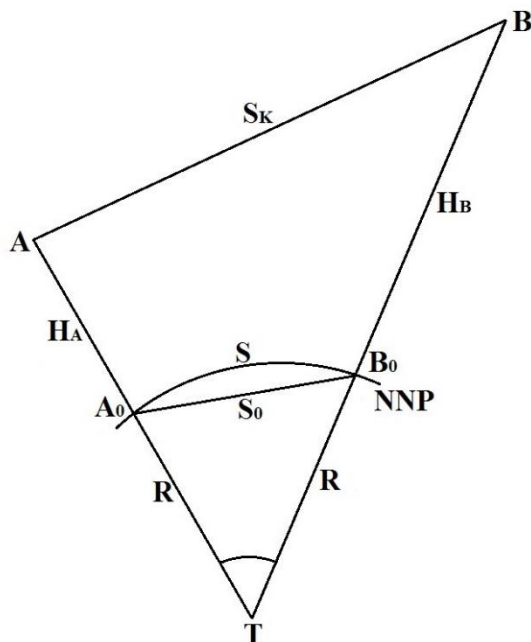
za obojestransko merjene zenitne razdalje pa smo višinsko razliko izračunali po enačbi:

$$\Delta h_A^B = \frac{S_{KA}^B + S_{KB}^A}{2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{z_{rA}^B - z_{rB}^A}{2}\right)}{\cos\left(\frac{S_{KB}^A}{2R}\right)}, \quad (15)$$

kjer so za (18) in (19):

- z_r reducirana zenitna razdalja na nivoju točk,
 S_K reducirana dolžina na nivoju točk [m],

- k koeficient refrakcije ($k = 0,13$),
 R polmer Zemlje ($R = 6\,370\,000\text{ m}$)
 i višina instrumenta [m],
 l višina signala [m].



Slika 5: Redukcija dolžine za projekcijske popravke na osnovi znanih nadmorskih višin

Poševno dolžino na nivoju točk smo reducirali na tetivo v nivoju horizonta, kot prikazuje slika 5, po naslednji enačbi:

$$S_0 = \sqrt{\frac{\left(\frac{S_{KA}^B + S_{KB}^A}{2}\right)^2 - \left(\frac{\Delta h_{AB} + \Delta h_{BA}}{2}\right)^2}{\left(1 + \frac{H_A}{R}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_A + \Delta h}{R}\right)}}, \quad (16)$$

kjer so:

- S_{KA}^B prostorska poševna dolžina na nivoju točk [m],
 Δh_{AB} razlika višin med točkama, izračunana iz enostransko merjene zenitne razdalje [m],
 Δh razlika višin, izračunana iz obojestransko merjenih zenitnih razdalj [m],
 H_A višina točke, s katere merimo nad ali pod skupnim nivojem 494 m [m],
 R polmer Zemlje [m].

Zaradi krajših dolžin prehoda s tetive S_0 na sferni lok S nismo upoštevali, saj največja vrednost popravka, ki nastopi pri najdaljši dolžini, znaša manj kot tisočinko milimetra.

3.3 Ocena natančnosti opazovanj

Izračunati moramo oceno natančnosti merjenja horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in dolžin, saj jih uporabimo kot vhodni podatek pri horizontalni izravnavi. Ocene natančnosti smo izračunali s programom Microsoft Excel.

- Ocena natančnosti merjenih horizontalnih smeri

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (\alpha_{i,j} - \bar{\alpha}_i)^2}{n-1}}, \quad (17)$$

kjer so:

- i indeks smeri ($i = 1, \dots, m$),
- j indeks girusa ($j = 1, \dots, n$),
- $\alpha_{i,j}$ aritmetična sredina obeh krožnih leg,
- $\bar{\alpha}_i$ aritmetična sredina girusov.

- Ocena natančnosti merjenih zenitnih razdalj

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (z_{i,j} - \bar{z}_i)^2}{n-1}}, \quad (18)$$

kjer so:

- i indeks smeri ($i = 1, \dots, m$),
- j indeks girusa ($j = 1, \dots, n$),
- $z_{i,j}$ aritmetična sredina obeh krožnih leg,
- \bar{z}_i aritmetična sredina girusov.

- Ocena natančnosti merjenih dolžin

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (D_{i,j} - \bar{D}_i)^2}{n-1}}, \quad (19)$$

kjer so:

- i indeks smeri ($i = 1, \dots, m$),
- j indeks girusa ($j = 1, \dots, n$),
- $D_{i,j}$ aritmetična sredina obeh krožnih leg,
- \bar{D}_i aritmetična sredina girusov.

3.3.1 Ocena natančnosti merjenih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj

Pri izračunu natančnosti merjenih horizontalnih smeri smo pri stojišču 4 opazili, da je pri opazovanju prišlo do grobega pogreška, saj so standardne deviacije prevelike, kot lahko vidimo v preglednici 3. Po pregledu odstopanj posamezne smeri od sredin vseh petih girusov smo opazili, da so največje vrednosti odstopanj pri prvem in drugem girusu ter da se vrednosti opazovanih smeri prvega in drugega girusa občutno razlikujejo od ostalih girusov.

Preglednica 3: Izračun natančnosti opazovanih horizontalnih smeri za stojiščno točko 4

	Vizirana	$\alpha_{i,j,I} / \alpha_{i,j,II}$	$\alpha_{i,j}$	$\bar{\alpha}_i$	$\alpha_{i,j} - \bar{\alpha}_i$	σ_α
Točka	točka	[grad]	[grad]	[grad]	[grad]	['']
4	5	293,44933	293,44788	293,43370	-0,01418	29,1
1. girus	6	399,99959	399,99836	399,98720	-0,01116	36,8
	3	85,67770	85,67684	85,66490	-0,01194	35,1
	3	285,67598				
	6	199,99713				
	5	93,44642				
2. girus	5	293,44817	293,43743		-0,00373	
	6	399,99951	400,00085		-0,01365	
	3	85,67762	85,67667		-0,01177	
	3	285,67572				
	6	200,00218				
	5	93,42669				
3. girus	5	293,42854	293,42771		0,00599	
	6	399,97972	399,97884		0,00836	
	3	85,65785	85,65714		0,00777	
	3	285,65642				
	6	199,97795				
	5	93,42687				
4. girus	5	293,42853	293,42769		0,00601	
	6	399,98026	399,97898		0,00822	
	3	85,65780	85,65694		0,00796	
	3	285,65608				
	6	199,97769				
	5	93,42685				
5. girus	5	293,42859	293,42779		0,00591	
	6	399,98034	399,97897		0,00823	
	3	85,65781	85,65694		0,00797	
	3	285,65606				
	6	199,97760				
	5	93,42698				

Iz opazovanj lahko vidimo, da so meritve od tretjega do petega girusa precej podobne, prva dva girusa pa odstopata, zato smo ju izločili iz opazovanj in izračunali natančnosti posamezne smeri samo iz zadnjih treh girusov (preglednica 4).

Preglednica 4: Izračun natančnosti opazovanih horizontalnih smeri za stojiščno točko 4 brez dveh girusov

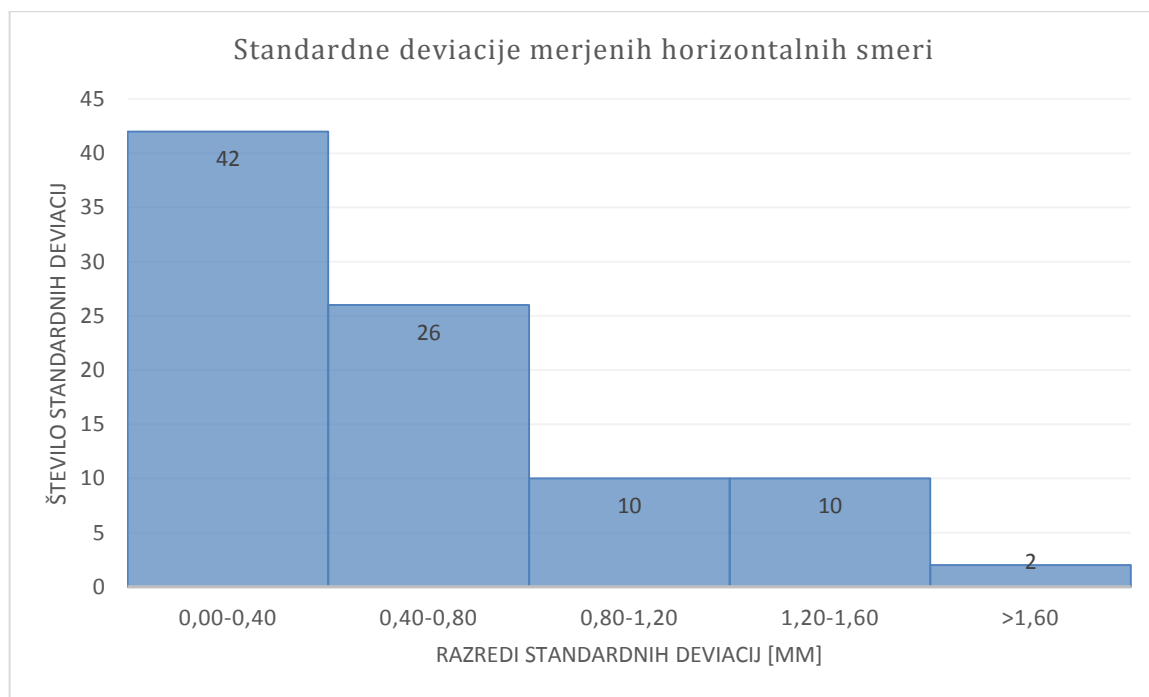
	Vizirana	$\alpha_{i,\varphi,I} / \alpha_{i,\varphi,II}$	$\alpha_{i,j}$	$\bar{\alpha}_i$	$\alpha_{i,j} - \bar{\alpha}_i$	σ_α
Točka	točka	[grad]	[grad]	[grad]	[grad]	['']
4	5	293,44933	293,44788		-0,02015	
1. girus	6	399,99959	399,99836		-0,01943	
	3	85,6777	85,67684		-0,01984	
	3	285,67598				
	6	199,99713				
	5	93,44642				
2. girus	5	293,44817	293,43743		-0,00970	
	6	399,99951	400,00085		-0,02192	
	3	85,67762	85,67667		-0,01967	
	3	285,67572				
	6	200,00218				
	5	93,42669				
3. girus	5	293,42854	293,42771	293,42773	0,00002	0,2
	6	399,97972	399,97884	399,97893	0,00009	0,2
	3	85,65785	85,65714	85,65700	-0,00013	0,1
	3	285,65642				
	6	199,97795				
	5	93,42687				
4. girus	5	293,42853	293,42769		0,00004	
	6	399,98026	399,97898		-0,00005	
	3	85,6578	85,65694		0,00006	
	3	285,65608				
	6	199,97769				
	5	93,42685				
5. girus	5	293,42859	293,42779		-0,00006	
	6	399,98034	399,97897		-0,00004	
	3	85,65781	85,65694		0,00007	
	3	285,65606				
	6	199,9776				
	5	93,42698				

Izračunali smo tudi največjo, najmanjšo in povprečno vrednost standardne deviacije za vse merjene horizontalne smeri in zenitne razdalje (preglednica 5).

Preglednica 5: Natančnost opazovanih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj za celotno mrežo

	σ_a ["]	σ_z ["]
Največja standardna deviacija:	3,1	3,6
Najmanjša standardna deviacija:	0,1	0,1
Povprečna standardna deviacija:	0,7	0,5

Iz rezultatov vidimo, da je povprečna vrednost standardne deviacije pod 1 ", kar je tudi za pričakovati, saj so meritve bile opravljene s tahimetrom, za katerega proizvajalec navaja, da ima natančnost merjenja kotov 1 ", hkrati pa smo opravili veliko nadštevilnih meritev. Rezultate izračunanih vseh standardnih deviacij merjenih horizontalnih smeri, ki jih je 90, smo razdelili v 5 enako velikih razredov in jih prikazali v grafikonu 1. Vidimo, da so standardne deviacije porazdeljene približno po standardizirani normalni porazdelitvi.



Grafikon 1: Porazdelitev standardne deviacije merjenih horizontalnih smeri

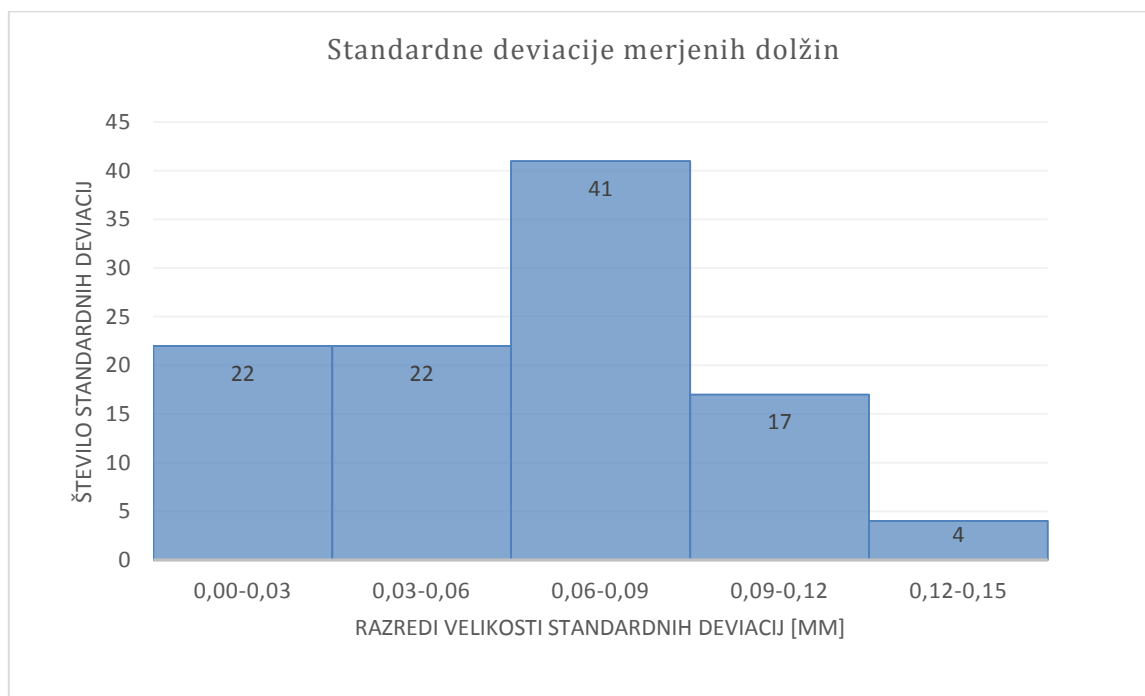
3.3.2 Ocena natančnosti merjenih dolžin

Izmerjenim dolžinam smo v poglavju 3.3 izračunali standardne deviacije ter jih popravili za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke, opisane v poglavju 3.2.2. Vrednosti popravkov in standardnih deviacij so prikazane spodaj v preglednici 6.

Preglednica 6: Natančnost in velikosti popravkov merjenih dolžin

	σ_s [mm]	Meteo. popr. [mm]	Geom. popr. [mm]	Proj. popr. [mm]
Največja vrednost:	0,15	1,7	88,0	1457,3
Najmanjša vrednost:	0,02	0,0	0,0	0,3
Povprečna vrednost:	0,08	0,7	10,3	162,0

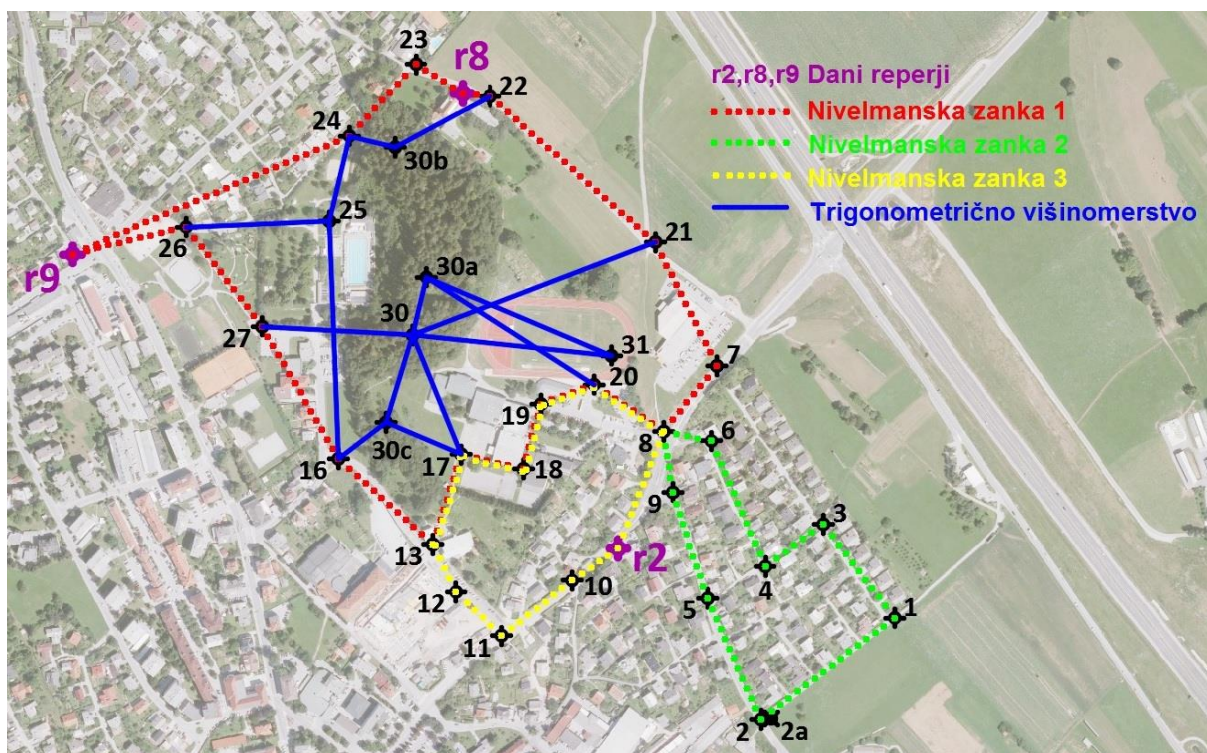
Natančnost merjenja dolžin je v skladu z našimi pričakovanji, saj so dolžine bile kratke (do 300 m), hkrati pa smo opravili veliko število nadštevilnih opazovanj. Tudi specifikacije tahimetra nam podajajo natančnost merjenih dolžin z uporabo reflektorja: 0,6 mm + 1 ppm. Izračunanih 90 standardnih deviacij za merjene dolžine smo razdelili v 5 razredov in rezultate prikazali v grafikonu 2. Vidimo, da so v našem primeru najmanjši meteorološki popravki, ki so odvisni od razlike med referenčnimi meteorološkimi pogoji za instrument in dejanskimi pogoji, v katerih izvajamo meritve. Geometrični popravki bi bili večji, če bi imeli večje višinske razlike med instrumentom in reflektorjem ter pri strmih vizurah. Projekcijski popravki pa so bili največji, odvisni so od višinske razlike med točkami v mreži in razdalje med njimi. Celotni izračun popravkov merjenih dolžin je podan v prilogah 1 in 2.



Grafikon 2: Porazdelitev standardne deviacije merjenih dolžin

3.4 Izmera višinske mreže

Izmero višinske mreže smo opravili z metodo geometričnega nivelmana z merjenjem v eno smer z navezavo mreže na 3 dane reperje. Mrežo točk smo izmerili s tremi nivelmanskimi zankami z niveliranjem iz sredine, kar tudi eliminira večino sistematičnih pogreškov (vpliv nehorizontalnosti vizurne osi, vpliv refrakcije, vpliv ukrivljenosti Zemlje). Težje dostopnim točkam smo višinske razlike izmerili s trigonometričnim višino merstvom, in sicer z obojestransko oziroma enostransko merjenimi višinskimi razlikami (slika 6).



Slika 6: Višinska izmera mreže

Višinske razlike med niveliranimi točkami smo izračunali v programu Microsoft Excel po enačbi:

$$\Delta h_A^B = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = \sum_{i=1}^n l_{Si} - l_{Zi}, \quad (20)$$

kjer sta:

l_{Si}, l_{Zi} odčitka instrumenta na prednji in zadnji lati za i -to izmenišče,

Δh_i višinska razlika za i -to izmenišče.

Natančnost višin točk, ki smo jo hoteli doseči, so reda velikosti nekaj mm, zato odčitkov višinskih razlik nismo popravljali za popravek metra para lat, popravek pete lat in temperaturni popravek, saj so ti reda velikosti nekaj stotink mm.

Odčitke višinskih razlik in dolžin za posamezno izmenišče smo sešteli in tako dobili višinske razlike in dolžine nivelmanskih linij med točkami mreže. Pred izravnavo smo še izračunali dopustna odstopanja pri zapiranju zank za mestno nivelmansko mrežo 1. reda za vse tri nivelmanske zanke po enačbi, ki ga določa pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981):

$$\Delta_{dop} [mm] = \pm 2 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2}, \quad (21)$$

kjer je d – dolžina nivelmanske linije v km.

Višinske razlike, pridobljene z merjenjem zenitnih razdalj z metodo trigonometričnega višinomerstva za enostransko in obojestransko merjene zenitne razdalje, smo izračunali že pri redukciji dolžin po enačbah (13), (14) in (15).

4 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE

4.1 Izravnava horizontalne mreže

Geodetsko mrežo smo izravnali kot prosto mrežo, kar pomeni, da so vse točke v mreži podane kot nove točke. Za horizontalno izravnavo mreže smo kot vhodne podatke potrebovali:

- približne koordinate točk,
- reducirane horizontalne smeri,
- dolžine, popravljene za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke,
- uteži reduciranih smeri in dolžin,
- natančnosti merjenja dolžin in horizontalnih smeri, določenih s strani proizvajalca instrumenta.

Vhodni podatek za izravnavo je tudi a-priori ocena natančnosti merjenih horizontalnih smeri in merjenih dolžin, ki smo jo izračunali v poglavju 3.3 kot povprečno vrednost standardnih deviacij. Ker pa smo po horizontalni izravnavi dobili vrednost referenčnega standardnega odklona enote uteži $\hat{\sigma}_0 = 0,8$, smo kot a-priori natančnost za izravnavo uporabili natančnosti merjenja dolžin in horizontalnih smeri, določene s strani proizvajalca. Tako smo dobili vrednost referenčnega standardnega odklona enote uteži $\hat{\sigma}_0$ blizu 1 (preglednica 8).

Približne koordinate točk smo izračunali tako, da smo približne koordinate začetnih točk (točke 1 in 2) odčitali na državnih ortofoto načrtih na spletni strani (www.geopedia.si) in nato s postopkom izračuna slepega poligona izračunali približne koordinate ostalih točk na osnovi merjenih dolžin in horizontalnih smeri.

Kot utež za reducirane smeri smo uporabili ocene natančnosti horizontalnih smeri (poglavje 3.3). Ker so vse dolžine relativno kratke (do 300 m), smo vsem dolžinam podali enako utež.

Horizontalno izravnavo mreže smo opravili s programom GEM4.0 (Ambrožič, Turk, Jamšek), ki za izravnavo uporabi Gauss-Markov model posredne izravnave. Izhodni podatki izravnave horizontalne mreže so:

- definitivne horizontalne koordinate točk,
- natančnosti določitve koordinat točk,
- popravki opazovanj,
- a-posteriori ocena natančnosti opazovanih količin,
- elementi elipse pogreškov položaja točk.

Rezultati izravnave so torej horizontalne koordinate točk v lokalnem koordinatnem sistemu, saj mreža, ki smo jo izravnali, ni bila vpeta in orientirana.

4.1.1 Rezultati izravnave horizontalne geodetske mreže

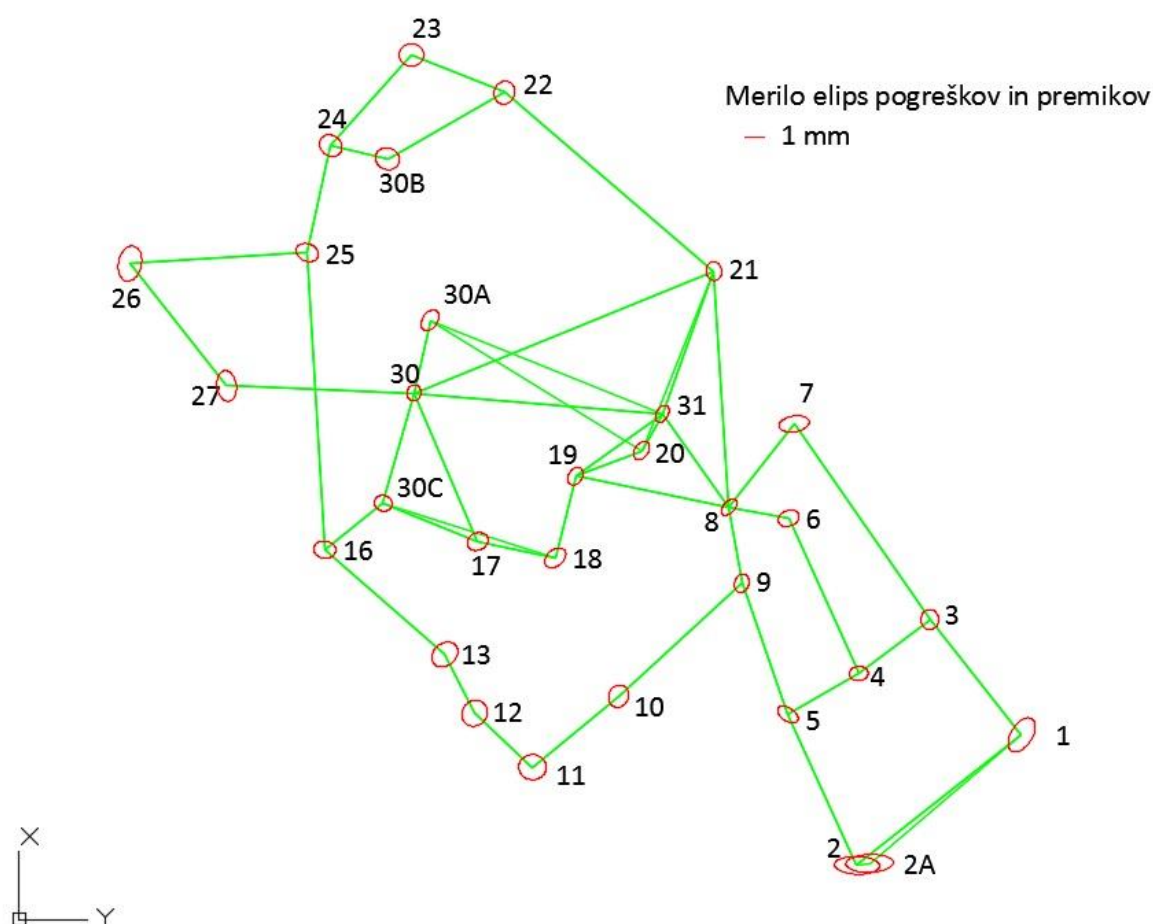
Izravnali smo horizontalno mrežo z 31 točkami, kjer smo kot rezultate izravnave dobili definitivne koordinate točk v lokalnem koordinatnem sistemu in njihove natančnosti, popravke opazovanj ter elemente elips pogreškov položaja točk.

Preglednica 7: Rezultati izravnave horizontalne mreže

Točka	y [m]	x [m]	σ_y [m]	σ_x [m]	σ_p [m]	a [m]	b [m]	θ [°]
1	437303,2926	133717,1964	0,0007	0,0009	0,0011	0,0010	0,0005	32
2A	437168,3686	133603,0937	0,0012	0,0005	0,0013	0,0012	0,0005	88
2	437157,2104	133601,3194	0,0011	0,0005	0,0012	0,0011	0,0004	92
3	437221,8515	133819,5752	0,0005	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	179
4	437158,8180	133771,7752	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	84
5	437095,9586	133735,2178	0,0005	0,0004	0,0007	0,0006	0,0003	123
6	437096,6474	133909,5686	0,0005	0,0004	0,0007	0,0006	0,0004	69
7	437101,5360	133993,4033	0,0008	0,0004	0,0009	0,0008	0,0004	81
8	437043,8524	133919,4016	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0003	44
9	437055,0368	133851,9273	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	16
10	436945,8445	133751,6750	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	24
11	436869,5020	133688,4725	0,0007	0,0006	0,0009	0,0007	0,0006	94
12	436818,1910	133736,5189	0,0006	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006	35
13	436791,7439	133788,6802	0,0007	0,0006	0,0009	0,0007	0,0006	51
16	436685,3416	133881,7072	0,0006	0,0004	0,0007	0,0006	0,0004	97
17	436820,7974	133888,9501	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	66
18	436889,7353	133874,4830	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	50
19	436907,6362	133946,9410	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	32
20	436966,2731	133969,7095	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0003	35
21	437030,3008	134129,0665	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	172
22	436844,6697	134287,7445	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	17
23	436762,1767	134321,1669	0,0006	0,0006	0,0008	0,0006	0,0006	89
24	436690,5297	134240,6320	0,0006	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	127
25	436669,6981	134145,6538	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	113
26	436512,4284	134135,8574	0,0006	0,0009	0,0011	0,0009	0,0006	11
27	436598,2664	134027,1485	0,0005	0,0008	0,0009	0,0008	0,0005	172
30	436764,4064	134020,9685	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	11
30A	436778,6430	134085,4354	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	34
30C	436737,0490	133922,9502	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	103
30B	436740,8425	134228,8796	0,0006	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	114
31	436984,5221	134002,4405	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0003	30

Iz preglednice 7 vidimo, da so vrednosti položajnih pogreškov stojščnih točk od 0,5 mm do največ 1,3 mm, kar je glede na uporabljen instrument in metode meritev realen rezultat. Najboljšo položajno natančnost so imele točke, na katere smo lahko opazovali z največ različnih točk, ki so bile dobro razporejene okrog točke, kar je za pričakovati, saj oblika mreže in število meritev izboljša natančnost dobljenih položajev točk.

V preglednici 7 so še prikazane velike (a) in male polosi (b) elips pogreškov ter smerni koti velike polosi (θ). Elipse pogreškov nam prikazujejo položajno natančnost določitve točk. Če sta vrednosti velike in male polosi elipse enaki, pomeni, da je elipsa dejansko krog, kar pomeni, da so natančnosti v obeh smereh osi enake oziroma homogene. Opazimo, da imajo točke v notranjosti mreže bolj homogeno natančnost kot točke na robu mreže (slika 7). Pomembni izhodni podatki izravnave so tudi cenilke kakovosti izravnave mreže, ki so prikazane v preglednici 8.



Slika 7: Elipse pogreškov točk geodetske mreže

Preglednica 8: Cenilke kakovosti izravnane mreže

Referenčni standardni odklon enote uteži:	1,0133
Srednji pogrešek smeri ["]:	1,0133
Srednji pogrešek dolžin [mm]:	0,6080
Srednji položajni pogrešek [m]:	0,0008

Referenčni standardni odklon enote uteži mora biti blizu 1, kar v našem primeru tudi je, in pomeni, da je referenčni standardni odklon a-posteriori, ki ga dobimo po izravnavi, primerljiv z referenčnim standardnim odklonom a-priori, ki ga dobimo pred izravnavo. Iz teh rezultatov lahko tudi sklepamo, da v opazovanih ni grobih pogreškov ter da je bila mreža izmerjena kvalitetno.

Celotna izhodna datoteka izravnave horizontalne geodetske mreže je dodana v prilogi 3.

4.2 Izravnava višinske mreže

Vhodni podatki pri višinski izravnavi mreže so:

- višine danih reperjev,
- približne višine novih točk,
- merjene razdalje in višinske razlike med posameznimi točkami.

Vsem novim točkam v izravnavi smo podali enake približne višine (495,00 m), saj so višinske razlike med vsemi točkami majhne in ne potrebujemo bolj natančno določenih približnih višin.

Izravnavo višinske mreže smo izračunali s programom VimWin (Ambrožič, Turk), ki izravnavo mreže naredi po metodi najmanjših kvadratov s postopkom posredne izravnave. Program smo uporabili za izravnavo višinskih razlik, pridobljenih z metodo geometričnega nivelmana, in tudi za izravnavo višinskih razlik, pridobljenih s trigonometričnim višinomerstvom tako, da smo prilagodili uteži višinskim razlikam. Uteži za izravnavo so odvisne od razdalje med točkami, izračunali smo jih po naslednji enačbi za obojestransko merjene zenitne razdalje:

$$p = \frac{1}{S^2}, \quad (22)$$

kjer je S - merjena dolžina v [km].

Za enostransko merjene zenitne razdalje pa po enačbi:

$$p = \frac{1}{2S^2}, \quad (23)$$

kjer je S - merjena dolžina v [km].

Pri izravnavi nivelmanskih poligonov pa smo uteži merjenih višinskih razlik izračunali po enačbi:

$$p = \frac{1}{d}, \quad (24)$$

kjer je d - merjena dolžina nivelmanske linije v [m].

Višinski mreži trigonometričnega višinerstva in geometričnega nivelmana smo izravnali ločeno, saj bi lahko izmerjene višinske razlike trigonometričnega višinerstva, ki imajo slabšo natančnost, vplivale na natančnost višin, izmerjenih z metodo geometričnega nivelmana in obratno. Po izravnavi višinske mreže geometričnega nivelmana z navezavo na 3 dane reperje smo pridobljene definitivne višine točk mreže prevzeli kot dane točke za izravnavo višinske mreže izmerjenih točk z metodo trigonometričnega višinerstva.

Izhodni podatki izravnave višinske mreže so:

- definitivne višine točk,
- natančnost določitve višin točk,
- natančnost niveliranja na kilometer dvojnega nivelmana,
- popravki merjenih višinskih razlik.

4.2.1 Rezultati izravnave višinske geodetske mreže

Pred izravnavo smo preverili odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank mestne nivelmanske mreže 1. reda po enačbi (21) z namenom odkrivanja grobih pogreškov v opazovanjih. Sestavili smo 3 zaključene nivelmanske zanke, rezultati odstopanj so zbrani v preglednici 9.

Preglednica 9: Odstopanja v posameznih zaključenih nivelmanskih zankah

	Zanka 1	Zanka 2	Zanka 3
Dolžina zanke [km]:	2,33	0,99	1,00
Odstopanje pri zapiranju zanke [mm]:	0,22	2,05	1,01
Dopustno odstopanje [mm]:	3,19	2,03	2,04

Odstopanje pri zapiranju zanke 2 je blizu dopustnega odstopanja, razlog za to je verjetno kakšna manjša napaka pri postavljanju nivelmanske late, saj so točke 7, 10, 21 bile nekoliko ugreznjene.

Najprej smo izravnali višinsko mrežo, ki je bila izmerjena z metodo geometričnega nivelmana. Višinska mreža je navezana na 3 reperje R2, R8, R9. Topografije točk so pridobljene z Geodetske uprave Republike Slovenije, celotna poročila pa so v prilogi 4, 5 in 6. Rezultati izravnave so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 10: Rezultati izravnave nivelmanske mreže

	Definitivna	σ_h
Točka	višina [m]	[m]
1	493,1559	0,0008
2	492,9341	0,0008
2A	492,7509	0,0008
3	493,5117	0,0008
4	493,6344	0,0007
5	493,6619	0,0007
6	494,2908	0,0006
7	495,2104	0,0006
8	494,5906	0,0005
9	493,7965	0,0006
10	491,1263	0,0004
11	489,9256	0,0006
12	493,8295	0,0006
13	497,5808	0,0006
16	493,1266	0,0007
17	494,9273	0,0006
18	494,9324	0,0006
19	495,1326	0,0006
20	495,0420	0,0006
21	495,6705	0,0006
22	495,9048	0,0003
23	495,9649	0,0003
24	495,4185	0,0005
26	494,8927	0,0005
27	494,1495	0,0006

Točke, prikazane v preglednici 11, so bile težje dostopne, zato smo višinske razlike dobili z metodo trigonometričnega višinomerstva. Višinsko mrežo smo izravnali tako, da smo izravnane višine točk iz preglednice 10 uporabili kot dane višine točk.

Preglednica 11: Rezultati izravnave višinske mreže trigonometričnega višinomerstva

	Definitivna	σ_h
Točka	višina [m]	[m]
25	497,3534	0,0014
30	508,9339	0,0012
30A	512,1059	0,0016
30B	507,7761	0,0009
30C	504,8843	0,0009
31	497,0879	0,0006

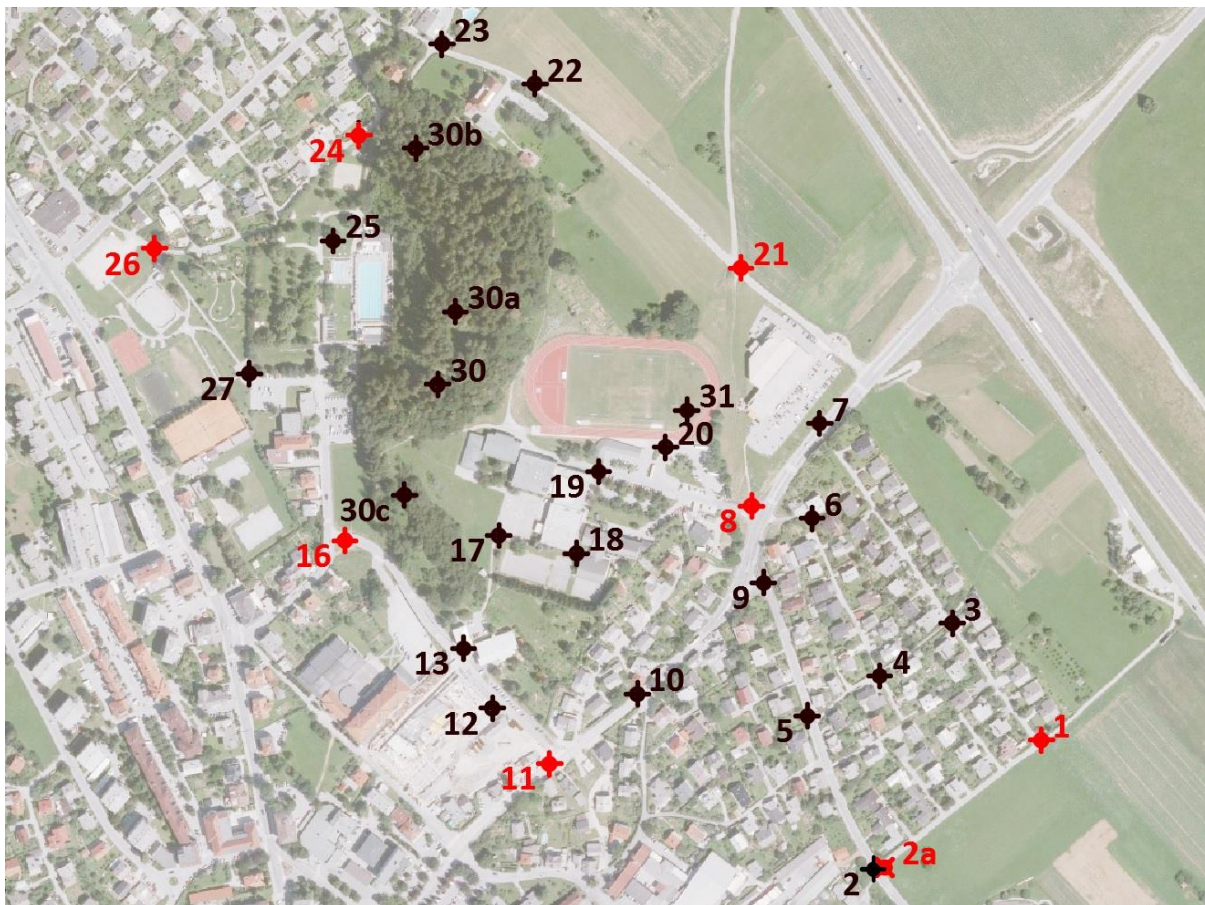
Metoda geometričnega nivelmana omogoča precej boljše natančnosti določitve višin točk, kar lahko tudi vidimo iz zgornjih rezultatov. Metoda geometričnega nivelmana je bolj zamudna in v nekaterih primerih manj praktična kot trigonometrično višinomerstvo, predvsem ko imamo opravka z večjimi višinskimi razlikami na kratki razdalji, kot so točke 30, 30A, 30B in 30C, ki so na hribu. Višine stojiščnih točk smo želeli določiti z natančnostjo reda velikosti nekaj mm, kar nam je tudi uspelo, saj je vrednost največje standardne deviacije 1,6 mm. Ker so popravki merjenih višinskih razlik pri obeh metodah določitve višinskih razlik majhni ter natančnosti določitve višin točk visoke, lahko sklepamo da je bila višinska izmera točk dobro narejena. Izhodni datoteki tipa *.rez obeh višinskih izravnav mreže sta podani v prilogah 7 in 8.

5 TRANSFORMACIJA GEODETSKE MREŽE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM

Transformacija koordinatnih sistemov pomeni vzpostavitev matematičnih izrazov preslikave položaja točk, danih v enem koordinatnem sistemu, v drugi koordinatni sistem. Transformacijo med koordinatnima sistemoma lahko izvedemo na osnovi danih transformacijskih parametrov ali pa transformacijske parametre izračunamo sami na osnovi skupnih (3 ali več) koordinat v obeh koordinatnih sistemih. V diplomski nalogi smo uporabili drugo možnost, saj smo imeli podane GNSS meritve točk v mreži. Obstaja več modelov transformacije trirazsežnih koordinatnih sistemov, izbira modela pa je pogosto odvisna od razmerja med številom transformacijskih parametrov in številom koordinat točk, ki imajo koordinate določene v obeh koordinatnih sistemih.

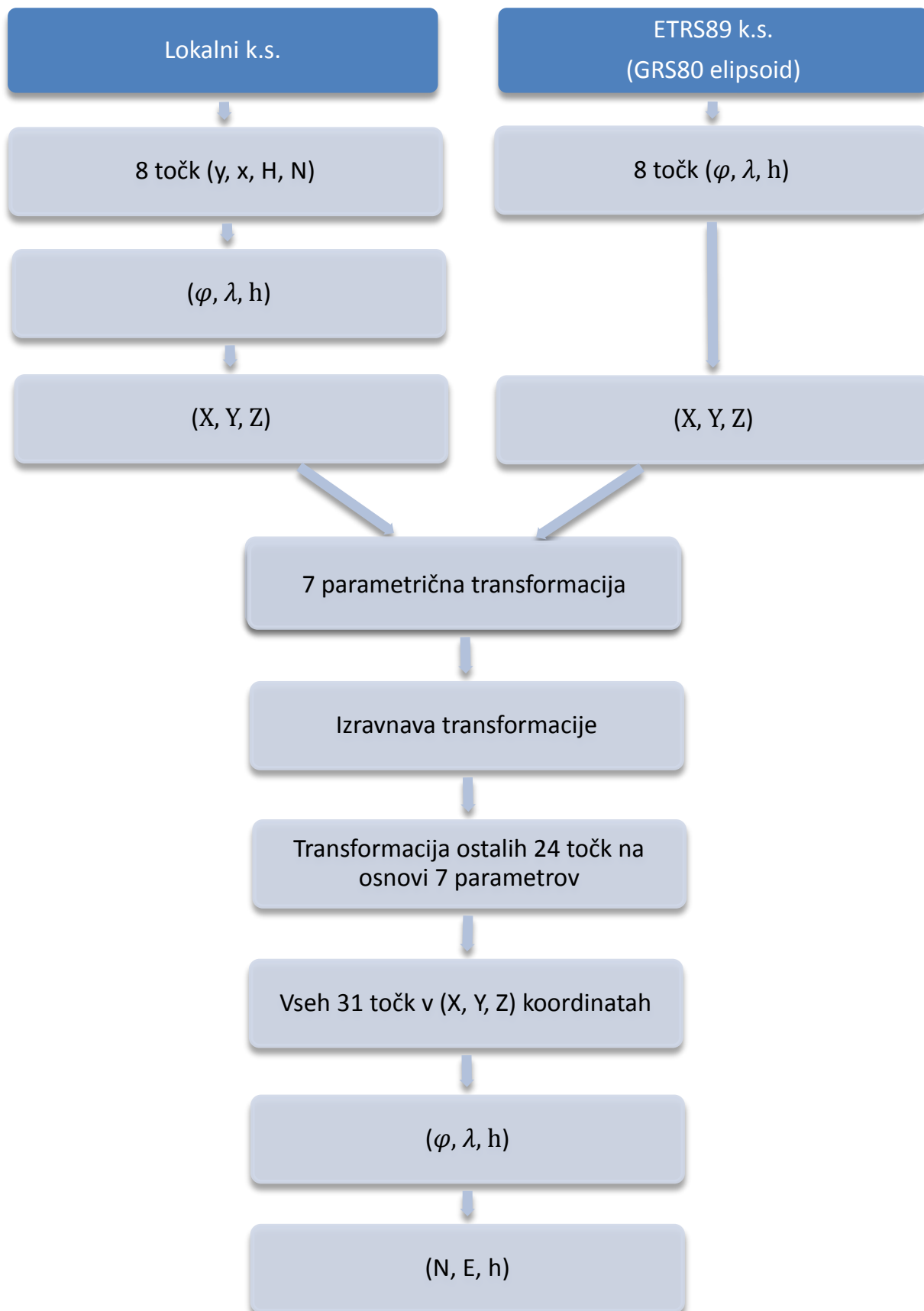
Transformacijo mreže iz lokalnih koordinat v državni koordinatni sistem D96/TM smo opravili s 7 parametrično transformacijo, kjer začetni koordinatni sistem transformiramo v nov koordinatni sistem s tremi premiki, tremi zasuki in merilom spremembe dolžin.

Za izračun 7 parametrov transformacije potrebujemo najmanj 3 vezne točke. Da smo transformacijo lahko izravnali, smo uporabili 8 veznih točk, označenih z rumeno na sliki 8. Koordinate osmih točk v državnem koordinatnem sistemu smo prevzeli iz podatkov statične GNSS izmere, ki je bila predhodno opravljena na tem območju.



Slika 8: Prikaz osmih veznih točk za izračun transformacijskih parametrov

Transformacijo smo naredili s programom avtorja asist. mag. Oskarja Strleta znotraj programskega okolja Matlab, ki iz vhodnih podatkov (koordinat točk v obeh koordinatnih sistemih, natančnosti koordinat in geoidnih višin) izračuna lokalne transformacijske parametre, naredi izravnavo po splošnem modelu izravnave in transformira točke iz enega v drug koordinatni sistem. Program smo nekoliko preuredili in dodali še izračun transformiranih koordinat točk, katere koordinate imamo samo v enem koordinatnem sistemu, iskanje grobih pogreškov po Baardovi metodi, izračun skladnosti koordinatnih sistemov ter izračun natančnosti končnih transformiranih koordinat vseh točk. Za lažjo predstavo, je celoten postopek transformacije prikazan v spodnji shemi (slika 9).



Slika 9: Shema transformacije koordinat geodetske mreže

5.1 Izračun transformacijskih parametrov in test skladnosti parametrov

Vhodni podatki za transformacijo s programom so:

- elipsoidne koordinate osmih točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM (φ, λ, h) in njihove natančnosti, ki smo jih pridobili iz poročila GNSS meritev,
- koordinate teh osmih točk in še ostalih točk v lokalnem koordinatnem sistemu (y, x, H) in njihove natančnosti, ki smo jih dobili iz rezultatov horizontalne in višinske izravnave geodetske mreže, ter njihove geoidne višine (N).

Geoidne višine oziroma geoidne ondulacije smo pridobili najprej za 8 danih točk, in to tako da smo elipsoidnim višinam iz podatkov GNSS meritev odšteli nadmorske višine pridobljene z geometričnim nivelmanom. Torej po enačbi:

$$N = h - H, \quad (25)$$

kjer sta:

H nadmorska višina [m],

h elipsoidna višina [m].

Geoidne višine za teh 8 točk smo izračunali še s spletno aplikacijo SiTraNet, tako da smo točkam podali višino enako 0 pri izbiri pretvorbe koordinat »ETRS89 v D96«, ki (φ, λ, h) koordinate spremeni v (N, E, h), in smo tako pridobili negativne vrednosti geoidnih višin, ki jih spletna aplikacija izračuna z bilinearno metodo interpolacije iz absolutnega modela geoida Slovenije (slika 10). Geoidne višine, pridobljene na oba načina, smo primerjali in izračunali aritmetično sredino odstopanj med njimi (priloga 9). Nato smo s spletno aplikacijo SiTraNet dobili še vrednosti geoidnih višin za vse ostale točke in jim prišteli aritmetične sredine odstopanj ter tako dobili bolj natančne vrednosti geoidnih višin za ostale točke.

TRANSFORMIRANE KOORDINATE			
	N	E	H
1	134204.367	436931.670	-47.489
11	134184.275	436497.456	-47.494
16	134381.107	436317.201	-47.502
21	134621.522	436666.967	-47.503
24	134739.803	436329.522	-47.510
26	134638.606	436149.400	-47.511
2a	134092.982	436794.529	-47.488
8	134411.659	436676.339	-47.498

Nadmorske visine H so izracunane iz elipsoidnih visin h in interpolirane geoidne visine N iz absolutnega modela geoida Slovenije.

Slika 10: Izračun geoidnih višin s spletno aplikacijo SiTraNet

Izračun 7 parametrov s programom v Matlabu nato poteka tako, da koordinate obeh sistemov najprej spremenimo v kartezične trirazsežne koordinate (X, Y, Z) . Prostorska transformacija po modelu Molodensky-Badekas ima enačbo (Kogoj, Stopar):

$$\begin{bmatrix} X_{CT} \\ Y_{CT} \\ Z_{CT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + m \cdot R(\omega_x, \omega_y, \omega_z) \cdot \begin{bmatrix} X_G - X_m \\ Y_G - Y_m \\ Z_G - Z_m \end{bmatrix}, \quad (26)$$

kjer so:

m razmerje enote dolžin (merilo),

$R(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ trije parametri zasuka,

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ trije parametri premika,

X_m, Y_m, Z_m koordinate težišča mreže,

X_{CT}, Y_{CT}, Z_{CT} koordinate GNSS meritev (pretvorjene $\varphi, \lambda, h \rightarrow X, Y, Z$),

X_G, Y_G, Z_G koordinate klasičnih meritev (pretvorjene $y, x, H, N \rightarrow X, Y, Z$).

Koordinate težišča mreže pa izračunamo po enačbah:

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{Gi} \quad Y_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{Gi} \quad Z_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{Gi} \quad (27)$$

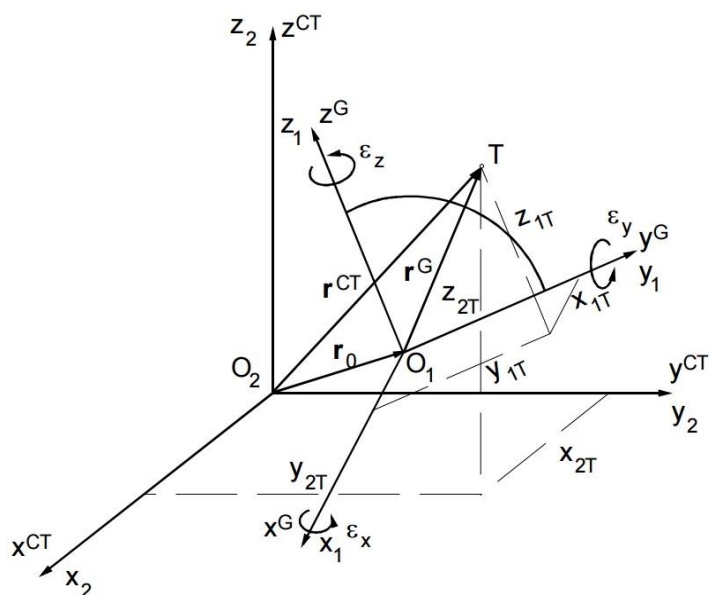
Rotacijska matrika R je sestavljena iz produkta rotacijskih matrik, ki predstavljajo zasuke okrog posameznih koordinatnih osi koordinatnega sistema G (astrogeodetski, vzpostavljen na osnovi klasičnih meritev) do lege, ko so vzporedne s koordinatnimi osmi CT sistema (terestrični koordinatni sistem, vzpostavljen na osnovi GNSS meritev), kar prikazuje slika 11. Oba koordinatna sistema sta desnosučna, zato je kot zasuka pozitiven v protiurni smeri. (Stopar, 2012).

Rotacijske matrika za kote rotacij $\omega_x, \omega_y, \omega_z$, okrog osi X_G, Y_G, Z_G so:

$$R_z(\omega_z) = \begin{bmatrix} \cos\omega_z & \sin\omega_z & 0 \\ -\sin\omega_z & \cos\omega_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y(\omega_y) = \begin{bmatrix} \cos\omega_y & 0 & -\sin\omega_y \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin\omega_y & 0 & \cos\omega_y \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$R_x(\omega_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega_x & \sin\omega_x \\ 0 & \sin\omega_x & \cos\omega_x \end{bmatrix}$$



Slika 11: Prikaz 7 parametrične transformacije med CT in G koordinatnim sistemom, koti rotacije so na sliki označeni z $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ (Kogoj, Stopar: str. 31)

Vrstni red rotacij pri majhnih kotih (do 10") ni pomemben in smo lahko uporabili približno kardansko rotacijsko matriko:

$$R \approx \begin{bmatrix} 1 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Za vsako od osmih skupnih točk v obeh koordinatnih sistemih lahko iz (24), (27) in (28) sestavimo enačbe F:

$$\begin{aligned} F_1 &\equiv X_{CT} - \left(\Delta X + m \cdot \left((X_G - X_m) + \omega_z \cdot (Y_G - Y_m) - \omega_y \cdot (Z_G - Z_m) \right) \right) = 0 \\ F_2 &\equiv Y_{CT} - \left(\Delta Y + m \cdot \left(-\omega_z \cdot (X_G - X_m) + (Y_G - Y_m) + \omega_x \cdot (Z_G - Z_m) \right) \right) = 0 \\ F_3 &\equiv Z_{CT} - \left(\Delta Z + m \cdot \left(\omega_y \cdot (X_G - X_m) - \omega_x \cdot (Y_G - Y_m) - (Z_G - Z_m) \right) \right) = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

Sestavimo torej $3 \times 8 = 24$ enačb. Sledi postopek splošnega modela izravnave transformacije. Nastavimo približne vrednosti neznank $(\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0, \omega_{x0}, \omega_{y0}, \omega_{z0} = 0 ; m_0 = 1)$ Izračun poteka v iteracijah (Strle, 2011):

$$A \cdot v + B \cdot \Delta = f, \quad (31)$$

kjer so:

A matrika parcialnih odvodov enačb F po opazovanjih,

v vektor popravkov opazovanj (koordinat točk),

- B matrika parcialnih odvodov enačb F po neznankah,
 Δ vektor popravkov približnih vrednosti neznank,
 f vektor odstopanj.

Matrike v enačbi (30) imajo obliko:

$$A_{24 \times 48} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -m & -m_0 \cdot \omega_{z_0} & m_0 \cdot \omega_{y_0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & m_0 \cdot \omega_{z_0} & -m_0 & -m_0 \cdot \omega_{x_0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & -m_0 \cdot \omega_{y_0} & m_0 \cdot \omega_{x_0} & -m_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -m & -m_0 \cdot \omega_{z_0} & m_0 \cdot \omega_{y_0} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & m_0 \cdot \omega_{z_0} & -m_0 & -m_0 \cdot \omega_{x_0} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -m_0 \cdot \omega_{y_0} & m_0 \cdot \omega_{x_0} & -m_0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots \end{bmatrix}$$

$$B_{24 \times 7} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & m_0 \cdot (Z_{G_1} - Z_m) & -m_0 \cdot (Y_{G_1} - Y_m) & -(X_{G_1} - X_m) + \omega_{z_0} \cdot (Y_{G_1} - Y_m) - \omega_{y_0} \cdot (Z_{G_1} - Z_m) \\ 0 & -1 & 0 & -m_0 \cdot (Z_{G_1} - Z_m) & 0 & m_0 \cdot (X_{G_1} - X_m) & -(\omega_{z_0} \cdot (X_{G_1} - X_m) + (Y_{G_1} - Y_m) + \omega_{x_0} \cdot (Z_{G_1} - Z_m)) \\ 0 & 0 & -1 & m_0 \cdot (Y_{G_1} - Y_m) & -m_0 \cdot (X_{G_1} - X_m) & 0 & -(\omega_{y_0} \cdot (X_{G_1} - X_m) - \omega_{x_0} \cdot (Y_{G_1} - Y_m) + (Z_{G_1} - Z_m)) \\ -1 & 0 & 0 & 0 & m_0 \cdot (Z_{G_2} - Z_m) & -m_0 \cdot (Y_{G_2} - Y_m) & -(X_{G_2} - X_m) + \omega_{z_0} \cdot (Y_{G_2} - Y_m) - \omega_{y_0} \cdot (Z_{G_2} - Z_m) \\ 0 & -1 & 0 & -m_0 \cdot (Z_{G_2} - Z_m) & 0 & m_0 \cdot (X_{G_2} - X_m) & -(\omega_{z_0} \cdot (X_{G_2} - X_m) + (Y_{G_2} - Y_m) + \omega_{x_0} \cdot (Z_{G_2} - Z_m)) \\ 0 & 0 & -1 & m_0 \cdot (Y_{G_2} - Y_m) & -m_0 \cdot (X_{G_2} - X_m) & 0 & -(\omega_{y_0} \cdot (X_{G_2} - X_m) - \omega_{x_0} \cdot (Y_{G_2} - Y_m) + (Z_{G_2} - Z_m)) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$\Delta_{7 \times 1} = \begin{bmatrix} \delta_{\Delta X} & \delta_{\Delta Y} & \delta_{\Delta Z} & \delta_{\omega_x} & \delta_{\omega_y} & \delta_{\omega_z} & \delta_m \end{bmatrix}^T$$

$$v_{48 \times 1} = \begin{bmatrix} v_{X_{CT1}} & v_{Y_{CT1}} & v_{Z_{CT1}} & v_{X_{G1}} & v_{Y_{G1}} & v_{Z_{G1}} & \dots \end{bmatrix}^T$$

$$f_{24 \times 1} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 + m_0 \cdot ((X_{G_1} - X_m) + \omega_{z_0} \cdot (Y_{G_1} - Y_m) - \omega_{y_0} \cdot (Z_{G_1} - Z_m)) - X_{CT1} \\ \Delta Y_0 + m_0 \cdot (-\omega_{z_0} \cdot (X_{G_1} - X_m) + (Y_{G_1} - Y_m) + \omega_{x_0} \cdot (Z_{G_1} - Z_m)) - Y_{CT1} \\ \Delta Z_0 + m_0 \cdot (\omega_{y_0} \cdot (X_{G_1} - X_m) - \omega_{x_0} \cdot (Y_{G_1} - Y_m) + (Z_{G_1} - Z_m)) - Z_{CT1} \\ \Delta X_0 + m_0 \cdot ((X_{G_2} - X_m) + \omega_{z_0} \cdot (Y_{G_2} - Y_m) - \omega_{y_0} \cdot (Z_{G_2} - Z_m)) - X_{CT2} \\ \Delta Y_0 + m_0 \cdot (-\omega_{z_0} \cdot (X_{G_2} - X_m) + (Y_{G_2} - Y_m) + \omega_{x_0} \cdot (Z_{G_2} - Z_m)) - Y_{CT2} \\ \Delta Z_0 + m_0 \cdot (\omega_{y_0} \cdot (X_{G_2} - X_m) - \omega_{x_0} \cdot (Y_{G_2} - Y_m) + (Z_{G_2} - Z_m)) - Z_{CT2} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Rešitev funkcijskega modela, kjer dobimo kot rezultat popravke vrednosti koordinat osmih točk obeh koordinatnih sistemov in vrednosti sedmih parametrov transformacije:

$$Q = \frac{1}{\sigma_0^2} \Sigma$$

$$\begin{aligned}Q_e &= A \cdot Q \cdot A^T \\P_e &= Q_e^{-1} \\N &= B^T \cdot P_e \cdot B \\t &= B^T \cdot P_e \cdot f \\\Delta &= N^{-1} \cdot t \\v &= Q \cdot A^T \cdot P_e \cdot (f - B \cdot \Delta)\end{aligned}\tag{32}$$

Rešitev stohastičnega modela, kjer izračunamo natančnosti osmih koordinat v obeh koordinatnih sistemih ter natančnosti parametrov transformacije:

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_0^2 &= \frac{v^T \cdot P \cdot v}{n - n_0} \\Q_{\Delta\Delta} &= N^{-1} \\Q_{vv} &= Q \cdot A^T \cdot P_e \cdot (I - B \cdot Q_{\Delta\Delta} \cdot B^T \cdot P_e) \cdot A \cdot Q \\Q_{ii} &= Q - Q_{vv}\end{aligned}\tag{33}$$

V enačbah (32) in (33) so:

- Σ variančno-kovariančna matrika opazovanj,
- Q matrika kofaktorjev opazovanj,
- Q_e matrika kofaktorjev ekvivalentnih opazovanj,
- P_e matrika uteži ekvivalentnih opazovanj,
- N matrika koeficientov normalnih enačb,
- t vektor prostih členov,
- Δ vektor popravkov neznank,
- $\hat{\sigma}_0^2$ referenčna varianca a-posteriori,
- σ_0^2 referenčna varianca a-priori,
- $Q_{\Delta\Delta}$ matrika kofaktorjev neznank,
- Q_{vv} matrika kofaktorjev popravkov,
- Q_{ii} matrika kofaktorjev izravnanih opazovanj.

Rezultat izravnave pa je 7 parametrov transformacije, njihove natančnosti in transformirane koordinate iz lokalnega v D96 koordinatni sistem osmih skupnih točk. Sledi še transformacija vseh ostalih točk na

osnovi določenih parametrov transformacije po enačbi (26) ter pretvorba vseh koordinat iz kartezičnih (X, Y, Z) najprej v elipsoidne (φ, λ, h) in nato še v ravninske koordinate (E, N, h) .

Elipsoidnih višin (h) nismo pretvarjali nazaj v nadmorsko višino (H) , saj so točke, pridobljene z aerolaserskim skeniranjem, podane v elipsoidnih koordinatah.

Po izravnavi smo opravili tudi test skladnosti koordinatnih sistemov, kjer sestavimo ničelno in alternativno hipotezo (Sterle, 2011):

$H_0 : x_2 = x_1 \dots$ prvi niz koordinat je statistično enak drugemu nizu,

$H_1 : x_2 \neq x_1 \dots$ prvi niz koordinat ni statistično enak drugemu nizu,

kjer predstavlja x_2 transformirane koordinate točk mreže iz sistema A v sistem B in x_1 podane koordinate v sistemu B.

Sestava testne statistike:

$$z = (x_2 - x_1)^T \cdot (\Sigma_{x_2} + \Sigma_{x_1})^{-1} \cdot (x_2 - x_1), \quad (34)$$

kjer sta Σ_{x_2} in Σ_{x_1} variančno-kovariančni matriki, ki jih računamo na podlagi referenčne variance a-priori σ_0^2 . Vrednost testne statistike z je skalar, ki se porazdeljuje po χ^2 porazdelitvi z r prostorskimi stopnjami, kjer je r število parametrov v vektorju x_2 ali x_1 . Ničelne hipoteze ne zavrnemo, če je vrednost testne statistike z manjša od kritične vrednosti.

5.2 Metoda odkrivanja grobih pogreškov (data snooping)

Pred izravnavo smo opazovanja popravili za vrednosti sistematičnih pogreškov ter odstranili grobo pogrešena opazovanja. Kljub temu moramo ugotoviti, če so dobljeni rezultati izravnave zanesljivi. To je glavna naloga ocenjevanja rezultatov izravnave, kjer v glavnem ugotavljamo prisotnost in odstranjevanje grobo pogrešenih opazovanj, ki so po velikosti grobih pogreškov »malo grobo pogrešeni« (Stopar, 2011).

Data snooping, ki jo je leta 1968 predlagal Baarda, je sestavljena metoda. V prvem koraku z globalnim testom ugotavljamo prisotnost grobo pogrešenih opazovanj tako, da testiramo skladnost referenčne variance a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$ z referenčno varianco a-priori σ_0^2 . Če varianci nista statistično skladni, se v praksi omejimo na možnost prisotnosti grobih pogreškov v opazovanjih ali pa imajo opazovanja nepravilne uteži. V drugem koraku pa s pregledovanjem posameznih popravkov opazovanj lociramo grobo pogrešena opazovanja. Z data snoopingom lahko odkrijemo le eno grobo pogrešeno opazovanje naenkrat. Ostale grobe pogreške odkrivamo postopoma in s ponovitvijo postopka potem, ko smo izločili odkriti grobi pogrešek (Grigillo, Stopar, 2003).

Za vsako opazovanje posebej izračunamo testno statistiko w_i po naslednji enačbi:

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_0 \cdot \sqrt{q_{vv}}}, \quad (35)$$

kjer sta:

q_{vv} diagonalni element matrike kofaktorjev popravkov opazovanj,

σ_0 referenčna varianca a-priori,

v_i popravki opazovanj.

Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

$H_0 : |w_i| < N_{\alpha/2}(0,1)$... točka ni grobo pogrešeno,

$H_1 : |w_i| > N_{\alpha/2}(0,1)$... točka je verjetno grobo pogrešeno,

w_i se porazdeljuje po standardizirani normalni porazdelitvi ($N(0,1)$) s stopnjo značilnosti α .

5.3 Natančnost transformiranih koordinat

Pri izravnavi transformacije smo dobili kot rezultat samo natančnosti sedmih parametrov in osmih skupnih točk v kartezičnih koordinatah, zanimajo nas pa natančnosti ravninskih koordinat vseh točk mreže.

Natančnost transformiranih koordinat smo izračunali po zakonu o prenosu varianc in kovarianc za nelinearne funkcije:

$$\Sigma_{yy} = J_{yx} \cdot \Sigma_{xx} \cdot J_{yx}^T, \quad (36)$$

kjer so:

J_{yx} Jacobijeva matrika (matrika parcialnih odvodov funkcij y po elementih spremenljivke x),

Σ_{xx} kovariančna matrika slučajnega vektorja x ,

Σ_{yy} kovariančna matrika slučajnega vektorja y .

Z zakonom o prenosu varianc in kovarianc (ZOPVIK) smo najprej na podlagi izračunane natančnosti kartezičnih koordinat osmih skupnih točk obeh koordinatnih sistemov (lokalni in D96) izračunali natančnost elipsoidnih koordinat in nato na podlagi dobljenih natančnosti elipsoidnih koordinat še enkrat uporabili ZOPVIK za izračun natančnosti končnih ravninskih koordinat teh osmih točk.

Rezultat izravnave so bile tudi natančnosti sedmih transformacijskih parametrov, na podlagi katerih smo dobili z uporabo ZOPVIK še natančnosti kartezičnih koordinat vseh ostalih točk. Sledil je še podoben postopek izračuna natančnosti končnih ravninskih koordinat za vse ostale točke, kot je opisano zgoraj.

Jacobijevo matriko smo sestavili tako, da smo parcialno odvajali enačbe pretvorbe koordinatnih sistemov iz enega v drugega po elementih enačbe. Ker pa je večina enačb precej kompleksnih, smo enačbe parcialno odvajali s pomočjo programa Wolfram Mathematica. Primer uporabe zakona o prenosu varianc in kovarianc za izračun natančnosti ravninske koordinate E:

Enačba za izračun ravninske koordinate E:

$$E = m_0 \cdot (y_1 \cdot l + y_2 \cdot l^3 + y_3 \cdot l^5) + falseE, \quad (37)$$

v enačbo zgoraj moramo vstaviti naslednje spremenljivke:

$$y_1 = N_{pol} \cdot \cos \varphi, \quad (38)$$

$$y_2 = N_{pol} \cdot (\cos^3 \varphi) \cdot \left(\frac{1 - t^2 + \eta^2}{6} \right), \quad (39)$$

$$y_3 = N_{pol} \cdot (\cos^5 \varphi) \cdot \left(\frac{5 - 18 \cdot t^2 + t^4 + 14 \cdot \eta^2 - 58 \cdot t^2 \cdot \eta^2}{120} \right), \quad (40)$$

$$l = \lambda - \lambda_0, \quad (41)$$

$$N_{pol} = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 f)}}, \quad (42)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad (43)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}, \quad (44)$$

$$\eta = e' \cdot \cos \varphi, \quad (45)$$

$$t = \tan \varphi. \quad (46)$$

Enačbe (38 – 46) vstavimo v enačbo za izračun E (37) in odvajamo po elementih (φ, λ) . Tako dobimo

Jacobijevo matriko:

$$J_{xy[1x2]} = \begin{bmatrix} \frac{\partial E}{\partial \varphi} & \frac{\partial E}{\partial \lambda} \end{bmatrix}, \quad (47)$$

kovariančna matrika, ki vsebuje variance koordinat (φ, λ) :

$$\Sigma_{xx[2x2]} = \begin{bmatrix} \sigma_\varphi^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\lambda^2 \end{bmatrix}, \quad (48)$$

rezultat pa je kovariančna matrika koordinate E:

$$\Sigma_{yy[1x1]} = J_{xy} \cdot \Sigma_{xx} \cdot J_{xy}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial E}{\partial \varphi} & \frac{\partial E}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{\varphi}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\lambda}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial E}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial E}{\partial \lambda} \end{bmatrix}. \quad (49)$$

Za ostale izračune natančnosti koordinat je izračun potekal podobno. Pri nekaterih izračunih so bile dimenzije matrik večje, na primer ko smo računali natančnosti kartezičnih koordinat ostalih točk mreže na osnovi natančnosti sedmih parametrov:

$J_{xy[1x7]}$ - kjer smo enačbo za izračun koordinate (X, Y ali Z) parcialno odvajali po transformacijskih parametrih,

$\Sigma_{xx[7x7]}$ - kovariančna matrika, ki vsebuje variance in kovariance sedmih transformacijskih parametrov,

$\Sigma_{yy[1x1]}$ - kovariančna matrika koordinat računane koordinate (X, Y ali Z).

6 REZULTATI TRANSFORMACIJE GEODETSKE MREŽE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM

6.1 Rezultati izravnave transformacije koordinatnega sistema

Rezultati horizontalne in višinske izravnave geodetske mreže, ki jih potrebujemo za transformacijo, so zbrani v preglednici 12, zraven so še prikazane izračunane geoidne višine točk, izračun teh pa je opisan v poglavju 5.1:

Preglednica 12: Rezultati horizontalne in višinske izravnave geodetske mreže ter geoidne višine točk

Točka	y [m]	x [m]	H [m]	N [m]	σ_y [m]	σ_x [m]	σ_H [m]
1	437303,2926	133717,1964	493,1559	47,3812	0,0007	0,0009	0,0008
2	437157,2104	133601,3194	492,9341	47,3914	0,0012	0,0005	0,0008
2A	437168,3686	133603,0937	492,7509	47,3810	0,0011	0,0005	0,0008
3	437221,8515	133819,5752	493,5117	47,3964	0,0005	0,0005	0,0008
4	437158,8180	133771,7752	493,6344	47,3954	0,0005	0,0004	0,0007
5	437095,9586	133735,2178	493,6619	47,3954	0,0005	0,0004	0,0007
6	437096,6474	133909,5686	494,2908	47,3994	0,0005	0,0004	0,0006
7	437101,5360	133993,4033	495,2089	47,4024	0,0008	0,0004	0,0006
8	437043,8524	133919,4016	494,5906	47,4138	0,0004	0,0004	0,0005
9	437055,0368	133851,9273	493,7965	47,3984	0,0004	0,0005	0,0006
10	436945,8445	133751,6750	491,1253	47,3974	0,0005	0,0006	0,0004
11	436869,5020	133688,4725	489,9256	47,4086	0,0007	0,0006	0,0006
12	436818,1910	133736,5189	493,8295	47,3984	0,0006	0,0007	0,0006
13	436791,7439	133788,6802	497,5808	47,4004	0,0007	0,0006	0,0006
16	436685,3416	133881,7072	493,1266	47,4159	0,0006	0,0004	0,0007
17	436820,7974	133888,9501	494,9273	47,4024	0,0005	0,0005	0,0006
18	436889,7353	133874,4830	494,9324	47,4014	0,0005	0,0005	0,0006
19	436907,6362	133946,9410	495,1326	47,4034	0,0004	0,0005	0,0006
20	436966,2731	133969,7095	495,0420	47,4024	0,0004	0,0005	0,0006
21	437030,3008	134129,0665	495,6695	47,3967	0,0004	0,0005	0,0006
22	436844,6697	134287,7445	495,9048	47,4124	0,0005	0,0006	0,0003
23	436762,1767	134321,1669	495,9649	47,4144	0,0006	0,0006	0,0003
24	436690,5297	134240,6320	495,4185	47,4190	0,0006	0,0005	0,0005
25	436669,6981	134145,6538	497,3534	47,4104	0,0006	0,0005	0,0014
26	436512,4284	134135,8574	494,8917	47,4008	0,0006	0,0009	0,0005
27	436598,2664	134027,1485	494,1495	47,4084	0,0005	0,0008	0,0006
30	436764,4064	134020,9685	508,9339	47,4064	0,0003	0,0004	0,0012
30A	436778,6430	134085,4354	512,1059	47,4084	0,0005	0,0005	0,0016
30B	436740,8425	134228,8796	507,7761	47,4114	0,0005	0,0004	0,0009
30C	436737,0490	133922,9502	504,8843	47,4044	0,0006	0,0006	0,0009
31	436984,5221	134002,4405	497,0879	47,4034	0,0004	0,0004	0,0006

Kot vhodni podatek za transformacijo smo potrebovali še elipsoidne koordinate osmih veznih točk (φ, λ, h) in njihove natančnosti, pridobljene iz rezultatov GNSS meritev (Preglednica 13).

Preglednica 13: Elipsoidne koordinate osmih danih točk in njihove natančnosti

Točka	φ [° ' '']	λ [° ' '']	h [m]	σ_{φ} [m]	σ_{λ} [m]	σ_h [m]
1	14 10 50,32291	46 20 40,61502	540,5371	0,0005	0,0004	0,0010
2a	14 10 43,96356	46 20 36,96167	540,1318	0,0004	0,0003	0,0009
8	14 10 38,28170	46 20 47,24266	542,0044	0,0005	0,0004	0,0010
11	14 10 30,02685	46 20 39,81831	537,3342	0,0004	0,0003	0,0008
16	14 10 21,50115	46 20 46,13204	540,5425	0,0004	0,0004	0,0009
21	14 10 37,74144	46 20 54,03618	543,0662	0,0005	0,0004	0,0010
24	14 10 21,90207	46 20 57,75297	542,8375	0,0009	0,0007	0,0021
26	14 10 13,52763	46 20 54,41456	542,2925	0,0006	0,0005	0,0012

Rezultat splošnega modela izravnave transformacije koordinatnega sistema so:

- 7 parametrov transformacije in njihove natančnosti (preglednica 14),
- transformirane koordinate osmih točk v kartezičnem (X,Y,Z) koordinatnem sistemu in njihove natančnosti.

Preglednica 14: Vrednosti 7 parametrov transformacije in njihove natančnosti

ΔX	-253,3261 m	$\pm 0,00045$ m
ΔY	-448,0113 m	$\pm 0,00047$ m
ΔZ	339,0461 m	$\pm 0,00074$ m
ω_x	2733,16 ''	$\pm 0,47863$ ''
ω_y	705,60 ''	$\pm 0,69988$ ''
ω_z	2976,41 ''	$\pm 0,40070$ ''
M	-338,08 ppm	$\pm 1,69063$ ppm

Program v nadaljevanju, na osnovi dobljenih vrednosti sedmih parametrov, izračuna še kartezične koordinate za vse ostale točke mreže. Sledi še pretvorba vseh koordinat najprej nazaj v elipsoidne koordinate in na koncu še v ravninske koordinate državnega koordinatnega sistema (Preglednica 15).

Preglednica 15: Koordinate vseh točk v državnem koordinatnem sistemu

Točka	E [m]	N [m]	h [m]
1	436931,6734	134204,3651	540,5369
2	436783,3367	134091,4315	540,3245
2A	436794,5264	134092,9834	540,1309
3	436852,2952	134308,3285	540,9082
4	436788,3326	134261,7978	541,0295
5	436724,7676	134226,5025	541,0567
6	436728,9225	134400,7808	541,6904
7	436735,4762	134484,4899	542,6116
8	436676,3408	134411,6601	542,0045
9	436686,1800	134343,9862	541,1949
10	436575,0314	134245,9386	538,5229
11	436497,4581	134184,2753	537,3344
12	436447,1196	134233,3255	541,2269
13	436421,7185	134285,9950	544,9792
16	436317,2016	134381,1061	540,5424
17	436452,7557	134385,6535	542,3291
18	436521,3827	134369,8207	542,3333
19	436540,7181	134441,8983	542,5358
20	436599,7879	134463,4934	542,4444
21	436666,9622	134621,5236	543,0670
22	436484,5485	134783,8386	543,3185
23	436402,7478	134818,8898	543,3807
24	436329,5239	134739,8066	542,8386
25	436306,8110	134645,2746	544,7637
26	436149,3996	134638,6082	542,2930
27	436233,0474	134528,2294	541,5581
30	436399,0084	134518,7483	556,3357
30A	436414,5219	134582,9104	559,5089
30B	436379,5860	134727,0578	555,1844
30C	436369,7115	134421,3071	552,2848
31	436618,6816	134495,8505	544,4908

6.2 Rezultati testa skladnosti koordinatnih sistemov

Test skladnosti koordinatnih sistemov ugotavlja skladnost med danimi koordinatami osmih točk v D96 koordinatnem sistemu in transformiranimi koordinatami teh osmih točk iz lokalnega koordinatnega sistema. Preverjali smo vrednost testne statistike z , ki se porazdeljuje po χ^2 porazdelitvi z r prostorskimi stopnjami ($r = 3 \cdot 8 = 24$). Kritična vrednost testne statistike z pri stopnji značilnosti testa $\alpha = 0,05$ je enaka 36,415. Izračunana testna statistika v našem primeru pa ima vrednost $z = 1,888$, kar pomeni, da ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, sestavljene v poglavju 5.1, in s stopnjo tveganja 5%

ne moremo trditi, da je prvi niz koordinat statistično značilno različen od drugega niza koordinat. Razlika kartezičnih koordinat med danimi in transformiranimi koordinatami je prikazana spodaj (preglednica 16).

Preglednica 16: Rezultat testa skladnosti koordinatnih sistemov

Točka	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]
1	0,0011	0,0036	-0,0021
2a	-0,0003	-0,0027	-0,0003
8	-0,0011	0,0020	0,0006
11	0,0002	0,0019	-0,0004
16	0,0012	0,0007	-0,0015
21	0,0010	-0,0048	0,0013
24	-0,0021	0,0018	0,0030
26	-0,0008	-0,0009	0,0016

6.3 Rezultati metode pregledovanja popravkov opazovanj (data snooping)

Najprej smo naredili globalni test modela, ki testira skladnost referenčne variance a-priori z referenčno varianco a-posteriori. Izračunana vrednost testne statistike je 3,07, kar pa precej odstopa od dopustne vrednosti, ki znaša od 0,61 do 1,48. Iz tega lahko sklepamo, da so v opazovanjih prisotni grobi pogoški ali pa da imamo napačno določene uteži opazovanj. Vzrok za zavrnitev globalnega testa je v preoptimistično določenih natančnostih opazovanj (koordinate točk mreže), saj je referenčna varianca a-posteriori občutno večja od referenčne variance a-priori.

Kovariančno matriko opazovanj spremenimo z množenjem kovariančne matrike opazovanj z razmerjem med a-posteriori in a-priori varianco (Grigillo, Stopar, 2003):

$$\tilde{\Sigma} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} \cdot \Sigma \quad (50)$$

Izravnavo nato ponovimo v drugi iteraciji z uporabo kovariančne matrike $\tilde{\Sigma}$. Vrednost testne statistike po drugi iteraciji smo dobili 1,00 in tako globalnega testa ne moremo zavrniti. V drugem koraku še sledi metoda pregledovanja posameznih popravkov, kjer smo preverjali vrednost testne statistike w_i , ki se porazdeljuje po standardizirani normalni porazdelitvi ($N(0,1)$) z r prostorskimi stopnjami ($r = 24$). Testna statistika w_i pri stopnji značilnosti testa $\alpha = 0,01$ ni preseгла kritične vrednosti pri nobenem opazovanju, zato ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in s stopnjo tveganja 1% ne moremo trditi, da je v opazovanjih prisoten grobi pogrešek.

6.4 Rezultati izračuna natančnosti transformiranih koordinat

Iz rezultatov izravnave transformacije smo na podlagi natančnosti kartezičnih koordinat osmih točk z zakonom o prenosu varianc in kovarianc izračunali natančnosti elipsoidnih in ravninskih koordinat. Natančnosti ostalih točk pa smo izračunali na podlagi natančnosti sedmih parametrov transformacije. Zbrane natančnosti vseh koordinat točk v državnem koordinatnem sistemu so prikazane v preglednici 17.

Preglednica 17: Natančnosti transformiranih koordinat vseh točk mreže

Točka	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]
1	0,0011	0,0010	0,0011
2	0,0011	0,0007	0,0011
2A	0,0011	0,0007	0,0011
3	0,0009	0,0007	0,0009
4	0,0009	0,0006	0,0009
5	0,0009	0,0006	0,0009
6	0,0007	0,0006	0,0007
7	0,0007	0,0006	0,0007
8	0,0006	0,0006	0,0007
9	0,0007	0,0005	0,0007
10	0,0008	0,0005	0,0008
11	0,0008	0,0007	0,0009
12	0,0009	0,0006	0,0009
13	0,0008	0,0006	0,0008
16	0,0008	0,0006	0,0009
17	0,0007	0,0005	0,0007
18	0,0007	0,0005	0,0007
19	0,0006	0,0005	0,0006
20	0,0006	0,0005	0,0006
21	0,0008	0,0007	0,0008
22	0,0010	0,0008	0,0011
23	0,0011	0,0009	0,0012
24	0,0009	0,0008	0,0009
25	0,0009	0,0008	0,0010
26	0,0008	0,0011	0,0009
27	0,0010	0,0008	0,0010
30	0,0007	0,0006	0,0008
30A	0,0008	0,0006	0,0008
30B	0,0010	0,0008	0,0010
30C	0,0008	0,0006	0,0008
31	0,0006	0,0005	0,0007

Dobljene natančnosti končnih koordinat točk v državnem koordinatnem sistemu so reda velikosti do 1 mm, kar je zelo dobra natančnost in presega naš zastavljen cilj. V preglednici 18 so prikazane še najmanjša, največja in srednja vrednost natančnosti koordinat.

Preglednica 18: Najmanjša, največja in srednja vrednost natančnosti koordinat E, N, h

	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]
Najmanjša vrednost:	0,0006	0,0005	0,0006
Največja vrednost:	0,0011	0,0011	0,0012
Srednja vrednost:	0,0008	0,0007	0,0009

7 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga prikazuje primer vzpostavitve klasične geodetske mreže z visoko natančnostjo na območju mesta Radovljice. Ker je mreža razvita v urbanem območju, so povezave med točkami zaradi fizičnih ovir nekoliko omejene, vendar smo kljub temu lahko pridobili načrtovano natančnost točk, ki morajo imeti vsaj 3 krat boljšo natančnost kot natančnost oblaka točk, ki ga pridobimo z metodo aerolaserskega skeniranja ($\sigma_{ALS} = 20\text{mm}$).

Ugotovili smo tudi, kako praktična je uporaba tahimetra s tehnologijo avtomatskega viziranja tarče, saj je izmera mreže narejena kakovostno in predvsem veliko hitreje, kot bi jo lahko izmerili ročno. Uporabnost tehnologije ATR je večja, ko na enem stojišču viziramo na večje število točk v več girusih. Med avtomatiziranimi meritvami smo lahko opravljali meteorološke meritve za potrebe redukcij dolžin in jih zapisovali v zapisnik.

Merjene dolžine smo reducirali za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke in ugotovili, da so meteorološki popravki bili največji (do 2 mm), za njimi pa projekcijski popravki dolžin med točkami, kjer so točke imele večjo višinsko razliko. Vpliv geometričnih popravkov na izmerjene dolžine je bil zelo majhen (pod 0,2 mm).

Izravnava horizontalne in višinske mreže nam poda izravnane koordinate celotne mreže v lokalnem koordinatnem sistemu z natančnostjo določitve položaja točk okoli 1 mm, kar je glede na izbran instrumentarij in metode meritev primeren rezultat. Določili smo še geoidne višine točk s pomočjo spletne aplikacije SiTraNet in na osnovi osmih veznih točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM izvedli 7 parametrično transformacijo. Ker smo imeli več skupnih točk v obeh koordinatnih sistemih, kot je minimalno potrebno, smo lahko transformacijo tudi izravnali. Transformacijo smo ocenili s testom skladnosti koordinatnih sistemov, kjer smo ugotovili, da sta koordinatna sistema skladna. Sledil je še globalni test modela in metoda pregledovanja popravkov opazovanj, kjer smo zaradi preoptimističnih natančnosti opazovanj globalni test najprej zavrnil in s spremenjeno kovariančno matriko opazovanj še enkrat izvedli izravnavo transformacije, kjer globalnega testa nismo zavrnil. Metoda pregledovanja popravkov nam je tudi pokazala, da v opazovanjih najverjetneje ni grobih pogreškov, kar pomeni, da je transformacija mreže dobro narejena. Na koncu smo izračunali še natančnosti končnih ravninskih koordinat v državnem koordinatnem sistemu, ki so reda velikost okoli 1 mm, in s tem zagotovili dovolj dobro natančnost stojiščnih točk mreže za kontrolo natančnosti oblakov točk aerolaserskega skeniranja.

VIRI

Grigillo D., Stopar B. 2003. Metode odkrivanja grobih pogreškov v geodetskih opazovanjih. Geodetski vestnik 47, 4: 387–403.

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. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 41 str.

Leica Geosystems AG. 2006. Leica DNA03 brochure.

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/levels/dna/brochures/DNA_Brochure_us.pdf

(Pridobljeno 1.5.2015.)

Leica Geosystems AG. 2009. TS30 Technical Data.

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/TS30/brochures-datasheet/TS30_Technical_Data_en.pdf (Pridobljeno 1.5.2015.)

Mataija Valh, M., Marjetič, A., Ježovnik, V., Kogoj, D. 2009. Testiranje višjih stopenj avtomatizacije elektronskih tahimetrov. Geodetski vestnik 53, 1: 11–22.

RGU. 1981. Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk. Uradni list SRS št. 18/1981.

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 2015. RIEGL LMS-Q780 Technical Data.

http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_LMS-Q780_2015-03-24.pdf

(Pridobljeno 1.5.2015.)

Stopar, B. 2012. Zapiski predavanj Izravnalni račun III. Šolsko leto 2011/2012.

Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.

Stopar, B. 2011. Zapiski predavanj Višja geodezija II. Šolsko leto 2010/2011.

Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.

Sterle, O. 2012. Navodila za vaje Izravnalni račun III. Šolsko leto 2011/2012.

Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.

PRILOGE:

Priloga 1: Meteorološki popravki dolžin

Priloga 2: Geometrični in projekcijski popravki dolžin

Priloga 3: Izhodna datoteka horizontalne izravnave mreže

Priloga 4: Podatki in topografija reperja R2

Priloga 5: Podatki in topografija reperja R8

Priloga 6: Podatki in topografija reperja R9

Priloga 7: Izhodna datoteka višinske izravnave mreže geometričnega nivelmana

Priloga 8: Izhodna datoteka višinske izravnave mreže trigonometričnega višinomerstva

Priloga 9: Izračun geoidnih višin N

Priloga 1: Meteorološki popravki dolžin

Instr.	Reflek.	Merjena dolžina – Da [mm]	Da [m]	Temperatura		Tlak [mbar]	Tlak [torr]	Višina instrum. [m]	Višina reflek. [m]	Srednji tlak [torr]	Delni tlak e [torr]	Dejanski lomni kol. nd	Popr. Dolžina - D [m]	Velikost popravka [mm]
				suha [°C]	mokra [°C]									
1	2A	176702,52	176,70252	3,0	2,6	966,4	724,9	1,675	1,732	724,9	5,3	1,0002821	176,70327	0,74
1	2	186459,82	186,45982	3,0	2,6	966,4	724,9	1,675	1,703	724,9	5,3	1,0002821	186,46061	0,78
1	3	130821,23	130,82123	3,0	2,6	966,4	724,9	1,675	1,614	724,9	5,3	1,0002821	130,82178	0,55
2	1	186459,40	186,45940	2,3	2,2	966,6	725,0	1,703	1,675	725,0	5,3	1,0002829	186,46004	0,64
2	2A	11299,55	11,29955	2,3	2,2	966,6	725,0	1,703	1,732	725,0	5,3	1,0002829	11,29959	0,04
2	5	147244,49	147,24449	2,3	2,2	966,6	725,0	1,703	1,672	725,0	5,3	1,0002829	147,24499	0,50
5	9	123676,19	123,67619	2,6	2,1	966,6	725,0	1,672	1,615	725,0	5,1	1,0002826	123,67665	0,46
5	4	72716,92	72,71692	2,6	2,1	966,6	725,0	1,672	1,577	725,0	5,1	1,0002826	72,71719	0,27
5	2	147243,80	147,24380	2,6	2,1	966,6	725,0	1,672	1,703	725,0	5,1	1,0002826	147,24435	0,55
4	5	72716,39	72,71639	2,6	2,1	967,0	725,3	1,577	1,672	725,3	5,1	1,0002827	72,71665	0,26
4	6	151171,53	151,17153	2,6	2,1	967,0	725,3	1,577	1,738	725,3	5,1	1,0002827	151,17207	0,55
4	3	79107,63	79,10763	2,6	2,1	967,0	725,3	1,577	1,614	725,3	5,1	1,0002827	79,10791	0,28
3	1	130819,97	130,81997	2,9	2,4	967,4	725,6	1,614	1,675	725,6	5,2	1,0002825	130,82046	0,50
3	4	79107,46	79,10746	2,9	2,4	967,4	725,6	1,614	1,577	725,6	5,2	1,0002825	79,10776	0,30
3	7	211410,78	211,41078	2,9	2,4	967,4	725,6	1,614	1,624	725,6	5,2	1,0002825	211,41159	0,80
7	3	211410,89	211,41089	3,2	2,4	967,5	725,7	1,624	1,614	725,7	5,1	1,0002822	211,41175	0,86
7	8	93829,43	93,82943	3,2	2,4	967,5	725,7	1,624	1,662	725,7	5,1	1,0002822	93,82981	0,38
6	8	53703,23	53,70323	3,1	2,5	967,7	725,8	1,738	1,662	725,8	5,2	1,0002824	53,70344	0,21
6	4	151170,91	151,17091	3,1	2,5	967,7	725,8	1,738	1,577	725,8	5,2	1,0002824	151,17150	0,59
9	10	148257,46	148,25746	3,0	2,2	967,6	725,8	1,615	1,636	725,8	5,0	1,0002825	148,25803	0,57
9	8	68399,93	68,39993	3,0	2,2	967,6	725,8	1,615	1,662	725,8	5,0	1,0002825	68,40019	0,26
9	5	123674,61	123,67461	3,0	2,2	967,6	725,8	1,615	1,672	725,8	5,0	1,0002825	123,67508	0,47
8	21	210103,65	210,10365	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	1,648	726,0	5,1	1,0002816	210,10463	0,98

8	7	93829,19	93,82919	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	1,624	726,0	5,1	1,0002816	93,82963	0,44
8	6	53703,01	53,70301	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	1,738	726,0	5,1	1,0002816	53,70326	0,25
8	9	68399,63	68,39963	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	1,615	726,0	5,1	1,0002816	68,39994	0,32
8	19	138973,26	138,97326	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	1,711	726,0	5,1	1,0002816	138,97391	0,65
8	31	102059,46	102,05946	3,9	2,8	967,9	726,0	1,662	0,000	726,1	5,1	1,0002817	102,05993	0,47
31	30	221285,74	221,28574	4,0	3,1	967,9	726,0	0,000	1,344	725,9	5,3	1,0002815	221,28680	1,07
31	21	134646,98	134,64698	4,0	3,1	967,9	726,0	0,000	1,648	725,8	5,3	1,0002815	134,64764	0,65
31	8	102059,61	102,05961	4,0	3,1	967,9	726,0	0,000	1,662	725,8	5,3	1,0002815	102,06011	0,49
31	20	37476,02	37,47602	4,0	3,1	967,9	726,0	0,000	1,675	725,8	5,3	1,0002815	37,47620	0,18
31	19	94823,88	94,82388	4,0	3,1	967,9	726,0	0,000	1,711	725,8	5,3	1,0002815	94,82434	0,46
20	30A	221074,89	221,07489	4,0	3,0	967,9	726,0	1,675	1,251	726,0	5,2	1,0002815	221,07594	1,05
20	21	171739,08	171,73908	4,0	3,0	967,9	726,0	1,675	1,648	726,0	5,2	1,0002815	171,73990	0,82
20	31	37475,99	37,47599	4,0	3,0	967,9	726,0	1,675	0,000	726,1	5,2	1,0002816	37,47617	0,18
20	19	62901,72	62,90172	4,0	3,0	967,9	726,0	1,675	1,711	726,0	5,2	1,0002815	62,90202	0,30
19	31	94823,87	94,82387	2,7	2,3	968,0	726,1	1,711	0,000	726,2	5,2	1,0002829	94,82419	0,32
19	20	62901,81	62,90181	2,7	2,3	968,0	726,1	1,711	1,675	726,1	5,2	1,0002829	62,90202	0,21
19	8	138973,32	138,97332	2,7	2,3	968,0	726,1	1,711	1,662	726,1	5,2	1,0002829	138,97379	0,47
19	18	74636,50	74,63650	2,7	2,3	968,0	726,1	1,711	1,640	726,1	5,2	1,0002829	74,63676	0,25
18	19	74636,53	74,63653	4,0	2,2	967,9	726,0	1,640	1,711	726,0	4,5	1,0002816	74,63689	0,35
18	17	70438,47	70,43847	4,0	2,2	967,9	726,0	1,640	1,656	726,0	4,5	1,0002816	70,43881	0,33
21	30	287318,89	287,31889	4,3	3,8	967,9	726,0	1,648	1,344	726,0	5,8	1,0002812	287,32035	1,46
21	22	244207,22	244,20722	4,3	3,8	967,9	726,0	1,648	1,641	726,0	5,8	1,0002812	244,20846	1,25
21	8	210103,73	210,10373	4,3	3,8	967,9	726,0	1,648	1,662	726,0	5,8	1,0002812	210,10480	1,07
21	31	134647,05	134,64705	4,3	3,8	967,9	726,0	1,648	0,000	726,1	5,8	1,0002813	134,64773	0,68
22	30B	119930,78	119,93078	4,2	3,6	967,7	725,8	1,641	1,530	725,8	5,6	1,0002812	119,93139	0,61
22	23	89006,17	89,00617	4,2	3,6	967,7	725,8	1,641	1,821	725,8	5,6	1,0002812	89,00662	0,45
22	21	244206,86	244,20686	4,2	3,6	967,7	725,8	1,641	1,648	725,8	5,6	1,0002812	244,20809	1,23
23	22	89006,15	89,00615	4,5	3,8	967,9	726,0	1,821	1,641	726,0	5,7	1,0002810	89,00662	0,47
23	24	107793,77	107,79377	4,5	3,8	967,9	726,0	1,821	1,709	726,0	5,7	1,0002810	107,79434	0,57

24	23	107793,65	107,79365	4,2	3,7	967,5	725,7	1,709	1,821	725,7	5,7	1,0002812	107,79420	0,55
24	30B	53083,04	53,08304	4,2	3,7	967,5	725,7	1,709	1,530	725,7	5,7	1,0002812	53,08331	0,27
24	25	97235,84	97,23584	4,2	3,7	967,5	725,7	1,709	0,000	725,8	5,7	1,0002812	97,23633	0,49
30B	24	53082,68	53,08268	4,4	4,0	966,1	724,6	1,530	1,709	724,6	5,9	1,0002806	53,08298	0,30
30B	22	119930,44	119,93044	4,4	4,0	966,1	724,6	1,530	1,641	724,6	5,9	1,0002806	119,93113	0,69
25	16	264420,68	264,42068	4,5	4,2	967,3	725,5	0,000	1,706	725,4	6,0	1,0002807	264,42215	1,47
25	26	157575,87	157,57587	4,5	4,2	967,3	725,5	0,000	1,622	725,4	6,0	1,0002808	157,57674	0,87
25	24	97235,63	97,23563	4,5	4,2	967,3	725,5	0,000	1,709	725,4	6,0	1,0002807	97,23617	0,54
26	25	157576,00	157,57600	4,7	4,1	967,6	725,8	1,622	0,000	725,9	5,9	1,0002808	157,57687	0,87
26	27	138513,60	138,51360	4,7	4,1	967,6	725,8	1,622	1,677	725,8	5,9	1,0002807	138,51438	0,78
27	26	138513,86	138,51386	4,6	4,2	967,4	725,6	1,677	1,622	725,6	6,0	1,0002807	138,51463	0,77
27	30	166881,00	166,88100	4,6	4,2	967,4	725,6	1,677	1,344	725,6	6,0	1,0002807	166,88193	0,93
30	17	144208,86	144,20886	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	1,656	724,2	5,9	1,0002803	144,20973	0,87
30	27	166880,83	166,88083	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	1,677	724,2	5,9	1,0002803	166,88184	1,00
30	30A	66091,90	66,09190	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	1,251	724,2	5,9	1,0002803	66,09229	0,40
30	21	287318,70	287,31870	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	1,648	724,2	5,9	1,0002803	287,32043	1,73
30	31	221285,72	221,28572	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	0,000	724,3	5,9	1,0002803	221,28703	1,32
30	30C	101833,22	101,83322	4,5	4,0	965,5	724,2	1,344	1,645	724,2	5,9	1,0002803	101,83383	0,61
30A	31	222573,27	222,57327	5,3	4,9	964,9	723,7	1,251	0,000	723,8	6,3	1,0002793	222,57482	1,55
30A	30	66091,82	66,09182	5,3	4,9	964,9	723,7	1,251	1,344	723,7	6,3	1,0002793	66,09228	0,46
30C	30	101833,28	101,83328	5,3	4,3	965,8	724,4	1,645	1,344	724,4	5,7	1,0002796	101,83396	0,68
30C	18A	160500,64	160,50064	5,3	4,3	965,8	724,4	1,645	1,665	724,4	5,7	1,0002796	160,50172	1,08
30C	17	90931,98	90,93198	5,3	4,3	965,8	724,4	1,645	1,656	724,4	5,7	1,0002796	90,93260	0,61
30C	16	67167,31	67,16731	5,3	4,3	965,8	724,4	1,645	1,706	724,4	5,7	1,0002796	67,16776	0,45
16	25	264420,32	264,42032	5,4	4,8	967,1	725,4	1,706	0,000	725,5	6,2	1,0002799	264,42201	1,69
16	30C	67167,14	67,16714	5,4	4,8	967,1	725,4	1,706	1,645	725,4	6,2	1,0002798	67,16757	0,43
16	13	141403,50	141,40350	5,4	4,8	967,1	725,4	1,706	1,697	725,4	6,2	1,0002798	141,40441	0,91
13	16	141403,65	141,40365	5,7	4,7	966,5	724,9	1,697	1,706	724,9	5,9	1,0002794	141,40463	0,98
13	12	58604,49	58,60449	5,7	4,7	966,5	724,9	1,697	1,672	724,9	5,9	1,0002794	58,60490	0,41

17	18	70439,03	70,43903	5,4	4,8	966,7	725,1	1,656	1,640	725,1	6,2	1,0002797	70,43949	0,46
17	30C	90931,87	90,93187	5,4	4,8	966,7	725,1	1,656	1,645	725,1	6,2	1,0002797	90,93247	0,60
17	30	144208,51	144,20851	5,4	4,8	966,7	725,1	1,656	1,344	725,1	6,2	1,0002797	144,20946	0,95
11	12	70401,27	70,40127	5,9	5,1	967,2	725,5	1,685	1,672	725,5	6,2	1,0002794	70,40176	0,49
11	10	99115,63	99,11563	5,9	5,1	967,2	725,5	1,685	1,636	725,5	6,2	1,0002794	99,11631	0,69
12	13	58604,36	58,60436	5,9	5,0	966,7	725,1	1,672	1,697	725,1	6,1	1,0002792	58,60478	0,41
12	11	70401,29	70,40129	5,9	5,0	966,7	725,1	1,672	1,685	725,1	6,1	1,0002792	70,40179	0,50
10	9	148257,16	148,25716	5,8	4,9	966,9	725,2	1,636	1,615	725,2	6,1	1,0002794	148,25819	1,03
10	11	99115,73	99,11573	5,8	4,9	966,9	725,2	1,636	1,685	725,2	6,1	1,0002794	99,11641	0,69

$\lambda =$	0,658	Valovna dolžina nosilnega valovanja
$n_{gr} =$	1,00029926	Grupni lomni količnik
$n_o =$	1,00028630	Normalni lomni količnik

Meteorološki Popravek [mm]	
Najmanjša vrednost:	0,04
Največja vrednost:	1,73
Povprečna vrednost:	0,65

Priloga 2: Geometrični in projekcijski popravki dolžin

Instr.	Reflek.	Popr. dolžina - D [m]	Adicij. konst.	Višina instr. [m]	Višina reflekt. [m]	Zenitna razdalja [grad]	Dolžina na niv. toč. (Sk) [m]	Velikost popravka [mm]	Razlika dolžin [mm]	Zenitna reducirana [grad]	Višinska razlika enostran. [m]	Višinska razlika obojestr. [m]	Razlika enos. višin [mm]	Višina nad Ho [m]	Dolžina na niv. horiz. (s0) [m]	Velikost popravka [mm]
1	2	186,46063	0	1,675	1,703	100,06725	186,46066	-0,03	0,566	100,076808	-0,22259	0,22143	-2,31374	-0,8441	186,46027	0,39
2	1	186,46007	0	1,703	1,675	99,935163	186,46010	-0,03		99,925603	0,22028					
1	3	130,82179	0	1,675	1,614	99,857062	130,82194	-0,15	1,310	99,827378	0,35590	-0,35697	-2,15376	-0,8441	130,82082	1,12
3	1	130,82048	0	1,614	1,675	100,14513	130,82063	-0,15		100,174810	-0,35805					
2	5	147,24501	0	1,703	1,672	99,701404	147,24516	-0,15	0,645	99,688001	0,72311	-0,72464	-3,07483	-1,0659	147,24309	2,07
5	2	147,24437	0	1,672	1,703	100,30121	147,24452	-0,15		100,314610	-0,72618					
5	4	72,71720	0	1,672	1,577	100,10439	72,71710	0,09	0,536	100,021215	-0,02387	0,02332	-1,09370	-0,3378	72,71684	0,27
4	5	72,71666	0	1,577	1,672	99,897204	72,71657	0,09		99,980375	0,02278					
5	9	123,67666	0	1,672	1,615	99,959637	123,67671	-0,05	1,564	99,930297	0,13646	-0,13696	-0,99688	-0,3381	123,67586	0,85
9	5	123,67510	0	1,615	1,672	100,04195	123,67515	-0,05		100,071293	-0,13745					
4	6	151,17209	0	1,577	1,738	99,65763	151,17131	0,78	0,578	99,725430	0,65355	-0,65410	-1,09066	-0,3653	151,16962	1,69
6	4	151,17152	0	1,738	1,577	100,34415	151,17073	0,78		100,276345	-0,65464					
4	3	79,10792	0	1,577	1,614	100,06868	79,10797	-0,05	0,155	100,098457	-0,12192	0,12197	0,09654	-0,3656	79,10780	0,17
3	4	79,10777	0	1,614	1,577	99,931929	79,10782	-0,05		99,902153	0,12201					
3	7	211,41161	0	1,614	1,624	99,487687	211,41153	0,08	-0,167	99,490698	1,69435	-1,69548	-2,27232	-0,4883	211,40486	6,67
7	3	211,41178	0	1,624	1,614	100,51484	211,41170	0,08		100,511824	-1,69662					
7	8	93,82982	0	1,624	1,662	100,39442	93,83007	-0,24	0,185	100,420198	-0,61872	0,61846	-0,50104	1,2104	93,82791	2,15
8	7	93,82964	0	1,662	1,624	99,606739	93,82988	-0,24		99,580957	0,61821					
6	8	53,70345	0	1,738	1,662	99,734183	53,70382	-0,37	0,179	99,644091	0,30043	-0,30047	-0,08197	0,2908	53,70289	0,93
8	6	53,70327	0	1,662	1,738	100,26638	53,70364	-0,37		100,356474	-0,30051					
9	10	148,25805	0	1,615	1,636	101,13808	148,25843	-0,38	-0,159	101,147097	-2,66976	2,66873	-2,05814	-0,2035	148,23446	23,97
10	9	148,25821	0	1,636	1,615	98,864093	148,25858	-0,38		98,855077	2,66770					
9	8	68,40020	0	1,615	1,662	99,217834	68,39963	0,56	0,244	99,261575	0,79368	-0,79407	-0,77841	-0,2035	68,39491	4,72

8	9	68,39995	0	1,662	1,615	100,78349	68,39939	0,56		100,739747	-0,79446								
8	21	210,10465	0	1,662	1,648	99,678253	210,10472	-0,07	-0,174	99,674011	1,07888	-1,08090	-4,04769	0,5906	210,10203	2,69			
21	8	210,10483	0	1,648	1,662	100,3248	210,10490	-0,07		100,329042	-1,08292								
8	19	138,97392	0	1,662	1,711	99,730168	138,97372	0,20	0,116	99,752614	0,54136	-0,54256	-2,39568	0,5906	138,97260	1,12			
19	8	138,97381	0	1,711	1,662	100,27214	138,97361	0,20		100,249692	-0,54376								
8	31	102,05995	0	1,662	0,000	99,479321	102,08707	-27,12	-0,170	98,442879	2,49743	-2,49679	1,27688	0,5906	102,05663	30,44			
31	8	102,06012	0	0,000	1,662	100,52077	102,08724	-27,13		101,557209	-2,49615								
31	30	221,28683	0	0,000	1,344	96,204751	221,21083	76,01	-0,242	96,590854	11,84367	-11,84043	6,48648	3,0879	220,89394	316,89			
30	31	221,28708	0	1,344	0,000	103,7953	221,21107	76,01		103,409193	-11,83719								
31	21	134,64765	0	0,000	1,648	99,892617	134,65496	-7,31	-0,023	100,671774	-1,41964	1,41745	-4,38311	3,0879	134,64743	7,53			
21	31	134,64776	0	1,648	0,000	100,11063	134,65498	-7,22		99,331469	1,41526								
31	20	37,47621	0	0,000	1,675	100,62988	37,53019	-53,98	0,026	103,471968	-2,04569	2,04586	0,33629	3,0879	37,47435	55,84			
20	31	37,47618	0	1,675	0,000	99,369872	37,53017	-53,99		96,527785	2,04603								
31	19	94,82435	0	0,000	1,711	100,16468	94,84421	-19,86	0,167	101,313209	-1,95568	1,95567	-0,02350	3,0879	94,82391	20,31			
19	31	94,82421	0	1,711	0,000	99,836158	94,84405	-19,84		98,687628	1,95566								
20	19	62,90203	0	1,675	1,711	99,872863	62,90196	0,06	-0,004	99,909298	0,08989	-0,09009	-0,41013	1,0420	62,90189	0,07			
19	20	62,90203	0	1,711	1,675	100,1281	62,90197	0,06		100,091664	-0,09030								
19	18	74,63677	0	1,711	1,640	100,23296	74,63654	0,23	-0,131	100,172403	-0,20174	0,20115	-1,18135	1,1326	74,63632	0,22			
18	19	74,63690	0	1,640	1,711	99,768694	74,63667	0,22		99,829254	0,20056								
18	17	70,43881	0	1,640	1,656	99,989387	70,43881	0,00	-0,696	100,003848	-0,00392	0,01653	25,22881	0,9324	70,43915	-0,34			
17	18	70,43950	0	1,656	1,640	99,988424	70,43951	0,00		99,973963	0,02915								
21	30	287,32040	0	1,648	1,344	97,128695	287,33426	-13,87	-0,089	97,061409	13,26406	-13,26622	-4,32892	1,6705	287,02812	306,15			
30	21	287,32047	0	1,344	1,648	102,87476	287,33435	-13,88		102,942046	-13,26839								
21	22	244,20850	0	1,648	1,641	99,94307	244,20850	-0,01	0,372	99,941245	0,22946	-0,23260	-6,28940	1,6705	244,20815	0,36			
22	21	244,20813	0	1,641	1,648	100,06069	244,20813	-0,01		100,062518	-0,23575								
22	30B	119,93140	0	1,641	1,530	93,746335	119,94234	-10,94	0,258	93,687703	11,87418	-11,87313	2,09454	1,9048	119,35318	589,16			
30B	22	119,93115	0	1,530	1,641	106,2536	119,94208	-10,94		106,312231	-11,87208								
22	23	89,00663	0	1,641	1,821	99,828181	89,00633	0,30	0,004	99,956926	0,06076	-0,06151	-1,50172	1,9048	89,00628	0,05			
23	22	89,00663	0	1,821	1,641	100,17367	89,00632	0,31		100,044922	-0,06226								

23	24	107,79436	0	1,821	1,709	100,3912	107,79373	0,63	0,134	100,325059	-0,54960	0,54769	-3,82370	1,9649	107,79223	1,50
24	23	107,79422	0	1,709	1,821	99,611991	107,79359	0,62		99,678136	0,54578					
24	30B	53,08331	0	1,709	1,530	85,26337	53,12467	-41,35	0,327	85,054586	12,35759	-12,35731	0,55887	1,4185	51,66734	1457,33
30B	24	53,08299	0	1,530	1,709	114,73648	53,12434	-41,35		114,945268	-12,35703					
24	25	97,23635	0	1,709	0,000	99,853461	97,25530	-18,95	0,105	98,734719	1,93347	-1,93460	-2,26556	1,4185	97,23600	19,30
25	24	97,23618	0	0,000	1,709	100,14887	97,25520	-19,01		101,267612	-1,93573					
25	16	264,42218	0	0,000	1,706	100,60873	264,44400	-21,81	0,207	101,019417	-4,22958	4,22747	-4,21266	3,3534	264,40987	34,12
16	25	264,42206	0	1,706	0,000	99,394581	264,44379	-21,73		98,983896	4,22536					
25	26	157,57676	0	0,000	1,622	100,34046	157,59379	-17,02	-0,067	100,995693	-2,46302	2,46128	-3,48412	3,3534	157,57448	19,30
26	25	157,57690	0	1,622	0,000	99,662314	157,59385	-16,95		99,007085	2,45954					
26	27	138,51440	0	1,622	1,677	100,31863	138,51468	-0,29	-0,252	100,343910	-0,74696	0,74536	-3,19199	0,8927	138,51278	1,91
27	26	138,51465	0	1,677	1,622	99,68404	138,51494	-0,28		99,658762	0,74377					
27	30	166,88195	0	1,677	1,344	94,480109	166,91112	-29,17	0,083	94,353576	14,78647	-14,78736	-1,77420	0,1495	166,25494	656,18
30	27	166,88186	0	1,344	1,677	105,52202	166,91104	-29,18		105,648552	-14,78825					
30	17	144,20975	0	1,344	1,656	106,05447	144,23971	-29,96	0,278	106,191551	-14,00476	14,00404	-1,44124	14,9341	143,55765	682,06
17	30	144,20948	0	1,656	1,344	93,947408	144,23943	-29,95		93,810324	14,00332					
30	30A	66,09230	0	1,344	1,251	97,033957	66,09670	-4,40	0,012	96,944480	3,17146	-3,17161	-0,31356	14,9341	66,02042	76,28
30A	30	66,09229	0	1,251	1,344	102,96692	66,09669	-4,40		103,056397	-3,17177					
30	30C	101,83385	0	1,344	1,645	102,34468	101,84537	-11,53	-0,127	102,532704	-4,05000	4,04989	-0,23361	14,9341	101,76461	80,76
30C	30	101,83398	0	1,645	1,344	97,656353	101,84550	-11,52		97,468330	4,04977					
30C	17	90,93261	0	1,645	1,656	106,97739	90,93381	-1,20	0,123	106,985046	-9,95677	9,95559	-2,35765	10,8846	90,38690	546,91
17	30C	90,93248	0	1,656	1,645	93,025046	90,93369	-1,20		93,017391	9,95441					
30C	16	67,16777	0	1,645	1,706	111,1443	67,17842	-10,65	0,188	111,201221	-11,75874	11,75850	-0,48134	10,8846	66,14108	1037,34
16	30C	67,16758	0	1,706	1,645	88,85671	67,17823	-10,65		88,799786	11,75826					
16	13	141,40443	0	1,706	1,697	97,998064	141,40471	-0,28	-0,216	97,994014	4,45628	-4,45753	-2,48911	-0,8734	141,33462	70,10
13	16	141,40465	0	1,697	1,706	102,00428	141,40493	-0,28		102,008333	-4,45877					
13	12	58,60491	0	1,697	1,672	104,10529	58,60330	1,61	0,121	104,078186	-3,75133	3,75141	0,16077	3,5808	58,48300	120,30
12	13	58,60479	0	1,672	1,697	95,895037	58,60318	1,61		95,922139	3,75149					
11	12	70,40177	0	1,685	1,672	96,480123	70,40249	-0,72	-0,030	96,468386	3,90388	-3,90414	-0,52813	-4,0744	70,29423	108,25

12	11	70,40180	0	1,672	1,685	103,52097	70,40252	-0,72		103,532702	-3,90440							
11	10	99,11633	0	1,685	1,636	99,260903	99,11691	-0,58	-0,100	99,229433	1,20036	-1,20161	-2,51113	-4,0744	99,10975	7,16		
10	11	99,11642	0	1,636	1,685	100,74157	99,11701	-0,58		100,773041	-1,20287							

Obojestransko merjene dolžine

1	2A	176,70329	0	1,675	1,732	100,12653	176,70341	-0,12		100,147070	-0,40608			-0,8441	176,70297	0,44
2	2A	11,29959	0	1,703	1,732	100,86863	11,30002	-0,43		101,031996	-0,18316			-1,0659	11,29854	1,48
20	30A	221,07598	0	1,675	1,251	95,206286	221,10828	-32,30		95,084553	17,05850			1,0420	220,44893	659,34
20	21	171,73992	0	1,675	1,648	99,778304	171,74002	-0,10		99,768295	0,62708			1,0420	171,73884	1,18
30A	31	222,57486	0	1,251	0,000	104,66227	222,48683	88,04		104,305271	-15,03129			18,1060	221,97812	508,71
30C	18A	160,50174	0	1,645	1,665	103,94287	160,50298	-1,24		103,950787	-9,95248			10,8846	160,19397	309,01

Enostransko merjene

	St. dev. [mm]	Geo. pop. [mm]	Proj. pop. [mm]
Najmanjša vrednost:	-0,78	0,00	-0,34
Največja vrednost:	0,22	88,04	1457,33
Povprečna vrednost:	0,11	10,31	161,97

Najdaljša dolžina [m]:	11,29854
Najdaljša dolžina [m]:	287,02812
Povprečna dolžina [m]:	126,59030
Največja višinska razlika [m]:	17,05850

Priloga 3: Izhodna datoteka horizontalne izravnave mreže

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

Datum : 3.3.2015
Čas : 09:55

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

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

Točka	Y (m)	X (m)
1	437303,2900	133717,2000
2A	437168,3700	133603,0900
2	437157,2100	133601,3200
3	437221,8500	133819,5800
5	437095,9600	133735,2200
4	437158,8200	133771,7800
7	437101,5400	133993,4000
9	437055,0400	133851,9300
6	437096,6500	133909,5700
8	437043,8500	133919,4000
10	436945,8400	133751,6700
21	437030,3000	134129,0700
19	436907,6400	133946,9400
31	436984,5200	134002,4400
11	436869,5000	133688,4700
30	436764,4100	134020,9700
22	436844,6700	134287,7400
20	436966,2700	133969,7100
18	436889,7300	133874,4800
12	436818,1900	133736,5200
17	436820,8000	133888,9500
27	436598,2700	134027,1500
30A	436778,6400	134085,4300
30C	436737,0500	133922,9500
30B	436740,8400	134228,8800
23	436762,1800	134321,1700
13	436791,7400	133788,6800
26	436512,4300	134135,8600
16	436685,3400	133881,7100
24	436690,5300	134240,6300
25	436669,7000	134145,6500

Vseh novih točk je : 31

Pregled opazovanih smeri

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (stopinje)		W (")	Utež	Gr	
1	1	2A	0	0	0	0,000	1,43	1
2	1	2	1	47	53	0,000	0,99	1
3	1	3	91	43	7	0,000	0,28	1
4	2	1	0	0	0	0,000	1,44	1
5	2	2A	29	23	16	0,000	1,25	1
6	2	5	283	50	28	0,000	1,32	1
7	5	9	0	0	0	0,000	1,61	1
8	5	4	79	8	27	0,000	1,58	1
9	5	2	174	44	25	0,000	1,49	1
10	4	5	0	0	0	0,000	0,17	1
11	4	6	95	53	46	0,000	0,26	1
12	4	3	173	0	23	0,000	0,37	1
13	3	1	0	0	0	0,000	1,48	1
14	3	4	91	19	40	0,000	0,98	1
15	3	7	183	48	45	0,000	0,96	1
16	7	3	0	0	0	0,000	1,54	1
17	7	8	72	37	31	0,000	0,90	1
18	6	8	0	0	0	0,000	0,75	1
19	6	4	235	9	56	0,000	0,29	1
20	9	10	0	0	0	0,000	0,76	1
21	9	8	123	8	39	0,000	0,77	1
22	9	5	293	14	1	0,000	0,82	1
23	8	21	0	0	0	0,000	0,41	1
24	8	7	41	38	1	0,000	0,25	1
25	8	6	104	14	53	0,000	0,46	1
26	8	9	174	17	11	0,000	0,15	1
27	8	19	285	7	39	0,000	0,26	1
28	8	31	328	9	6	0,000	0,38	1
29	31	30	0	0	0	0,000	0,42	1
30	31	21	105	3	54	0,000	0,47	1
31	31	8	229	38	38	0,000	3,09	1
32	31	20	294	19	49	0,000	0,32	1
33	31	19	319	21	56	0,000	0,23	1
34	20	30A	0	0	0	0,000	0,47	1
35	20	21	80	13	28	0,000	0,55	1
36	20	31	87	28	37	0,000	0,15	1
37	20	19	307	6	47	0,000	0,28	1
38	19	31	0	0	0	0,000	0,40	1
39	19	20	14	36	10	0,000	0,65	1
40	19	8	47	15	11	0,000	0,31	1
41	19	18	139	42	3	0,000	0,79	1
42	18	19	0	0	0	0,000	1,27	1
43	18	17	267	58	30	0,000	1,05	1
44	21	30	0	0	0	0,000	1,03	1
45	21	22	62	38	48	0,000	0,66	1
46	21	8	288	25	28	0,000	0,41	1
47	21	31	311	59	57	0,000	0,73	1
48	22	30B	0	0	0	0,000	0,59	1
49	22	23	51	36	23	0,000	0,19	1

50	22	21	250	4	30	0,000	0,55	1
51	23	22	0	0	0	0,000	0,33	1
52	23	24	109	36	7	0,000	0,66	1
53	24	23	0	0	0	0,000	0,66	1
54	24	30B	61	29	26	0,000	0,43	1
55	24	25	150	42	49	0,000	0,29	1
56	30B	24	0	0	0	0,000	0,22	1
57	30B	22	137	18	6	0,000	0,35	1
58	25	16	0	0	0	0,000	0,63	1
59	25	26	89	49	38	0,000	0,80	1
60	25	24	195	45	45	0,000	0,72	1
61	26	25	0	0	0	0,000	0,35	1
62	26	27	55	16	9	0,000	0,49	1
63	27	26	0	0	0	0,000	0,20	1
64	27	30	130	25	30	0,000	0,44	1
65	30	17	0	0	0	0,000	0,33	1
66	30	27	115	15	34	0,000	0,38	1
67	30	30A	215	34	49	0,000	0,30	1
68	30	21	271	0	15	0,000	0,34	1
69	30	31	297	56	26	0,000	0,76	1
70	30	30C	38	43	30	0,000	0,15	1
71	30A	31	0	0	0	0,000	1,07	1
72	30A	30	80	29	55	0,000	1,49	1
73	30C	30	0	0	0	0,000	0,70	1
74	30C	18	92	0	55	0,000	0,57	1
75	30C	17	96	30	12	0,000	0,31	1
76	30C	16	215	49	45	0,000	0,32	1
77	16	25	0	0	0	0,000	0,22	1
78	16	30C	54	48	52	0,000	0,37	1
79	16	13	134	33	18	0,000	0,39	1
80	13	16	0	0	0	0,000	0,74	1
81	13	12	201	57	4	0,000	0,30	1
82	17	18	0	0	0	0,000	0,35	1
83	17	30C	190	14	36	0,000	0,19	1
84	17	30	235	1	3	0,000	0,16	1
85	11	12	0	0	0	0,000	0,40	1
86	11	10	97	15	40	0,000	1,29	1
87	12	13	0	0	0	0,000	0,53	1
88	12	11	160	0	16	0,000	0,55	1
89	10	9	0	0	0	0,000	1,64	1
90	10	11	182	56	7	0,000	1,00	1

Pregled opazovanih dolžin

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
91	1	2A	176,7030	0,0000	1,00
92	1	2	186,4603	0,0000	1,00
93	1	3	130,8208	0,0000	1,00
94	2	1	186,4603	0,0000	1,00
95	2	2A	11,2985	0,0000	1,00
96	2	5	147,2431	0,0000	1,00
97	5	9	123,6759	0,0000	1,00
98	5	4	72,7168	0,0000	1,00
99	5	2	147,2431	0,0000	1,00
100	4	5	72,7168	0,0000	1,00
101	4	6	151,1696	0,0000	1,00
102	4	3	79,1078	0,0000	1,00
103	3	1	130,8208	0,0000	1,00
104	3	4	79,1078	0,0000	1,00
105	3	7	211,4049	0,0000	1,00
106	7	3	211,4049	0,0000	1,00
107	7	8	93,8279	0,0000	1,00
108	6	8	53,7029	0,0000	1,00
109	6	4	151,1696	0,0000	1,00
110	9	10	148,2345	0,0000	1,00
111	9	8	68,3949	0,0000	1,00
112	9	5	123,6759	0,0000	1,00
113	8	21	210,1020	0,0000	1,00
114	8	7	93,8279	0,0000	1,00
115	8	6	53,7029	0,0000	1,00
116	8	9	68,3949	0,0000	1,00
117	8	19	138,9726	0,0000	1,00
118	8	31	102,0566	0,0000	1,00
119	31	30	220,8939	0,0000	1,00
120	31	21	134,6474	0,0000	1,00
121	31	8	102,0566	0,0000	1,00
122	31	20	37,4744	0,0000	1,00
123	31	19	94,8239	0,0000	1,00
124	20	30A	220,4489	0,0000	1,00
125	20	21	171,7388	0,0000	1,00
126	20	31	37,4744	0,0000	1,00
127	20	19	62,9019	0,0000	1,00
128	19	31	94,8239	0,0000	1,00
129	19	20	62,9019	0,0000	1,00
130	19	8	138,9726	0,0000	1,00
131	19	18	74,6363	0,0000	1,00
132	18	19	74,6363	0,0000	1,00
133	18	17	70,4391	0,0000	1,00
134	21	30	287,0281	0,0000	1,00
135	21	22	244,2081	0,0000	1,00
136	21	8	210,1020	0,0000	1,00
137	21	31	134,6474	0,0000	1,00
138	22	30B	119,3532	0,0000	1,00
139	22	23	89,0063	0,0000	1,00
140	22	21	244,2081	0,0000	1,00
141	23	22	89,0063	0,0000	1,00
142	23	24	107,7922	0,0000	1,00
143	24	23	107,7922	0,0000	1,00
144	24	30B	51,6673	0,0000	1,00
145	24	25	97,2360	0,0000	1,00
146	30B	24	51,6673	0,0000	1,00
147	30B	22	119,3532	0,0000	1,00
148	25	16	264,4099	0,0000	1,00
149	25	26	157,5745	0,0000	1,00
150	25	24	97,2360	0,0000	1,00
151	26	25	157,5745	0,0000	1,00
152	26	27	138,5128	0,0000	1,00
153	27	26	138,5128	0,0000	1,00
154	27	30	166,2549	0,0000	1,00

155	30	17	143,5577	0,0000	1,00
156	30	27	166,2549	0,0000	1,00
157	30	30A	66,0204	0,0000	1,00
158	30	21	287,0281	0,0000	1,00
159	30	31	220,8939	0,0000	1,00
160	30	30C	101,7646	0,0000	1,00
161	30A	31	221,9781	0,0000	1,00
162	30A	30	66,0204	0,0000	1,00
163	30C	30	101,7646	0,0000	1,00
164	30C	18	160,1940	0,0000	1,00
165	30C	17	90,3869	0,0000	1,00
166	30C	16	66,1411	0,0000	1,00
167	16	25	264,4099	0,0000	1,00
168	16	30C	66,1411	0,0000	1,00
169	16	13	141,3346	0,0000	1,00
170	13	16	141,3346	0,0000	1,00
171	13	12	58,4830	0,0000	1,00
172	17	18	70,4391	0,0000	1,00
173	17	30C	90,3869	0,0000	1,00
174	17	30	143,5577	0,0000	1,00
175	11	12	70,2942	0,0000	1,00
176	11	10	99,1097	0,0000	1,00
177	12	13	58,4830	0,0000	1,00
178	12	11	70,2942	0,0000	1,00
179	10	9	148,2345	0,0000	1,00
180	10	11	99,1097	0,0000	1,00

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 1,00 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0,600 mm.

Število enačb popravkov je 180
- Število enačb popravkov za smeri je 90
- Število enačb popravkov za dolžine je 90
Število neznank je 92
- Število koordinatnih neznank je 62
- Število orientacijskih neznank je 30
Defekt mreže je 3
Število nadštevilnih opazovanj je 91

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
1	0,0026	-0,0036	6,3
2A	-0,0014	0,0037	
2	0,0004	-0,0006	-25,3
3	0,0015	-0,0048	0,5
5	-0,0014	-0,0022	-0,2
4	-0,0020	-0,0048	4,1
7	-0,0040	0,0033	-5,0
9	-0,0032	-0,0027	5,3
6	-0,0026	-0,0014	10,8
8	0,0024	0,0016	2,1
10	0,0045	0,0050	0,1
21	0,0008	-0,0035	1,8
19	-0,0038	0,0010	-3,4
31	0,0021	0,0005	-1,5
11	0,0020	0,0025	-2,8
30	-0,0036	-0,0015	1,1
22	-0,0003	0,0045	-5,2
20	0,0031	-0,0005	2,7
18	0,0053	0,0030	-18,6
12	0,0010	-0,0011	0,6
17	-0,0026	0,0001	-6,7
27	-0,0036	-0,0015	0,5
30A	0,0030	0,0054	11,0

30C	-0,0010	0,0002	-5,1
30B	0,0025	-0,0004	-3,3
23	-0,0033	-0,0031	-4,9
13	0,0039	0,0002	-0,8
26	-0,0016	-0,0026	-2,7
16	0,0016	-0,0028	-7,4
24	-0,0003	0,0020	4,1
25	-0,0019	0,0038	-2,4

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
1	437303,2926	133717,1964	0,0007	0,0009	0,0011	0,0010	0,0005	32
2A	437168,3686	133603,0937	0,0012	0,0005	0,0013	0,0012	0,0005	88
2	437157,2104	133601,3194	0,0011	0,0005	0,0012	0,0011	0,0004	92
3	437221,8515	133819,5752	0,0005	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	179
5	437095,9586	133735,2178	0,0005	0,0004	0,0007	0,0006	0,0003	123
4	437158,8180	133771,7752	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	84
7	437101,5360	133993,4033	0,0008	0,0004	0,0009	0,0008	0,0004	81
9	437055,0368	133851,9273	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	16
6	437096,6474	133909,5686	0,0005	0,0004	0,0007	0,0006	0,0004	69
8	437043,8524	133919,4016	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0003	44
10	436945,8445	133751,6750	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	24
21	437030,3008	134129,0665	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	172
19	436907,6362	133946,9410	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	32
31	436984,5221	134002,4405	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0003	30
11	436869,5020	133688,4725	0,0007	0,0006	0,0009	0,0007	0,0006	94
30	436764,4064	134020,9685	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	11
22	436844,6697	134287,7445	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	17
20	436966,2731	133969,7095	0,0004	0,0005	0,0006	0,0005	0,0003	35
18	436889,7353	133874,4830	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	50
12	436818,1910	133736,5189	0,0006	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006	35
17	436820,7974	133888,9501	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	66
27	436598,2664	134027,1485	0,0005	0,0008	0,0009	0,0008	0,0005	172
30A	436778,6430	134085,4354	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	34
30C	436737,0490	133922,9502	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	103
30B	436740,8425	134228,8796	0,0006	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	114
23	436762,1767	134321,1669	0,0006	0,0006	0,0008	0,0006	0,0006	89
13	436791,7439	133788,6802	0,0007	0,0006	0,0009	0,0007	0,0006	51
26	436512,4284	134135,8574	0,0006	0,0009	0,0011	0,0009	0,0006	11
16	436685,3416	133881,7072	0,0006	0,0004	0,0007	0,0006	0,0004	97
24	436690,5297	134240,6320	0,0006	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	127
25	436669,6981	134145,6538	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006	0,0004	113

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1,01331.
 [pvv] = 93,4384525810
 [xx] vseh neznank = 1584,5483633879
 [xx] samo koordinatnih neznank = 0,0004749568
 Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0,00006.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 1,0133 sekund.
 Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dolžin/ je 0,6080 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0,0013 metrov.
 Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0,0005 metrov.
 Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0,0008 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smeri in smerni koti so izpisani v stopinjah,

Nova točka: 1			Y = 437303,2926	X = 133717,1964	Orientacijski kot = 229 46 46		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
2A	1	1,43	0 0 0	229 46 46	229 46 46	0	176,703
2	1	0,99	1 47 53	231 34 39	231 34 39	0	186,460
3	1	0,28	91 43 7	321 29 53	321 29 53	1	130,821
Nova točka: 2			Y = 437157,2104	X = 133601,3194	Orientacijski kot = 51 34 38		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
1	1	1,44	0 0 0	51 34 38	51 34 39	0	186,460
2A	1	1,25	29 23 16	80 57 54	80 57 54	0	11,298
5	1	1,32	283 50 28	335 25 6	335 25 6	-1	147,243
Nova točka: 5			Y = 437095,9586	X = 133735,2178	Orientacijski kot = 340 40 41		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
9	1	1,61	0 0 0	340 40 41	340 40 40	0	123,676
4	1	1,58	79 8 27	59 49 8	59 49 8	0	72,717
2	1	1,49	174 44 25	155 25 5	155 25 6	0	147,243
Nova točka: 4			Y = 437158,8180	X = 133771,7752	Orientacijski kot = 239 49 10		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
5	1	0,17	0 0 0	239 49 10	239 49 8	-2	72,717
6	1	0,26	95 53 46	335 42 56	335 42 57	1	151,170
3	1	0,37	173 0 23	52 49 33	52 49 33	1	79,108
Nova točka: 3			Y = 437221,8515	X = 133819,5752	Orientacijski kot = 141 29 53		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
1	1	1,48	0 0 0	141 29 53	141 29 53	0	130,821
4	1	0,98	91 19 40	232 49 34	232 49 33	-1	79,108
7	1	0,96	183 48 45	325 18 38	325 18 39	1	211,405
Nova točka: 7			Y = 437101,5360	X = 133993,4033	Orientacijski kot = 145 18 39		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
3	1	1,54	0 0 0	145 18 39	145 18 39	0	211,405
8	1	0,90	72 37 31	217 56 10	217 56 10	0	93,828
Nova točka: 6			Y = 437096,6474	X = 133909,5686	Orientacijski kot = 280 33 1		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
8	1	0,75	0 0 0	280 33 1	280 33 1	0	53,703
4	1	0,29	235 9 56	155 42 57	155 42 57	0	151,170
Nova točka: 9			Y = 437055,0368	X = 133851,9273	Orientacijski kot = 227 26 39		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
10	1	0,76	0 0 0	227 26 39	227 26 39	0	148,235
8	1	0,77	123 8 39	350 35 18	350 35 18	0	68,395
5	1	0,82	293 14 1	160 40 40	160 40 40	0	123,676
Nova točka: 8			Y = 437043,8524	X = 133919,4016	Orientacijski kot = 356 18 8		
Vizura	Gr	Utež	Opazov, smer	Orient, smer	Def, sm, kot	Popravek	Dolžina
21	1	0,41	0 0 0	356 18 8	356 18 7	-2	210,102
7	1	0,25	41 38 1	37 56 9	37 56 10	1	93,828
6	1	0,46	104 14 53	100 33 2	100 33 1	0	53,703
9	1	0,15	174 17 11	170 35 19	170 35 18	-1	68,395
19	1	0,26	285 7 39	281 25 48	281 25 47	-1	138,972
31	1	0,38	328 9 6	324 27 14	324 27 17	3	102,057

22	23	1,000	89,0063	89,0063	89,0064	0,0001	89,0064
22	21	1,000	244,2081	244,2081	244,2082	0,0000	244,2082
23	22	1,000	89,0063	89,0063	89,0064	0,0001	89,0064
23	24	1,000	107,7922	107,7922	107,7922	0,0000	107,7922
24	23	1,000	107,7922	107,7922	107,7922	0,0000	107,7922
24	30B	1,000	51,6673	51,6673	51,6672	-0,0001	51,6672
24	25	1,000	97,2360	97,2360	97,2359	-0,0001	97,2359
30B	24	1,000	51,6673	51,6673	51,6672	-0,0001	51,6672
30B	22	1,000	119,3532	119,3532	119,3530	-0,0001	119,3530
25	16	1,000	264,4099	264,4099	264,4098	-0,0001	264,4098
25	26	1,000	157,5745	157,5745	157,5745	0,0000	157,5745
25	24	1,000	97,2360	97,2360	97,2359	-0,0001	97,2359
26	25	1,000	157,5745	157,5745	157,5745	0,0000	157,5745
26	27	1,000	138,5128	138,5128	138,5127	0,0000	138,5127
27	26	1,000	138,5128	138,5128	138,5127	0,0000	138,5127
27	30	1,000	166,2549	166,2549	166,2549	0,0000	166,2549
30	17	1,000	143,5577	143,5577	143,5577	0,0001	143,5577
30	27	1,000	166,2549	166,2549	166,2549	0,0000	166,2549
30	30A	1,000	66,0204	66,0204	66,0202	-0,0003	66,0202
30	21	1,000	287,0281	287,0281	287,0280	-0,0002	287,0280
30	31	1,000	220,8939	220,8939	220,8941	0,0002	220,8941
30	30C	1,000	101,7646	101,7646	101,7645	-0,0002	101,7645
30A	31	1,000	221,9781	221,9781	221,9782	0,0001	221,9782
30A	30	1,000	66,0204	66,0204	66,0202	-0,0003	66,0202
30C	30	1,000	101,7646	101,7646	101,7645	-0,0002	101,7645
30C	18	1,000	160,1940	160,1940	160,1941	0,0002	160,1941
30C	17	1,000	90,3869	90,3869	90,3870	0,0001	90,3870
30C	16	1,000	66,1411	66,1411	66,1411	0,0000	66,1411
16	25	1,000	264,4099	264,4099	264,4098	-0,0001	264,4098
16	30C	1,000	66,1411	66,1411	66,1411	0,0000	66,1411
16	13	1,000	141,3346	141,3346	141,3346	0,0000	141,3346
13	16	1,000	141,3346	141,3346	141,3346	0,0000	141,3346
13	12	1,000	58,4830	58,4830	58,4829	-0,0001	58,4829
17	18	1,000	70,4391	70,4391	70,4395	0,0003	70,4395
17	30C	1,000	90,3869	90,3869	90,3870	0,0001	90,3870
17	30	1,000	143,5577	143,5577	143,5577	0,0001	143,5577
11	12	1,000	70,2942	70,2942	70,2942	0,0000	70,2942
11	10	1,000	99,1097	99,1097	99,1098	0,0001	99,1098
12	13	1,000	58,4830	58,4830	58,4829	-0,0001	58,4829
12	11	1,000	70,2942	70,2942	70,2942	0,0000	70,2942
10	9	1,000	148,2345	148,2345	148,2345	0,0001	148,2345
10	11	1,000	99,1097	99,1097	99,1098	0,0001	99,1098

Priloga 4: Podatki in topografija reperja R2



Uporabnik:GSTEBE

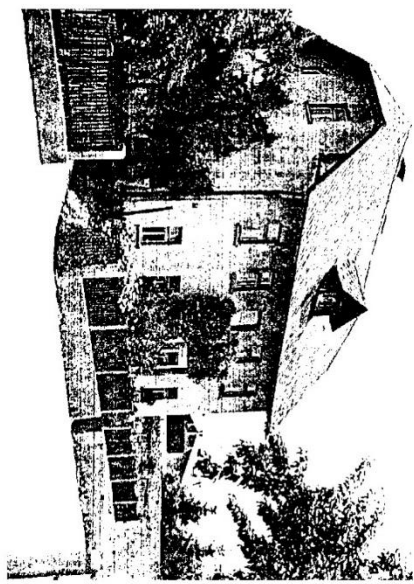
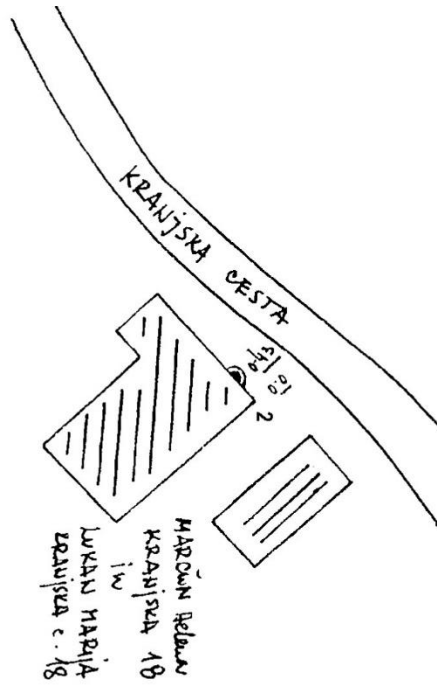
Transakcijska številka:

Ponedeljek, 26 Januar, 2015
9:26:22

Podatki o višinski geodetski točki
Katastrska občina: 2157 PREDTRG
Št. reperja: 2

Šifra za red, vrsto mreže	5	Koordinata Y	436997
Št. nivoimanskega poligona	66	Koordinata X	133794
Št. reperja	2	Koordinata fi (stopinjje)	46
Ime reperja	-	Koordinata fi (minute)	20
Leto stabilizacije reperja	1972	Koordinata fi (sekunde)	44
N način stabilizacije	2 - Horizontalna	Koordinata lambda (stopinjje)	14
Šifra oblike reperja	5 - Cilindrični	Koordinata lambda (minute)	10
Nadmorska višina	493.4214	Koordinata lambda (sekunde)	53
Leto meritve	2006	Ime datoteke, kjer so izračunane višine	5-66(06).REZ
Zaporedna številka sanacije točke	1	Tekstualni opis	HIŠA, MARČUN HELENA, KRANSKA 18
Šifra uporabnosti reperja	1 - Uporaben	Opomba	PREGLEDAN FEBRUAR 2004 LETA 2006 UGOTOVLJENO
Šifra IOGU	15	List TTNS	5 D 26-32
Šifra katastrske občine	2157	List TK25	012-1-4
Ime katastrske občine	PREDTRG	Podatki o topografiji	2133064
Št. parcele	-		

Podatki o topografiji:



0.2	0.31
0.2	0.31
0.2	0.31

Priloga 5: Podatki in topografija reperja R8



Uporabnik:GSTERE

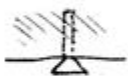
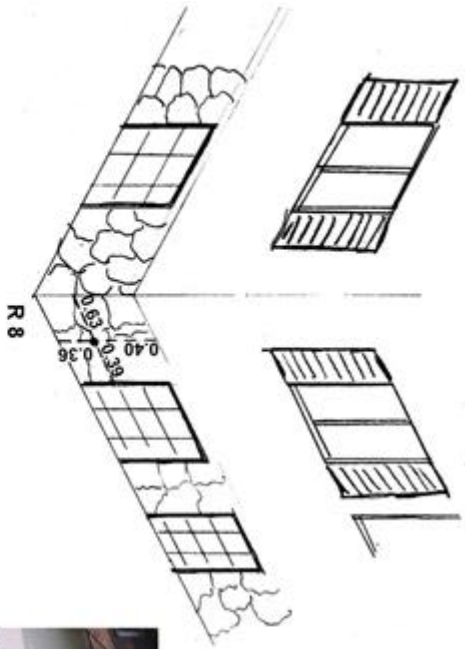
Transakcijska številka: 1100451589847

Ponedeljek, 26 Januar, 2015
9:27:01

Podatki o višinski geodetski točki
Katastrska občina: 2157 PREDTRG
Št. reperja: 8

Šifra za red, vrsto mreže	5	Koordinata Y	436824
Št. nivoimanskega poligona	66	Koordinata X	134299
Št. reperja	8	Koordinata fi (stopinje)	46
Ime reperja	-	Koordinata fi (minute)	21
Leto stabilizacije reperja	2004	Koordinata fi (sekunde)	0
N način stabilizacije	2 - Horizontalna	Koordinata lambda (stopinje)	14
Šifra oblike reperja	5 - Cilindrični	Koordinata lambda (minute)	10
Nadmorska višina	495.6955	Koordinata lambda (sekunde)	44
Leto meritve	2004	Ime datoteke, kjer so izračunane višine	5-66(06).REZ
Zaporedna številka sanacije točke	-	Tekstualni opis	GRADNIKOVA 1, RADOVLJICA
Šifra uporabnosti reperja	1 - Uporaben	Opomba	-
Šifra IOGU	15	List TTNS	5 D 26-32
Šifra katastrske občine	2157	List TK25	012-1-4
Ime katastrske občine	PREDTRG	Podatki o topografiji	9000678
Št. parcele	-		

Podatki o topografiji:



Et = 5 cm
 Reper gleda iz strane 40mm

Priloga 6: Podatki in topografija reperja R9



Ponedeljek, 26 Januar, 2015
9:27:33

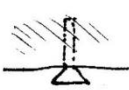
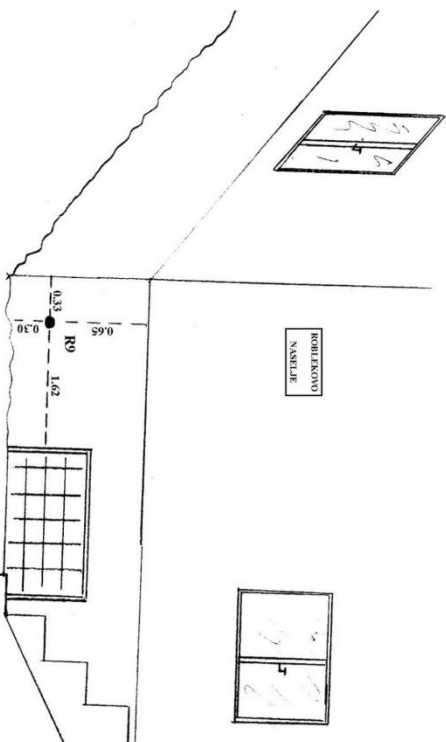
Uporabnik:GSTERB

Transakcijska številka : 1100451590581

Podatki o višinski geodetski točki
Katastrska občina: 2156 RADOVLJICA
Št. reperja: 9

Šifra za red, vrsto mreže	5	Koordinata Y	436394
Št. nivoimanskega poligona	66	Koordinata X	134121
Št. reperja	9	Koordinata fi (stopinje)	46
Ime reperja	-	Koordinata fi (minute)	20
Leto stabilizacije reperja	2004	Koordinata fi (sekunde)	54
N način stabilizacije	2 - Horizontalna	Koordinata lambda (stopinje)	14
Šifra oblike reperja	5 - Cilindrični	Koordinata lambda (minute)	10
Nadmorska višina	494.3945	Koordinata lambda (sekunde)	24
Leto meritve	2004	Ime datoteke, kjer so izračunane višine	5-66(06).REZ
Zaporedna številka sanacije točke	-	Tekstualni opis	ROBLEKOV O NASELJE 1, RADOVLJICA
Šifra uporabnosti reperja	1 - Uporaben	Opomba	-
Šifra IOGU	15	List TTNS	5 D 26-32
Šifra katastrske občine	2156	List TK25	012-1-4
Ime katastrske občine	RADOVLJICA	Podatki o topografiji	9000679
Št. parcele	-		

Podatki o topografiji:



$R_i = 5 \text{ cm}$

Reper gleda iz stene 35 mm



Priloga 7: Izhodna datoteka višinske izravnave mreže geometričnega nivelmana

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

Ime datoteke s podatki: visine_NIV.txt
Ime datoteke za rezultate: visine_NIV.rez
Ime datoteke za deformacijsko analizo: visine_NIV.def
Ime datoteke za S-transformacijo: visine_NIV.str
Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: visine_NIV.koo

Datum: 6.4.2015
Čas: 8:12

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Nadm.viš.	Opomba
R2	493,42140	Dani reper
R8	495,69550	Dani reper
R9	494,39450	Dani reper
1	495,00000	Novi reper
2	495,00000	Novi reper
2A	495,00000	Novi reper
3	495,00000	Novi reper
4	495,00000	Novi reper
5	495,00000	Novi reper
6	495,00000	Novi reper
7	495,00000	Novi reper
8	495,00000	Novi reper
9	495,00000	Novi reper
10	495,00000	Novi reper
11	495,00000	Novi reper
12	495,00000	Novi reper
13	495,00000	Novi reper
16	495,00000	Novi reper
17	495,00000	Novi reper
18	495,00000	Novi reper
19	495,00000	Novi reper
20	495,00000	Novi reper
21	495,00000	Novi reper
22	495,00000	Novi reper
23	495,00000	Novi reper
24	495,00000	Novi reper
26	495,00000	Novi reper
27	495,00000	Novi reper

Število vseh reperjev = 28
Število danih reperjev = 3
Število novih reperjev = 25

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

=====

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
16	27	1,02261	0,2205
27	26	0,74295	0,1452
26	R9	-0,49844	0,1494
R9	24	1,02476	0,3718
24	23	0,54663	0,1273
23	R8	-0,26924	0,0684
R8	22	0,20926	0,0337

22	21	-0,23425	0,2454
21	7	-0,46014	0,2398
7	8	-0,61981	0,1098
8	20	0,45142	0,1106
20	19	0,09061	0,0756
19	18	-0,20015	0,0746
18	17	-0,00509	0,0704
17	13	2,65359	0,1278
13	16	-4,45449	0,1591
13	12	-3,75116	0,0621
12	11	-3,90379	0,0974
11	10	1,20095	0,1090
10	R2	2,29533	0,1167
R2	8	1,16930	0,1542
8	9	-0,79394	0,0755
9	5	-0,13438	0,1235
5	2	-0,72753	0,1475
2	2A	-0,18321	0,0203
2	1	0,22229	0,2024
1	3	0,35614	0,1550
3	4	0,12282	0,0790
4	6	0,65674	0,1523
6	8	0,29991	0,0539

Število opazovanj = 30

Vektor normalnih enačb je zaseden 0,01 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
			a1	a2	f	
1	16	27	-1,	1,	-1,02261	4,5343
2	27	26	-1,	1,	-0,74295	6,8885
3	26	R9	1,	0,	0,10706	6,6930
4	R9	24	0,	1,	-0,41926	2,6898
5	24	23	-1,	1,	-0,54663	7,8570
6	23	R8	1,	0,	-0,96474	14,6289
7	R8	22	0,	1,	-0,90476	29,6404
8	22	21	1,	-1,	-0,23425	4,0742
9	21	7	1,	-1,	-0,46014	4,1710
10	7	8	1,	-1,	-0,61981	9,1045
11	8	20	-1,	1,	-0,45142	9,0430
12	20	19	-1,	1,	-0,09061	13,2234
13	19	18	1,	-1,	-0,20015	13,4070
14	18	17	1,	-1,	-0,00509	14,1946
15	17	13	-1,	1,	-2,65359	7,8270
16	13	16	1,	-1,	-4,45449	6,2851
17	13	12	1,	-1,	-3,75116	16,0924
18	12	11	1,	-1,	-3,90379	10,2625
19	11	10	-1,	1,	-1,20095	9,1768
20	10	R2	-1,	0,	-3,87393	8,5672
21	R2	8	0,	1,	0,40930	6,4867
22	8	9	1,	-1,	-0,79394	13,2412
23	9	5	1,	-1,	-0,13438	8,0941
24	5	2	1,	-1,	-0,72753	6,7779
25	2	2A	1,	-1,	-0,18321	49,2136
26	2	1	-1,	1,	-0,22229	4,9403
27	1	3	-1,	1,	-0,35614	6,4524
28	3	4	-1,	1,	-0,12282	12,6541
29	4	6	-1,	1,	-0,65674	6,5668
30	6	8	-1,	1,	-0,29991	18,5658

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
1	16	27	1,02261	0,00034	1,02295
2	27	26	0,74295	0,00023	0,74318
3	26	R9	-0,49844	0,00023	-0,49821
4	R9	24	1,02476	-0,00075	1,02401
5	24	23	0,54663	-0,00026	0,54637
6	23	R8	-0,26924	-0,00014	-0,26938
7	R8	22	0,20926	0,00000	0,20926
8	22	21	-0,23425	0,00002	-0,23423
9	21	7	-0,46014	0,00002	-0,46012
10	7	8	-0,61981	0,00001	-0,61980
11	8	20	0,45142	-0,00004	0,45138
12	20	19	0,09061	-0,00003	0,09058
13	19	18	-0,20015	-0,00003	-0,20018
14	18	17	-0,00509	-0,00003	-0,00512
15	17	13	2,65359	-0,00005	2,65354
16	13	16	-4,45449	0,00025	-4,45424
17	13	12	-3,75116	-0,00012	-3,75128
18	12	11	-3,90379	-0,00019	-3,90398
19	11	10	1,20095	-0,00021	1,20074
20	10	R2	2,29533	-0,00023	2,29510
21	R2	8	1,16930	-0,00008	1,16922
22	8	9	-0,79394	-0,00016	-0,79410
23	9	5	-0,13438	-0,00026	-0,13464
24	5	2	-0,72753	-0,00031	-0,72784
25	2	2A	-0,18321	0,00000	-0,18321
26	2	1	0,22229	-0,00042	0,22187
27	1	3	0,35614	-0,00032	0,35582
28	3	4	0,12282	-0,00016	0,12266
29	4	6	0,65674	-0,00032	0,65642
30	6	8	0,29991	-0,00011	0,29980

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0,001399$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
1	495,00000	-1,84407	493,15593	0,00083
2	495,00000	-2,06594	492,93406	0,00080
2A	495,00000	-2,24915	492,75085	0,00083
3	495,00000	-1,48826	493,51174	0,00078
4	495,00000	-1,36560	493,63440	0,00073
5	495,00000	-1,33811	493,66189	0,00072
6	495,00000	-0,70917	494,29083	0,00055
7	495,00000	0,21042	495,21042	0,00056
8	495,00000	-0,40938	494,59062	0,00045
9	495,00000	-1,20347	493,79653	0,00059
10	495,00000	-3,87370	491,12630	0,00044
11	495,00000	-5,07444	489,92556	0,00055
12	495,00000	-1,17046	493,82954	0,00058
13	495,00000	2,58082	497,58082	0,00058
16	495,00000	-1,87342	493,12658	0,00066
17	495,00000	-0,07272	494,92728	0,00063
18	495,00000	-0,06760	494,93240	0,00064
19	495,00000	0,13258	495,13258	0,00062
20	495,00000	0,04200	495,04200	0,00057
21	495,00000	0,67054	495,67054	0,00059
22	495,00000	0,90476	495,90476	0,00025

23	495,00000	0,96488	495,96488	0,00034
24	495,00000	0,41851	495,41851	0,00050
26	495,00000	-0,10729	494,89271	0,00049
27	495,00000	-0,85047	494,14953	0,00062

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Qll	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r
1	16	27	0,16687	0,00057	0,05367	0,24338
2	27	26	0,12191	0,00049	0,02326	0,16020
3	26	R9	0,12478	0,00049	0,02463	0,16488
4	R9	24	0,12818	0,00050	0,24359	0,65522
5	24	23	0,09873	0,00044	0,02855	0,22431
6	23	R8	0,06012	0,00034	0,00824	0,12047
7	R8	22	0,03223	0,00025	0,00151	0,04467
8	22	21	0,16568	0,00057	0,07977	0,32499
9	21	7	0,16364	0,00057	0,07611	0,31745
10	7	8	0,09386	0,00043	0,01597	0,14543
11	8	20	0,09581	0,00043	0,01477	0,13356
12	20	19	0,06872	0,00037	0,00691	0,09133
13	19	18	0,06787	0,00036	0,00672	0,09008
14	18	17	0,06446	0,00036	0,00599	0,08508
15	17	13	0,10805	0,00046	0,01971	0,15431
16	13	16	0,13117	0,00051	0,02794	0,17558
17	13	12	0,05661	0,00033	0,00553	0,08904
18	12	11	0,08384	0,00041	0,01361	0,13963
19	11	10	0,09196	0,00042	0,01702	0,15615
20	10	R2	0,09720	0,00044	0,01952	0,16726
21	R2	8	0,10529	0,00045	0,04887	0,31699
22	8	9	0,06976	0,00037	0,00577	0,07635
23	9	5	0,10812	0,00046	0,01543	0,12490
24	5	2	0,12553	0,00050	0,02201	0,14915
25	2	2A	0,02032	0,00020	0,00000	0,00000
26	2	1	0,16100	0,00056	0,04142	0,20463
27	1	3	0,13070	0,00051	0,02428	0,15668
28	3	4	0,07271	0,00038	0,00631	0,07989
29	4	6	0,12884	0,00050	0,02344	0,15395
30	6	8	0,05093	0,00032	0,00293	0,05445

Skupno število nadštevilnosti je 5,00000000.
Povprečno število nadštevilnosti je 0,16666667.

Priloga 8: Izhodna datoteka višinske izravnave mreže trigonometričnega višinomerstva

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

Ime datoteke s podatki: visine_TRIG.txt
Ime datoteke za rezultate: visine_TRIG.rez
Ime datoteke za deformacijsko analizo: visine_TRIG.def
Ime datoteke za S-transformacijo: visine_TRIG.str
Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: visine_TRIG.koo

Datum: 9.4.2015
Čas: 2:22

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Nadm.viš.	Opomba
8	494,59062	Dani reper
16	493,12658	Dani reper
17	494,92728	Dani reper
19	495,13258	Dani reper
20	495,04200	Dani reper
21	495,67054	Dani reper
22	495,90476	Dani reper
24	495,41851	Dani reper
26	494,89271	Dani reper
27	494,14953	Dani reper
25	495,00000	Novi reper
30	495,00000	Novi reper
30A	495,00000	Novi reper
30B	495,00000	Novi reper
30C	495,00000	Novi reper
31	495,00000	Novi reper

Število vseh reperjev = 16
Število danih reperjev = 10
Število novih reperjev = 6

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

=====

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
24	25	1,93460	9454,8399
26	25	2,46130	24829,7181
16	25	4,22750	69912,5811
22	30B	11,87310	14245,1812
24	30B	12,35730	2669,5136
21	30	13,26620	82385,1401
17	30	14,00400	20608,7993
30	30C	-4,04990	10356,0362
27	30	14,78740	27640,7051
16	30C	11,75850	4374,6423
17	30C	9,95560	8169,7924
30	31	-11,84040	48794,1306
30	30A	3,17160	4358,6956
8	31	2,49680	10415,5561
21	31	1,41750	18129,9301
20	31	2,04590	1404,3271
19	31	1,95570	8991,5730
20	30A	17,05850	97195,4634
30A	31	-15,03130	98548,5701

Število opazovanj = 19

Vektor normalnih enačb je zaseden 0,00 %.

ENAAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Koefficienti			Utež
			a1	a2	f	
1	24	25	0,	1,	-2,35311	0,0001
2	26	25	0,	1,	-2,35401	0,0000
3	16	25	0,	1,	-2,35408	0,0000
4	22	30B	0,	1,	-12,77786	0,0001
5	24	30B	0,	1,	-12,77581	0,0004
6	21	30	0,	1,	-13,93674	0,0000
7	17	30	0,	1,	-13,93128	0,0000
8	30	30C	1,	-1,	-4,04990	0,0001
9	27	30	0,	1,	-13,93693	0,0000
10	16	30C	0,	1,	-9,88508	0,0002
11	17	30C	0,	1,	-9,88288	0,0001
12	30	31	1,	-1,	-11,84040	0,0000
13	30	30A	-1,	1,	-3,17160	0,0002
14	8	31	0,	1,	-2,08742	0,0001
15	21	31	0,	1,	-2,08804	0,0001
16	20	31	0,	1,	-2,08790	0,0007
17	19	31	0,	1,	-2,08828	0,0001
18	20	30A	0,	1,	-17,10050	0,0000
19	30A	31	1,	-1,	-15,03130	0,0000

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
2	26	25	2,46130	-0,00059	2,46071
3	16	25	4,22750	-0,00066	4,22684
4	22	30B	11,87310	-0,00173	11,87137
5	24	30B	12,35730	0,00032	12,35762
6	21	30	13,26620	-0,00281	13,26339
7	17	30	14,00400	0,00265	14,00665
8	30	30C	-4,04990	0,00022	-4,04968
9	27	30	14,78740	-0,00300	14,78440
10	16	30C	11,75850	-0,00083	11,75767
11	17	30C	9,95560	0,00137	9,95697
12	30	31	-11,84040	-0,00564	-11,84604
13	30	30A	3,17160	0,00035	3,17195
14	8	31	2,49680	0,00046	2,49726
15	21	31	1,41750	-0,00016	1,41734
16	20	31	2,04590	-0,00002	2,04588
17	19	31	1,95570	-0,00040	1,95530
18	20	30A	17,05850	0,00538	17,06388
19	30A	31	-15,03130	0,01331	-15,01799

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0,000018$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
25	495,00000	2,35342	497,35342	0,00143
30	495,00000	13,93393	508,93393	0,00124
30A	495,00000	17,10588	512,10588	0,00162
30B	495,00000	12,77613	507,77613	0,00086
30C	495,00000	9,88425	504,88425	0,00090
31	495,00000	2,08788	497,08788	0,00057

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Q11	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r
1	24	25	6236,59779	0,00143	3218,24208	0,34038
2	26	25	6236,59779	0,00143	*****	0,74883
3	16	25	6236,59779	0,00143	*****	0,91079
4	22	30B	2248,20523	0,00086	*****	0,84218
5	24	30B	2248,20523	0,00086	421,30840	0,15782
6	21	30	4740,63934	0,00124	*****	0,94246
7	17	30	4740,63934	0,00124	*****	0,76997
8	30	30C	5150,05022	0,00130	5205,98593	0,50270
9	27	30	4740,63934	0,00124	*****	0,82849
10	16	30C	2455,04344	0,00090	1919,59885	0,43880
11	17	30C	2455,04344	0,00090	5714,74892	0,69950
12	30	31	5458,80718	0,00134	*****	0,88813
13	30	30A	4034,63073	0,00115	324,06485	0,07435
14	8	31	999,49865	0,00057	9416,05740	0,90404
15	21	31	999,49865	0,00057	*****	0,94487
16	20	31	999,49865	0,00057	404,82843	0,28827
17	19	31	999,49865	0,00057	7992,07436	0,88884
18	20	30A	8011,23703	0,00162	*****	0,91758
19	30A	31	8671,23218	0,00168	*****	0,91201

Skupno število nadštevilnosti je 13,00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0,68421053.

Priloga 9: Izračun geoidnih višin N

Nivelirano – H [m]		GNSS – h [m]		N (N = h - H) [m]		SiTra – Ns [m]		ΔN = Ns + N [m]	
1	493,1559	1	540,5371	1	47,38117	1	-47,486	1	-0,105
2A	492,7509	2a	540,1318	2a	47,38095	2a	-47,485	2a	-0,104
8	494,5906	8	542,0044	8	47,41378	8	-47,494	8	-0,080
11	489,9256	11	537,3342	11	47,40864	11	-47,491	11	-0,082
16	493,1266	16	540,5425	16	47,41592	16	-47,498	16	-0,082
21	495,6695	21	543,0662	21	47,39666	21	-47,500	21	-0,103
24	495,4185	24	542,8375	24	47,41899	24	-47,506	24	-0,087
26	494,8917	26	542,2925	26	47,40079	26	-47,506	26	-0,105

Srednja vrednost (x) [m]: -0,094

Nivelirano – H [m]		SiTra – Ns [m]		N (N = abs(Ns - x) [m])	
2	492,9341	2	-47,485	2	47,39136
3	493,5117	3	-47,490	3	47,39636
4	493,6344	4	-47,489	4	47,39536
5	493,6619	5	-47,489	5	47,39536
6	494,2908	6	-47,493	6	47,39936
7	495,2089	7	-47,496	7	47,40236
9	493,7965	9	-47,492	9	47,39836
10	491,1253	10	-47,491	10	47,39736
12	493,8295	12	-47,492	12	47,39836
13	497,5808	13	-47,494	13	47,40036
17	494,9273	17	-47,496	17	47,40236
18	494,9324	18	-47,495	18	47,40136
19	495,1326	19	-47,497	19	47,40336
20	495,042	20	-47,496	20	47,40236
22	495,9048	22	-47,506	22	47,41236
23	495,9649	23	-47,508	23	47,41436
25	497,3534	25	-47,504	25	47,41036
27	494,1495	27	-47,502	27	47,40836
30	508,9339	30	-47,500	30	47,40636
30A	512,1059	30A	-47,502	30A	47,40836
30B	507,7761	30B	-47,505	30B	47,41136
30C	504,8843	30C	-47,498	30C	47,40436
31	497,0879	31	-47,497	31	47,40336