

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:

Tržan, U., 2013. Testiranje natančnosti sistema avtomatskega prepoznavanja tarče Leica ATR. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kogoj, D., somentor Marjetič, A.): 27 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Tržan, U., 2013. Testiranje natančnosti sistema avtomatskega prepoznavanja tarče Leica ATR. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kogoj, D., co-supervisor Marjetič, A.): 27 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ PRVE  
STOPNJE GEODEZIJE IN  
GEOINFORMATIKE

Kandidat:

**URH TRŽAN**

**TESTIRANJE NATANČNOSTI SISTEMA AVTOMATSKEGA  
PREPOZNAVANJA TARČE LEICA ATR**

Diplomska naloga št.: 45/GIG

**TESTING OF THE ACCURACY OF LEICA ATR AUTOMATIC  
TARGET RECOGNITION SYSTEM**

Graduation thesis No.: 45/GIG

**Mentor:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

**Somentor:**

asist. dr. Aleš Marjetič

Ljubljana, 23. 09. 2013

**STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

| <b>Stran z napako</b> | <b>Vrstica z napako</b> | <b>Namesto</b> | <b>Naj bo</b> |
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|

#### **IZJAVE**

Spodaj podpisani **URH TRŽAN** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Testiranje natančnosti sistema avtomatskega prepoznavanja tarče Leica ATR**«.

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

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

Ljubljana, 12. 9. 2013

Urh Tržan

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

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>UDK:</b>             | <b>528.53(043.2)</b>   |
| <b>Avtor:</b>           | <b>Urh Tržan</b>   |
| <b>Mentor:</b>          | <b>izr. prof. dr. Dušan Kogoj</b>  |
| <b>Somentor:</b>        | <b>asist. dr. Aleš Marjetič</b>  |
| <b>Naslov:</b>          | <b>Testiranje natančnosti sistema avtomatskega prepoznavanja tarče Leica ATR</b> |
| <b>Tip dokumenta:</b>   | <b>Dipl.nal.- UNI</b>  |
| <b>Obseg in oprema:</b> | <b>27 str., 13 pregl., 4 sl., 9 graf., 15 en., 4 pril.</b>                       |
| <b>Ključne besede:</b>  | <b>avtomatsko prepoznavanje tarče, ATR, natančnost, tahimeter, Leica TS30</b>    |

### **Izvleček**

Avtomatsko prepoznavanje tarče postaja na področju geodezije, poleg drugih področij, čedalje bolj uveljavljen in uporabljen koncept avtomatiziranosti elektronskih tahimetrov. Po natančnosti se približuje klasičnemu načinu merjenja, iz vidika praktičnosti pa ga tudi že prekaša. V diplomski nalogi so predstavljeni rezultati primerjave merjenja kotov in natančnosti meritev med uporabo avtomatskega viziranja tarče in ročnega viziranja na primeru dveh lokalnih geodetskih mrež različnih dimenzij. Prikazano pa je tudi spreminjanje natančnosti meritev z dodajanjem števila girusov.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.53(043.2)  
**Author:** Urh Tržan  
**Supervisor:** Assist. Prof. Dušan Kogoj, Ph.D  
**Cosupervisor:** Assist. Aleš Marjetič, Ph.D  
**Title:** Testing of the accuracy of Leica ATR automatic target recognition system  
**Document type:** Graduation thesis – University studies  
**Scope and tools:** 27 p., 13 tab., 4 fig., 9 graph., 15 eq., 4 ann.  
**Keywords:** Automatic target recognition, ATR, accuracy, total station, Leica TS30

### **Abstract**

Automatic target recognition is in the field of surveying among other fields becoming increasingly invoked and applied concept of automation of electronic total stations. Its accuracy is approaching the accuracy of classical method of measurement, in terms of practicality it already outperforms it. This thesis presents the results of comparison of measurements and their accuracy when using automatic and classical method of angle measurements in the case of two local geodetic networks of various sizes. The results also show the variation of the measurement accuracy by adding the number of sets of angles.

## **ZAHVALA**

Za pomoč, številne nasvete in usmerjanje pri izdelavi te naloge se iskreno zahvaljujem mentorju dr. Dušanu Kogoju ter somentorju dr. Alešu Marjetiču.

Zahvaljujem se staršema, ki verjameta vame, me podpirata in mi omogočata študij, ter drugim domačim. Hvala Hani za potrpežljivost in podporo ter popravljene pike in vejice.

Zahvaliti pa se moram tudi prijateljem in kolegom, ki so mi bili tekom študija v vzpodbudo, pomoč in družbo.

## KAZALO VSEBINE

|  |          |
|--|----------|
| STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA .....  | III      |
| IZJAVE .....   | IV       |
| BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....                              | V        |
| BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....                                    | VI       |
| ZAHVALA.....   | VII      |
| <br>   |          |
| <b>1 UVOD</b> .....  | <b>1</b> |
| <b>2 AVTOMATSKO PREPOZNAVANJE IN SLEDENJE TARČE</b> .....                            | <b>1</b> |
| 2.1 Avtomatsko iskanje tarče (AIT).....  | 1        |
| 2.2 Avtomatsko prepoznavanje tarče (APT).....  | 3        |
| 2.2.1 Avtomatsko viziranje tarče (AVT) .....   | 3        |
| 2.2.2 Avtomatsko sledenje tarče .....  | 4        |
| <b>3 OBMOČJE IZMERE IN POSTOPEK DELA</b> .....                                       | <b>5</b> |
| 3.1 Območje izmere .....   | 5        |
| 3.2 Uporabljen Instrumentarij.....   | 5        |
| 3.2.1 LEICA TS30 .....   | 6        |
| 3.3 Potek dela .....   | 8        |
| <b>4 METODE IZMERE</b> .....   | <b>8</b> |
| 4.1 Girusna metoda .....   | 8        |
| <b>5 OBDELAVA PODATKOV IN OCENA NATANČNOSTI OPAZOVANJ</b> .....                      | <b>9</b> |
| 5.1 Apriori ocena natančnosti opazovanih horizontalnih smeri po girusni metodi ..... | 9        |
| 5.1.1 Rezultati in ovrednotenje .....  | 11       |
| 5.2 Apriori ocena natančnosti merjenih zenitnih razdalj s programom LISCAD .....     | 15       |
| 5.2.1 Rezultati in ovrednotenje .....  | 16       |
| 5.3 Apriori ocena natančnosti dolžinskih opazovanj s programom LISCAD .....          | 16       |
| 5.3.1 Rezultati in ovrednotenje .....  | 17       |



|   |    |
|---|----|
| <b>6 METEOROLOŠKI PARAMETRI</b> .....                                   | 18 |
| 6.1 Temperatura zraka .....   | 18 |
| 6.2 Zračni tlak .....   | 18 |
| 6.3 Vlažnost zraka.....   | 18 |
| <b>7 REDUKCIJA DOLŽIN</b> .....   | 19 |
| 7.1 Meteorološki popravki – prvi popravek hitrosti.....                 | 19 |
| 7.2 Projekcijski popravki – horizontiranje na nivo najnižje točke ..... | 20 |
| <b>8 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE</b> .....                                | 20 |
| 8.1 Izravnava višinske mreže .....                                      | 21 |
| 8.2 Izravnava položajne mreže.....                                      | 21 |
| <b>9 REZULTATI IZRAVNAV IN PRIMERJAVA REZULTATOV</b> .....              | 21 |
| 9.1 Izravnava višinske mreže .....                                      | 21 |
| 9.2 Izravnava horizontalne mreže .....                                  | 22 |
| 9.3 Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti .....            | 23 |
| <b>10 ZAKLJUČEK</b> .....   | 25 |
| VIRI .....  | 27 |
| SEZNAM PRILOG .....   | 28 |

## KAZALO SLIK

|  |          |
|--|----------|
| <i>Slika 1: Primer slike odbitega laserskega snopa sistema PS (na horizontalni ravnini koordinatni osi predstavljata širino in dolžino prejetega signala, vertikalna os pa njegovo jakost) .....</i> | <i>2</i> |
| <i>Slika 2: Območje izmere s približnima legama mrež .....</i>   | <i>5</i> |
| <i>Slika 3: Tahimeter Leica TS30 postavljen na točki A1 .....</i>  | <i>6</i> |
| <i>Slika 4: Princip merjenja po girusni metodi .....</i>   | <i>8</i> |

## KAZALO PREGLEDNIC

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Preglednica 1: Specifikacije elektronskega teodolita Leica TS30 .....</i>  | <i>7</i>  |
| <i>Preglednica 2: Povprečne vrednosti standardnih deviacij horizontalnih smeri vseh stojišč po girusni metodi glede na število girusov.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Preglednica 3: Srednje vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih male mreže.....</i>                           | <i>12</i> |
| <i>Preglednica 4: Srednje vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih velike mreže.....</i>                         | <i>13</i> |
| <i>Preglednica 5: Povprečne standardne deviacije zenitnih razdalj v gonih .....</i>   | <i>16</i> |
| <i>Preglednica 6: Povprečne standardne deviacije merjenih dolžin .....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Preglednica 7: Meteorološki pogoji v času izvajanja meritev .....</i>  | <i>19</i> |
| <i>Preglednica 8: Približne višine točk .....</i>   | <i>22</i> |
| <i>Preglednica 9: Izravnane višine točk .....</i>   | <i>22</i> |
| <i>Preglednica 10: Približne koordinate točk.....</i>   | <i>22</i> |
| <i>Preglednica 11: Primerjava izravnanih koordinat .....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Preglednica 12: Vrednosti apriori in aposteriori ocen natančnosti za horizontalne smeri .....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Preglednica 13: Vrednosti apriori in aposteriori ocen natančnosti za dolžine .....</i>   | <i>24</i> |

## KAZALO GRAFIKONOV

|   |    |
|---|----|
| <i>Grafikon 1: Povprečne vrednosti srednje standardne deviacije glede na število girusov .....</i>                                      | 11 |
| <i>Grafikon 2: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve male mreže .....</i>                      | 12 |
| <i>Grafikon 3: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij med avtomatskim in ročnim načinom merjenja pri veliki mreži .....</i> | 13 |
| <i>Grafikon 4: Primerjava srednjih standardnih deviacij avtomatske meritve pri mali in veliki mreži .....</i>                           | 14 |
| <i>Grafikon 5: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij ročne meritve po stojiščih male in velike mreže .....</i>             | 14 |
| <i>Grafikon 6: Povprečne vrednosti standardne deviacije glede na število ponovitev .....</i>  | 16 |
| <i>Grafikon 7: Povprečne vrednosti srednje standardne deviacije glede na število girusov .....</i>                                      | 17 |
| <i>Grafikon 8: Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti za horizontalne smeri .....</i>                                       | 24 |
| <i>Grafikon 9: Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti za dolžine .....</i>  | 25 |

## **1 UVOD**

Tahimeter je instrument, s katerim lahko merimo horizontalne in vertikalne kote ter poševne dolžine. Gre za optično-mehanski in elektronski instrument, v katerem so združeni številni senzori. Razvoj sodobnih tahimetrov, kot jih poznamo danes, se je začel v 80ih letih prejšnjega stoletja, ko so še posebej izdelovali teodolite in elektronske razdaljemere, v 90ih letih pa so z združitvijo teh dveh senzorjev nastali elektronski tahimetri. Razvoj elektronskih tahimetrov teži k poenostavitvi dela in k zmanjšanju stroškov izmere, izboljšavam kakovosti in natančnosti meritev, ter k eliminaciji čim večjega števila pogreškov. [1].

Avtomatsko prepoznavanje tarče poleg drugih področij tudi na področju geodezije postaja čedalje bolj uveljavljen in uporaben koncept avtomatizacije meritev z elektronskimi tahimetri.

Sodobni avtomatski elektronski tahimetri z avtomatskim prepoznavanjem tarče predstavljajo stopnjo avtomatizacije instrumenta, pri kateri lahko instrument opravlja meritve tudi sam, brez operaterja. Ti tahimetri predstavljajo sam vrh trenutnega razvoja klasičnih geodetskih instrumentov.

## **2 AVTOMATSKO PREPOZNAVANJE IN SLEDENJE TARČE**

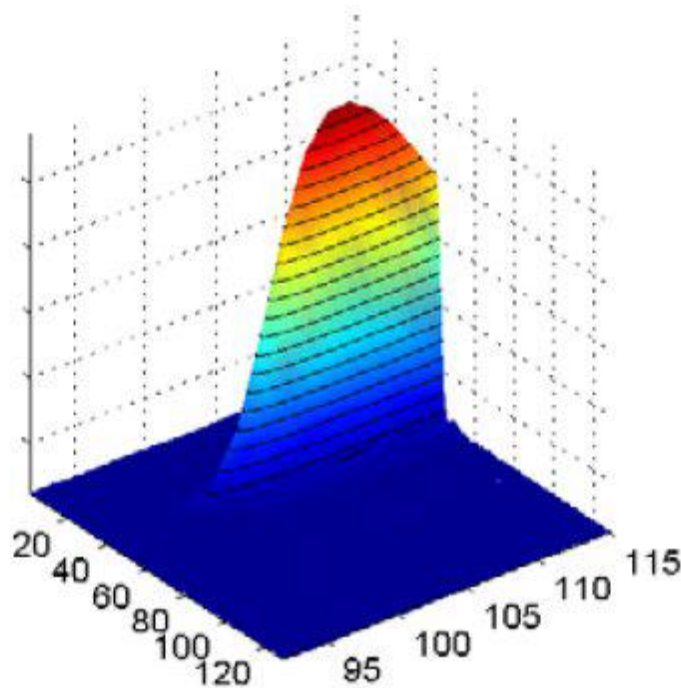
Avtomatsko prepoznavanje in sledenje tarče so tehnologije, ki jih je omogočila motorizacija elektronskih tahimetrov okrog glavnih osi. V tahimetre so začeli s tem namenom vgrajevati dva servomotorja, ki vrtita zgornji del instrumenta okrog vertikalne osi in daljnogled okrog horizontalne osi [2].

### **2.1 Avtomatsko iskanje tarče (AIT)**

Sistem za avtomatsko grobo iskanje tarče (v nadaljevanju AIT) omogoča samodejno iskanje reflektorja v okolici instrumenta. Postopek grobega iskanja v principu deluje tako, da se zgornji sestav tahimetra s pomočjo servomotorjev zavrti okrog vertikalne osi in pri tem oddaja snop laserske svetlobe. Ko senzor zazna odboj te svetlobe od prizme, se vrtenje ustavi. Na ta način je položaj reflektorja v horizontalni smeri grobo določen [2, 3].

Pri Leici Geosystems so sistem AIT poimenovali Power search (v nadaljevanju PS). Senzor PS, ki ga sestavljata oddajnik in sprejemnik, deluje po principu pasivne tarče in je lociran na zgornjem delu daljnogleda. Glavno vlogo pri prepoznavanju odboja od tarče pa imajo algoritmi, ki procesirajo digitalni signal iz sprejemnika in ga primerjajo z referenčnim signalom.

Pri aktiviranem sistemu PS se med rotiranjem okrog vertikalne osi iz oddajnika emitira neviden laserski snop, ki je visok 40 gonov in širok 0,025 gonov. Odbiti laserski žarek se v instrumentu procesira v 3D sliko, ki pa je lahko slika tarče, ali pa katerega drugega neznanega predmeta z odbojno površino. Ta slika predstavlja velikost in jakost odbitega signala v odvisnosti od oddaljenosti do tarče in amplitude odbitega signala. Razlikovanje tarče od neznanega predmeta z odbojno površino je določeno s poznavanjem intenzitete odbitega žarka in dolžino trajanja skeniranja oziroma procesiranja slike. Velikost 3D slike je odvisna od dolžine med instrumentom in tarčo. Nato se izračuna, če sta glede na izmerjeno dolžino, na kateri se nahaja tarča, vrednost intenzitete odbitega žarka ter čas skeniranja, znotraj mejnih vrednosti. Če je temu tako, potem je ciljni objekt prizma, če ne, pa nek drugi objekt in se iskanje nadaljuje. Sistem PS naj bi tarčo v okolici instrumenta našel v petih sekundah [2, 3, 4].



*Slika 1: Primer slike odbitega laserskega snopa sistema PS (na horizontalni ravnini koordinatni osi predstavljata širino in dolžino prejetega signala, vertikalna os pa njegovo jakost)*

## **2.2 Avtomatsko prepoznavanje tarče (APT)**

Avtomatsko prepoznavanje tarče (v nadaljevanju APT) je sistem, ki nadomesti fino ročno viziranje tarče, ko je ta v vidnem polju daljnogleda instrumenta. Tehnologija APT je sestavljena iz dveh sistemov: avtomatsko viziranje tarče (v nadaljevanju AVT) in avtomatsko sledenje tarče (v nadaljevanju AST), pri čemer je AVT osnovna komponenta APT, AST pa le programska nadgradnja sistema AVT [4].

### **2.2.1 Avtomatsko viziranje tarče (AVT)**

Sistem za fino viziranje tarče, je senzor, ki prepozna prizmo in izmeri ter izračuna njen položaj. Realizirati ga je mogoče z različnimi konstrukcijami:

- AVT z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala,
- AVT z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod in
- AVT s kamerami ali tipali oziroma senzorji CCD (ang. Charged Coupled Device) in CMOS (ang. Complementary Metal Oxide Semiconductor)

Danes se zaradi prednosti, ki jo predstavlja digitalna obdelava slik, uporablja predvsem tretja možnost. Pri instrumentih s tipali CCD oziroma CMOS razdaljemer tahimetra pošlje skozi daljnogled ali optiko sistema APT laserski žarek proti tarči, ki je v vidnem polju instrumenta. Če je jakost odbitega signala premajhna, mikroprocesor s pomočjo pogonov premika vizurno os za majhne vrednosti izmenično v vertikalni in horizontalni smeri vse dokler se ne zazna maksimalnega odboja. Od tarče odbiti žarek se nato sprejme. Senzor sistema CCD oziroma CMOS ima svoj merski sistem, ki se od merskega sistema tahimetra razlikuje, zato je potrebna kalibracija. Na podlagi kalibracijskih parametrov, izmerjene jakosti odboja in odstopanja slike laserskega žarka od središča koordinatnega sistema CCD oziroma CMOS, mikroprocesor izračuna kotne vrednosti, za katere mora servomotor zavrteti tahimeter, da navizira središče tarče. Zelo majhna odstopanja, reda nekaj sekund, ki še ostanejo, se nato upoštevajo računsko in prištejejo k registriranim vrednostim merjenih kotov [2].

Sistem za fino viziranje tarče so pri Leici Geosystems poimenovali Automatic Target Recognition (v nadaljevanju ATR). Senzor ATR je vgrajen v daljnogled instrumenta. Oddaja infrardeči laserski žarek, ki se od tarče odbije in nato na filtru loči od vidne svetlobe in žarkov elektronskega razdaljemera ter pade na senzor CMOS, ki temelji na dvodimenzionalni vrstični tehnologiji. Tipalo senzorja sestoji iz množice vrstičnih in stolpičnih pikslov, ki so razporejeni v lokalnem koordinatnem sistemu v katerem

ima vsak piksel točno določeni koordinati. Tisti piksli, ki se nanašajo na sliko tarče, vsebujejo kotne informacije o tarči, te pa se izračunajo s pomočjo osnov slikovne geometrije. Slika se preslika iz centra objektivna na center senzorja CMOS. Kot med osjo daljnogleda in osjo predmeta (tarče) je enak kotu med osjo daljnogleda in slikovno linijo, položaj slikovnega piksla na senzorju pa je povezan s kotom, ki ga lahko izračunamo ob poznavanju fokusne razdalje in velikosti piksla (Kolenc, 2008).

Translacija v geometrijskem prostoru je možna, če poznamo vertikalni in horizontalni položaj piksla na sliki. Tako pridobimo horizontalni in vertikalni odmik prizme od položaja nitnega križa in s tem kotne vredosti za zasuk instrumenta, ki ga servomotor nato izvede. Geometrija senzorja CMOS je med montažo izmerjena in kalibrirana. Horizontalni in vertikalni piksli so tako izmerjeni s podpikselsko natančnostjo. S tem se zagotovi sekundna kotna natančnost vertikalnih in horizontalnih odklovov. Če sta vertikalni in horizontalni odmik manjša od  $50^{\text{CC}}$  ( $16''$ ) se na njuni podlagi popravki kotnih vrednosti za center tarče določijo kar računsko, brez popravljanja položaja vizure [2, 3, 4, 5].

Če naenkrat uporabljamo v vidnem polju sistema ATR ( $1^{\circ}30'$ ) več tarč, sistem omogoča, da ga zmanjšamo na  $30'$ . Prednost senzorja CMOS je, da se slika hitro procesira in je čistejša ter ostrejša v primeru, da je ozadje za tarčo svetlo oziroma osvetljeno. S sistemom ATR se poveča hitrost merjenja, natančnost viziranja pa je konstantna in neodvisna od operaterja.

### **2.2.2 Avtomatsko sledenje tarče**

Tehnologija AST elektronskemu tahimetru, v katerega je vgrajena, omogoča, da sledi premikajoči se tarči, ki jo je identificiral s sistemom AVT. Tako AST omogoča reševanje geodetskih nalog, pri katerih so potrebne kontinuirane meritve do premikajočih objektov oziroma ciljnih točk z namenom določevanja njihove poti. Prav tako pa AST omogoča 'Stop and Go' metodo meritev, pri kateri operater, ki ima pri sebi kontrolno enoto za daljinsko vodenje instrumenta hkrati nosi tudi tarčo in izmero opravlja sam.

V primeru, da pride zaradi motečih dejavnikov do kratkotrajnih prekinitvev vidne povezave med elektronskim tahimetrom in tarčo, se uporabljajo posebni računski algoritmi, ki na osnovi predhodne hitrosti in položaja tarče skušajo predvideti premikanje tarče v času prekinitve signala. Pri Leici so sistem avtomatskega sledenja tarči poimenovali Lock [2, 4].

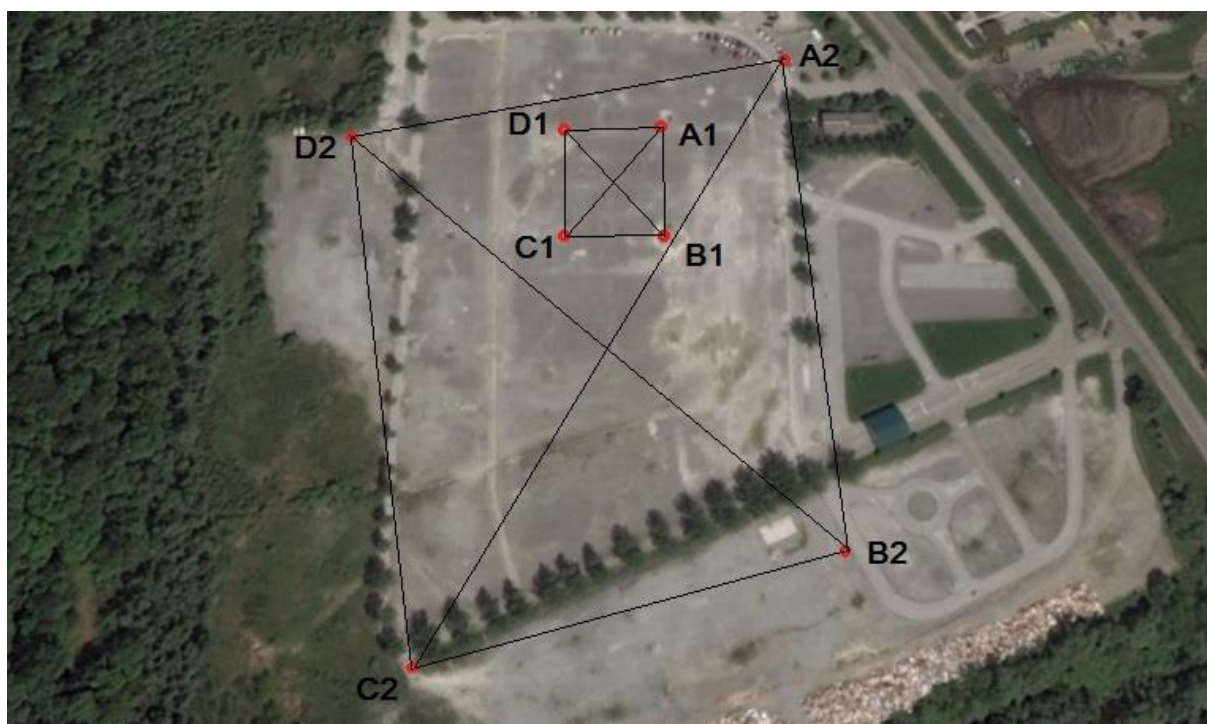


### 3 OBMOČJE IZMERE IN POSTOPEK DELA

#### 3.1 Območje izmere

Izmero smo izvedli na voznem poligonu Vič v bližini južne Ljubljanske obvoznice. Najprej smo stativ postavili v štirikotnik s stranico dolgo približno 40 metrov - vzpostavili smo manjšo izmed mrež. Pri meritvah smo nato pri menjavi stojišča prestavili samo prizmo in nosilec prizme reflektorja oziroma tahimeter tako, da pri tem stativov s trinožnimi podstavki nismo prestavljali. Tako smo zagotovili isti položaj točk v času celotne izmere. Pri večji mreži smo storili isto, le da so bile dimenzije mreže v tem primeru od 200 do 300 metrov. Točke male mreže smo poimenovali A1, B1, C1 in D1, točke velike mreže pa A2, B2, C2 in D2.

Slika 2 prikazuje obliko in položaj točk male in velike testne mreže.



Slika 2: Območje izmere s približnima legama mrež

#### 3.2 Uporabljen Instrumentarij

Na terenu smo uporabili:

- Elektronski tahimeter Leica Geosystems TS30
- 4 stativi Leica Geosystems tipa GST20-9
- 4 prizme Leica Geosystems WILD GPH1P
- 4 precizni nastavki za prizme Leica Geosystems GZR2

- 4 podnožja Leica Geosystems GDF121
- aspiracijski psihrometer
- barometer Paroscientific, Inc. DIGIQUARTZ

### 3.2.1 LEICA TS30

Instrument, ki je bil uporabljen za testiranje, je precizni avtomatski elektronski tahimeter LEICA TS30, 05" R1000 serijska številka 360155. Pri standardni izdaji omogoča precizno merjenje smeri in kotov, merjenje dolžin z reflektorjem in brez reflektorja ter je motoriziran. Podpira tehnologije PS, ATR in Lock. Možno ga je tudi nadgraditi z GNSS sprejemnikom (SmartStation) in pa enoto za daljinsko upravljanje [5].



*Slika 3: Tahimeter Leica TS30 postavljen na točki A1*

Preglednica 1: Specifikacije elektronskega teodolita Leica TS30

| Instrument  |  |
|---|--|
| Območje delovanja   | -20 <sup>0</sup> C do +50 <sup>0</sup> C |
| Ločljivost dozne libele   | 6'/2 mm                                  |
| Ločljivost elektronske libele                                     | 2"                                       |
| Vidno polje   | 1,5°                                     |
| Dimenzije (višina, širina, dolžina)                               | 351 mm, 248 mm, 228 mm                   |
| Teodolit  |  |
| Premer objektiva  | 40 mm                                    |
| Povečava daljnogleda  | 30 x                                     |
| Najkrajša razdalja  | 1,7 m                                    |
| Način čitanja na krogih   | Kodirni način                            |
| Standardni odklon: $\sigma_{\text{ISO-17123-3}}$                  | 0,5" (0,15 mgon)                         |
| Razdaljemer   |  |
| Nosilno valovanje   | 0,658 $\mu\text{m}$                      |
| Merska frekvenca/ valovna dolžina                                 | 100 - 150 MHz                            |
| Velikost pike laserskega žarka                                    | 7 x 10 mm (na razdalji 30 m)             |
| Referenčni pogoji: $n_0, p_0, t_0$                                | 1.000286, 1013.25 hPa, 12 <sup>0</sup> C |
| Doseg   | 3500 m (1 prizma)                        |
|   | 5400 m (3 prizme)                        |
|   | 1000 m (brez reflektorja)                |
| Standardni odklon z reflektorjem: $\sigma_{\text{ISO-17123-4}}$   | 0,6 mm + 1 ppm                           |
| Standardni odklon brez reflektorja: $\sigma_{\text{ISO-17123-4}}$ | 2 mm + 2 ppm                             |
| Motorizacija  |  |
| Princip delovanja   | Piezo pogon                              |
| Hitrost in pospešek rotiranja                                     | 180°/s, 360°/s <sup>2</sup>              |
| Avtomatizacija  | ATR, Power Search, Lock                  |
| Doseg ATR (okrogli reflektor)                                     | 1000 m                                   |
| Doseg Lock (okrogli reflektor)                                    | 800 m                                    |
| Kotna natančnost ATR  | 1"                                       |
| Čas trajanje meritve ATR  | 3-4 s                                    |
| Najvišja hitrost sistema Lock                                     | 9 m/s pri oddaljenosti 20 m              |
|   | 45 m/s pri oddaljenosti 100 m            |
| Doseg Power Search (okrogli reflektor)                            | 300 m                                    |

### 3.3 Potek dela

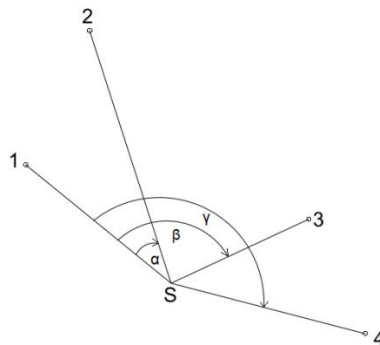
Na vsakem stojišču smo najprej vse smeri izmerili avtomatsko in nato še ročno. Višine instrumenta in tarč nas niso zanimale, saj so bile višine obojega konstantno 0, saj stativov nismo premikali. Med merjenjem smo na vsakem stojišču večkrat odčitali tudi suho in mokro temperaturo ter zračni tlak. Pri avtomatskih meritvah smo le smeri v prvi krožni legi prvega girusa navizirali ročno, druga krožna lega in nato nadaljni girusi pa so se izvedli avtomatsko.

Prva očitna razlika med avtomatskim in ročnim načinom merjenja se je pokazala v hitrosti merjenja. ATR je na enem stojišču izmeril 3 smeri v sedmih girusi v slabih 6 minutah, med tem pa je ročno merjenje sedmih girusov treh smeri trajalo okrog 25 minut.

## 4 METODE IZMERE

### 4.1 Girusna metoda

Za merjenje horizontalnih kotov je bila uporabljena girusna metoda. Girusna metoda temelji na merjenju smeri proti več točkam. Meritve opravljamo v dveh krožnih legah. Najprej v prvi krožni legi v pozitivni smeri, nato spremenimo krožno lego in v obratni smeri izmerimo točke še enkrat. Ko v drugi krožni legi ponovno izmerimo prvo točko, je girus končan. Merjenje v dveh krožnih legah eliminira nekatere pogreške instrumenta [1].



Slika 4: Princip merjenja po girusni metodi

Prednosti girusne metode [1]:

- z merjenjem v obeh krožnih legah se eliminirata kolimacijski pogrešek in pogrešek horizontalnosti Y osi,
- z istega stojišča lahko naenkrat opazujemo več smeri,
- z večanjem števila girusov se opazovana smer lahko določi bolj natančno.

Slabosti girusne metode [1]:

- vse smeri so obremenjene s pogreškom začetne smeri,
- pri merjenju velikega števila smeri je merjenje dolgotrajnejše in je včasih morda težko zagotoviti dolgotrajno stabilnost instrumenta

Rezultat girusne metode so reducirane smeri, ki jih izračunamo tako, da najprej izračunamo dvojni kolimacijski pogrešek, iz njega kolimacijski pogrešek, ki ga nato odštejemo od vrednosti razlik prve in druge krožne lege. Vsem smerem nato odštejemo vrednost prve smeri in tako dobimo reducirane smeri.

## 5 OBDELAVA PODATKOV IN OCENA NATANČNOSTI OPAZOVANJ

Obdelava podatkov opazovanj je bila izvedena v programskem paketu LISCAD. Natančnost merjenja smeri po girusni metodi pa je bila izvedena z zato napisano funkcijo v programu MatLAB. Opazovanja so bila na vsaki točki na oba načina (ATR in ročno) izvedena v sedmih girusih. Prvi sklop obdelave je vseboval 2 girusa, vsak naslednji pa enega več. Namen tega je bil ugotoviti, kako se natančnost spreminja z večanjem števila girusov.

### 5.1 Apriori ocena natančnosti opazovanih horizontalnih smeri po girusni metodi

Natančnosti se računajo iz izračunanih sredin iz dveh krožnih leg. Pri tej oceni natančnosti se upošteva tudi pogrešek začetne smeri [1, 6].

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{[vv]}{N - u}} \quad (1)$$

Kjer so:

- $\sigma_a$  natančnost smeri v enem girusu
- $v$  najverjetnejši popravek opazovane smeri
- $N$  število vseh smeri
- $u$  število minimalno potrebnih smeri

$$\sigma_{\bar{a}} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

- $\sigma_{\bar{a}}$  srednja natančnost smeri v  $n$  girusih

Vsoto kvadratov popravkov  $[vv]$  je težko določiti, ker se tega ne da storiti direktno. Med sabo namreč primerjamo reducirane smeri, ki poleg pogreška smeri vsebujejo tudi pogrešek začetne smeri. Zato najprej tvorimo razlike posameznih smeri od aritmetične sredine.

$$\Delta a_{ij} = \bar{a}_i - a_{ij} \quad (3)$$

Kjer sta:

$a_{ij}$  reducirana  $i$ -ta smer v  $j$ -tem girusu

$\bar{a}_i$  aritmetična sredina za  $i$ -to smer

$$\bar{a}_i = \frac{[a_j]}{n} \quad (4)$$

Kjer sta:

$i = 1, \dots, s$ ;  $s$  število smeri

$j = 1, \dots, n$ ;  $n$  število girusov

Potem se izračuna pogrešek začetne smeri za vsak posamezni girus in ga nato odštejemo od razlik posameznih smeri in s tem eliminiramo pogrešek začetne smeri.

$$\varepsilon_j = \frac{[\Delta a_i]_j}{s} \quad (5)$$

$$v_{ij} = \Delta a_{ij} - \varepsilon_j \quad (6)$$

Nato tvorimo  $[vv]_j$  za posamezen girus, sestavimo  $N$  enačb za  $n$  girusov ter ga nato seštejemo najprej po smereh in nato še po girusih.

$$[vv] = \sum_{j=1}^n [\Delta a^2]_j - \frac{1}{s} \sum_{j=1}^n [\Delta a]_j^2 \quad (7)$$

Sedaj se izračuna še število nadštevilnosti  $N - u$  in izračuna se lahko standardni odklon.

$$N - u = (n - 1)(s - 1) \quad (8)$$

Kjer sta:

$N = s \cdot n$  število vseh meritev

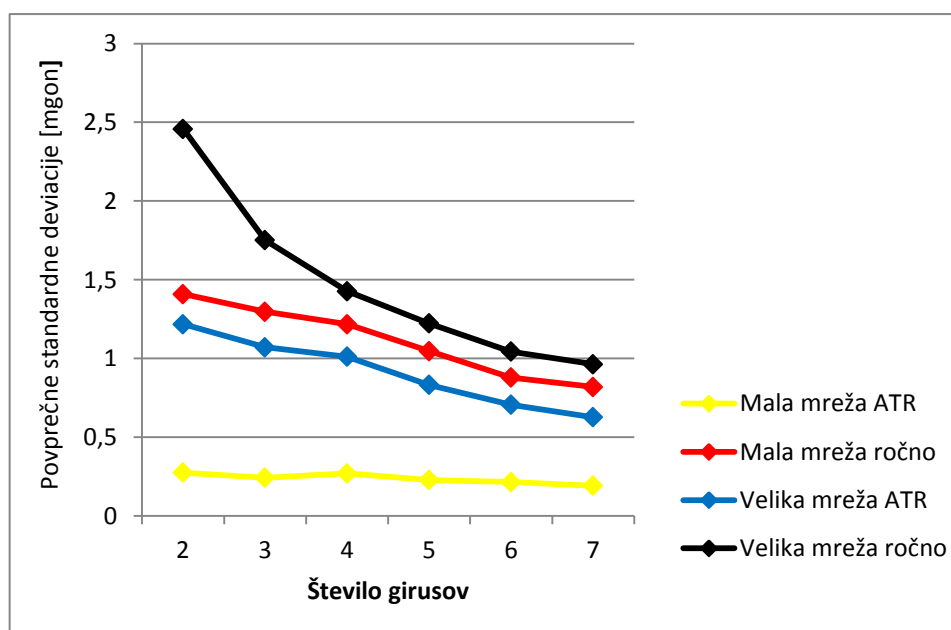
$u = (s - 1) + n$  število neodvisnih meritev

Nas zanimajo predvsem povprečne vrednosti srednjega standardnih deviacij glede na velikost mreže in način merjenja ter spreminjanje le-teh z dodajanjem števila girusov, primerjava srednjih standardnih odklonov po stojiščih med posameznima načinoma merjenja pri isti mreži in pri enaki metodi merjenja pri različni velikosti mreže.

### 5.1.1 Rezultati in ovrednotenje

*Preglednica 2: Povprečne vrednosti standardnih deviacij horizontalnih smeri vseh stojišč po girusni metodi glede na število girusov*

| Št. girusov               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Mala mreža - ATR          |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$ [mgon] | 0.27 | 0.24 | 0.27 | 0.23 | 0.21 | 0.19 |
| Mala mreža – ročno        |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$ [mgon] | 0.41 | 1.29 | 1.22 | 1.05 | 0.88 | 0.82 |
| Velika mreža – ATR        |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$ [mgon] | 0.22 | 1.07 | 1.01 | 0.83 | 0.71 | 0.63 |
| Velika mreža – ročno      |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$ [mgon] | 2.46 | 1.75 | 1.43 | 1.22 | 1.04 | 0.96 |



*Grafikon 1: Povprečne vrednosti srednje standardne deviacije glede na število girusov*

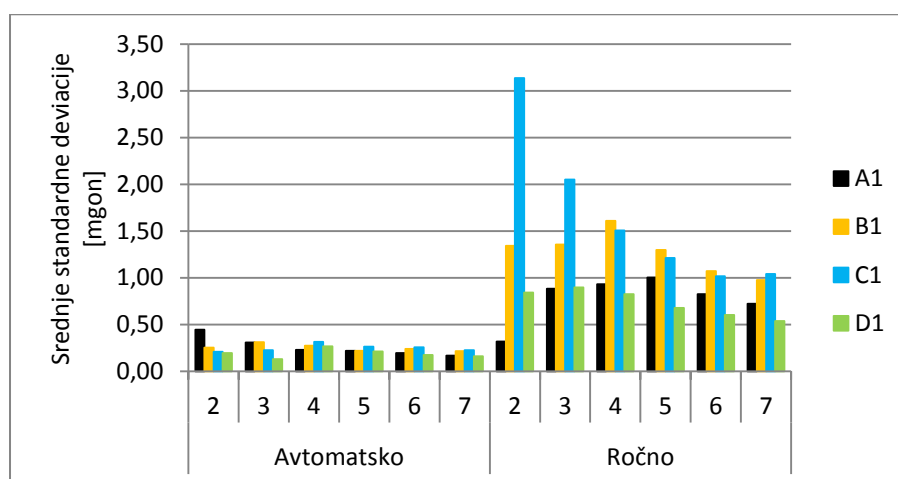
Iz *Grafikona 1* vidimo, da so povprečne vrednosti srednjih standardnih deviacij avtomatskega merjenja obeh mrež manjše, kot pri ročnem načinu merjenja. Torej apriori ocena kaže, da je bilo avtomatsko merjenje natančnejše tako pri mali kot pri veliki mreži.

Po pričakovanjih se natančnost pri obeh načinih merjenja pri obeh mrežah izboljšuje z večanjem števila girusov, kar je še posebej razvidno pri natančnosti ročne meritve velike mreže. Pričakovani natančnosti glede na specifikacije tahimetra (0.15 mgon) se je približala le natančnost avtomatskega merjenja male mreže, pri ostalih pa je natančnost nekoliko slabša.

**a) Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih male mreže**

*Preglednica 3: Srednje vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih male mreže*

| Št. girusov                  |    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|
| Mala mreža - ATR             |    |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$<br>[mgon] | A1 | 0.44 | 0.31 | 0.23 | 0.22 | 0.19 | 0.17 |
|                              | B1 | 0.25 | 0.31 | 0.27 | 0.22 | 0.24 | 0.21 |
|                              | C1 | 0.21 | 0.23 | 0.31 | 0.26 | 0.26 | 0.23 |
|                              | D1 | 0.20 | 0.13 | 0.27 | 0.21 | 0.17 | 0.16 |
| Mala mreža – ročno           |    |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$<br>[mgon] | A2 | 0.32 | 0.88 | 0.93 | 1.00 | 0.83 | 0.72 |
|                              | B2 | 1.34 | 1.36 | 1.61 | 1.29 | 1.07 | 0.98 |
|                              | C2 | 3.13 | 2.05 | 1.51 | 1.21 | 1.02 | 1.04 |
|                              | D2 | 0.84 | 0.90 | 0.82 | 0.68 | 0.60 | 0.54 |



*Grafikon 2: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve male mreže*

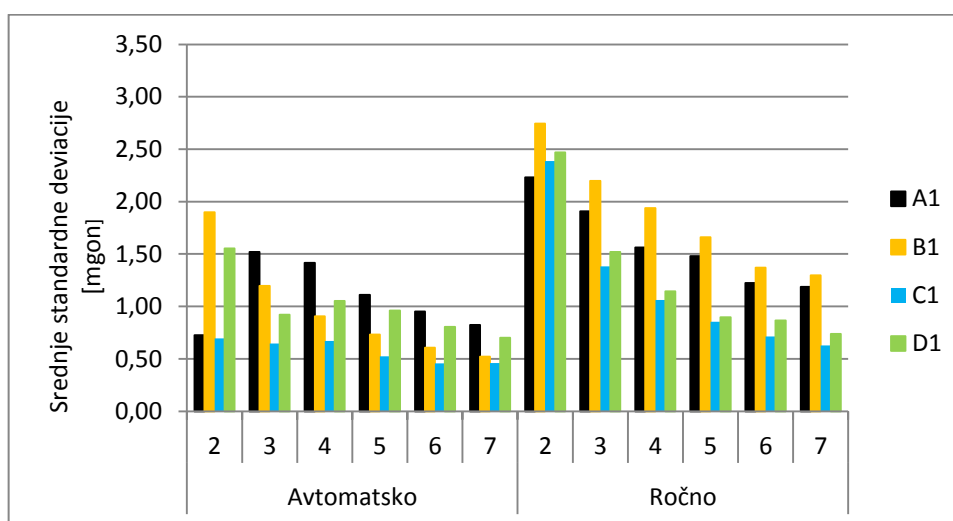


Kot lahko vidimo v *Grafikonu 2* je pri manjši mreži natančnost avtomatskega načina merjenja večja, saj so standardne deviacije znatno manjše. Dobro pa je tudi razvidna večja konstantnost natančnosti med posameznimi stojišči v girusu pri avtomatskem načinu merjenja.

**b) Primerjava srednjih standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih velike mreže**

*Preglednica 4: Srednje vrednosti standardnih deviacij avtomatske in ročne meritve po stojiščih velike mreže*

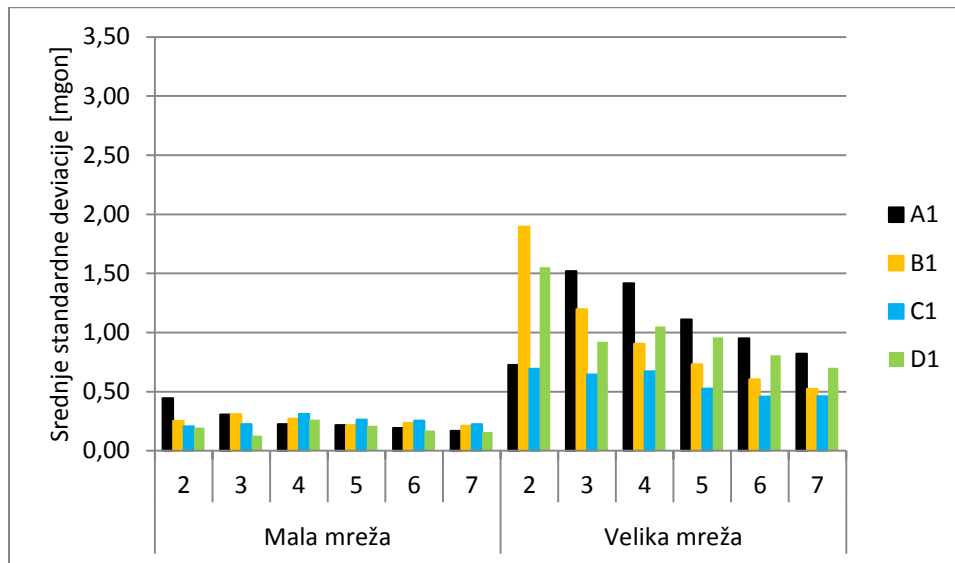
| Št. girusov                  |    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|
| Velika mreža - ATR           |    |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$<br>[mgon] | A1 | 0.73 | 1.52 | 1.45 | 1.11 | 0.95 | 0.82 |
|                              | B1 | 1.90 | 1.20 | 0.91 | 0.73 | 0.61 | 0.52 |
|                              | C1 | 0.69 | 0.65 | 0.67 | 0.53 | 0.46 | 0.46 |
|                              | D1 | 1.55 | 0.92 | 1.05 | 0.96 | 0.81 | 0.70 |
| Velika mreža – ročno         |    |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_{\bar{a}}$<br>[mgon] | A2 | 2.23 | 1.91 | 1.56 | 1.48 | 1.22 | 1.19 |
|                              | B2 | 2.74 | 2.10 | 1.94 | 1.66 | 1.37 | 1.30 |
|                              | C2 | 2.39 | 1.38 | 1.06 | 0.85 | 0.71 | 0.63 |
|                              | D2 | 2.47 | 1.52 | 1.14 | 0.90 | 0.87 | 0.74 |



*Grafikon 3: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij med avtomatskim in ročnim načinom merjenja pri veliki mreži*

Prav tako kot pri mali, je tudi pri veliki mreži natančnost avtomatske meritve večja od natančnosti ročne meritve, vendar je ta razlika pri večji mreži manjša. Vrednosti standardnih deviacij med posameznimi stojišči po posameznem girusu so pri avtomatskem načinu merjenja pri veliki mreži manj konstantne.

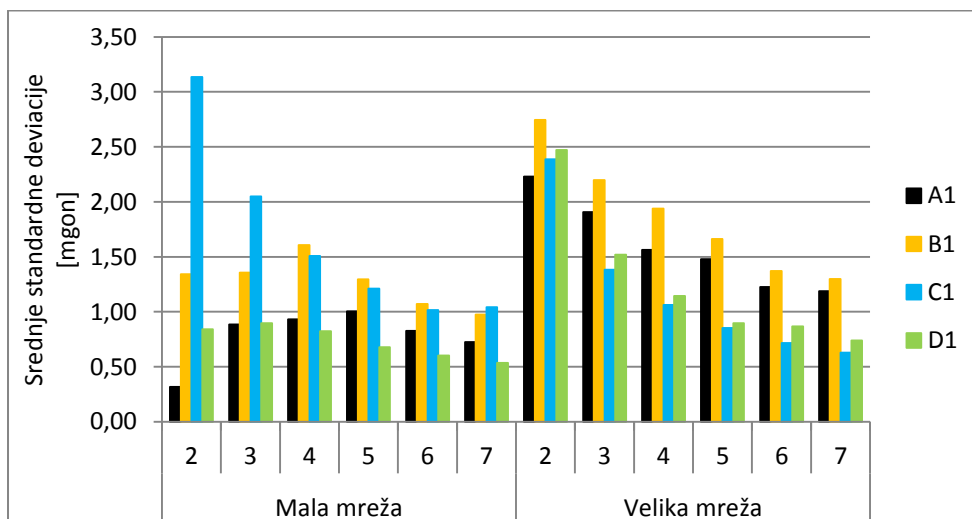
c) Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij avtomatske meritve po stojiščih male in velike mreže



Grafikon 4: Primerjava srednjih standardnih deviacij avtomatske meritve pri mali in veliki mreži

Iz Grafikona 4 je razvidno, da ocenjena natančnost avtomatskega merjenja z večanjem dimenzije mreže pade.

d) Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij ročne meritve po stojiščih male in velike mreže



Grafikon 5: Primerjava srednjih vrednosti standardnih deviacij ročne meritve po stojiščih male in velike mreže

Iz *Grafikona 5* lahko vidimo, da je tudi pri ročnem načinu merjenja ocenjena natančnost boljša pri mali mreži kot pri veliki, vendar je ta razlika manj opazna zaradi precej različnih vrednosti standardnih deviacij po stojščih v posameznem girusu.

## 5.2 Apriori cena natančnosti merjenih zenitnih razdalj s programom LISCAD

Standardne deviacije pri oceni natančnosti, ki se izvede v sklopu obdelave podatkov opazovanj kotov in dolžin v programu LISCAD, so pozitivne vrednosti kvadratnega korena variance [1, 6].

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_Z^2} \quad (9)$$

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 \quad (10)$$

Kjer so:

$\sigma_Z$  standardna deviacija posamezne smeri

$\sigma_Z^2$  varianca posamezne smeri

$n$  število smeri

$Z_i$  posamezna zenitna razdalja

$\bar{Z}_i$  aritmetična sredina zenitne razdalje

Natančnost aritmetične sredine bo izračunana po enačbi:

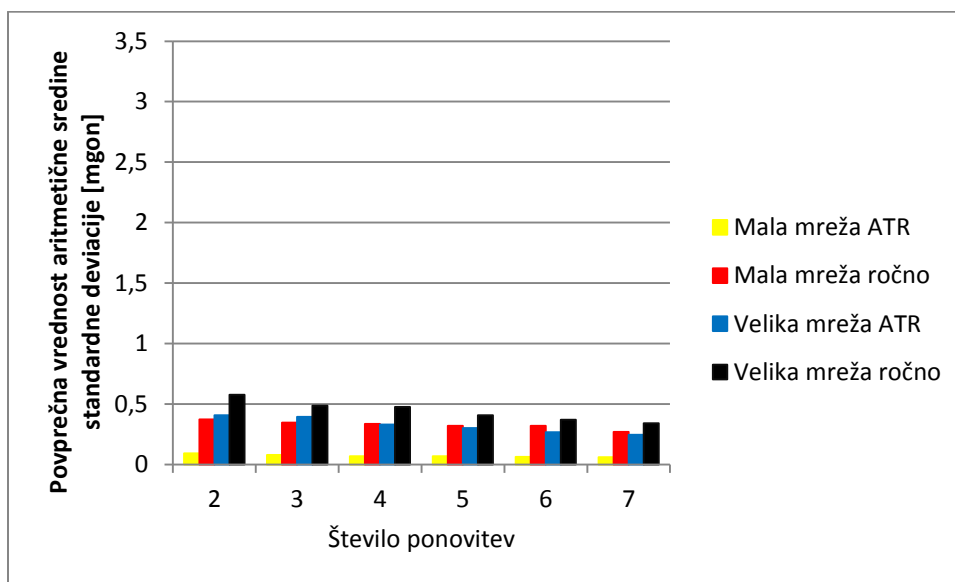
$$\sigma_{\bar{Z}}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 \quad (11)$$

Ročna ocena natančnosti merjenja zenitnih razdalj je enaka, kot s programom LISCAD, zato poseben izračun ni potreben. Povprečne vrednosti aritmetičnih sredin standardne deviacije so glede na število girusov zbrane v naslednji preglednici.

### 5.2.1 Rezultati in ovrednotenje

Preglednica 5: Povprečne standardne deviacije zenitnih razdalj v gonih

| Št. pon.             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Mala mreža - ATR     |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_Z$ [mgon]    | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| Mala mreža - ročno   |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_Z$ [mgon]    | 0.37 | 0.35 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.27 |
| Velika mreža - ATR   |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_Z$ [mgon]    | 0.41 | 0.39 | 0.33 | 0.30 | 0.27 | 0.24 |
| Velika mreža - ročno |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_Z$ [mgon]    | 0.58 | 0.49 | 0.47 | 0.41 | 0.37 | 0.33 |



Grafikon 6: Povprečne vrednosti standardne deviacije glede na število ponovitev

Povprečne vrednosti standardnih deviacij zenitnih razdalj se z dodajanjem ponovitev malo manjšajo, vendar ne tako zelo, kot pri horizontalnih smereh. To je razvidno iz *Grafikona 6*. Pri vseh štirih primerih so povprečne vrednosti standardnih deviacij manjše od 1 mgon. Za bolj natančnega se je tudi pri zenitnih razdaljah pokazal avtomatski način merjenja, saj sta oceni natančnosti avtomatskega merjenja tako pri mali kot tudi pri veliki mreži boljša od tistih doseženih z ročnim načinom merjenja.

### 5.3 Apriori ocena natančnosti dolžinskih opazovanj s programom LISCAD

Prav tako kot pri kotnih opazovanjih so tudi standardne deviacije dolžin izračunane kot pozitivne vrednosti kvadratnega korena variance [1, 6].

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_D^2} \quad (12)$$

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 \quad (13)$$

Kjer so:

$\sigma_D$  standardna deviacija posamezne smeri,

$\sigma_D^2$  varianca posamezne smeri,

$n$  število smeri,

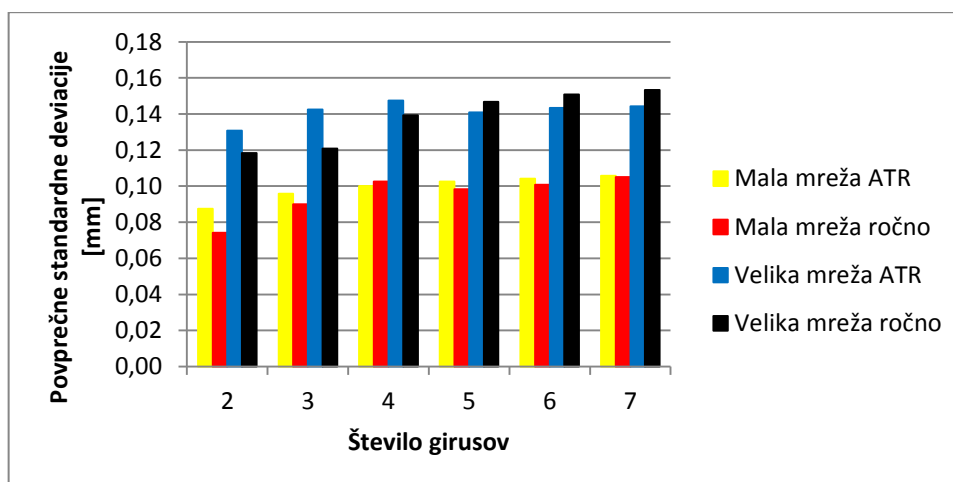
$D_i$  posamezna zenitna razdalja,

$\bar{D}_i$  aritmetična sredina zenitne razdalje

### 5.3.1 Rezultati in ovrednotenje

Preglednica 6: Povprečne standardne deviacije merjenih dolžin

| Št. girusov          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Mala mreža - ATR     |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_D$ [mm]      | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.11 |
| Mala mreža – ročno   |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_D$ [mm]      | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.11 |
| Velika mreža – ATR   |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_D$ [mm]      | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| Velika mreža – ročno |      |      |      |      |      |      |
| $\sigma_D$ [mm]      | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |



Grafikon 7: Povprečne vrednosti srednje standardne deviacije glede na število girusov

Iz *Grafikona 7* je razvidno, da so izračunane povprečne standardne deviacije avtomatskih meritev male mreže podobne standardnim deviacijam ročnih meritev male mreže. Enako velja za standardne deviacije avtomatske in ročne izmere velike mreže. Sklepamo lahko, da je natančnost merjenja dolžin odvisna od velikosti dolžin. Vse ocenjene vrednosti  $\sigma_D$  so manjše od 0.16 milimetra, kar pa je kljub veliki natančnosti razdaljemera kar visoko pričakovanje. Razlog za to je najverjetneje vpliv neugotovljenih sprememb meteoroloških parametrov.

## **6 METEOROLOŠKI PARAMETRI**

Na merjenje dolžin vplivajo različni vremenski pogoji. Njihov vpliv zmanjšamo z izračunom meteoroloških popravkov, ki jih določimo na osnovi meteoroloških parametrov, ki smo jih opazovali na terenu. Merili smo temperaturo, zračni tlak in računali vlažnost zraka [7].

### **6.1 Temperatura zraka**

Temperatura je fizikalna količina, ki je posledica gibanja molekul zraka. Osnovna enota je stopinja Celzija (°C), lahko pa uporabimo tudi enoto Kelvin (K). Temperaturo merimo s termometrom večkrat med izmero na stojiščih instrumenta in reflektorjev in nato izračunamo sredine [7].

### **6.2 Zračni tlak**

Zračni tlak lahko opišemo s težo zraka, ki pritiska na ploskev pod sabo. Osnovna enota za zračni tlak je Pascal (Pa), lahko pa uporabimo tudi enoto bar. Zračni tlak merimo z barometrom, običajno na stojišču instrumenta [7].

### **6.3 Vlažnost zraka**

Vlažnost zraka določa količina vodne pare v zraku. Merimo jo s higometri oziroma posredno preko merjenja suhe in mokre temperature s psihometri in jo predstavljamo z deležem (odstotki - %). V našem primeru smo vlažnost zraka računali z meritvami psihrometra [7].

Preglednica 7: Meteorološki pogoji v času izvajanja meritev

| STOJIŠČE        | Temperatura [°C] | Zračni tlak [mBar] | Vlažnost [%] |
|-----------------|------------------|--------------------|--------------|
| Mreža 1 - ATR   |                  |                    |              |
| A1              | 18.30            | 982.582            | 86           |
| B1              | 19.60            | 982.469            | 84           |
| C1              | 21.95            | 982.356            | 79           |
| D1              | 23.60            | 982.269            | 73           |
| Mreža 1 - ročno |                  |                    |              |
| A1              | 19.10            | 982.469            | 86           |
| B1              | 20.70            | 982.510            | 83           |
| C1              | 22.07            | 982.331            | 82           |
| D1              | 23.73            | 982.130            | 74           |
| Mreža 2 - ATR   |                  |                    |              |
| A2              | 24.80            | 981.526            | 76           |
| B2              | 28.40            | 981.168            | 67           |
| C2              | 26.65            | 980.838            | 76           |
| D2              | 23.15            | 981.826            | 76           |
| Mreža 2 - ročno |                  |                    |              |
| A2              | 25.30            | 981.291            | 74           |
| B2              | 28.36            | 981.093            | 76           |
| C2              | 26.90            | 980.865            | 74           |
| D2              | 23.70            | 981.734            | 75           |

## 7 REDUKCIJA DOLŽIN

Vrednost dolžine, ki nam jo na terenu pokaže elektronski razdaljemer na osnovi dejanske merske frekvence, v splošnem še ni uporabna za računanje koordinat. Ta dolžina je namreč v večini primerov poševna in zaradi meteoroloških vplivov tudi ukrivljena. Zato jo moramo z različnimi popravki popraviti in reducirati do stopnje, ko je uporabna za računanje na izbrani referenčni ploskvi.

V našem primeru sta pomembna predvsem prvi popravek hitrosti, ki ga štejemo med meteorološke popravke in horizontiranje, ki je projekcijski popravek [7].

### 7.1 Meteorološki popravki – prvi popravek hitrosti

Ob različnih meteoroloških pogojih je merjena dolžina različna. Meteorološki dejavniki na merjeno vrednost vplivajo posredno preko optične gostote zraka, skozi katerega potuje elektromagnetno valovanje (EMV) elektronskega razdaljemera. Hitrost širjenja EMV se spreminja s spreminjanjem meteoroloških pogojev.

Dolžina, ki jo instrument prikaže, se nanaša na referenčnem lomnem količniku  $n_0$ , ki je odvisen od proizvajalca:

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

Kjer so:

$\lambda_{Neff}$  efektivna valovna dolžina EOR,

$t_0$  nominalna temperatura,

$p_0$  nominalen tlak,

$e_0$  nominalni delni tlak vodne pare

Za prvi popravek hitrosti z izračunanim grupnim lomnim količnikom v dejanskih razmerah  $n_D$  reduciramo poševno merjeno dolžino v dejanski atmosferi. (Kogoj, 2002) Prvi popravek hitrosti pomeni relativno spremembo dolžine na na kilometer.

$$D' = \frac{n_0}{n_d} \cdot D_a \quad (14)$$

Kjer so:

$D'$  merjena dolžina popravljena za prvi popravek hitrosti

$n_0$  referenčni lomni količnik

$n_D$  dejanski lomni količnik

$D_a$  merjena dolžina

## 7.2 Projekcijski popravki – horizontiranje na nivo najnižje točke

Projekcijski popravki pomenijo prehod s prostorske poševne dolžine na nivoju točk na sferni lok in nato v izbrano projekcijsko ravnino. Uporabili smo metodo redukcije z merjenimi zenitnimi razdaljami [7].

## 8 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE

Izravnavo izvajamo, ko imamo opazovanih več količin, kot jih nujno potrebujemo za izračun iskanih količin. V našem primeru smo uporabili posredni način izravnave proste mreže – predpostavljamo, da nimamo danih točk. Vseeno pa smo morali izračunati približne koordinate vseh točk mreže. Obe geodetski mreži, na oba načina merjeni v sedmih girusih, smo izravnali na enak način – ločeno za položajno in za višinsko mrežo. Izravnavo položajne mreže je bila izvedena v programu GEM 4.0, za izravnavo višinske pa program VimWin [1].



### 8.1 Izravnava višinske mreže

Program VimWin je delo avtorjev Tomaža Ambrožiča in Gorana Turka. Za izračun se uporabi metodo najmanjših kvadratov po postopku posredne izravnave, ki je sestavljen iz funkcijskega in stohastičnega modela.

Pri reševanju funkcionalnega rešujemo matrično enačbo:

$$v + B \cdot \Delta = f \quad (15)$$

Kjer so:

$v$  vektor popravkov opazovanj,

$B$  matrika koeficientov enačb popravkov, izračunana na osnovi približnih vrednosti neznank,

$\Delta$  vektor neznank in

$f$  vektor odstopanj oziroma prostih členov enačb popravkov.

### 8.2 Izravnava položajne mreže

Program GEM 4.0 je delo avtorjev Tomaža Ambrožiča, Gorana Turka in Zvonimirja Jamška. Za izračun se uporabi Gauss-Markov model posredne izravnave, ki je tudi sestavljen iz funkcijskega in stohastičnega modela.

Za izravnavo v programu GEM 4.0 je potrebno pripraviti vhodno datoteko, katera vsebuje reducirane horizontalne smeri, reducirane dolžine, natančnosti opazovanj ter približne koordinate točk.

## 9 REZULTATI IZRAVNAV IN PRIMERJAVA REZULTATOV

Cilj izravnave je ponavadi dobiti izravnane vrednosti koordinat in višin točk, v našem primeru pa nas bolj zanimajo predvsem aposteriori ocene natančnosti. Izravnane koordinate in višine točk smo podali le kot zanimivost.

Izravnavo horizontalne in vertikalne mreže smo izvedli le za meritve v sedmih girusih. Tako smo izvedli štiri izravnave vsake vrste.

### 9.1 Izravnava višinske mreže

Za dano višino izhodiščne točke v obeh mrežah (A1 in A2) smo izbrali višino 100 metrov. Približne višine ostalih točk smo izračunali preko merjene zenitne razdalje in dolžine med točkami.

*Preglednica 8: Približne višine točk*

| Točka | Mala mr. - ATR [m] | Velika mr. - ATR [m] |
|-------|--------------------|----------------------|
| A1    | 100.0000           | 100.0000             |
| B1    | 99.6165            | 99.6749              |
| C1    | 99.9598            | 100.2703             |
| D1    | 99.8744            | 100.6716             |

*Preglednica 9: Izravnane višine točk*

| Točka | Višina [m]     |                 |                  |                   |
|-------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|
|       | Mala mr. - ATR | Mala mr. – Roč. | Velika mr. - ATR | Velika mr. – Roč. |
| A1    | 100.0000       | 100.0000        | 100.0000         | 100.0000          |
| B1    | 99.6164        | 99.6161         | 99.6824          | 99.6811           |
| C1    | 99.9598        | 99.9598         | 100.2863         | 100.2853          |
| D1    | 99.8744        | 99.8745         | 100.6775         | 100.6779          |

Vidimo, da smo z obema načinoma merjenja po izravnavi za isto mrežo dobili vrednosti višin, ki se med sabo razlikujejo največ za milimeter.

## 9.2 Izravnava horizontalne mreže

Podobno kot pri višinski mreži, smo tudi pri horizontalni izhodiščnima točkama (A1 in A2) približne koordinate določili sami, drugim pa jih izračunali preko reduciranih smeri in merjenih dolžin med točkami.

Za vsako izmed izravnav smo dobili tudi rezultat srednjega pogreška smeri in dolžin, se pravi aposteriori oceno natančnosti.

*Preglednica 10: Približne koordinate točk*

| Točke        | Y [m]     | X [m]     |
|--------------|-----------|-----------|
| Mala mreža   |           |           |
| A1           | 1000.0000 | 1000.0000 |
| B1           | 1000.0000 | 1040.6579 |
| C1           | 1038.0437 | 1042.0797 |
| D1           | 1037.9851 | 999.3927  |
| Velika mreža |           |           |
| A2           | 1000.0000 | 1000.0000 |
| B2           | 1000.0000 | 1236.8401 |
| C2           | 1179.9758 | 1286.1620 |
| D2           | 1208.0057 | 1009.4742 |

Preglednica 11: Primerjava izravnanih koordinat

| Toč.         | Y (ATR)<br>[m] | Y (ROČ)<br>[m] | $\Delta Y_{(ATR-ROČ)}$<br>[m] | X (ATR)<br>[m] | X (ROČ)<br>[m] | $\Delta X_{(ATR-ROČ)}$<br>[m] |
|--------------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| Mala mreža   |                |                |                               |                |                |                               |
| A1           | 999.9998       | 999.9998       | 0.0000                        | 1000.0003      | 1000.0004      | -0.0001                       |
| B1           | 999.9999       | 999.9999       | 0.0000                        | 1040.6571      | 1040.6570      | 0.0001                        |
| C1           | 1038.0443      | 1038.0443      | 0.0000                        | 1042.0801      | 1042.0801      | 0.0000                        |
| D1           | 1037.9849      | 1037.9849      | 0.0000                        | 999.3928       | 999.3928       | 0.0000                        |
| Velika mreža |                |                |                               |                |                |                               |
| A2           | 999.9987       | 999.9986       | 0.0001                        | 999.9969       | 999.9969       | 0.0000                        |
| B2           | 999.9975       | 999.9976       | -0.0001                       | 1236.8422      | 1236.8421      | 0.0001                        |
| C2           | 1179.9784      | 1179.9784      | 0.0000                        | 1286.1649      | 1286.1650      | -0.0001                       |
| D2           | 1208.0070      | 1208.0070      | 0.0000                        | 1009.4724      | 1009.4725      | -0.0001                       |

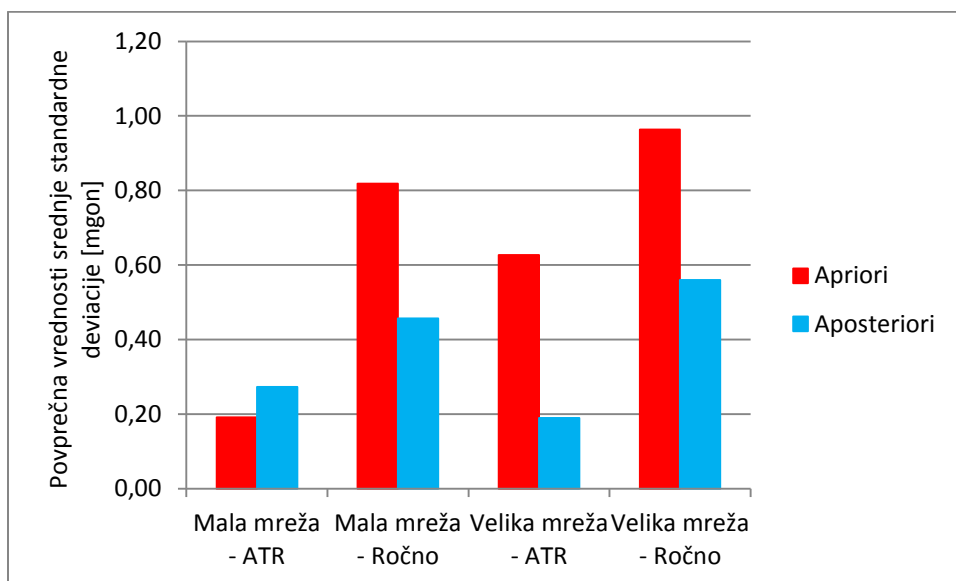
Vidimo, da smo z obema načinoma merjenja po izravnavi za isto mrežo dobili vrednosti koordinat, ki se med sabo razlikujejo največ za desetinko milimetra.

### 9.3 Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti

Na koncu smo primerjali še povprečne apriori in aposteriori ocene natančnosti horizontalnih smeri in dolžin.

Preglednica 12: Vrednosti apriori in aposteriori ocen natančnosti za horizontalne smeri

| Mreža                | $\sigma_{\bar{\alpha}}$ – apriori [mgon] | $\sigma_{\bar{\alpha}}$ – aposteriori [mgon] |
|----------------------|--|--|
| Mala mreža – ATR     | 0.191                                    | 0.273  |
| Mala mreža – Ročno   | 0.818                                    | 0.457  |
| Velika mreža – ATR   | 0.627                                    | 0.189  |
| Velika mreža – Ročno | 0.963                                    | 0.560  |



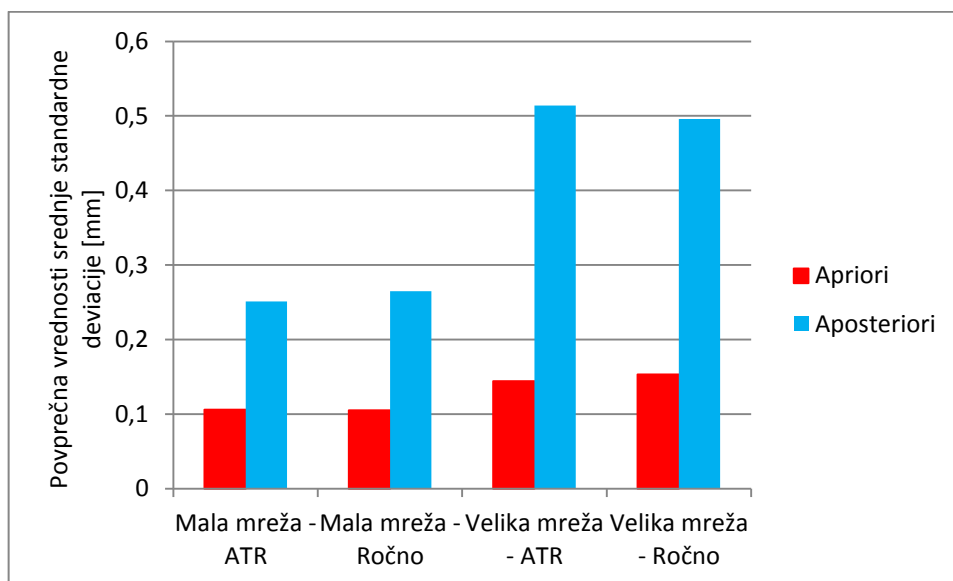
Grafikon 8: Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti za horizontalne smeri

Kot vidimo iz *Grafikona 8* smo po izravnavi dosegli boljše natančnosti horizontalnih smeri pri vseh merjenih mrežah, razen pri mali mreži merjeni na avtomatski način. Povprečne vrednosti standardnih deviacij so se tako pri ročnem merjenju male mreže in pri obeh načinih merjenja velike mreže po izravnavi zmanjšali ter približali vrednosti, ki je za natančnost tega instrumenta podana (0.15 mgon), natančnost merjenja male mreže pa se je tej vrednosti približala že pri oceni pred izravnavo.

Natančnost avtomatskega načina merjenja je spet pri obeh mrežah večja kot pri ročnem načinu merjenja.

Preglednica 13: Vrednosti apriori in aposteriori ocen natančnosti za dolžine

| Mreža                | $\sigma_D$ - apriori [mm] | $\sigma_D$ - aposteriori [mm] |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Mala mreža – ATR     | 0.1058                    | 0.2511                        |
| Mala mreža – Ročno   | 0.1050                    | 0.2648                        |
| Velika mreža – ATR   | 0.1442                    | 0.5139                        |
| Velika mreža – Ročno | 0.1533                    | 0.4959                        |



Grafikon 9: Primerjava apriori in aposteriori ocen natančnosti za dolžine

Kot vidimo iz *Grafikona 9* smo po izravnavi pri obeh mrežah merjenih na oba načina dosegli slabše natančnosti, kot smo jih pred le-to ocenili. Razlog je v napačnem načinu ocenjevanja natančnosti merjenja dolžin v programu Liscad, saj temelji na ponavljanju meritev v okviru girusa. Korektno oceno natančnosti merjenja dolžin bi izvedli na osnovi razlik dvojnih merenj. Pri aposteriori oceni natančnosti je večja razlika med povprečnimi srednjimi vrednostmi standardnega odklona dolžin male in velike mreže. Spet lahko sklepamo, da je natančnost merjenja dolžin odvisna od njihove velikosti.

V tem primeru se pokaže soodvisnost pri usklajevanju natančnosti kotnih in dolžinskih meritev v postopku a posteriori ocene uteži merjenih količin.

## 10 ZAKLJUČEK

Med našim preverjanjem natančnosti avtomatskega viziranja tarče Leica ATR smo ugotovili, da je avtomatsko viziranje tarče nedvomno izjemno praktična in hitra rešitev, ki omogoča zelo natančno izvajanje meritev. Natančnost meritev se večja z dodajanjem števila girusov, ATR pa omogoča, v primerjavi z ročnim viziranjem, v istem času izmeriti do štirikrat več girusov.

Iz rezultatov vidimo, da je v našem primeru natančnost ATR pri različnih velikostih mrež večja od natančnosti ročnega načina merjenja. Natančnost merjenja zenitnih razdalj je, kot smo ugotovili v našem primeru, z večanjem števila ponovitev bolj ali manj konstantna in se ne izboljšuje tako zelo,

kot natančnost merjenja horizontalnih smeri z dodajanjem girusov. Tudi pri merjenju zenitnih razdalj sta bili tako pri mali kot veliki mreži, natančnosti avtomatskega merjenja večji.

Natančnost merjenja dolžin naj bi bila od načina merjenja (ATR, ročno) neodvisna in to se je pri srednjih vrednostih standardnih deviacij pri posamezni velikosti mreže ob primerjanju tudi pokazalo, saj se vrednosti niso pretirano razlikovale. Pri merjenju dolžin je imela na natančnost večji vpliv dimenzija mreže, kot pa način merjenja. V našem primeru smo pokazali da z večanjem dolžin natančnost merjenja le teh pada. Pokazali pa smo tudi, da je pri postopku aposteriori ocene uteži merjenih količin, usklajevanje natančnosti kotnih in dolžinskih meritev soodvisno.

Pri primerjavi izravnanih koordinat obeh mrež smo ugotovili, da se izravnane koordinate pridobljene z različnima načinoma merjenja pri posamezni mreži razlikujejo največ za desetinko milimetra. Tudi izravnane višine izračunane po različnih načinih merjenja se pri posamezni mreži razlikujejo največ za milimeter.

Sistem ATR je neodvisen od operaterja in ima konstantno natančnost, vendar je veliko odvisno tudi od razmer in okolice, kjer se meritve izvajajo. Še bolj pri ročnem načinu merjenja. V našem primeru je eden izmed dejavnikov tudi ta, da je bil operater manj izkušen.

Po navajanju proizvajalca naj bi z ročnim načinom merjenja dosegali še večje natančnosti, kot s sistemom ATR. V mojem primeru so rezultati pokazali drugače. S svojim preverjanjem natančnosti sem pokazal enega izmed načinov, kako se da natančnosti avtomatskega viziranja tarče preverjati in primerjati z ročnim. Morda bi z merjenjem pri manj močnem soncu (prisotnost migotanja) in pa seveda z več izkušnjami dosegel drugačne rezultate.

Za temeljite in dokončne ocene natančnosti in primerjave z ročnim načinom merjenja pa bi potrebovali še več različno velikih, stabilnejših in bolj razgibanih mrež na katerih bi izvajali meritve, večje število girusov in ponovitev merjenja, ter različne in izkušene operaterje, ki bi meritve opravljali v nadzorovanih pogojih.

## VIRI

- [1] Kogoj, D., Savšek S. 2012. Prosojnice pri predmetu Precizna klasična geodetska izmera. Osebna komunikacija.
- [2] Valh, M. M., Marjetič, A., Kogoj, D., Ježovnik, V. 2008. Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik, sep. 2008, let. 52, št. 3, str. 488-500.
- [3] Valh, M. M., Marjetič, A., Kogoj, D., Ježovnik, V. 2009. Testiranje višjih stopenj avtomatizacije. Geodetski vestnik, mar. 2009, let. 53, št. 1, str. 11-22.
- [4] Kolenc, M. 2008. Analiza klasično in z avtomatskim viziranjem izvedenih opazovanj na mreži večjih razsežnosti. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [5] Leica Geosystems. 2009. Leica TS30 Technical data
- [6] Miculinič, A. 2007. Primerjava natančnosti meritev, izvedenih klasično in z avtomatskim viziranjem ter analiza rezultatov izravnave. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [7] Kogoj, D. 2002. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 111 str.

## SEZNAM PRILOG

- Priloga A1:** Izhodna datoteka s podatki položajne izravnave male mreže avtomatskega načina merjenja v programu GEM 4.0 (\*.rez)
- Priloga A2:** Izhodna datoteka s podatki položajne izravnave male mreže ročnega načina merjenja v programu GEM 4.0 (\*.rez)
- Priloga A3:** Izhodna datoteka s podatki položajne izravnave velike mreže avtomatskega načina merjenja v programu GEM 4.0 (\*.rez)
- Priloga A4:** Izhodna datoteka s podatki položajne izravnave velike mreže ročnega načina merjenja v programu GEM 4.0 (\*.rez)



## Priloga A1:

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 12.9.2013

Čas : 14:10

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

### Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

| Točka | Y<br>(m)  | X<br>(m)  |
|-------|-----------|-----------|
| A1    | 1000,0000 | 1000,0000 |
| B1    | 1000,0000 | 1040,6579 |
| C1    | 1038,0437 | 1042,0797 |
| D1    | 1037,9851 | 999,3927  |

Vseh novih točk je : 4

### Pregled opazovanih smeri

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Opazov. smer<br>(gradi) | W<br>(") | Utež | Gr |
|-------|----------|--------|-------------------------|----------|------|----|
| 1     | A1       | B1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 2     | A1       | C1     | 46 79 59,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 3     | A1       | D1     | 101 1 77,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 4     | B1       | C1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 5     | B1       | D1     | 55 1 28,2               | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 6     | B1       | A1     | 102 37 98,0             | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 7     | C1       | D1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 8     | C1       | A1     | 46 70 73,8              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 9     | C1       | B1     | 97 53 10,6              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 10    | D1       | A1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 11    | D1       | B1     | 51 61 46,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 12    | D1       | C1     | 99 7 8,6                | 0,000    | 1,00 | 1  |

Pregled opazovanih dolžin

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Dolžina | Du     | Utež |
|-------|----------|--------|---------|--------|------|
| 13    | A1       | B1     | 40,6567 | 0,0000 | 1,00 |
| 14    | A1       | C1     | 56,7285 | 0,0000 | 1,00 |
| 15    | A1       | D1     | 37,9903 | 0,0000 | 1,00 |
| 16    | B1       | C1     | 38,0711 | 0,0000 | 1,00 |
| 17    | B1       | D1     | 56,0861 | 0,0000 | 1,00 |
| 18    | B1       | A1     | 40,6565 | 0,0000 | 1,00 |
| 19    | C1       | D1     | 42,6874 | 0,0000 | 1,00 |
| 20    | C1       | A1     | 56,7282 | 0,0000 | 1,00 |
| 21    | C1       | B1     | 38,0708 | 0,0000 | 1,00 |
| 22    | D1       | A1     | 37,9900 | 0,0000 | 1,00 |
| 23    | D1       | B1     | 56,0855 | 0,0000 | 1,00 |
| 24    | D1       | C1     | 42,6871 | 0,0000 | 1,00 |

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0,88 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0,251 mm.

|   |    |
|---|----|
| Število enačb popravkov je              | 24 |
| - Število enačb popravkov za smeri je   | 12 |
| - Število enačb popravkov za dolžine je | 12 |
| Število neznank je                      | 12 |
| - Število koordinatnih neznank je       | 8  |
| - Število orientacijskih neznank je     | 4  |
| Defekt mreže je                         | 3  |
| Število nadštevilnih opazovanj je       | 15 |

A-POSTERIORI ocena uteži merjenih količin

=====

Izbran delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $\_Xdop = 0,10mm$

Izbran končni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $1 - m0^{**2} = 0,0010$

Izbrano največje število iteracijskih korakov = 20

\* ... izpolnjen je delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa

False

|    | (sekunde) | (mm)   |        |         |
|----|-----------|--------|--------|---------|
| 0  | 0,8828    | 0,2512 |        |         |
| 1  | 0,8835    | 0,2511 | 1,0007 | 0,00000 |
| 2* | 0,8839    | 0,2510 | 1,0005 | 0,00000 |

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

| Točka | Dy      | Dx      | Do   |
|-------|---------|---------|------|
|       | (m)     | (m)     | (")  |
| A1    | -0,0002 | 0,0003  | 1,1  |
| B1    | -0,0001 | -0,0008 | -2,7 |
| C1    | 0,0006  | 0,0004  | -0,1 |
| D1    | -0,0002 | 0,0001  | 0,9  |

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

| Točka | Y         | X         | My     | Mx     | Mp     | a      | b      | Theta |
|-------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|       | (m)       | (m)       | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (st.) |
| A1    | 999,9998  | 1000,0003 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0000 | 146   |
| B1    | 999,9999  | 1040,6571 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0000 | 28    |
| C1    | 1038,0443 | 1042,0801 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0000 | 65    |
| D1    | 1037,9849 | 999,3928  | 0,0001 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0000 | 94    |

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1,00025.

[pvv] = 15,0075473446

[xx] vseh neznank = 9,3278086860

[xx] samo koordinatnih neznank = 0,0000014047

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m\_arit/ je 0,00007.

Srednji pogrešek smeri /m0\*m0\_smeri/ je 0,8841 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0,2511 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp\_max/ je 0,0002 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp\_min/ je 0,0001 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp\_sred/ je 0,0002 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Nova točka: A1 Y = 999,9998 X = 1000,0003  
 Orientacijski kot = 0 0 3,4

| Vizura | Gr | Utež | Opazov.smer | Orient.smer | Def. sm. kot | Popravek | Dolžina |
|--------|----|------|-------------|-------------|--------------|----------|---------|
| B1     | 1  | 1,00 | 0 0 0,0     | 0 0 3,4     | 0 0 1,4      | -2,1     | 40,657  |
| C1     | 1  | 1,00 | 46 79 59,2  | 46 79 62,6  | 46 79 65,4   | 2,8      | 56,728  |
| D1     | 1  | 1,00 | 101 1 77,2  | 101 1 80,7  | 101 1 80,0   | -0,7     | 37,990  |



## Priloga A2:

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 12.9.2013

Čas : 14:10

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

### Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

| Točka | Y<br>(m)  | X<br>(m)  |
|-------|-----------|-----------|
| A1    | 1000,0000 | 1000,0000 |
| B1    | 1000,0000 | 1040,6579 |
| C1    | 1038,0437 | 1042,0797 |
| D1    | 1037,9851 | 999,3927  |

Vseh novih točk je : 4

### Pregled opazovanih smeri

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Opazov. smer<br>(gradi) | W<br>(") | Utež | Gr |
|-------|----------|--------|-------------------------|----------|------|----|
| 1     | A1       | B1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 2     | A1       | C1     | 46 79 61,9              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 3     | A1       | D1     | 101 1 80,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 4     | B1       | C1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 5     | B1       | D1     | 55 1 35,5               | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 6     | B1       | A1     | 102 37 97,7             | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 7     | C1       | D1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 8     | C1       | A1     | 46 70 71,0              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 9     | C1       | B1     | 97 53 1,4               | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 10    | D1       | A1     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 11    | D1       | B1     | 51 61 44,8              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 12    | D1       | C1     | 99 7 6,8                | 0,000    | 1,00 | 1  |

Pregled opazovanih dolžin

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Dolžina | Du     | Utež |
|-------|----------|--------|---------|--------|------|
| 13    | A1       | B1     | 40,6567 | 0,0000 | 1,00 |
| 14    | A1       | C1     | 56,7285 | 0,0000 | 1,00 |
| 15    | A1       | D1     | 37,9903 | 0,0000 | 1,00 |
| 16    | B1       | C1     | 38,0711 | 0,0000 | 1,00 |
| 17    | B1       | D1     | 56,0860 | 0,0000 | 1,00 |
| 18    | B1       | A1     | 40,6565 | 0,0000 | 1,00 |
| 19    | C1       | D1     | 42,6873 | 0,0000 | 1,00 |
| 20    | C1       | A1     | 56,7281 | 0,0000 | 1,00 |
| 21    | C1       | B1     | 38,0708 | 0,0000 | 1,00 |
| 22    | D1       | A1     | 37,9900 | 0,0000 | 1,00 |
| 23    | D1       | B1     | 56,0855 | 0,0000 | 1,00 |
| 24    | D1       | C1     | 42,6871 | 0,0000 | 1,00 |

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0,50 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1,000 mm.

|   |    |
|---|----|
| Število enačb popravkov je              | 24 |
| - Število enačb popravkov za smeri je   | 12 |
| - Število enačb popravkov za dolžine je | 12 |
| Število neznank je                      | 12 |
| - Število koordinatnih neznank je       | 8  |
| - Število orientacijskih neznank je     | 4  |
| Defekt mreže je                         | 3  |
| Število nadštevilnih opazovanj je       | 15 |

A-POSTERIORI ocena uteži merjenih količin

=====

Izbran delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $\_Xdop = 0,10mm$

Izbran končni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $1 - m0^{**2} = 0,0010$

Izbrano največje število iteracijskih korakov = 20

\* ... izpolnjen je delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa

False

|     | (sekunde) | (mm)   |        |         |
|-----|-----------|--------|--------|---------|
| 0   | 0,5000    | 1,0000 |        |         |
| 1   | 0,6881    | 0,5086 | 1,1223 | 0,00000 |
| 2*  | 0,7964    | 0,4165 | 1,0080 | 0,00000 |
| 3*  | 0,8814    | 0,3826 | 1,0549 | 0,00000 |
| 4*  | 0,9542    | 0,3622 | 1,0544 | 0,00000 |
| 5*  | 1,0190    | 0,3466 | 1,0450 | 0,00000 |
| 6*  | 1,0782    | 0,3335 | 1,0364 | 0,00000 |
| 7*  | 1,1331    | 0,3221 | 1,0296 | 0,00000 |
| 8*  | 1,1844    | 0,3119 | 1,0245 | 0,00000 |
| 9*  | 1,2319    | 0,3030 | 1,0204 | 0,00000 |
| 10* | 1,2755    | 0,2953 | 1,0171 | 0,00000 |
| 11* | 1,3146    | 0,2886 | 1,0144 | 0,00000 |

|     |        |        |        |         |
|-----|--------|--------|--------|---------|
| 12* | 1,3490 | 0,2831 | 1,0120 | 0,00000 |
| 13* | 1,3785 | 0,2786 | 1,0100 | 0,00000 |
| 14* | 1,4032 | 0,2750 | 1,0082 | 0,00000 |
| 15* | 1,4234 | 0,2721 | 1,0067 | 0,00000 |
| 16* | 1,4398 | 0,2699 | 1,0054 | 0,00000 |
| 17* | 1,4527 | 0,2682 | 1,0043 | 0,00000 |
| 18* | 1,4628 | 0,2669 | 1,0034 | 0,00000 |
| 19* | 1,4705 | 0,2659 | 1,0027 | 0,00000 |

Iteracijski proces je zaradi prepočasnega konvergiranja prekinjen.

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

| Točka | Dy      | Dx      | Do   |
|-------|---------|---------|------|
|       | (m)     | (m)     | (")  |
| A1    | -0,0002 | 0,0004  | 1,4  |
| B1    | -0,0001 | -0,0009 | -2,9 |
| C1    | 0,0006  | 0,0004  | -0,2 |
| D1    | -0,0002 | 0,0001  | 1,1  |

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

| Točka | Y         | X         | My     | Mx     | Mp     | a      | b      | Theta |
|-------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|       | (m)       | (m)       | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (st.) |
| A1    | 999,9998  | 1000,0004 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 154   |
| B1    | 999,9999  | 1040,6570 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 39    |
| C1    | 1038,0443 | 1042,0801 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 97    |
| D1    | 1037,9849 | 999,3928  | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 107   |

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1,00079.

[pvv] = 15,0235891649

[xx] vseh neznank = 11,4476537615

[xx] samo koordinatnih neznank = 0,0000016202

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m\_arit/ je 0,00008.

Srednji pogrešek smeri /m0\*m0\_smeri/ je 1,4822 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0,2648 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp\_max/ je 0,0002 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp\_min/ je 0,0001 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp\_sred/ je 0,0001 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.





### Priloga A3:

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 12.9.2013

Čas : 14:10

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

#### Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

| Točka | Y<br>(m)  | X<br>(m)  |
|-------|-----------|-----------|
| A2    | 1000,0000 | 1000,0000 |
| B2    | 1000,0000 | 1236,8401 |
| C2    | 1179,9758 | 1286,1620 |
| D2    | 1208,0057 | 1009,4742 |

Vseh novih točk je : 4

#### Pregled opazovanih smeri

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Opazov. smer<br>(gradi) | W<br>(") | Utež | Gr |
|-------|----------|--------|-------------------------|----------|------|----|
| 1     | D2       | A2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 2     | D2       | B2     | 55 72 69,9              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 3     | D2       | C2     | 96 47 12,5              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 4     | A2       | B2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 5     | A2       | C2     | 35 74 11,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 6     | A2       | D2     | 97 10 23,5              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 7     | B2       | C2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 8     | B2       | D2     | 69 85 74,3              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 9     | B2       | A2     | 117 2 77,0              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 10    | C2       | D2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 11    | C2       | A2     | 42 16 77,7              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 12    | C2       | B2     | 89 39 87,3              | 0,000    | 1,00 | 1  |

Pregled opazovanih dolžin

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Dolžina  | Du     | Utež |
|-------|----------|--------|----------|--------|------|
| 13    | A2       | B2     | 236,8450 | 0,0000 | 1,00 |
| 14    | A2       | C2     | 338,0603 | 0,0000 | 1,00 |
| 15    | A2       | D2     | 208,2247 | 0,0000 | 1,00 |
| 16    | B2       | C2     | 186,6170 | 0,0000 | 1,00 |
| 17    | B2       | D2     | 308,1644 | 0,0000 | 1,00 |
| 18    | B2       | A2     | 236,8456 | 0,0000 | 1,00 |
| 19    | C2       | D2     | 278,1089 | 0,0000 | 1,00 |
| 20    | C2       | A2     | 338,0605 | 0,0000 | 1,00 |
| 21    | C2       | B2     | 186,6168 | 0,0000 | 1,00 |
| 22    | D2       | A2     | 208,2239 | 0,0000 | 1,00 |
| 23    | D2       | B2     | 308,1631 | 0,0000 | 1,00 |
| 24    | D2       | C2     | 278,1080 | 0,0000 | 1,00 |

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0,50 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1,000 mm.

|   |    |
|---|----|
| Število enačb popravkov je              | 24 |
| - Število enačb popravkov za smeri je   | 12 |
| - Število enačb popravkov za dolžine je | 12 |
| Število neznank je                      | 12 |
| - Število koordinatnih neznank je       | 8  |
| - Število orientacijskih neznank je     | 4  |
| Defekt mreže je                         | 3  |
| Število nadštevilnih opazovanj je       | 15 |

A-POSTERIORI ocena uteži merjenih količin

=====

Izbran delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $\_Xdop = 0,10mm$

Izbran končni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $1 - m0^{**2} = 0,0010$

Izbrano največje število iteracijskih korakov = 20

\* ... izpolnjen je delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa

False

|     | (sekunde) | (mm)   |        |         |
|-----|-----------|--------|--------|---------|
| 0   | 0,5000    | 1,0000 |        |         |
| 1   | 0,5167    | 0,7281 | 0,6783 | 0,00004 |
| 2   | 0,5424    | 0,6139 | 0,8504 | 0,00004 |
| 3*  | 0,5669    | 0,5606 | 0,9410 | 0,00004 |
| 4*  | 0,5850    | 0,5354 | 0,9818 | 0,00004 |
| 5*  | 0,5965    | 0,5238 | 0,9974 | 0,00004 |
| 6*  | 0,6033    | 0,5183 | 1,0019 | 0,00004 |
| 7*  | 0,6071    | 0,5158 | 1,0024 | 0,00004 |
| 8*  | 0,6092    | 0,5146 | 1,0018 | 0,00004 |
| 9*  | 0,6103    | 0,5140 | 1,0011 | 0,00004 |
| 10* | 0,6109    | 0,5138 | 1,0007 | 0,00004 |

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

| Točka | Dy      | Dx      | Do   |
|-------|---------|---------|------|
|       | (m)     | (m)     | (")  |
| A2    | -0,0013 | -0,0031 | -0,8 |
| B2    | -0,0025 | 0,0020  | -0,2 |
| C2    | 0,0026  | 0,0029  | 0,6  |
| D2    | 0,0012  | -0,0018 | 0,0  |

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

| Točka | Y         | X         | My     | Mx     | Mp     | a      | b      | Theta |
|-------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|       | (m)       | (m)       | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (st.) |
| A2    | 999,9987  | 999,9969  | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 48    |
| B2    | 999,9975  | 1236,8422 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 109   |
| C2    | 1179,9784 | 1286,1649 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 39    |
| D2    | 1208,0070 | 1009,4724 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 129   |

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1,00034.

[pvv] = 15,0101085674

[xx] vseh neznank = 1,0367078090

[xx] samo koordinatnih neznank = 0,0000415394

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m\_arit/ je 0,00015.

Srednji pogrešek smeri /m0\*m0\_smeri/ je 0,6111 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0,5139 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp\_max/ je 0,0002 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp\_min/ je 0,0002 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp\_sred/ je 0,0002 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Nova točka: D2                      Y = 1208,0070      X = 1009,4724  
Orientacijski kot = 297 10 19,3

| Vizura | Gr | Utež | Opazov.smer | Orient.smer | Def. sm. kot | Popravek | Dolžina |
|--------|----|------|-------------|-------------|--------------|----------|---------|
| A2     | 1  | 1,00 | 0 0 0,0     | 297 10 19,3 | 297 10 19,6  | 0,3      | 208,224 |
| B2     | 1  | 1,00 | 55 72 69,9  | 352 82 89,3 | 352 82 90,3  | 1,0      | 308,164 |
| C2     | 1  | 1,00 | 96 47 12,5  | 393 57 31,9 | 393 57 30,5  | -1,3     | 278,109 |



#### Priloga A4:

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 12.9.2013

Čas : 14:19

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

#### Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

| Točka | Y<br>(m)  | X<br>(m)  |
|-------|-----------|-----------|
| A2    | 1000,0000 | 1000,0000 |
| B2    | 1000,0000 | 1236,8401 |
| C2    | 1179,9758 | 1286,1620 |
| D2    | 1208,0057 | 1009,4742 |

Vseh novih točk je : 4

#### Pregled opazovanih smeri

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Opazov. smer<br>(gradi) | W<br>(") | Utež | Gr |
|-------|----------|--------|-------------------------|----------|------|----|
| 1     | D2       | A2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 2     | D2       | B2     | 55 72 73,4              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 3     | D2       | C2     | 96 47 10,1              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 4     | A2       | B2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 5     | A2       | C2     | 35 74 5,8               | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 6     | A2       | D2     | 97 10 7,4               | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 7     | B2       | C2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 8     | B2       | D2     | 69 85 85,1              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 9     | B2       | A2     | 117 2 82,2              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 10    | C2       | D2     | 0 0 0,0                 | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 11    | C2       | A2     | 42 16 86,0              | 0,000    | 1,00 | 1  |
| 12    | C2       | B2     | 89 39 83,7              | 0,000    | 1,00 | 1  |

Pregled opazovanih dolžin

=====

| Štev. | Stojišče | Vizura | Dolžina  | Du     | Utež |
|-------|----------|--------|----------|--------|------|
| 13    | A2       | B2     | 236,8449 | 0,0000 | 1,00 |
| 14    | A2       | C2     | 338,0603 | 0,0000 | 1,00 |
| 15    | A2       | D2     | 208,2246 | 0,0000 | 1,00 |
| 16    | B2       | C2     | 186,6170 | 0,0000 | 1,00 |
| 17    | B2       | D2     | 308,1644 | 0,0000 | 1,00 |
| 18    | B2       | A2     | 236,8455 | 0,0000 | 1,00 |
| 19    | C2       | D2     | 278,1089 | 0,0000 | 1,00 |
| 20    | C2       | A2     | 338,0605 | 0,0000 | 1,00 |
| 21    | C2       | B2     | 186,6168 | 0,0000 | 1,00 |
| 22    | D2       | A2     | 208,2238 | 0,0000 | 1,00 |
| 23    | D2       | B2     | 308,1631 | 0,0000 | 1,00 |
| 24    | D2       | C2     | 278,1080 | 0,0000 | 1,00 |

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0,50 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1,000 mm.

|   |    |
|---|----|
| Število enačb popravkov je              | 24 |
| - Število enačb popravkov za smeri je   | 12 |
| - Število enačb popravkov za dolžine je | 12 |
| Število neznank je                      | 12 |
| - Število koordinatnih neznank je       | 8  |
| - Število orientacijskih neznank je     | 4  |
| Defekt mreže je                         | 3  |
| Število nadštevilnih opazovanj je       | 15 |

A-POSTERIORI ocena uteži merjenih količin

=====

Izbran delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $\_Xdop = 0,10mm$

Izbran končni kriterij prekinitve iteracijskega procesa  $1 - m0^{**2} = 0,0010$

Izbrano največje število iteracijskih korakov = 20

\* ... izpolnjen je delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa

False

|     | (sekunde) | (mm)   |        |         |
|-----|-----------|--------|--------|---------|
| 0   | 0,5000    | 1,0000 |        |         |
| 1   | 1,1881    | 1,0369 | 4,7772 | 0,00004 |
| 2   | 1,4865    | 0,8202 | 1,1529 | 0,00004 |
| 3   | 1,6481    | 0,6659 | 0,9106 | 0,00004 |
| 4   | 1,7339    | 0,5776 | 0,8874 | 0,00004 |
| 5*  | 1,7769    | 0,5331 | 0,9217 | 0,00004 |
| 6*  | 1,7975    | 0,5123 | 0,9576 | 0,00004 |
| 7*  | 1,8071    | 0,5030 | 0,9798 | 0,00004 |
| 8*  | 1,8115    | 0,4989 | 0,9909 | 0,00004 |
| 9*  | 1,8135    | 0,4972 | 0,9961 | 0,00004 |
| 10* | 1,8144    | 0,4964 | 0,9983 | 0,00004 |
| 11* | 1,8148    | 0,4960 | 0,9993 | 0,00004 |

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

| Točka | Dy      | Dx      | Do   |
|-------|---------|---------|------|
|       | (m)     | (m)     | (")  |
| A2    | -0,0014 | -0,0031 | -0,7 |
| B2    | -0,0024 | 0,0019  | -0,2 |
| C2    | 0,0026  | 0,0029  | 0,6  |
| D2    | 0,0013  | -0,0017 | -0,1 |

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

| Točka | Y         | X         | My     | Mx     | Mp     | a      | b      | Theta |
|-------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|       | (m)       | (m)       | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (m)    | (st.) |
| A2    | 999,9986  | 999,9969  | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 50    |
| B2    | 999,9976  | 1236,8421 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 124   |
| C2    | 1179,9784 | 1286,1650 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 2     |
| D2    | 1208,0070 | 1009,4725 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 143   |

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 0,99963.

[pvv] = 14,9890393839

[xx] vseh neznank = 0,8640698958

[xx] samo koordinatnih neznank = 0,0000409214

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m\_arit/ je 0,00014.

Srednji pogrešek smeri /m0\*m0\_smeri/ je 1,8141 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0,4959 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp\_max/ je 0,0003 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp\_min/ je 0,0003 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp\_sred/ je 0,0003 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Nova točka: D2                      Y = 1208,0070      X = 1009,4725  
Orientacijski kot = 297 10 18,8

| Vizura | Gr | Utež | Opazov.smer | Orient.smer | Def. sm. kot | Popravek | Dolžina |
|--------|----|------|-------------|-------------|--------------|----------|---------|
| A2     | 1  | 1,00 | 0 0 0,0     | 297 10 18,8 | 297 10 19,5  | 0,7      | 208,224 |
| B2     | 1  | 1,00 | 55 72 73,4  | 352 82 92,2 | 352 82 90,1  | -2,1     | 308,164 |
| C2     | 1  | 1,00 | 96 47 10,1  | 393 57 28,9 | 393 57 30,3  | 1,4      | 278,108 |

