

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:

Spreicer, M., 2013. Testiranje višjih stopenj avtomatizacije univerzalnih tahimetrov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kogoj, D., somentor Marjetič, A.): 38 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:

Spreicer, M., 2013. Testiranje višjih stopenj avtomatizacije univerzalnih tahimetrov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kogoj, D., co-supervisor Marjetič, A.): 38 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

PRVOSTOPENJSKI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM  
GEODEZIJA (UN)

GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

**MARKO SPREICER**

**TESTIRANJE VIŠJIH STOPENJ AVTOMATIZACIJE  
UNIVERZALNIH TAHIMETROV**

Diplomska naloga št.: 44/GIG

**TESTING OF HIGHER LEVELS OF AUTOMATISATION OF  
TOTAL STATIONS**

Graduation thesis No.: 44/GIG

**Mentor:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

**Somentor:**

asist. dr. Aleš Marjetič

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 23. 09. 2013

Ta stran je namenoma prazna.

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

## **IZJAVE**

Podpisani Marko Spreicer izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Testiranje višjih stopenj avtomatizacije univerzalnih tahimetrov«.

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

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

Ljubljana, 10. 9. 2013

Marko Spreicer

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

<b>UDK:</b>	<b>528.53 (043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Marko Spreicer</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 višjih stopenj avtomatizacije univerzalnih tahimetrov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>38 str., 7 pregl., 15 sl., 11 en., 2 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Avtomatsko viziranje, AVT, AST, AIT, ATR, Leica TCRA 1102 plus, ISO 17123-3</b>

### **Izvleček**

Tema diplomske naloge je testiranje višjih stopenj avtomatizacije univerzalnih elektronskih tahimetrov, kjer smo testirali tahimeter Leica TCRA 1102 plus. V delu je opisan razvoj tahimetrov ter njihova razdelitev. Navedeni in opisani so sistemi, ki so omogočili višje stopnje avtomatizacije sodobnih tahimetrov, in omogočili lažje delo operaterja na terenu.

V praktičnem delu diplomske naloge smo testirali sistem avtomatizacije tahimetra Leica TCRA 1102 plus, in sicer smo primerjali natančnost avtomatskega sistema viziranja ATR z ročnim viziranjem. Natančnost opravljenih meritev smo izračunali s pomočjo enačb zapisanih v standardu ISO17123-3 in jih nato komentirali ter opisali njihove prednosti in slabosti.

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

**UDC:** 528.53 (043.2)  
**Author:** Marko Spreicer  
**Supervisor:** assoc. prof. Dušan Kogoj Ph.D.  
**Cosupervisor:** assist. Prof. Aleš Marjetič Ph.D.  
**Title:** Testing of higher levels of automatisation of total stations  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 38 p., 7 tab., 15 fig., 11 eq., 2 ann.  
**Keywords:** Automatic sighting, AVT, AST, AIT, ATR, Leica TCRA 1102 plus, ISO 17123-3

### **Abstract**

The theme of this final thesis is testing higher levels of automation of universal total station, where we tested the Leica TCRA1102plus. This paper discusses the development of surveying and their breakdown. Lists and describes the systems, which enabled a higher degree of automation in modern surveying and facilitate the operator's work in the field.

In the practical part of the thesis we tested automation system of tachymeter Leica TCRA1102plus namely, we compared the accuracy of the automated sighting system ATR with manual sighting. The accuracy of the measurements was calculated using equations from standard ISO17123-3, and then comment on their respective advantages and disadvantages.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in podporo pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoj in somentorju asist. dr. Alešu Marjetič, staršem ter ostalim, ki so mi pomagali in me podpirali v času študija.

Zahvalil bi se rad tudi geodetskemu podjetju Meja d.o.o., in njenemu direktorju Zdravku Jurkašu, ki mi je s izposojjo geodetskega pribora omogočil izvedbo meritev.



## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	13
<b>2</b>	<b>RAZVOJ TAHIMETROV</b> .....	14
2.1	Razdelitev tahimetrov .....	15
2.1.1	Optični tahimetri .....	15
2.1.2	Elektronski tahimetri .....	15
<b>3</b>	<b>VIŠJE STOPNJE AVTOMATIZACIJE TAHIMETROV</b> .....	16
3.1	Motorizacija .....	16
<b>4</b>	<b>AVTOMATSKO PREPOZAVANJE TARČE (APT)</b> .....	18
4.1	Avtomatsko viziranje tarče (AVT).....	18
4.1.1	Detekcija maksimalne intenzitete povratnega signala.....	18
4.1.2	Izenačitev jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod .....	19
4.1.3	Sistem AVT s pomočjo CCD in CMOS senzorji .....	19
4.1.4	Sistem AVT pri tahimetrih Leica .....	20
4.2	Avtomatsko iskanje tarče (AIT) .....	21
4.2.1	AIT z aktivnimi tarčami .....	22
4.2.2	AIT s pasivnimi tarčami .....	23
<b>5</b>	<b>PREGLED TEHNOLOGIJE AVTOMATIZACIJE SODOBNIH TAHIMETROV</b> .....	24
<b>6</b>	<b>TAHIMETER LEICA TCRA 1102 PLUS</b> .....	25
6.1	Tehnični podatki tahimetra Leica TCRA 1102 plus .....	26
6.2	Programska oprema tahimetra Leica TCRA 1102 plus.....	27
<b>7</b>	<b>TESTIRANJE SISTEMA APT Z ROČNIM VIZIRANJEM</b> .....	28
7.1	Opravljanje meritev.....	28
7.2	Izračun natančnosti horizontalnih smeri po ISO standardu 17123-3 .....	29
<b>8</b>	<b>REZULTATI MERITEV</b> .....	31
8.1	Rezultati avtomatskega viziranja.....	32
8.2	Rezultati ročnega viziranja.....	33
<b>9</b>	<b>PRIMERJAVA ROČNEGA IN AVTOMATSKEGA VIZIRANJA</b> .....	34

<b>10 NATANČNOST GLEDE NA ŠTEVILO GIRUSOV</b> .....	35
10.1 Avtomatsko viziranje .....	35
10.2 Ročno viziranje .....	36
<b>11 ZAKLJUČEK</b> .....	37
<b>VIRI</b> .....	37

## KAZALO SLIK

Slika 1: Piezo-električni kristali (Surveyequipment) .....	17
Slika 2: Prikaz magnetnega pogona pri tahimetrih Trimble (Trimble) .....	17
Slika 3: Prikaz delovanja sistema s senzorji CCD in določitev točke najmočnejšega odboja žarka (Mataija Valh, M., in sod., 2008).....	20
Slika 4: Iskalno okno sistema ATR (Surveyor Exchange).....	20
Slika 5: Prikaz kvadratne spirale iskanja reflektorja pri tahimetru Leica TCRA 1102 plus (Benčič, D., 2008) .....	21
Slika 6: Snop žarkov sistema AIT pri tahimetru Leica TCRA1102 plus imenovan Power search (Benčič, D., 2008) .....	22
Slika 7: Slika aktivne tarče proizvajalca Topcon (Pobonline). .....	22
Slika 8: Pasivni reflektor (Leica Geosystems) .....	23
Slika 9: Tahimeter Leica TCRA 1102 plus .....	25
Slika 10: Prikaz postavitve točk in tahimetra na terenu pri opravljanju meritev na razdalji 50m.....	28
Slika 11: Graf standardnega odklona smeri pri avtomatskem viziranju.....	32
Slika 12: Graf standardnega odklona smeri pri ročnem viziranju.....	33
Slika 13: Graf primerjave ročnega in avtomatskega viziranja .....	34
Slika 14: Graf Standardnih odklonov aritmetičnih sredin smeri pri avtomatskem viziranju za različno število girusov .....	35
Slika 15: Graf Standardnih odklonov aritmetičnih sredin smeri pri ročnem viziranju za različno število girusov.....	36

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz lastnosti sodobnih tahimetrov (Leica TS30, 2013, Sokkia SX105T, 2013, Topcon MS, 2013, Trimble S8, 2013). .....	24
Preglednica 2: Lastnosti tahimetra Leica TCRA 1102 plus (TPS1100, 2013) .....	26
Preglednica 3: Empirična standardna deviacija $s$ opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu in eh krožnih legah .....	31
Preglednica 4: Empirična standardna deviacija $s$ opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu in v obeh krožnih legah z dodatnimi meritvami .....	31
Preglednica 5: Primerjava ročnega in avtomatskega viziranja in razlika med njima.....	34
Preglednica 6: Standardni odkloni aritmetičnih sredin smeri pri avtomatskem viziranju za različno število girusov .....	35
Preglednica 7: Standardni odkloni aritmetičnih sredin smeri pri ročnem viziranju za različno število girusov.....	36

## **UPORABLJENE KRATICE**

ATR – Automatic target recognition (avtomatsko prepoznavanje tarče)

AIT – Avtomatsko iskanje tarče

AVT – Avtomatsko viziranje tarče

AST – Avtomatsko sledenje tarče

## 1 UVOD

Diplomska naloga temelji na testiranju sodobnega elektronskega tahimetra s poudarkom na testiranju naprednih sistemov, ki so omogočili njihovo avtomatizacijo. Za testiranje smo uporabili tahimeter podjetja Leica TCRA 1102 plus. Zanimale so nas predvsem prednosti in uporabnosti avtomatskih tahimetrov pri reševanju vsakodnevnih problemov v geodeziji.

V prvem delu diplomske naloge je opisan sodobni tahimeter in njegov razvoj skozi čas. Našteti in opredeljeni so različni tahimetri in na kratko opisani njihovi sestavni deli. V drugem delu smo se posvetili sistemom, ki so pripomogli k avtomatizaciji in omogočili avtomatizacijo tahimetrov. Te sisteme smo našteli ter za vsakega od njih opisali princip delovanja.

Po posvetu z mentorjem smo se pri praktičnem delu diplomske naloge osredotočili na testiranje natančnosti avtomatskega viziranja s sistemom ATR, s klasičnim ročnim viziranjem, ki smo ga izvedli s pomočjo prej navedenega tahimetra. Za izmero smo tako potrebovali mersko bazo, s katero smo testirali natančnost tahimetra. Natančnost smo testirali na različnih oddaljenostih, tako da smo izmerili večje število girusov. Primerjali smo tudi natančnost, ki jo dobimo v odvisnosti od števila izmerjenih girusov, ter nato rezultate med seboj primerjali ter komentirali.

## 2 RAZVOJ TAHIMETROV

Osnovni klasični geodetski metodi določanja horizontalnih koordinat točk sta ortogonalna metoda in polarna metoda. Pri obeh moramo imeti ali izmeriti vsaj dve količini, s katerimi lahko določimo horizontalne koordinate merjenih točk. Pri ortogonalni metodi se koordinate merjene točke določa z merjenjem dolžine po abscisi od stojišča do orientacijske točke in dolžino ordinate od abscise proti merjeni točki. Pri polarni metodi pa je potrebno za izračun koordinat točk, glede na znane koordinate druge točke, izmeriti razliko smeri med orientacijsko točko in merjeno točko ter razdaljo med stojiščem in merjeno točko.

Prvotni klasični geodetski instrumenti, kot sta teodolit in razdaljemer, so lahko izmerili le eno mersko količino. Tako se je prvotni problem določitve koordinat s polarno metodo oziroma določitev razlike smeri in dolžine reševal z dvema instrumentoma. Za izračun razlike smeri se je uporabljal teodolit, za izmero razdalje pa razdaljemer. Tako je bilo potrebno za določitev koordinat točk uporabiti več instrumentov, kar je bil vzrok za zamudno in komplicirano meritev.

Za hitrejšo in enostavnejšo določitev koordinat so konec 19. stoletja združili teodolit in razdaljemer v tako imenovani tahimeter. Natančnost tahimetra sta tako določala natančnost razdaljemera in teodolita, ki sta sestavljala tahimeter. Ves nadaljnji razvoj tahimetrov je bil zaradi tega odvisen od razvoja razdaljemera in teodolita, ki se kot posamezna instrumenta več nista izdelovala, saj se je s pojavom tahimetrov njihova uporaba za določanje koordinat zmanjšala.

Z vse večjim tehnološkim napredkom elektronskih tahimetrov so se v elektronskih tahimetrih pojavili tudi drugi sistemi, ki so olajšali delo geodetov, in zmanjšali število grobih napak zaradi vpliva in delo operaterja. Eden glavnih in pomembnejših sestavnih delov tahimetra, s katerim se je znatno skrajšal čas meritev, je avtomatska registracija podatkov in vzporedno s tem digitalni zapis podatkov pridobljenih na terenu direktno na pomnilnik. Tako operater ni imel potrebe po ročnem zapisovanju podatkov na papir, s čimer so se odpravile napake pri zapisu podatkov zaradi napačnega operaterjevega odčitavanja. Prvotno je bil pomnilnik, v katerega so se shranjevali podatki, ločen od tahimetra, šele kasneje so jih začeli vgrajevati v tahimeter. S prenosljivimi pomnilniki in pojavom povezave tahimetra z računalnikom je bilo mogoče prenašati podatke tako od tahimetra do računalnika kot tudi v obratni smeri.

Postopek izvajanja meritev je postajal z vse večjim tehnološkim napredkom vse bolj avtomatiziran. V elektronske tahimetre so proizvajalci začeli vgrajevati vse več mikroprocesorjev in senzorjev, ki so nadzirali stanje tahimetra in delo operaterja, opravljali meritve in sproti obdelovali merske podatke. Stopnja razvoja se je tako dvignila, da so se v zadnjem desetletju pojavili prvi motorizirani tahimetri, s

katerimi se je operaterjevo mesto za instrumentom premaknilo bližje merjenim točkam. Operater je lahko sam s prizmo in z daljinskim upravljalnikom preko radijske zveze upravljal tahimeter in brez pomočnika izvajal detajlno izmero ter iz prve roke pridobil informacije o točkah, katerih koordinate zajema (Benčić, D., 1990).

## **2.1 Razdelitev tahimetrov**

Razvoj tahimetrov je povezan z razvojem teodolita in razdaljemera kot posameznima instrumentoma, ki sta bila združena v tahimeter. Glede na to, ali bil tahimeter sestavljen iz optičnega ali elektronskega razdaljemera, so se na podlagi tega tahimetri razdeljevali v dve skupini, in sicer na:

- optične tahimetre,
- elektronske tahimetre.

### **2.1.1 Optični tahimetri**

Optični tahimetri so univerzalni tahimetri, ki so sestavljeni iz optičnega teodolita in optičnega razdaljemera. Njihova zgradba je zelo enostavna, gre za optični teodolit, ki ima na nitnem križu daljnogleda še dodatne niti za izračun dolžine. Takratni pojav optičnih tahimetrov je zelo olajšal delo geodetom, vendar danes te zaradi slabe natančnosti in kratkega dosega ne morejo konkurirati elektronskim tahimetrom.

### **2.1.2 Elektronski tahimetri**

Elektronski tahimeter je sestavljen iz dveh osnovnih delov, in sicer elektronskega teodolita in elektrooptičnega razdaljemera. Za razliko od optičnih tahimetrov se odčitki z elektronskim tahimetrom pridobijo avtomatsko s pritiskom na gumb in tako operaterju več ni potrebno odčitavati vrednosti na horizontalnem in vertikalnem krogu ali računati dolžine s pomočjo niti v daljnogledu tahimetra. S pojavom pomnilnika in procesorjev, ki so meritve računsko obdelali, so takšni tahimetri dobili ime merske postaje oziroma angleško Total Station (Benčić, D., 1990).



### 3 VIŠJE STOPNJE AVTOMATIZACIJE TAHIMETROV

Avtomatizacija je razvojna stopnja mehanizacije ali proces, pri katerem ta opravlja delo, nadzor in odločitve, za katere je bil včasih potreben človek. Odvisno od stopnje avtomatizacije je ta delno ali v celoti zamenjala funkcije oziroma delo človeka. Pri izvajanju meritev v geodeziji se je s pojavom avtomatizacije odpravilo nekatere funkcije človeka pri opravljanju z geodetskimi instrumentom.

Avtomatizacija je s pojavom pri geodetskih instrumentih hitro našla svoj namen in prednostno funkcijo uporabe. Predvsem so jo začeli uporabljati v primerih, kjer je bilo potrebno izvesti večkratne ponovitve meritev s polarno metodo izmere, za pridobitev kakovostnih podatkov. V praksi se je avtomatizacija največkrat uporabila v primerih, ko je bilo potrebno spremljati premike območij ali objektov zaradi vpliva človeka ali geodinamičnih procesov. Avtomatizacija je tako zamenjala počasno in utrujajoče ročno delo operaterja s hitrimi in dolgotrajnimi meritvami, ki je izničila vpliv operaterja na merjenje. Meritve so lahko zaradi delovanja brez operaterja izvajali dlje časa tudi na nevarnih območjih, s čimer se je zmanjšala ogroženost operaterjev na terenu (Benčić, D., 1990).

#### 3.1 Motorizacija

Za opravljanje meritev je bilo pred avtomatizacijo potrebno ročno premakniti tahimeter okoli rotacijskih osi v smeri točke, katere koordinate smo iskali. Za izvajanje avtomatskega merskega postopka je bilo potrebno razviti tahimeter, ki bo sposoben samodejno rotirati tahimeter okoli horizontalne in vertikalne osi brez pomoči operaterja. Problem so proizvajalci rešili z razvojem motoriziranih tahimetrov, katerih sestavna dela sta bila dva motorja, ki sta samodejno vrtela daljnogled in tahimeter okoli glavnih osi.

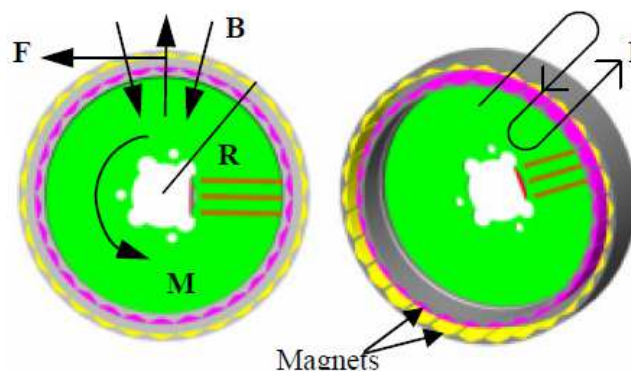
Prvi motorji, ki so bili vgrajeni v sodobne elektronske tahimetre in so omogočali avtomatizacijo merskih postopkov, so servomotorji. Poleg servomotorjev so se kasneje s postopnim razvojem tehnologije razvili tudi drugi boljši motorji, ki so uspešno zamenjali starejše servomotorje, saj so bili ti počasni, glasni in porabili so precej električne energije (Mataija Valh, M., in sod., 2008).

En novejših pogonov, ki ga je razvila firma Leica, je tako imenovani piezo-električni pogon. Deluje s pomočjo piezo kristalov, ki se pod vplivom električne energije preoblikujejo in tako premikajo daljnogled in tahimeter okoli osi. Premiki so zaradi kontroliranega dovoda električnega toka lahko zelo majhni, kar omogoča izjemno natančnost, hitrost in neslišnost (Geoservis, 2013).



Slika 1: Piezo-električni kristali (Leica Piezo, 2013)

Podoben sistem, kot ga je razvila firma Leica, so razvili tudi proizvajalci podjetja Trimble, kjer so za motorizacijo tahimetrov uporabili elektromagnetne pogone. Gre za podoben princip kot pri piezo-električnem pogonu, le da so namesto kristalov uporabili magnete. Magneti so direktno montirani na horizontalno in vertikalno os tahimetra, ki se s pomočjo električnega toka skozi tuljavo rotirajo (Trimble).



Slika 2: Prikaz magnetnega pogona pri tahimetrih Trimble (Trimble, 2013)

## **4 AVTOMATSKO PREPOZAVANJE TARČE (APT)**

Prvotni sistem višje stopnje avtomatizacije elektronskih tahimetrov je pojav avtomatskega prepoznavanja tarče ali APT. Gre za avtomatski sistem, sestavljen iz dveh funkcijsko različnih sistemov avtomatizacije, in sicer iz AVT – avtomatsko viziranje tarče in AST – avtomatsko sledenje tarče.

Avtomatsko prepoznavanje tarče nadomesti operaterjevo fino viziranje, kjer tahimeter samodejno izvede fino viziranje na reflektor, če je le ta v vidnem polju daljnogleda tahimetra. S tem tahimeter še ni postal popolnoma avtomatiziran, saj je potrebno v primeru, da tarča ni v vidnem polju daljnogleda posredovanje operaterja, ki mora grobo navizirati tarčo. Možno je bilo tudi posredovanje sistema za avtomatsko iskanje tarče oziroma AIT, ki se je pojavil v zadnjem koraku avtomatizacije tahimetrov kot nadgradnja sistema avtomatskega prepoznavanja tarče (Mataija Valh, M., in sod., 2008).

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

Avtomatsko viziranje tarče je osnovni del sistema avtomatskega prepoznavanja tarče in omogoča avtomatsko fino viziranje na reflektor. Določitev oziroma avtomatsko iskanje sredine reflektorja je bilo rešeno na več načinov. Starejša načina sta bila detekcija maksimalne intenzitete povratnega signala in izenačitev jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod.

#### ***4.1.1 Detekcija maksimalne intenzitete povratnega signala***

Pri prvem načinu elektronski tahimeter išče smer najmočnejšega odboja elektromagnetnega valovanja, ki ga oddaja elektrooptični razdaljemer. V prvi fazi iskanja instrument s pomočjo vgrajenih motorjev premika tahimeter okoli horizontalne in vertikalne osi ter poskuša najti približen položaj reflektorja. Iskanje začne tako, da rotira daljnogled v obliki krožne ali kvadratne spirale, vse dokler ne zazna odbitega signala. V tem trenutku je vizurna os tahimetra od središča reflektorja oddaljena maksimalno za velikost radija svetlobnega žarka elektrooptičnega razdaljemera.

V drugi fazi je potrebno premakniti še vizurno os daljnogleda tahimetra v sredino reflektorja. Tukaj nastopi fino viziranje, ki ga opravi mikroprocesor, ki premika os daljnogleda za majhne vrednosti v horizontalni in vertikalni smeri, dokler ne zazna maksimalnega odboja povratnega signala. Tako je vizurna os daljnogleda v sredini tarče oziroma reflektorja in registracija meritev se lahko izvede (Mataija Valh, M., in sod., 2008).

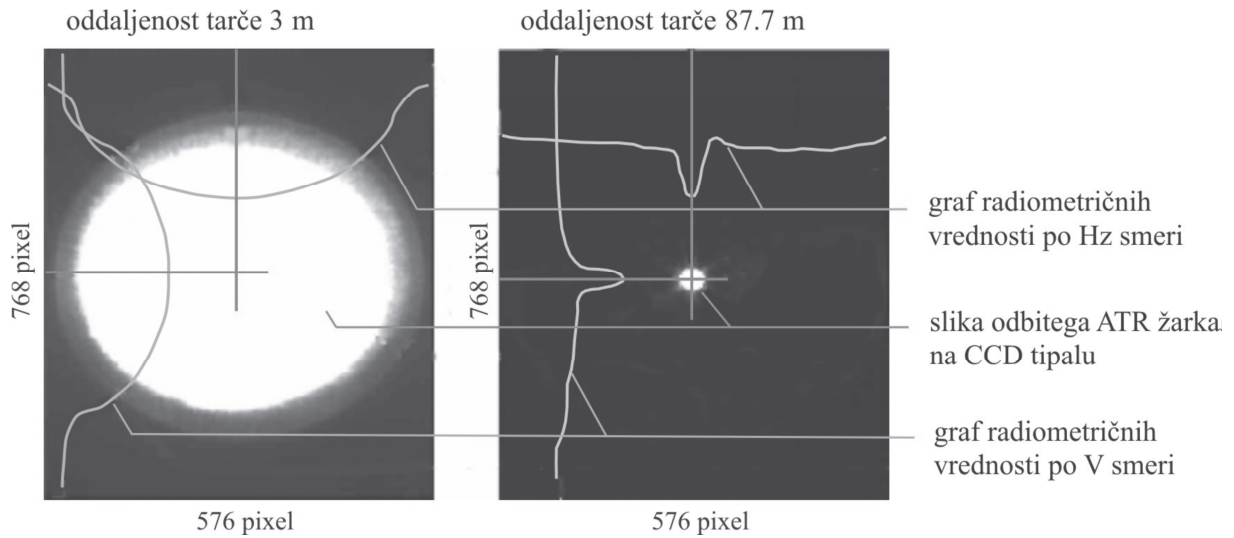
#### ***4.1.2 Izenačitev jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod***

Pri drugem načinu viziranja tarče, kjer gre za izenačitev jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod, se namesto pasivnega reflektorja uporablja močan svetlobni vir, ki oddaja svetlobo z znano frekvenco. Tako oddano svetlobo nato zazna instrument s pomočjo fotodiod, ki so nameščene za okularjem in simetrično razporejene v štiri kvadrante. Ko svetlobni snop oddan iz svetlobnega vira pade na fotodiode, se na vsaki fotodiodi izračuna jakost sprejetega signala. Če je jakost signala na eni fotodiodi večji kot na drugi, mikroprocesor na podlagi izračunov nato izvede popravke smeri. Postopek se ponavlja dokler ni na vseh fotodiodah enaka jakost sprejetega signala, kar pomeni, da je vizurna os v sredini svetlobnega vira. Natančnost takšnega sistema je slaba, saj se signal sprejema samo s štirimi fotodiodami in se ne more primerjati z natančnostjo ročnega viziranja operaterja (Mataija Valh, M., in sod., 2008).

#### ***4.1.3 Sistem AVT s pomočjo CCD in CMOS senzorji***

Pri najnovejših tahimetrih proizvajalci danes vgrajujejo v instrumente samo sistem AVT, ki za iskanje tarče uporablja kamere s CCD ali CMOS senzorji. Takšni sistemi, ki digitalno zajamejo odbiti signal, so zamenjali prejšnje starejše sisteme za avtomatsko viziranje tarče, saj se niso mogli primerjati z natančnostjo digitalne obdelave slike.

Pri teh sistemih razdaljemer tahimetra pošlje skozi daljnogled signal, ki se odbije na reflektorju, in se nato sprejme na CCD ali CMOS senzorju. Če je takšen sprejet signal prešibak oziroma kamera ne zazna nobenega signala, instrument izvede enak postopek kot pri sistemu viziranja z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala. Ko kamera zazna odbiti laserski žarek, se podatki o odstopanju slike laserskega žarka od središča senzorja CCD ali CMOS posredujejo mikroprocesorju, ki nato s pomočjo kalibracijskih parametrov preračuna podatke v kotne vrednosti, za katere nato servomotorji zavrtijo tahimeter okoli horizontalne in vertikalne osi. V tem trenutku je vizurna os tahimetra skoraj v središču tarče, odstopanja so zelo majhna (velikosti nekaj sekund), registracija kotne vrednosti vertikalnega in horizontalnega limba se lahko izvede. Če takšna natančnost ni zadovoljiva, tahimeter na podlagi izmerjene razdalje do reflektorja izostri sliko ter ponovno pošlje laserski žarek proti reflektorju. Odstopanja, ki se pojavijo med novo sliko prejetega žarka, se nato upoštevajo računsko ter naknadno prištejejo k registriranim vrednostim kotov (Mataija Valh, M., in sod., 2008).

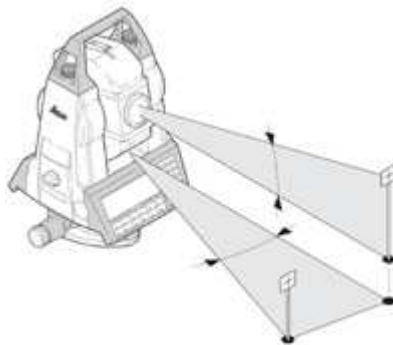


Slika 3: Prikaz delovanja sistema s senzorji CCD in določitev točke najmočnejšega odboja žarka (Mataija Valh, M., in sod., 2008)

#### 4.1.4 Sistem AVT pri tahimetrih Leica

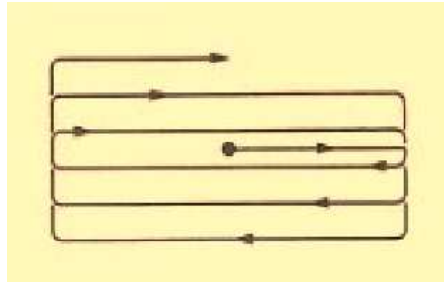
V testiranem kot tudi v vseh ostalih tahimetrih Leica Geosystems se za avtomatsko viziranje tarče uporablja sistem AVT, ki so ga v podjetju Leica poimenovali ATR. Prvič se je ta sistem pojavil v tahimetrih serije TPS1000, ki je bila predhodna seriji TPS1100, v kateri je bil izdelan tudi za testiranje izbran tahimeter. Sistem za zaznavanje reflektorjev uporablja detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala s pomočjo CCD senzorjev. Že v naslednji seriji tahimetrov TPS1200 so namesto senzorja CCD uporabili CMOS senzorje.

Iskalno okno sistema ATR je poljubno nastavljivo, vendar je zaradi hitrejšega merjenja navzgor omejena na  $9^\circ$ . Tako je potrebno za uspešno izmero tahimeter ročno grobo približno navizirati na reflektor, tako da se za nahaja znotraj iskalnega okna. Sistem ATR za iskanje reflektorja uporablja infrardeči svetlobni snop polprevodniškega laserja, ki ga pošlje skozi objektiv daljnogleda proti reflektorju (Tuno, N. in sod. 2010).



Slika 4: Iskalno okno sistema ATR (Leica ATR, 2013)

Iskanje reflektorja poteka po kvadratni oziroma okrogli spirali in se ustavi, ko je slika reflektorja v vidnem polju kamere CCD oziroma CMOS. Nato tahimeter usmeri daljnogled glede na določeno toleranco v center reflektorja, zato da s tem časovno skrajša meritev. Odčitek se nato računsko popravi glede na velikost odstopanja vizurne osi od centra reflektorja (Tuno, N. in sod. 2010).



Slika 5: Prikaz kvadratne spirale iskanja reflektorja pri tahimetru Leica TCRA 1102 plus (Benčič, D., 2008)

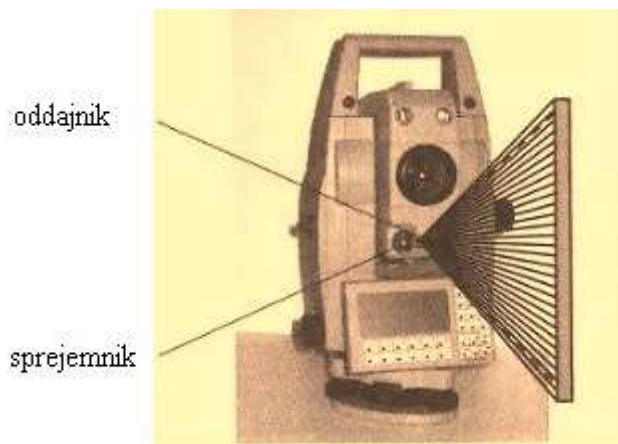
#### 4.2 Avtomatsko iskanje tarče (AIT)

V primeru, da pri sledenju tarče tahimeter izgubi stik s tarčo in ta v določenem času ne pride nazaj v vidno polje tahimetra, posreduje sistem AIT oziroma avtomatsko iskanje tarče. Ta sistem je dopolnilo sistema AST, tako da je sedaj dokončno zmanjšano število ljudi pri delu na terenu na samo eno osebo, ki je z reflektorjem in avtomatiziranim in radijsko vodenim tahimetrom zmožna sama izvesti polarno detajlno izmero.

Problem, ki se je pojavil pri razvijanju sistema AIT, je bil določiti iskalno območja tahimetra. Z analizo tahimetričnih meritev pri detajlnem snemanju se pokaže, da se večina točk nahaja med zenitnima razdaljama  $80^\circ$  in  $100^\circ$ . Ker ima sistem AVT vidno polje široko  $1^\circ$ , bi bilo potrebno tako zelo veliko časa, da bi tahimeter preiskal celotno območje med horizontalnima smerema  $0^\circ$  in  $360^\circ$ . Tako je bila za povečanje iskalnega območja tahimetra potrebna dodatna programska in strojna oprema tahimetra.

Tako so začeli proizvajalci avtomatiziranih tahimetrov razvijati sisteme za iskanje tarče. Pojavila sta se dva sistema. Prvi sistem uporablja tehnologijo aktivnih tarč, pri katerih so tarče sposobne usmeriti tahimeter v pravo smer. Drugi sistem pa uporablja pasivne tarče in se vse operacije izvedejo v tahimetru. Tako je eden osnovnih delov sistema AIT oddajnik elektromagnetnega valovanja, ki se nahaja ali na tarči ali v tahimetru. Snop žarkov se tako iz oddajnika širi ali v obliki stožca ali piramide. S takšnim oddajnikom je nato tahimeter moral opraviti iskanje v glavnem v horizontalni smeri, saj zaradi snopa žarkov, ki ga je tahimeter oddajal, ni bilo potrebno veliko premikati daljnogleda v

vertikalni smeri. Tako je bil čas iskanja tarče odvisno predvsem samo od hitrosti vrtenja motorjev okoli vertikalne osi (Mataija Valh, M., in sod., 2008).



Slika 6: Snop žarkov sistema AIT pri tahimetru Leica TCRA1102 plus imenovan Power search (Benčič, D., 2008)

#### 4.2.1 AIT z aktivnimi tarčami

Pri sistemu AIT z aktivnimi tarčami je potrebno imeti poleg pasivnega reflektorja in daljinske kontrolne enote tudi poseben oddajnik, ki oddaja določeno elektromagnetno valovanje. Operater mora tako usmeriti oddajnik proti tahimetru, ki nato ob sprožitvi sistema AIT začne oddajati elektromagnetno valovanje in hkrati aktivira tahimeter, ki začne iskati reflektor tako, da se začne vrteti okoli svojih horizontalnih osi, dokler ni približno usmerjen proti reflektorju. Ko mikroprocesor zazna oddano valovanje, se rotiranje tahimetra ustavi in iz sistema AIT preide na fino viziranje s sistemom APT (Mataija Valh, M., in sod., 2008).



Slika 7: Slika aktivne tarče proizvajalca Topcon (Aktivne tarče, 2013)

#### 4.2.2 AIT s pasivnimi tarčami

Pri sistemu AIT s pasivnimi tarčami ima tahimeter v daljnogledu vgrajen poseben oddajnik in sprejemnik. Oddajnik začne ob sprožitvi sistema AIT oddajati snop žarkov, ki ima zelo ozek horizontalni kot in zelo širok vertikalni kot. Tako ni potrebno veliko rotirati tahimetra v vertikalni smeri, ampak se gibanje večinoma opravlja samo v horizontalni smeri. Ob sprožitvi sistema AIT se tako poleg oddajanja snopa žarkov sproži tudi rotiranje instrumenta okoli vertikalne osi. Instrument se vrti toliko časa, dokler sprejemnik na tahimetru ne zazna odbitega merskega žarka. Ko sprejemnik zazna odbiti signal, se rotiranje ustavi, in se začne daljnogled počasi premikati tudi okoli horizontalne osi. Ko je tahimeter približno usmerjen proti reflektorju, preide tahimeter v sistem APT, ki opravi fino viziranje tahimetra na reflektor.



Slika 8: Pasivni reflektor (Leica Geosystems, 2013)

Velik problem pri takšnem sistemu so moteči signali, ki se odbijajo od površin, kot so na primer šipe in zrcala ali umetna svetloba in neposredna sončna svetloba, ki so lahko precej močnejši od odboja reflektorja. Zato so proizvajalci razvili posebne algoritme za primerjanje odbitega merskega žarka z referenčnim signalom, ki predstavlja idealni odboj od reflektorja (Mataija Valh, M., in sod., 2008).



## 5 PREGLED TEHNOLOGIJE AVTOMATIZACIJE SODOBNIH TAHIMETROV

Na spletnih straneh večjih proizvajalcev geodetskih instrumentov, sem poiskal sodobne tahimetre s sistemi za avtomatizacijo ter v spodnji preglednici izpisal njihove tehnične podatke in jih med seboj primerjal. Iz preglednice je razvidno, da so si tahimetri po tehničnih lastnostih med seboj zelo podobni. Nekateri proizvajalci v primerjavi z drugimi ponujajo zelo malo podatkov.

Preglednica 1: Prikaz lastnosti sodobnih tahimetrov (Leica TS30, 2013, Sokkia SX105T, 2013, Topcon MS, 2013, Trimble S8, 2013).

	<b>Leica TS30</b>	<b>Sokkia SX105T</b>	<b>Topcon MS05AX</b>	<b>Trimble S8 DR HP</b>
<b>Natančnost Hz in V kotov</b>	0,5"	0,5"	0,5"	0,5"
<b>Največja hitrost rotiranja</b>	180°/sec	85°/sec	/	115°/s
<b>Vidno polje daljnogleda</b>	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
<b>Poimenovanje sistema AVT</b>	ATR mode	Auto-Pointing	Auto-Pointing	Auto Lock
<b>Delovanje sistema AVT</b>	CMOS kamera	/	CCD detektor	/
<b>Doseg sistema AVT</b>	GPR1 – 1000 m 360° prizma – 800 m	Standard prizma – 1000 m	Ena prizma: 1000 m Mini prizma 700 m 360° prizma 600 m	Pasivna prizma: 500–700 m, Trimble multi track target: 800 m
<b>Natančnost viziranja sistema AVT</b>	1" na daljše razdalje ±1mm na krajše razdalje	1"	2 mm na 200m	/
<b>Časovni interval viziranja AVT</b>	1.5 s (prizma v vidnem polju)	/	/	/
<b>Poimenovanje sistema AST</b>	Lock mode	Auto-Tracking	Power TRAC Auto-Tracking	/
<b>Doseg sistema AST</b>	GPR1 prizma – 800 m 360° prizma – 600 m	/	Ena prizma 800 m Mini prizma 600 m 360° prizma 500 m	/
<b>Največja hitrost sledenja</b>	9m/s na 20 m 45m/s na 100 m	5m/s na 20 m 25m/s na 100 m	/	/
<b>Poimenovanje sistema AIT</b>	Power search	/	Quick Lock	/

## 6 TAHIMETER LEICA TCRA 1102 PLUS

Za testiranje smo izbrali tahimeter Leica TCRA1102 plus. Izdelan je bil leta 2002 v Švici v tovarni Leica in je eden boljših tahimetrov iz serije TPS1100. Tahimeter ima poleg osnovnih sestavnih delov vgrajen laser za merjenje dolžin brez reflektorja, kar nakazuje črka R v oznaki modela. Plus nam pove, da ima tahimeter vgrajene servomotorje in črka A, da vsebuje sistem ATR za avtomatsko prepoznavanje tarče. Poleg naštetih sistemov višje stopnje avtomatizacije ima instrument vgrajen tudi sistem za avtomatsko iskanje tarče (AIT), katerega so proizvajalci v Leici poimenovali Power Search. Za hitrejšo izvedbo zakoličbe ima tahimeter na daljnogledu vgrajeni 2 luči, ki izmenično utripata in pomagata figurantu postaviti prizmo na pravo smer. Tahimeter ima opcijsko na voljo tudi daljinsko vodenje, vendar bi za testirane potreboval daljinski upravljalnik, ki pa tahimetru žal ni serijsko priložen (Kogoj, D. in sod. 2004).

Tahimeter uporablja za samodejno viziranje sistem detekcije maksimalne intenzitete povratnega signala, ki ga sprejema s pomočjo senzorja CCD. Naslednja generacija tahimetrov Leica TPS1200 so za sprejem odbitega signala že imeli vgrajene natančnejše CMOS senzorje (Tuno, N. in sod. 2010).



Slika 9: Tahimeter Leica TCRA 1102 plus

## 6.1 Tehnični podatki tahimetra Leica TCRA 1102 plus

Preglednica 2: Lastnosti tahimetra Leica TCRA 1102 plus (TPS1100, 2013)

<b>MERJENJE KOTOV</b>	
Natančnost merjenja kotov	0.6 mgon / 2"
Ločljivost	0.1 mgon / 1"
Metoda merjenja	absolutno, neprekinjeno, diametralno
Kompenzator	Centraliziran dvoosni kompenzator
Področje delovanja kompenzatorja	± 4'
<b>MERJENJE DOLŽINE (doseg)</b>	
Okrogla prizma (GPR1)	3000 m
360 ° prizma	1500 m
Mini prizma	1200 m
<b>MERJENJE DOLŽINE (natančnost)</b>	
Standardni način	± 2 mm; 2 ppm/ 1 sec
Hitri način	± 5 mm; 2 ppm/ 0,5 sec
Sledenje	± 5 mm; 2 ppm/ 0,3 sec
Hitro sledenje	± 10 mm; 2 ppm/ <0,15 sec
<b>MERJENJE DOLŽIN (brez reflektorja)</b>	
Podaljšan doseg	170 m
Standardni doseg	80 m
Dolg doseg na okroglo prizmo GPR1	1000 m–5000 m
Natančnost standardnega dosega	± 3 mm; 2pp m/ 3-6 sec, max 12 sec
Natančnost dolgega dosega	± 5mm; 2pp m/ 2,5 sec, max 8 sec
<b>AVTOMATSKO PREPOZNAVANJE TARČE</b>	
Hitrost rotiranja	45°/sec
Doseg ATR načina na okroglo prizmo GPR1	1000 m
Doseg LOCK načina na okroglo prizmo GPR1	800 m
Natančnost dolžine <300m	3 mm / 3 sec
Natančnost dolžine >300m	2" / 3–4 sec
<b>ISKANJE TARČE (Power Search)</b>	
Doseg - Okrogla prizma GPR1	200 m
Iskalni čas	< 10 sec
<b>VODILNA LUČ</b>	
Doseg	5 m–150 m
Pozicijska natančnost	5 cm na oddaljenosti 100 m

## 6.2 Programska oprema tahimetra Leica TCRA 1102plus

Število in vrsta programov, ki so naloženi na tahimeter, je odvisna od programskega paketa, katerega izberemo ob nakupu instrumenta. Standardni paket je osnovni paket s programi, ki so serijsko naloženi na tahimeter. Za posamezne programe ali celotne pakete pa je potrebno doplačilo. Za izbrani tahimeter Leica TCRA 1102 plus so na voljo trije paketi:

1. Standardni paket s serijsko naloženimi programi:
  - prosto stojišče,
  - orientacija/prenos višine,
  - zakoličba,
  - nedostopna višina,
  - ločni presek,
  - razdalja in azimut med dvema točkama (tie distance).
  
2. Napredni paket s sledečimi programi:
  - referenčna linija,
  - girusna metoda,
  - površina,
  - lokalni ločni presek,
  - COGO,
  - poligon (traverse).
  
3. Profesionalni paket:
  - referenčna linija,
  - COGO,
  - girusna metoda,
  - površina,
  - traverse,
  - lokalni ločni presek,
  - skrita točka,
  - referenčna plošča,
  - skeniranje,
  - primerjava digitalnega modela terena z dejanskim terenom (DTM stakeout),
  - avtomatsko snemanje (TPS1100, 2013).

## 7 TESTIRANJE SISTEMA APT Z ROČNIM VIZIRANJEM

### 7.1 Opravljanje meritev

Za testiranje natančnosti AVT sistema sem se odločil, da bom opravil meritve v več serijah, ki se bodo med seboj razlikovale po oddaljenosti vizirnih tarč od instrumenta. Izbral sem si razdalje 10 m, 50 m, 200 m in 500 m. V vsaki seriji sem postavil mersko bazo s 5 točkami, ki so predstavljale reflektorje na trinožnih stativih, saj sem tako omogočil stabilnost med opravljanjem meritev. V vsaki seriji sem izmeril 7 girusov, kar pomeni, da sem moral za eno serijo izvesti 70 meritev.

Vsako serijo sem izmeril dvakrat, in sicer enkrat ročno in drugič avtomatsko s pomočjo sistema za avtomatsko viziranje tarče, saj sem le tako lahko kasneje primerjali rezultate in natančnosti avtomatskega sistema viziranja z ročnim.



Slika 10: Prikaz postavitve točk in tahimetra na terenu pri opravljanju meritev na razdalji 50m

Prvi dve seriji na oddaljenosti 50 m in 10 m sem lahko zaradi krajše oddaljenosti opravil kar na domačem vrtu. Meritvi, pri katerih sem meril na tarče, ki sta bili oddaljeni 250 m in 500 m, sem opravil na bližnjem športnem letališču v Prilozju. Časovno je bilo avtomatsko viziranje v primerjavi z ročnim viziranjem za tretjino časa hitrejše, saj je potrebno instrument le grobo navizirati na reflektor in ni potrebno fino viziranje, kot sem to počel pri ročnem načinu merjenja.

## 7.2 Izračun natančnosti horizontalnih smeri

Za izračun natančnosti merjenja horizontalnih smeri sem uporabil enačbe, ki so zapisane v ISO standardu 17123-3. V programu Matlab, sem izdelal program, v katerega sem skopiral podatke o horizontalnih smereh iz GSI datotek. Tako sem izračun natančnosti za vse meritve časovno občutno skrajšal.

Najprej izračunamo aritmetično sredino opazovanih horizontalnih smeri v obeh krožnih legah po sledeči enačbi:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 180^\circ}{2}; \quad j = 1, 2, \dots, 7 \text{ in } k = 1, 2, \dots, 5$$

Nato reduciramo opazovan horizontalne smeri na prvo opazovano smer:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1}; \quad j = 1, 2, \dots, 7 \text{ in } k = 1, 2, \dots, 5$$

Po redukciji izračunamo aritmetično sredino opazovanih horizontalnih kotov vseh sedmih girusov po enačbi:

$$\bar{X}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k} + x'_{4,k} + x'_{5,k} + x'_{6,k} + x'_{7,k}}{7}; \quad k = 1, 2, \dots, 5$$

Razlika med aritmetično sredino in opazovanimi horizontalnimi smermi:

$$d_{j,k} = \bar{X}_k - x'_{j,k}; \quad j = 1, 2, \dots, 7 \text{ in } k = 1, 2, \dots, 5$$

Nato za vsak girus izračunamo aritmetično sredino razlik:

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5}; \quad j = 1, 2, \dots, 7,$$

Izračunamo odstopanja za vsak posamezen girus:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j; \quad j = 1, 2, \dots, 7 \text{ in } k = 1, 2, \dots, 5$$

Tako izračunana odstopanja morajo zadoščati pogoju za vsak posamezen girus:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0 ; j = 1, 2, \dots, 7$$

Vsota kvadratov odstopanja za i-to serijo se izračuna s sledečo enačbo:

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^7 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2$$

Za n girusov in t opazovanih točk znaša število prostostnih stopenj:

$$v = (n - 1) * (t - 1)$$

Empirično standardni odklon opazovane horizontalne smeri  $x_{j,k}$ , ki je bila opazovana v enem girusu in v obeh krožnih legah za i-to serijo, izračunamo po enačbi:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}}$$

Standardni odklon aritmetičnih sredin smeri za n girusov izračunamo po enačbi:

$$S_{\bar{i}} = \frac{s_i}{\sqrt{n}}$$

## 8 REZULTATI MERITEV

Po izračunu vseh terenskih meritev po enačbah iz standarda ISO 17123-3, ki sem jih navedel v prejšnjem poglavju, sem pridobil spodnje rezultate, ki predstavljajo standardno odstopanje opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu in v obeh krožnih legah.

Preglednica 3: Empirična standardna deviacija  $s$  opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu in v obeh krožnih legah

Razdalja	$S_i$ (ročno viziranje)	$S_i$ (avtomatsko viziranje)
10 m	1.636"	1.744"
50 m	1.781"	1.560"
250 m	2.756"	3.269"
500 m	1.046"	1.412"

Ker sem meritve iz razdalje 250 m izvedel v neprimernem vremenu, sem za to serijo pridobili zelo slabo natančnost. Meritve sem izvedel ob 16.00, ko je temperatura ozračja znašala 38 °C in so bili trinožni stativi ter tahimeter močno obsijani s soncem. To je zelo vplivalo na natančnost meritev, kar je razvidno tudi iz rezultatov, ki so označeni z rdečo barvo. Zaradi slabe natančnosti sem zato izvedel dodatne meritve pri 200 m, vendar je tudi pri tem merjenju prišlo do odstopanj. Zato sem meritve pri 200 m znova ponovil v skoraj idealnih razmerah, in sicer ob 19:00, ko se ozračje več ni segrevalo in so bili vsi stativi v senci. Tako sem le dobil ustrezne rezultate.

Preglednica 4: Empirična standardna deviacija  $s$  opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu in v obeh krožnih legah z dodatnimi meritvami

Razdalja	$S_i$ (ročno viziranje)	$S_i$ (avtomatsko viziranje)
10 m	1.636"	1.744"
50 m	1.781"	1.560"
200 m	1.884"	2.165"
200 mP	1.060"	1.197"
250 m	2.756"	3.269"
500 m	1.046"	1.412"

Razlika pri merjenju v slabih razmerah v primerjavi s tistimi v idealnih je kar velika in znaša okoli sekunde, kar je za meritve s tahimetrom, ki ima natančnost 2" pri tolikšnem številu girusov precejšna. Iz teh podatkov lahko vidimo, da je vpliv sonca na natančnost tahimetra zelo velika. Zato je pri meritvah, kjer potrebujemo dobro natančnost, pomembna izbira primerne časa opravljanja meritev.

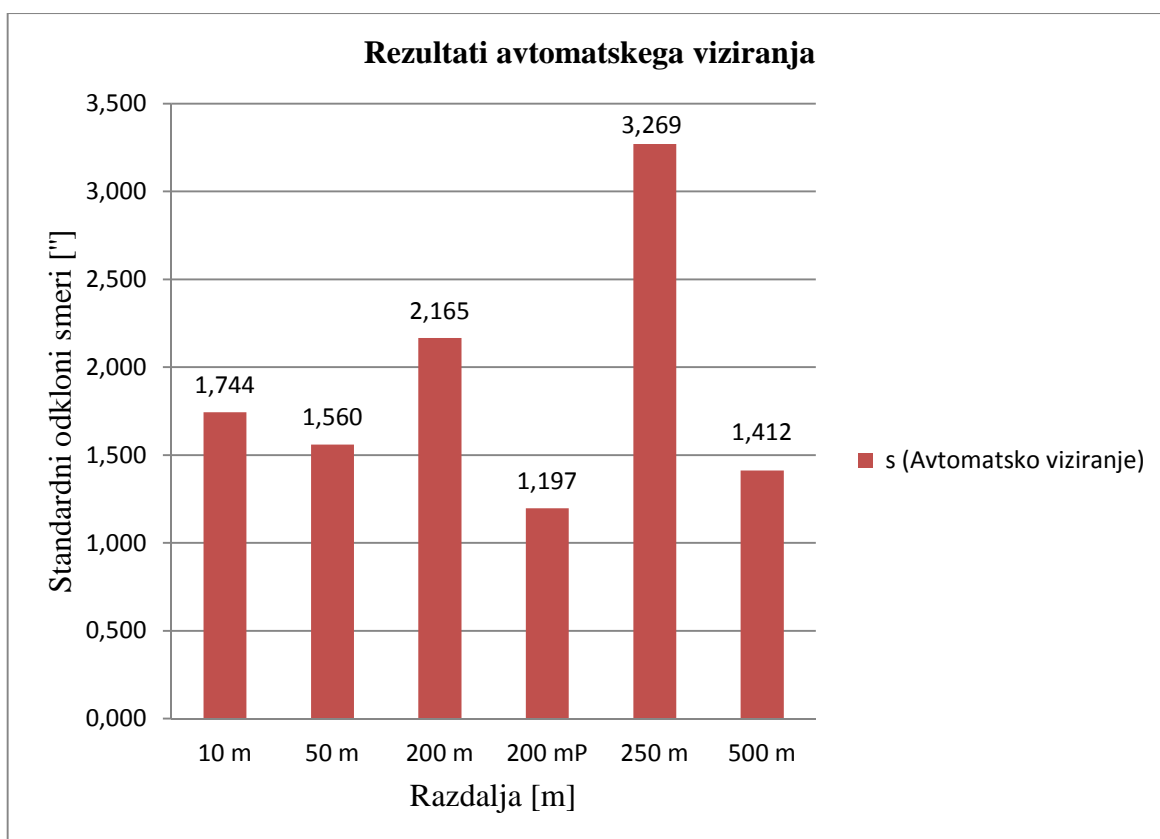


## 8.1 Rezultati avtomatskega viziranja

Pridobljeni podatki so pričakovane natančnosti razen tisti, pri katerih je prišlo do večjih odstopanj oziroma slučajnih pogreškov. Pri primerjavi standardnih odklonov smeri lahko opazimo, da se je z večanjem razdalje povečevala tudi natančnost, saj je prizma pri majhnih razdaljah pri opazovanju skozi okular velika in je težko navizirati sredino, medtem ko je pri večjih razdaljah ravno obratno.

Pri merjenju s pomočjo sistema ATR sem opazil, da je v primeru osvetljenosti okularja iz sprednje strani s soncem tahimeter potreboval nekoliko več časa za izmero. Kot je to razvidno iz slike tahimetra, ima na sprednji strani okularja vgrajen oddajnik in sprejemnik, s katerima sistem ATR pošilja in sprejema odbiti signal od reflektorja.

Za preizkus sem opravil tudi izmero v takšnih razmerah, in sicer sem izmeril 7 girusov s pomočjo sistema ATR na razdalji 200 m in pridobil vrednost standardnega odklona merjenega v enem girusu in v obeh krožnih legah 3.274". Podatki pridobljeni v takih razmerah so bili občutno slabše natančnosti kakor ostale meritve. Podoben standardni odklon sem pridobil tudi pri meritvah na razdalji 250 m, zato lahko sklepam, da je bil okular osvetljen tudi pri merjenju na tej razdalji.

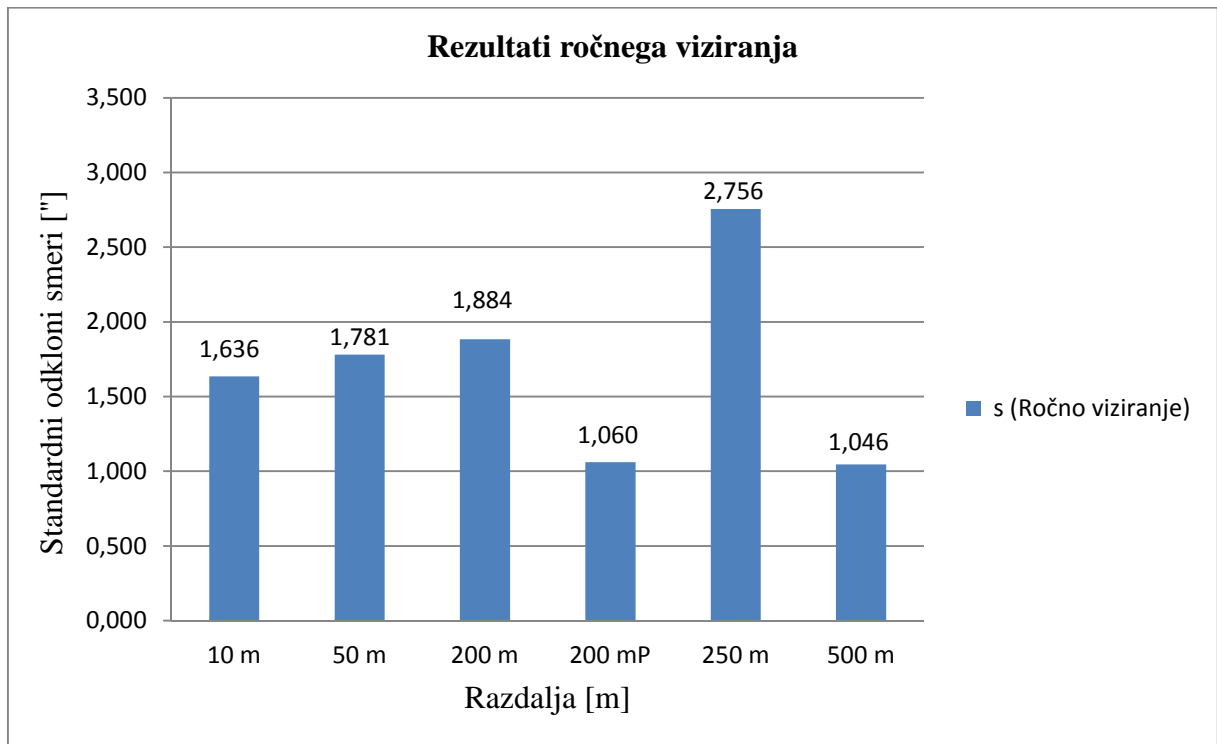


Slika 11: Graf standardnega odklona smeri pri avtomatskem viziranju

## 8.2 Rezultati ročnega viziranja

Rezultati, ki smo jih pridobili z ročnim viziranjem, so zelo podobni rezultatom, ki smo jih pridobili pri avtomatskem viziranju. Tudi tukaj se natančnost povečuje, ko se oddaljujemo od reflektorja oziroma ko opravljamo meritve iz daljših razdalj.

Tako pri avtomatskem kot pri ročnem viziranju je zelo pomembno, kako dobro stabiliziramo stativ, na katerem stoji tahimeter. Še posebej to velja pri ročnem viziranju, kjer je potrebno biti pri merjenju zelo pazljiv, saj je potrebno tahimeter in okular veliko vrteti in obračati, pri čemer mora biti tahimeter kar se da stabilen.



Slika 12: Graf standardnega odklona smeri pri ročnem viziranju

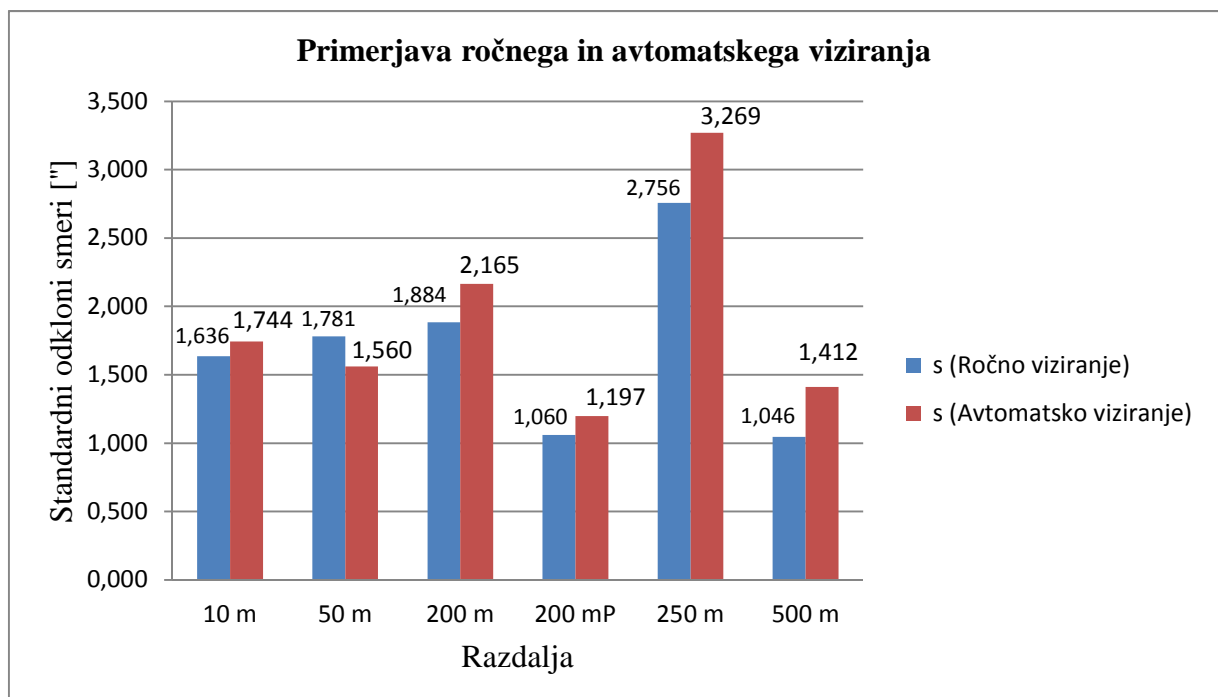
## 9 PRIMERJAVA ROČNEGA IN AVTOMATSKEGA VIZIRANJA

Iz rezultatov lahko vidimo, da je ročno viziranje v skoraj vseh primerih bolj natančno kot pa merjenje s pomočjo avtomatskega viziranja ATR. Razlika je samo pri merjenju pri razdalji 50 m, kjer je avtomatsko viziranje bolj natančno, in sicer za 0.221", kar je lahko tudi slučajnost. Glede na to, da sistem ATR izbere vedno smer največjega odboja signala, sem predvideval, da bom v primeru avtomatskega viziranja pridobil boljše rezultate kot pa v primerjavi z ročnim viziranjem.

Je pa razlika med obema načinoma viziranja majhna in znaša od 0.1" do približno 0.3". Tako je izbira med načinoma viziranja odvisna le od natančnosti, ki jo potrebujemo. Če potrebujemo boljšo natančnost, bomo izbrali ročno viziranje, če pa natančnost ni tako pomembna pa avtomatsko, pri kateri bomo meritve opravili hitreje.

Preglednica 5: Primerjava ročnega in avtomatskega viziranja in razlika med njima

Razdalja	$s_i$ (ročno viziranje)	$s_i$ (avtomatsko viziranje)	Razlika
10 m	1.636"	1.744"	0.108
50 m	1.781"	1.560"	- 0.221
200 m	1.884"	2.165"	0.281
200 mP	1.060"	1.197"	0.137
250 m	2.756"	3.269"	0.882
500 m	1.046"	1.412"	0.366



Slika 13: Graf primerjave ročnega in avtomatskega viziranja

## 10 NATANČNOST GLEDE NA ŠTEVILO GIRUSOV

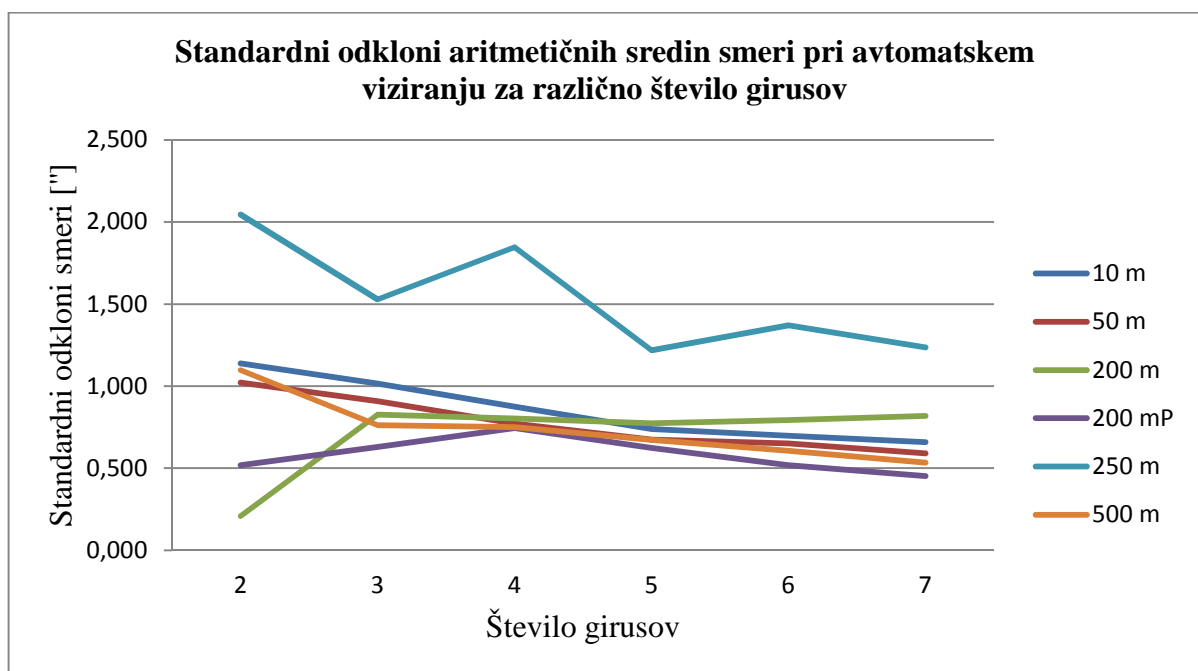
Poleg natančnosti, pri kateri smo uporabili vse meritve, sem izračunal še natančnosti, ki jih pridobimo, če v izračunu upoštevamo samo 2, 3, 4, 5, 6 in 7 girusov. Tako lahko v spodnji tabeli opazimo, kateri girus nam poslabša natančnost in kateri nam natančnost izboljša. Z rdečo barvo sem označil giruse, ki so bili slabše izmerjeni, saj se je glede na prejšnji izračun zaradi vključitve označenega girusa natančnost poslabšala.

### 10.1 Avtomatsko viziranje

Standardne odklone aritmetičnih sredin sem izračunal s pomočjo enačb, ki sem jih navedel v poglavju 7.2. Podatki o opravljenih meritvah so priloženi v prilogi A.

Preglednica 6: Standardni odkloni aritmetičnih sredin smeri pri avtomatskem viziranju za različno število girusov

Št. girusov	10 m	50 m	200 m	200 mP	250 m	500 m
2	1.138"	1.022"	0.209"	0.518"	2.044"	1.098"
3	1.016"	0.908"	0.827"	0.630"	1.528"	0.762"
4	0.876"	0.772"	0.804"	0.745"	1.847"	0.751"
5	0.738"	0.674"	0.773"	0.623"	1.218"	0.673"
6	0.697"	0.651"	0.793"	0.518"	1.371"	0.607"
7	0.659"	0.590"	0.818"	0.452"	1.236"	0.534"



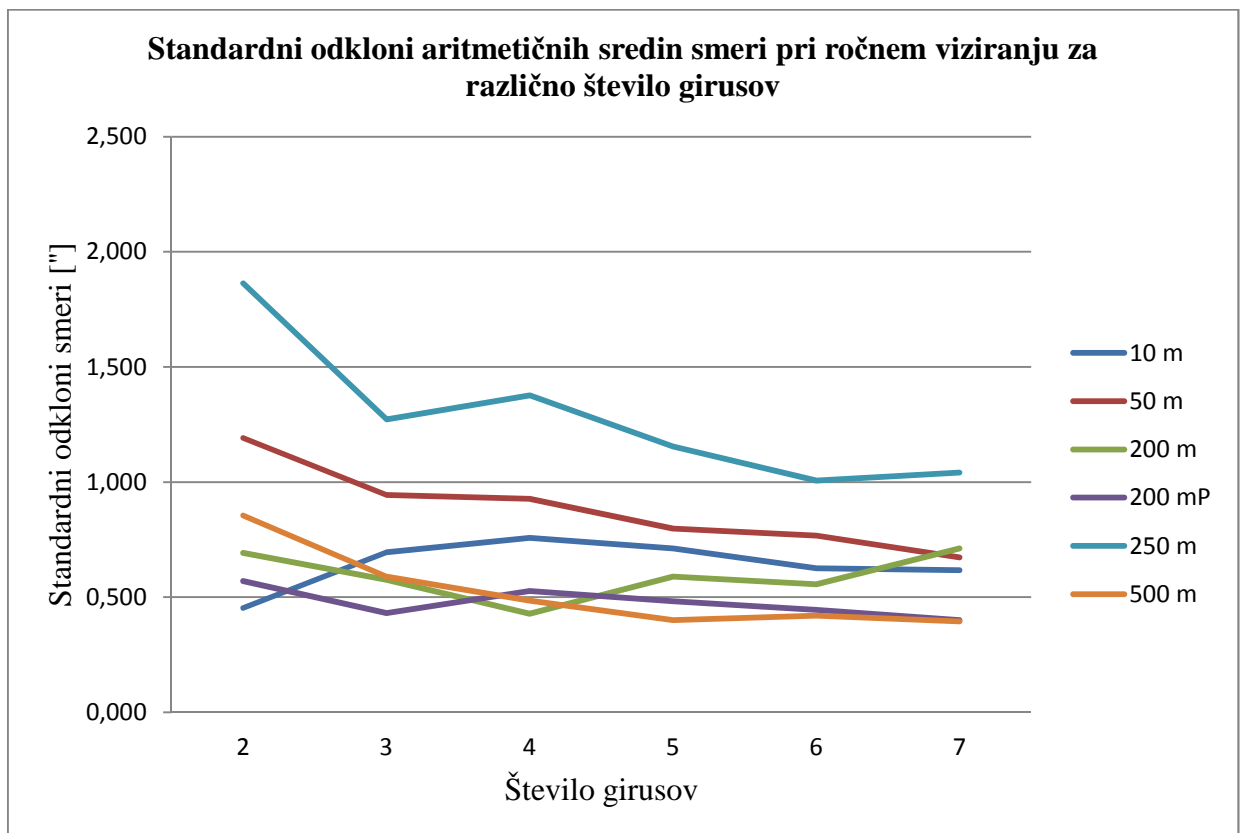
Slika 14: Graf standardnih odklonov aritmetičnih sredin smeri pri avtomatskem viziranju za različno število girusov

## 10.2 Ročno viziranje

Enako kot sem to izračunal za avtomatsko viziranje, sem tudi v primeru ročnega viziranja izračunal natančnosti, ki jih pridobimo z izračunom izbranega števila girusov. Podatki o opravljenih meritvah so priloženi v prilogi B. Iz slike 14 in 15 lahko razberemo, da se v primeru ročnega kot avtomatskega viziranja natančnost s številom girusov povečuje.

Preglednica 7: Standardni odkloni aritmetičnih sredin smeri pri ročnem viziranju za različno število girusov

Št. girusov	10 m	50 m	200 m	200 mP	250 m	500 m
2	0.454"	1.191"	0.693"	0.570"	1,863"	0.855"
3	0.695"	0.944"	0.576"	0.431"	1.272"	0.590"
4	0.758"	0.927"	0.428"	0.527"	1.377"	0.486"
5	0.712"	0.798"	0.590"	0.482"	1,154"	0.401"
6	0.626"	0.768"	0.556"	0.445"	1.006"	0.420"
7	0.618"	0.673"	0.712"	0.401"	1.042"	0.395"



Slika 15: Graf standardnih odklonov aritmetičnih sredin smeri pri ročnem viziranju za različno število girusov

## 11 ZAKLJUČEK

Glede na rezultate meritev in izbranega tahimetra lahko rečem, da je ročno viziranje v primeru tahimetra Leica TCRA1102 bolj natančno kot pa avtomatsko viziranje. Čeprav sem pred začetkom meritev in izračunom rezultatov mislil, da se bo zgodilo ravno obratno, saj je princip delovanja avtomatskega viziranja narejen tako, da vedno izbere smer, iz katere se vrne najmočnejše odbiti signal. Tako sem si predstavljal, da bo vedno naviziral skoraj v isto točko z manj odstopanji med girusi, kot pa je to bilo sicer. Mogoče je sedaj zaradi spremembe pogona pri tahimetrih Leica iz servo motorjev na piezo-električni pogon ter izboljšanih senzorjih avtomatsko viziranje boljše kot pa ročno.

Tako pri avtomatskem kot pri ročnem viziranju je zelo pomembno, da je stativ zelo stabilen. Še posebej to velja za ročno viziranje, kjer moramo veliko vrteti tahimeter in okular in lahko pri tem hitro pride do slučajnega premika, s katerim poslabšamo natančnost meritev. Poleg tega sta pomembna dejavnika, ki vplivata na natančnost tudi čas in vreme, v katerem izvajamo meritve. Opazil sem, da ob močnem soncu in temperaturi delovanje avtomatskega viziranja oslABLJENO, saj potrebuje za izmero meritev občutno več časa. Idealen čas meritev bi tako bil zgodaj zjutraj oziroma pozno popoldne, ko sonce več nima moči in se temperatura ozračja naglo ne spreminja. Pri izmeri, pri kateri potrebujemo večjo natančnost bi priporočal, da je okular s stranjo, iz katere izhaja signal obrnjen stran od sonca, saj tako pridobimo boljše rezultate.

## VIRI

Benčič, D. 1990. Geodetski instrumenti. Zagreb, Školska knjiga: 548 str.

Benčič, D., Solarič, N. 2008. Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatiki. Zagreb, Školska knjiga, d.d: 994 str.

Kogoj, D., Bilban, G., Bogatin, S. 2004. Tehnične lastnosti tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik 48, 4: 508–518.

Tuno, N., Mulahusić, A., Marjetič, A., Kogoj, D. 2010. Pregled razvoja elektronskih tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik 54, 4: 643–660.

Mataija Valh, M., Marjetič, A., Ježovnik, V., Kogoj, D. 2008. Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik 52, 3: 487–499.

ISO 17123-1:2010 Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments

Geoservis. 2013. Leica TM30. Lastnosti in delovanje Piezo-električnega pogona.

<http://www.geoservis.si/produkti/55-senzorji-in-strojna-oprema-za-monitoring/47-leicatm30>

(Pridobljeno 28. 3. 2013.)

Leica Geosystems. 2013. Slika pasivnega reflektorja.

[http://www.leica-geosystems.com/images/new/product\\_solution/GPH-1P-PIC-500x500.jpg](http://www.leica-geosystems.com/images/new/product_solution/GPH-1P-PIC-500x500.jpg)

(Pridobljeno 25. 8. 2013.)

Leica TS30. 2013. Brošura tahimetra Leica TS30.

[http://www.geoservis.si/images/stories/Produkti/leica\\_ts30/ts30\\_brochure\\_en.pdf](http://www.geoservis.si/images/stories/Produkti/leica_ts30/ts30_brochure_en.pdf) (Pridobljeno 20. 4.

2013.)

Aktivne tarče. 2013. FIG Congress: Show Preview. Slika sistema aktivnih tarč.

<http://www.pobonline.com/ext/resources/POB/2002/03/Files/Images/66613.jpg> (Pridobljeno 25. 8.

2013.)

Leica Piezo. 2013. Slika Piezo-električnega pogona tahimetrov Leica Geosystems.

<http://www.surveyequipment.com/total-stations/ts30-tm30-series/leica-tm30-monitoring-total-station#.UiNbDuWrFyU> (Pridobljeno 25. 8. 2013.)

Leica ATR. 2013. Slika iskalnega polja sistema ATR pri tahimetrih Leica Geosystems

<http://www.tse-ak.com/?cid=628> (Pridobljeno 26. 8. 2013.)

Topcon MS. 2013. Lastnosti in tehnični podatki tahimetra Topcon MS.

<http://www.topconpositioning.com/products/total-stations/robotic/ms-series> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

TPS1100. 2013. Brošura tahimetrov Leica Geosystems serije TPS1100.

[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1100/brochures/TPS1100\\_us.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1100/brochures/TPS1100_us.pdf)  
(Pridobljeno 14. 5.2013.)

Trimble. 2013. Brošura sistema MagDrive tahimetra Trimble S6.

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-208581/022543100\\_TrimbleS6\\_MagDrive\\_WP\\_1204\\_lr.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-208581/022543100_TrimbleS6_MagDrive_WP_1204_lr.pdf) (Pridobljeno 28. 3. 2013.)

Trimble S8. 2013. Tehnični podatki tahimetra S8.

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390412/022543-410F\\_TrimbleS8\\_DS\\_1011\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390412/022543-410F_TrimbleS8_DS_1011_LR.pdf) (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

Sokkia SX105T. 2013. Brošura s tehničnimi podatki tahimetra Sokkia SX105T.

[http://eu.sokkia.com/sites/default/files/product/downloads/topcon\\_294664\\_sx\\_brochure\\_b\\_a4\\_en\\_eu\\_low.pdf](http://eu.sokkia.com/sites/default/files/product/downloads/topcon_294664_sx_brochure_b_a4_en_eu_low.pdf) (Pridobljeno 21.4.2013)



## PRILOGA A

### Podatki avtomatskega viziranja

#### 10 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	147°15'42"	147°15'43,5"	147°15'46"	147°15'48,5"	147°15'48,5"	147°15'48,5"	147°15'47"
<b>B</b>	1°13'13,5"	1°13'13,5"	1°13'15,5"	1°13'15"	1°13'15,5"	1°13'19"	1°13'16"
<b>C</b>	36°36'42,5"	36°36'41"	36°36'43,5"	36°36'42"	36°36'45"	36°36'42,5"	36°36'48"
<b>D</b>	69°28'11"	69°28'15,5"	69°28'12,5"	69°28'16,5"	69°28'19"	69°28'18"	69°28'15,5"
<b>E</b>	93°41'29,5"	93°41'29,5"	93°41'27"	93°41'31"	93°41'32"	93°41'35"	93°41'32"
$\sigma_{\alpha}$	/	1.609"	1.760"	1.752"	1.650"	1.708"	1.744"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	1.138"	1.016"	0.876"	0.738"	0.697"	0.659"

#### 50 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	78°11'22,5"	78°11'22"	78°11'28"	78°11'25,5"	78°11'26"	78°11'22,5"	78°11'25"
<b>B</b>	91°18'20,5"	91°18'23,5"	91°18'26"	91°18'27,5"	91°18'22,5"	91°18'19"	91°18'20"
<b>C</b>	107°22'22"	107°22'21"	107°22'23"	107°22'24,5"	107°22'23,5"	107°22'17,5"	107°22'20,5"
<b>D</b>	122°52'24"	122°52'27,5"	122°52'27,5"	122°52'26"	122°52'27"	122°52'25"	122°52'23,5"
<b>E</b>	141°16'38,5"	141°16'39"	141°16'39,5"	141°16'42"	141°16'42"	141°16'39,5"	141°16'39"
$\sigma_{\alpha}$	/	1.445"	1.572"	1.543"	1.507"	1.597"	1.560"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	1.022"	0.908"	0.772"	0.674"	0.651"	0.590"

#### 200 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	11°34'29,5"	11°34'27"	11°34'29,5"	11°34'21,5"	11°34'27,5"	11°34'26,5"	11°34'24"
<b>B</b>	18°4'43"	18°4'40"	18°4'42,5"	18°4'38"	18°4'36,5"	18°4'39,5"	18°4'37"
<b>C</b>	24°28'24,5"	24°28'21,5"	24°28'20,5"	24°28'20,5"	24°28'20"	24°28'18"	24°28'22"
<b>D</b>	31°20'19"	31°20'15,5"	31°20'17"	31°20'14,5"	31°20'14,5"	31°20'9,5"	31°20'8"
<b>E</b>	37°31'12,5"	37°31'10"	37°31'15,5"	37°31'10,5"	37°31'13,5"	37°31'6,5"	37°30'38"
$\sigma_{\alpha}$	/	0.296"	1.433"	1.607"	1.728"	1.943"	2.165"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.209"	0.827"	0.804"	0.773"	0.793"	0.818"

**200 mP**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	78°20'1"	78°20'4"	78°20'4"	78°20'6"	78°20'6,5"	78°20'4"	78°20'4,5"
<b>B</b>	82°59'11"	82°59'13,5"	82°59'10"	82°59'17,5"	82°59'16"	82°59'14"	82°59'12"
<b>C</b>	88°37'50"	88°37'50,5"	88°37'49"	88°37'50,5"	88°37'53"	88°37'51"	88°37'49,5"
<b>D</b>	96°11'30,5"	96°11'32,5"	96°11'33"	96°11'33,5"	96°11'33,5"	96°11'33"	96°11'31"
<b>E</b>	104°37'59"	104°38'2"	104°38'0,5"	104°38'0,5"	104°38'1"	104°38'2"	104°38'0"
$\sigma_{\alpha}$	/	0.733"	1.091"	1.489"	1.393"	1.270"	1.197"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.518"	0.630"	0.745"	0.623"	0.518"	0.452"

**250 m**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	174°48'56,5"	174°48'56,5"	174°48'57"	174°48'55,5"	174°48'55,5"	174°48'59,5"	174°49'1"
<b>B</b>	169°9'32"	169°9'30"	169°9'29"	169°9'42"	169°9'33,5"	169°9'33,5"	169°9'30"
<b>C</b>	164°50'11"	164°50'17"	164°50'8"	164°50'10"	164°50'12"	164°50'11"	164°50'11,5"
<b>D</b>	158°46'35,5"	158°46'32,5"	158°46'35,5"	158°46'31,5"	158°46'35"	158°46'34,5"	158°46'37,5"
<b>E</b>	152°36'38"	152°36'33,5"	152°36'33,5"	152°36'35,5"	152°36'34,5"	152°36'27"	152°36'34,5"
$\sigma_{\alpha}$	/	2.890"	2.647"	3.693"	3.222"	3.358"	3.269"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	2.044"	1.528"	1.847"	1.218"	1.371"	1.236"

**500m**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	114°16'8"	114°16'10"	114°16'11,5"	114°16'12,5"	114°16'14,5"	114°16'15"	114°16'16"
<b>B</b>	111°23'51"	111°23'51"	111°23'55"	111°23'54"	111°23'58,5"	111°23'55"	111°23'55,5"
<b>C</b>	109°13'32"	109°13'36"	109°13'36,5"	109°13'36,5"	109°13'39,5"	109°13'39,5"	109°13'39"
<b>D</b>	106°11'4,5"	106°11'4"	106°11'5,5"	106°11'7"	106°11'8"	106°11'7"	106°11'9,5"
<b>E</b>	103°2'37"	103°2'35,5"	103°2'37"	103°2'34"	103°2'43"	103°2'37,5"	103°2'40"
$\sigma_{\alpha}$	/	1.553"	1.320"	1.503"	1.505"	1.486"	1.412"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	1.098"	0.762"	0.751"	0.673"	0.607"	0.534"

## PRILOGA B

### Podatki ročnega viziranja

#### 10 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	147°15'57"	147°15'54,5"	147°15'54,5"	147°15'51,5"	147°15'55"	147°15'55"	147°15'52"
<b>B</b>	1°13'23,5"	1°13'22"	1°13'18"	1°13'20,5"	1°13'19"	1°13'20"	1°13'23"
<b>C</b>	36°36'49"	36°36'48"	36°36'49"	36°36'49,5"	36°36'45,5"	36°36'50,5"	36°36'48,5"
<b>D</b>	69°28'24"	69°28'22,5"	69°28'20,5"	69°28'18"	69°28'21"	69°28'20"	69°28'22,5"
<b>E</b>	93°41'39,5"	93°41'39,5"	93°41'37,5"	93°41'35"	93°41'39,5"	93°41'37,5"	93°41'41"
$\sigma_\alpha$	/	0.642"	1.204"	1.516"	1.592"	1.534"	1.636"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.454"	0.695"	0.758"	0.712"	0.626"	0.618"

#### 50 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	78°11'12"	78°11'8"	78°11'7"	78°11'10,5"	78°11'13,5"	78°11'12,5"	78°11'22"
<b>B</b>	91°18'11"	91°18'1,5"	91°18'7"	91°18'8"	91°18'10,5"	91°18'13"	91°18'21,5"
<b>C</b>	107°22'7,5"	107°22'0"	107°22'6,5"	107°22'6"	107°22'11"	107°22'14,5"	107°22'19,5"
<b>D</b>	122°52'9,5"	122°52'5,5"	122°52'9"	122°52'13"	122°52'16,5"	122°52'17,5"	122°52'24,5"
<b>E</b>	141°16'27,5"	141°16'20,5"	141°16'24"	141°16'30,5"	141°16'33"	141°16'30,5"	141°16'37,5"
$\sigma_\alpha$	/	1.684"	1.722"	1.855"	1.784"	1.882"	1.781"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	1.191"	0.944"	0.927"	0.798"	0.768"	0.673"

#### 200 m

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	11°34'39,5"	11°34'37"	11°34'38,5"	11°34'37"	11°34'39"	11°34'33,5"	11°34'38,5"
<b>B</b>	18°4'54,5"	18°4'51,5"	18°4'50,5"	18°4'50"	18°4'48"	18°4'50"	18°4'48"
<b>C</b>	24°28'35,5"	24°28'33,5"	24°28'30"	24°28'31,5"	24°28'32"	24°28'29,5"	24°28'23,5"
<b>D</b>	31°20'25"	31°20'25,5"	31°20'24,5"	31°20'24"	31°20'21"	31°20'23,5"	31°20'21"
<b>E</b>	37°31'22"	37°31'19,5"	37°31'18,5"	37°31'18,5"	37°31'21"	37°31'18,5"	37°31'19"
$\sigma_\alpha$	/	0.981"	0.998"	0.855"	1.320"	1.363"	1.884"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.693"	0.576"	0.428"	0.590"	0.556"	0.712"

**200 mP**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	78°20'7,5"	78°20'9"	78°20'8,5"	78°20'6,5"	78°20'8,5"	78°20'7"	78°20'8 "
<b>B</b>	82°59'19"	82°59'18,5"	82°59'19,5"	82°59'17"	82°59'16,5"	82°59'17,5"	82°59'17,5"
<b>C</b>	88°37'59"	88°37'58,5"	88°37'57,5"	88°37'55"	88°37'55"	88°37'58,5"	88°37'55"
<b>D</b>	96°11'37,5"	96°11'39,5"	96°11'37,5"	96°11'39,5"	96°11'37"	96°11'36,5"	96°11'36,5"
<b>E</b>	104°38'5"	104°38'5,5"	104°38'5"	104°38'3,5"	104°38'4,5"	104°38'5"	104°38'3"
$\sigma_{\alpha}$	/	0.806"	0.747"	1.053"	1.078"	1.089"	1.060"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.570"	0.431"	0.527"	0.482"	0.445"	0.401"

**250 m**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	174°48'45"	174°48'57"	174°49'2,5"	174°48'54"	174°49'6,5"	174°49'1,5"	174°49'15,5"
<b>B</b>	169°9'26"	169°9'30,5"	169°9'36"	169°9'40,5"	169°9'40"	169°9'40,5"	169°9'44"
<b>C</b>	164°50'2"	164°50'8,5"	164°50'14,5"	164°50'12"	164°50'21,5"	164°50'19"	164°50'20"
<b>D</b>	158°46'24"	158°46'36,5"	158°46'39,5"	158°46'41"	158°46'45,5"	158°46'39"	158°46'47"
<b>E</b>	152°36'24,5"	152°36'36,5"	152°36'36,5"	152°36'40"	152°36'45,5"	152°36'42,5"	152°36'47"
$\sigma_{\alpha}$	/	2.634"	2.203"	2.753"	2.580"	2.465"	2.756"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	1,863"	1.272"	1.377"	1,154"	1.006"	1.042"

**500 m**

	I. girus	II. girus	III. girus	IV. girus	V. girus	VI. girus	VII. girus
<b>A</b>	114°16'2,5"	114°16'10,5"	114°16'11,5"	114°16'14"	114°16'14"	114°16'11,5"	114°16'12,5"
<b>B</b>	111°23'42,5"	111°23'54"	111°23'55"	111°23'55"	111°23'56,5"	111°23'55"	111°23'53"
<b>C</b>	109°13'26"	109°13'37"	109°13'38,5"	109°13'38"	109°13'40,5"	109°13'40"	109°13'36"
<b>D</b>	106°10'55,5"	106°11'8"	106°11'9,5"	106°11'10"	106°11'10"	106°11'10,5"	106°11'6,5"
<b>E</b>	103°2'29"	103°2'39"	103°2'41"	103°2'40"	103°2'43"	103°2'39"	103°2'40"
$\sigma_{\alpha}$	/	1.209"	1.039"	0.971"	0.897"	1.030"	1.046"
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	/	0.855"	0.590"	0.486"	0.401"	0.420"	0.395"