

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:

Tomšič, M., 2016. Določitev adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 50 str.

Datum arhiviranja: 08-07-2016

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:

Tomšič, M., 2016. Določitev adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 50 pp.

Archiving Date: 08-07-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GEODEZIJA  
SMER GEODEZIJA V  
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

**MARKO TOMŠIČ**

**DOLOČITEV ADICIJSKE KONSTANTE MINI  
REFLEKTORJEV GMP 111**

Diplomska naloga št.: 429/GI

**DETERMINATION OF THE ADDITION CONSTANTS  
MINI PRISM GMP 111**

Graduation thesis No.: 429/GI

**Mentor:**

doc. dr. Božo Koler

**Somentor:**

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 29. 06. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Na mesto**

**Naj bo**

## IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Tomšič Marko  
vpisna številka 26202885, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom:  
Določitev adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111

### IZJAVLJAM

#### 1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ormožu

Datum: 2. 6. 2016

Podpis študenta/-ke:

\_\_\_\_\_

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Ta stran je namenoma prazna.

---

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

**UDK:** 528.5:681.783.2(497.4)(043.2)

**Avtor:** Marko Tomšič

**Mentor:** doc. dr. Božo Koler

**Somentor:** asist. Tilen Urbančič

**Naslov:** Določitev adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111

**Obseg in oprema:** 50 str., 20 sl., 16 pregl. 53 en., 5 pril.

**Ključne besede:** adicijska konstanta, mini prizma, instrument

### **POVZETEK:**

Na tržišču je ogromno proizvajalcev geodetske opreme, ki trdijo, da je njihov izdelek tako točen, kot to navajajo. V sklopu te diplomske naloge smo preverili adicijsko konstanto treh mini reflektorjev GMP 111 in ali ta odgovarja navedbam proizvajalca. V diplomski nalogi so predstavljeni elektronski razdaljemerji in reflektorji. Obravnavani so tudi pogoški, ki vplivajo na kakovost izvedenih meritev. Bistvo diplomske naloge je analiza adicijske konstante. Izmero smo izvedli v zaprtem prostoru in na prostem. Naredili smo tri serije meritev za posamezno prizmo na treh različnih dolžinah in dobili rezultate. Te rezultate smo primerjali z navedbami proizvajalca in jih analizirali v zaključku.

---

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

- UDC:** 528.5:681.783.2(497.4)(043.2)
- Author:** Marko Tomšič
- Supervisor:** assist. prof. Božo Koler Ph.D.
- Co-supervisor:** assist. Tilen Urbančič B.Sc.
- Title:** Determination of the addition constants mini prism GPM 111
- Notes:** 50 p., 20 fig., 16 tab., 53 eq., 5 ann.
- Key words:** addition constant, mini prism, instrument

### **ABSTRACT**

The market is full of geodesic equipment manufacturers, each with various claims as to the accuracy of their products. In the scope of this thesis, we have measured the addition constant of three GMP 111 mini prisms, and examined how accurate the manufacturer's claims are. The thesis also presents electronic distance measurers and reflectors. Various different errors, which affected the quality of the measurements, are detailed in the thesis. Its core consists of the analysis of the addition constant. The measurements were done both indoors and outdoors. We made three series of measurements for each prism over three different distances; those were the source of my results. These were then compared with the manufacturer's claims and were analysed in the conclusion.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Božu Kolerju za usmerjanje, strokovno pomoč in dober odnos pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi somentorju asist. Tilnu Urbančiču za pomoč in predloge pri pisanju diplomske naloge.

Hvala tudi Saši S., Tinu K. in Aniti R.

Prav tako se zahvaljujem svoji družini za podporo skozi celoten študij.



**KAZALO VSEBINE**

1	UVOD .....	1
1.1	Namen.....	1
2	ELEKTRONSKI RAZDALJEMERI.....	3
2.1	Elektromagnetno valovanje pri razdaljemerih.....	4
2.2	Način razdelitve razdaljemerov .....	6
2.2.1	Impulzni elektronski razdaljemerji .....	6
2.2.2	Interferenčni elektronski razdaljemerji .....	9
2.2.3	Fazni elektronski razdaljemerji.....	9
3	REFLEKTORJI.....	15
3.1	Značilnosti reflektorjev .....	15
3.2	Merjenje z reflektorjem .....	18
3.3	Merjenje brez reflektorja .....	18
4	POGREŠKI PRI MERJENJU DOLŽIN Z ELEKTRONSKIMI RAZDALJEMERI .....	21
4.1	Vpliv pogreškov atmosfere.....	21
4.1.1	Lomni količnik $n$ .....	21
4.1.2	Vpliv gostote atmosfere .....	23
4.2	Instrumentalni pogreški .....	24
4.2.1	Modulacijska frekvenca.....	24
4.2.2	Ciklični pogrešek (pogrešek faze) .....	26
4.2.3	Pogrešek adicijske konstante (ničelne točke razdaljemera in reflektorja).....	27
4.2.4	Pogreški pri orientaciji reflektorja .....	28
5	METODOLOGIJA .....	31
5.1	Instrumentarij.....	31
5.2	Postopek merjenja.....	36

---

5.2.1	Prva serija meritev .....	37
5.2.2	Druga serija meritev .....	39
5.2.3	Tretja serija meritev .....	39
5.3	Izračuni srednje vrednosti merjene dolžine in adicijske konstante .....	40
5.4	Določitev skladnosti adicijske konstante z navedbo proizvajalca .....	42
5.5	Ocena natančnosti določitve adicijske konstante .....	42
6	<b>PREDSTAVITEV REZULTATOV</b> .....	45
6.1	Rezultati in njihova analiza .....	45
6.1.1	Rezultati za kratko dolžino 2,8599 m.....	45
6.1.2	Rezultati za srednjo dolžino 13,6044 m .....	46
6.1.3	Rezultati za najdaljšo dolžino 65.3219 m .....	47
6.1.4	Vrednosti empirične adicijske konstante.....	49
6.2	Primerjava adicijskih konstant .....	49
7	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	51
VIRI	.....	53
SEZNAM PRILOG	.....	55

---

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz karakteristik instrumenta Leica Nova MultiStation MS50.....	31
Preglednica 2: Prikaz meritev v prvi seriji.....	38
Preglednica 3: Prikaz meritev v drugi seriji.....	39
Preglednica 4: Prikaz meritev v tretji seriji.....	40
Preglednica 5: Rezultati za precizni reflektor WILD GPH1P številka 1 .....	45
Preglednica 6: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema.....	45
Preglednica 7: Srednja vrednost krajše merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111 .....	46
Preglednica 8: Adicijske konstante za krajšo dolžino.....	46
Preglednica 9: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema.....	46
Preglednica 10: Srednja vrednost srednje merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111 .....	47
Preglednica 11: Adicijske konstante za srednjo dolžino.....	47
Preglednica 12: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema.....	48
Preglednica 13: Srednja vrednost najdaljše merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111....	48
Preglednica 14: Adicijske konstante za najdaljšo dolžino .....	48
Preglednica 15: Srednja vrednost adicijskih konstant mini reflektorjev GMP 111 .....	49
Preglednica 16: Prikaz razlike med našo in adicijsko konstanto, ki jo navaja proizvajalec ....	49

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Elektromagnetni spekter.....	5
Slika 2: Način primerjave referenčnega in merskega signala v razdaljemeru.....	7
Slika 3: Način merjenja dolžin pri faznih elektronskih razdaljemerih .....	11
Slika 4: Precizni reflektor Leica (model GPH1P) .....	15
Slika 5: Prikaz trirobo prizme in prehod žarka skozi jo .....	16
Slika 6: Položaj odbojne prizme glede na stojiščno os reflektorja .....	17
Slika 7: Ekscentriciteta razdaljemera in reflektorja.....	27
Slika 8: Podaljšanje optične poti .....	29
Slika 9: Premik centra prizme .....	30
Slika 10: Instrument Leica Nova MultiStation MS50.....	31
Slika 11: Precizna reflektorja WILD GPH1P številka 1 in 2 .....	33
Slika 12: Trinožnik Leica GDF 22 .....	33
Slika 13: Nastavek Leica za reflektorje GZR 2.....	33
Slika 14: Mini reflektor GMP 111.....	34
Slika 15: Meteo station Hm 30.....	34
Slika 16: precizni reflektor WILD GPH1P (zgoraj), jekleni nastavek (na sredini), mini reflektorji GMP 111 (spodaj) .....	35
Slika 17: Slika mini reflektorja GMP 111 na jeklenem nastavku .....	35
Slika 18: Betonski steber v učilnici zimske vaje .....	36
Slika 19: Precizna reflektorja WILD GPH1P (reflektor 1 in 2 sta enaka) .....	37
Slika 20: Novi mini reflektor na podnožju (reflektorji A, B in C so enaki).....	38



# 1 UVOD

## 1.1 Namen

S tehnološkim razvojem prihajajo nove inovacije in s tem večja natančnost elektronskih razdaljemerov. Novejši instrumenti, ki jih geodeti uporabljajo, imajo pod pogojem, da so kalibrirani, popolno notranjo natančnost. Na to natančnost izmerjene dolžine vpliva le še gostota atmosfere, skozi katero se svetlobni žarek širi. Tako lahko te pogreške omenimo kot pogreške okolja in instrumentalne pogreške. Prav slednji so posledica nepopolne konstrukcije instrumenta in pribora, s katerima merimo. Med pomembnejšimi sta pogrešek merila instrumenta in pogrešek adicijske konstante (ničelne točke) razdaljemera in reflektorja (Kogoj in sodelavci, 2003).

Namen naloge je preveriti vrednost adicijske konstante, ki jo navaja proizvajalec. Diplomaska naloga temelji na praktičnem primeru izmere adicijske konstante za tri nove mini prizme GMP 111. Proizvajalec preizkušenih reflektorjev navaja adicijsko konstanto reflektorja 17,5 milimetrov. Za potrebe preizkusa smo na fakulteti pridobili ves potreben instrumentarij ter prostor, kjer smo izvajali meritve. Vse meritve smo opravili v enem dnevu, saj smo tako poskušali zagotoviti enake oziroma podobne pogoje za izmero. Izmera je bila izvedena v učilnici zimske vaje ter na strehi fakultete, kjer smo imeli idealne pogoje, saj ni bilo direktnega sonca, temperatura in tlak pa sta bila konstantna.

Diplomska naloga je razdeljena na dva dela, in sicer na teoretični in praktični del. Teoretični del zajema opis razdaljemerov, reflektorjev in pogreškov, ki so prisotni pri merjenjih dolžin.

Praktični del pa zajema opis našega terenskega in pisarniškega dela. Najprej smo opravili terenski del. Največ težav smo imeli z menjavo reflektorjev. Paziti smo morali na pravilno zaporedje reflektorjev in njihovo postavitvev. Pridobljene podatke smo obdelali in jih preračunali. Potem smo dobili rezultate, na podlagi katerih smo postavili svojo trditev.



## 2 ELEKTRONSKI RAZDALJEMERI

Za merjenje z elektronskimi razdaljemerji uporabljamo princip, ko merimo velikost dolžine na osnovi izmerjenega časa. Med to končno in začetno točko prepotuje elektromagnetno valovanje celotno dolžino (Kogoj, 2005).

Pri praktičnem oziroma terenskemu delu na eno točko postavimo instrument, medtem ko na drugo točko postavimo reflektor. Za potrebe meritev potrebujemo tudi dodatni instrumentarij. Več ali manj so vsi elektronski razdaljemerji elektrooptični in je uporaba pasivnih reflektorjev dovolj (ne potrebujejo osvetlitve). Sam instrument je izvor elektromagnetnega valovanja, ki ga skozi oddajno optiko instrumenta usmerimo proti reflektorju. Ko pride valovanje do prizme reflektorja se elektromagnetni valovi odbijejo od prizme in potujejo nazaj do instrumenta ter se s tem vrnejo nazaj po isti poti vse do sprejemne optike instrumenta.

V tem primeru poznamo čas oddaje signala ( $t_i$ ), prav tako čas sprejema signala ( $t_n$ ) in s temi podatki lahko določimo čas potovanja valovanja (Kogoj, 2005).

$$\Delta t = t_n - t_i. \quad (1)$$

Kot smo omenili, je  $\Delta t$  čas, ki ga potrebuje valovanje, da dvakrat prepotuje dolžino. Za to ima instrument možnost, da čas določi direktno ali indirektno s primerjavo referenčnega in merskega signala oziroma s primerjavo zunanje in notranje poti elektromagnetnega vala. Ta se v homogenem ozračju enakomerno giblje z enakomerno hitrostjo ( $c$ ) med dvema točkama ( $D$ ), kjer v tem času valovanje prepotuje dvojno dolžino ( $\Delta t$ ). Razloženo z enačbo:

$$D = \frac{c\Delta t}{2}. \quad (2)$$

Za dober rezultat moramo zelo dobro poznati ali dobro določiti čas potovanja  $\Delta t$  in hitrost valovanja  $c$  (Kogoj, 2005).

Določitev konstante za hitrost svetlobe je bila izmerjena v vakuumu in njena vrednost je  $c_0 = 299792458 * (1 \pm 4 * 10^{-9})ms^{-1}$ . Leta 1983 so na novo definirali enoto za dolžino, ki je definirana na osnovi hitrosti svetlobe. Definicija, ki so jo sprejeli, se glasi: "En meter je dolžina poti, ki jo prepotuje elektromagnetno valovanje v vakuumu v času  $1/299792458$  s" (Kogoj, 2005, str. 12).



Elektromagnetno valovanje v zelo kratkem času prepotuje zelo dolgo dolžino, zato je čas treba meriti z veliko natančnostjo in zato intervala  $\Delta t$  ne merimo direktno.

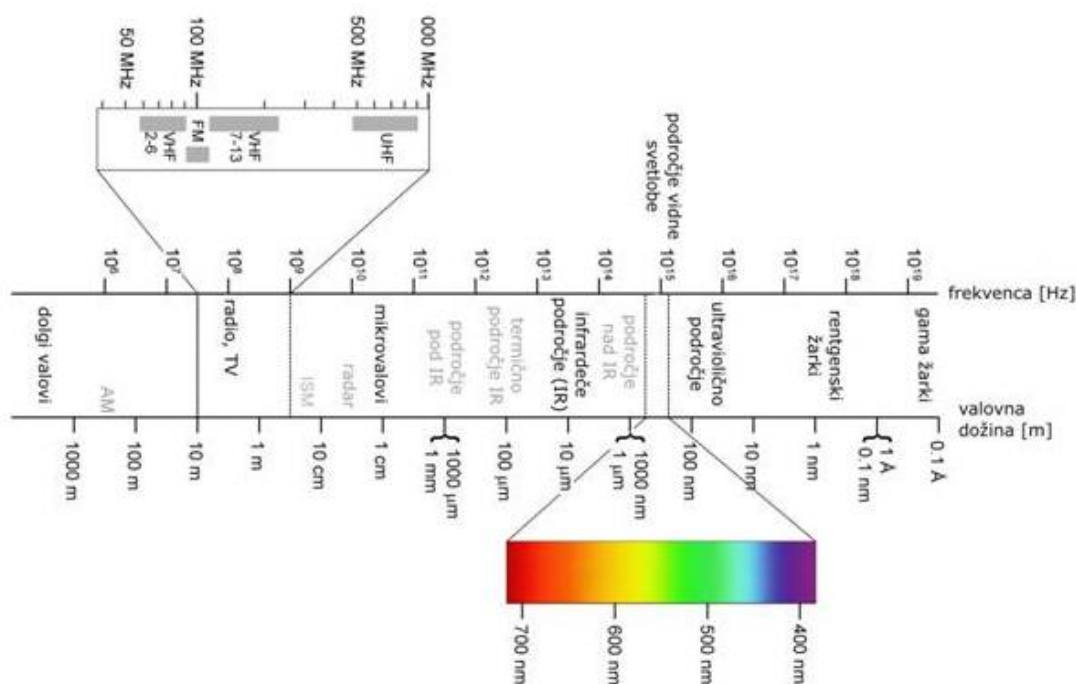
Na trgu je veliko različnih elektronskih razdaljemerov. Največ se uporabljajo elektrooptični razdaljemerji, ki za svoje merjenje razdalj uporabljajo vidno ali infrardečo svetlobo. V samem instrumentu je svetilo, ki je izvor visokofrekvenčnega elektromagnetnega valovanja, ki ga z oddajno optiko usmerimo v sam reflektor. Zaradi divergence in absorpcije v atmosferi ima lahko povratni žarek tudi do milijonkrat manjšo jakost svetlobe. Ko pride signal do fotodetektorja, se spremeni v električni signal, ki se ojači ter ga lahko potem instrument primerja z referenčnim signalom. Rezultat, ki ga dobimo, je vrednost merjene dolžine (Kogoj, 2005).

## 2.1 Elektromagnetno valovanje pri razdaljemerih

Valovanje je časovno in krajevno ponavljanje nihanja, ki se pojavi v elektromagnetnem polju in se širi v določeni smeri. Opisujemo ga kot transverzalno nihanje, kar pomeni, da sta smer širjenja valovanja in smer nihanja elektromagnetnega polja med seboj pravokotni. Za osnovo elektromagnetnega valovanja imamo svetlobni element, ki periodično niha s frekvenco  $f$  [1/s], kar povzroči ustvarjanje elektromagnetnega žarka. Kot rezultat nihanja dobimo elektromagnetne valove, ki se širijo s svetlobno hitrostjo  $c$ . Frekvenca  $f$  in svetlobna hitrost  $c$  sta v povezavi z valovno dolžino  $\lambda$  [m] podani:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (3)$$

Tu lahko govorimo o harmoničnem valovanju, saj ga lahko opišemo s sinusoido in kosinusoido. To je valovanje različnih valovnih dolžin, zato imenujemo to valovanje elektromagnetni spekter. Elektromagnetni spekter lahko vsebuje radijske valove, mikrovalove, infrardečo svetlobo, vidno svetlobo, ultravijolično svetlobo, rentgenske žarke, žarke gama in kozmične žarke (Vinkl, 2004).



Slika 1: Elektromagnetni spekter

([http://www.servers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/upravljanje\\_ik/40\\_brezicna/02\\_datoteka.html](http://www.servers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/upravljanje_ik/40_brezicna/02_datoteka.html))

Če želimo imeti elektromagnetno valovanje, potrebujemo izvor valovanja. Ta izvor so svetila, ki omogočajo spreminjanje električne energije v svetlobo. Poznamo nekaj svetil: plinske žarnice (xenon, živosrebrne), laserje, luminiscenčne diode in laserske diode.

Pri izdelavi elektronskih razdaljemerov lahko uporabljamo naslednja območja valovnih dolžin:

- mikrovalovi (8 mm – 10 cm),
- infrardeča svetloba (8 mm – 0,8  $\mu\text{m}$ ),
- vidna svetloba (4  $\mu\text{m}$  – 1,3  $\mu\text{m}$ ).

Osnovna delitev elektronskih razdaljemerov je nastala na osnovi teh območij valovnih dolžin. Glede na tip elektromagnetnega valovanja so nastale naslednje vrste razdaljemerov:

- mikrovalovni razdaljemerji (uporabljajo mikrovalove),

- elektrooptični razdaljemerji (uporabljajo vidno svetlobo in del območja infrardeče svetlobe) (Vinkl, 2004).

Mikrovalovni razdaljemerji so bili nekoč zelo uporabni v klasični geodeziji, sedaj pa ne več toliko. Zelo so občutljivi na spremembo pogojev (še posebej na spreminjanje vlažnosti) v atmosferi, skozi katero gre valovanje. Pri mikrovalovnih razdaljemerjih obstaja možnost, da se pojavijo večja odstopanja od premočrnosti širjenja valovanja. Valovanje se tako odbije od bližnjih objektov in terena ter tako ustvari lažne signale, ki jih imenujemo večpotje. Kot prednost teh razdaljemerov lahko omenim to, da niso vezani na vidnost, kar pomeni, da z njimi lahko merimo skozi oblake, meglo ... Kot pomoč pri merjenju z mikrovalovnimi razdaljemerji moramo uporabiti aktivni reflektor. Ta reflektor nam pomaga tako, da ko sprejme žarek z razdaljemera, ga najprej ojači in nato odda nazaj v smeri razdaljemera.

Elektrooptični razdaljemerji so danes zelo uporabni v klasični geodeziji. Za svoje delovanje ne potrebujejo velike razpršenosti snopa svetlobe, zato nam zadostuje že pasivni reflektor, ki ne ojači žarka ob stiku, ampak ga samo pošlje nazaj v smeri instrumenta. Niso občutljivi na spreminjajoče pogoje v atmosferi in z njimi ne moremo opravljati meritev skozi meglo ali oblake. Tudi doseg teh razdaljemerov je krajši (od mikrovalovnih), ker imajo večjo absorpcijo in sipanje svetlobe v atmosferi, skozi katero potuje valovanje (Vinkl, 2004).

## **2.2 Način razdelitve razdaljemerov**

Različni modeli elektronskih razdaljemerov nam omogočajo različne načine pridobivanja vrednosti dolžin. Med njimi poznamo impulzni, interferenčni in fazni način merjenja razdalj. Tako lahko elektrooptične razdaljemerje razdelimo glede na način merjenja v tri skupine:

- impulzni elektronski razdaljemerji,
- interferenčni elektronski razdaljemerji,
- fazni elektronski razdaljemerji (Kogoj, 2005).

### **2.2.1 Impulzni elektronski razdaljemerji**

Impulzni elektronski razdaljemerji so dobili svoje ime po obliki svetlobnega žarka, s pomočjo katerega merijo dolžino. Pri tem instrumentu svetilo znotraj njega generira svetlobno valovanje v obliki svetlobnih impulzov. Ta tehnologija temelji na direktnem merjenju časa, ki

ga opravi svetlobni impulz, za dolžino od razdaljema do reflektorja in nazaj ( $\Delta t$ ). Ob znani hitrosti impulza 10 ns, kar je 3 m, je izračun dolžine enostaven (Berdajs in sodelavci 2010) (Cvetko, 2007).

Enačba za dolžino D:

$$D = \frac{c\Delta t}{2}. \quad (4)$$

Čas, ki ga valovanje prepotuje na dvakratni razdalji:

$$\Delta t = \frac{2D}{c}. \quad (5)$$

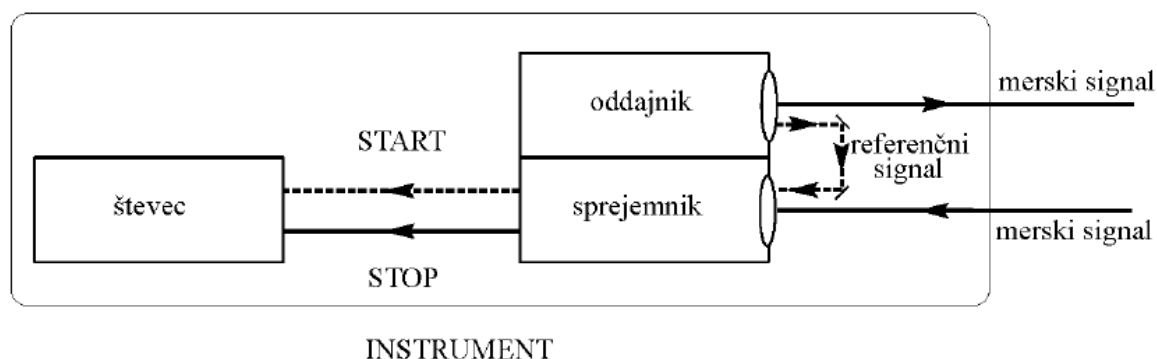
Enačba za standardni odklon merjenja časa:

$$\sigma_{\Delta t} = \frac{2}{c} \sigma_D. \quad (6)$$

Za katere velja:  $\sigma_D$  – standardni odklon merjene dolžine [mm],

$c$  – hitrost elektromagnetnega valovanja (konstanta).

Iz zgornjih enačb vidimo, da zahtevana natančnost določitve časa ni odvisna od velikosti dolžine, je pa v odvisnosti s tem, kako natančno želimo določiti dolžino. Če bi želeli dolžino določiti z natančnostjo  $\pm 5$  mm, moramo imeti vrednost  $\Delta t$  določeno z natančnostjo  $\pm 0,033$  ns. Ti impulzni elektronski razdaljemerji dolgo časa niso imeli zadostne natančnosti merjenja časa in se niso veliko uporabljali v geodetske namene vse do 90-tih let 20. stoletja (Skakić, 2007).



Slika 2: Način primerjave referenčnega in merskega signala v razdaljemeru (Kogoj, 2005)

Poznamo dva načina merjenja časa:

- digitalni način – tukaj uporabljamo določitev časa s pomočjo konstante visoke frekvence (300 MHz), s katero niha frekvenčni oscilator, ki predstavlja natančno stoparico. S tem načinom merjenja časa pridemo do decimetrsk natančnosti, če pa imamo večje število meritev, lahko pridemo tudi do milimetrsk natančnosti.
- analogno-digitalni način – je boljši od digitalnega načina merjenja časa. Prav tako uporablja frekvenčni oscilator, ki uporablja nižjo frekvenco od digitalnega, 15 MHz. Zaradi te metode ima razdaljemer ločljivost nekaj milimetrov. Ta natančnost se da povečati z večjim številom meritev v krajšem času, kjer lahko pridemo do ločljivosti 0,1 mm (Vinkl, 2004).

Prednosti impulznih razdaljemerov:

- dosegajo isto natančnost kot fazni, in sicer v krajšem času merjenja, kjer grobo merjenje odpade,
- ker imajo močno svetlobno jakost impulzov ni problematično meriti razdalj brez reflektorjev do 350 metrov ( ta dolžina se počasi povečuje),
- merimo lahko dolžine do 15 km (impulzni sunki so kratki in zelo močni),
- nekateri sistematični pogreški, ki pa so sicer značilni za fazne razdaljemere, odpadejo,
- impulzni način omogoča enolične rezultate izmerjenih dolžin in visoko ločljivost,
- zaradi svoje enostavnejše konstrukcije so lažji kot fazni elektrooptični razdaljemerji.

Slabosti impulznih razdaljemerov:

- zaradi varnosti, jakosti laserskega impulza, ni dovoljeno povečevati v nedogled,
- ko merimo dolžine brez reflektorja, je natančnost manjša.

Atmosferski vplivi zelo deformirajo obliko svetlobnega impulza, zato je natančnost izmerjene dolžine slabša (Kogoj, 2005).

## 2.2.2 Interferenčni elektronski razdaljemer

Ime so dobili zaradi izkoriščanja fizikalnega pojava, ki mu pravimo interferenca svetlobe. V osnovi to pomeni, da se dva koherentna svetlobna žarka združita in nastane interferenčna slika. Zaradi fazne razlike med žarkoma je oblika interferenčne slike odvisna od njiju. Ko pride do nihanja žarkov v fazi, se ta ojačita in interferenčna slika je seštevek velikosti amplitud žarkov. Če pa je fazna razlika ista kot  $\pi$ , to povzroči, da žarka oslabita in amplitudi se med sabo odštejeta, zato nastane tema (Kogoj in sodelavci 2009).

V večini primerov je izvor svetlobe pri interferenčnih razdaljemerih helij-neonov laser, ki je tudi delilec žarka, s katerim se zagotavlja koherentnost žarkov. Če imata žarka enaki frekvenci, stalno fazno razliko in enako valovno dolžino, sta koherentna. Ta delilec žarkov razdeli laserski žarek na referenčni žarek in merski žarek. Referenčni ima na fotodetektorju stalno fazo, merski žarek pa ima fazo, ki se spreminja s spremembo položaja merskega reflektorja (Berdajs in sodelavci, 2010) (Cvetko, 2007).

Dobre lastnosti interferenčnih razdaljemerov:

- merjenje dolžin je najnatančnejše,
- največja ločljivost pri merjenju dolžin.

Slabosti interferenčnih razdaljemerov:

- zahteven postopek meritev, kjer se uporablja drag pribor in instrumentarij,
- pri merjenju dolžine mora biti zagotovljen kontinuiran premik merskega reflektorja od začetne do končne točke,
- uporabljamo jih za natančno merjenje deformacij in premikov, ter za laboratorijske meritve in krajše dolžine do 50 m (Kogoj, 2005).

## 2.2.3 Fazni elektronski razdaljemer

V današnjem času so fazni elektronski razdaljemer najbolj razširjeni razdaljemer. Njihovo delovanje temelji na osnovi moduliranega elektromagnetnega delovanja, pri tem je modulacija združitev dveh ali več valovanj iste vrste. V tem primeru združujemo dve elektromagnetni valovanji, ki se mogoče ujemata v frekvenci ali fazi ali pa sta oba elementa različna.

Modulacijo tako dosežemo s spreminjanjem parametrov valovanj v času in prostoru z modulatorji (Kogoj in sodelavci 2009) (Cvetko, 2007).

Pri faznih elektronskih razdaljemerih združujemo dve valovanji, in sicer:

- nosilno valovanje – tukaj je svetilo (luminiscenčna dioda, laser, laserska dioda) izvor elektromagnetnega valovanja zelo visokih frekvenc  $f_n$  (nekje  $10^5$  GHz). Tako valovanje omogoča premočrtnost razširjanja v atmosferi. Nosilnemu valovanju lahko drugače rečemo tudi nosilec informacije faze. Od lastnosti nosilnega valovanja so odvisni doseg razdaljamera, hitrost valovanja in absorpcija svetlobe,
- mersko valovanje - pomeni modulacijo nosilnega valovanja. Tukaj je izvor valovanja kremenov kristal. Kremenov kristal modulira mersko (modulacijsko) frekvenco  $f_M$ , ki je nižja od frekvence nosilnega valovanja, njen razpon je od 15 MHz do 100 MHz. Polovična modulacijska valovna dolžina je dolžinska merska enota, ki nam jo zagotavlja modulacijska frekvenca, njena velikost se giblje od 1.5 m do 10 m. Pri najnatančnejših je celo do 0.3 m (Vinkl, 2004).

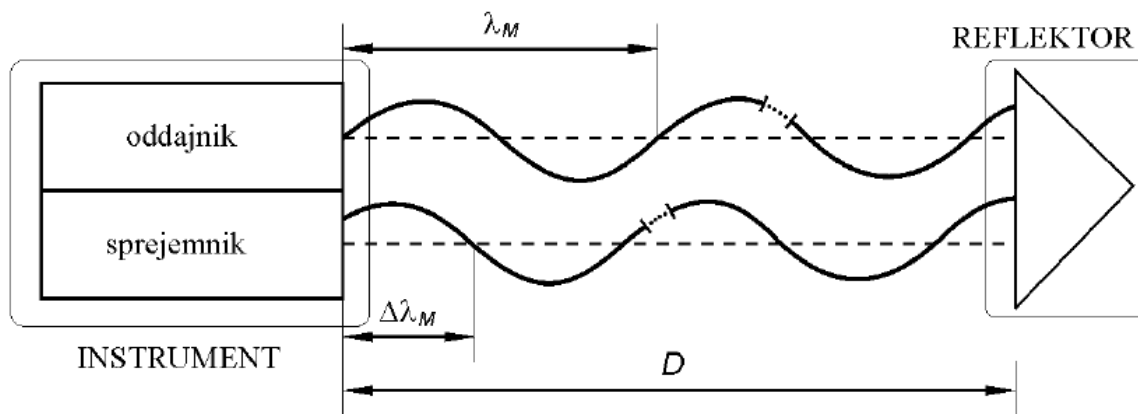
Poznamo več vrst modulacij, ki so odvisne od parametrov valovanja. Med najpomembnejšimi sta frekvenčna in amplitudna modulacija. Frekvenčna je manj uporabna in pomeni časovno spreminjanje frekvence valovanja. Amplitudna modulacija omogoča določitev faze merskega valovanja na osnovi jakosti, predstavlja združitev nosilnega in merskega valovanja, se uporablja pri elektronskih razdaljemerih in pomeni časovno spreminjanje amplitude valovanja. Za amplitudno valovanje velja, da na osnovi svetlobnega žarka, razdaljemer določi fazo merskega valovanja (Skakić, 2007).

Delitev nosilnega valovanja glede na svetilo:

- direktna modulacija – njen izvor sta laserska dioda ali luminiscenčna dioda. Za to modulacijo je jakost svetlobnega žarka sorazmerna z napetostjo na koncu diode in sprememba jakosti svetlobnega žarka brez zakasnitve sledi visokofrekvenčni spremembi modulacijske napetosti,
- indirektna modulacija – njen izvor so termične žarnice, plinske žarnice ali plinski laserji. Za indirektno modulacijo potrebujemo modulatorje, glavni sestavni deli teh pa so snovi s posebnimi optičnimi lastnostmi. Ko takšna snov je v njihovem električnem

polju, se s spreminjanjem električnega polja spreminjajo tudi njene optične lastnosti (Kogoj, 2005).

Merjenje pri faznih razdaljemerih je drugačno kot pri impulznih. Valovna dolžina je odvisna od modulacijske frekvence, prav tako pa tudi od sredstva, skozi katerega potuje.



Slika 3: Način merjenja dolžin pri faznih elektronskih razdaljemerih (Kogoj, 2005)

To predstavimo kot:

$$\lambda_M = \frac{c}{f_M}. \quad (7)$$

Za katere velja:

$\lambda_M$  = valovna dolžina moduliranega valovanja (merskega) [m],

$f_M$  = modulacijska frekvenca [1/s],

$c$  = hitrost nosilnega svetlobnega valovanja v sredstvu.

Tako zapišemo dvakrat pretečeno dolžino od razdaljema do reflektorja (pot merskega žarka) v enotah modulacijskih valovnih dolžin (Skakić, 2007).

$$2D = N\lambda_M + \Delta\lambda_M, \quad (8)$$



$$D = N \frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2}. \quad (9)$$

Za katere velja:

$N$  = število polovičnih valovnih dolžin na merjeni poti,

$\Delta\lambda_M$  = del modulacijske valovne dolžine (merske), določen na osnovi merjenja fazne razlike med merskim in referenčnim žarkom. To prikažemo z enačbo:

$$\Delta\lambda_M = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda_M. \quad (10)$$

Pri faznem merjenju gre za določevanje števila polovičnih modulacijskih valovnih dolžin  $N$  in fazne razlike  $\Delta\varphi$  med merskim in referenčnim žarkom (signalom). Fazni razdaljemerji so tako dobili ime na osnovi postopka meritve ugotavljanja fazne razlike med primerjanima žarkoma (Skakić, 2007).

Označimo lahko:

$$U = \frac{\lambda_M}{2} - \text{merska enota [m]}, \quad (11)$$

$$R = \frac{\Delta\lambda_M}{2} - \text{ostanek [m]}. \quad (12)$$

Tako lahko dobimo enačbo za dolžino:

$$D = N * U + R. \quad (13)$$

Izmeriti dolžino s faznim razdaljemerom med dvema točkama pomeni določiti velikosti ostanka  $R$  in števila enot  $N$ .

Glede na natančnost lahko fazne razdaljemere delimo na dve skupini:

- osnovni so fazni razdaljemerji običajne natančnosti, kjer znaša standardni odklon dolžine  $\sigma_D = \pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ . So najbolj uporabni za geodetska dela in jih vsi proizvajalci vgrajujejo v sklop tahimetrov.
- precizni fazni razdaljemerji so boljši, pri njih znaša standardni odklon  $\sigma_D = \pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$ . So zelo natančni in uporablja se jih kot samostojne razdaljemere. Zaradi

dobrih karakteristik pa so predragi, zato jih za običajne geodetske naloge in dela ne uporabljamo (Skakić, 2007).

Dobre lastnosti faznih razdaljemerov:

- najbolj kompaktni in eni izmed cenejših instrumentov, ki imajo med elektrooptičnimi razdaljemerji najbolj preizkušen postopek merjenja,
- neobčutljiva meritev, če se signal kratkotrajno časovno,
- na krajših razdaljah, za merjenje dolžin, ne potrebuješ reflektorja.

Slabosti faznih razdaljemerov:

- merjenje časovno traja dlje,
- obstajajo specifični ciklični pogreški,
- ko imamo daljše dolžine moramo meriti z več modulacijskimi frekvencami, ki lahko poslabšajo natančnost meritev,
- sami fazni razdaljemerji uporabljajo zelo zapleteno optiko in porabijo veliko električne energije (Kogoj, 2005).



### 3 REFLEKTORJI

Reflektorji (slika 4) so naprave, ki omogočajo odboj svetlobnega žarka vzporedno s smerjo vpada žarka. Ker je eden izmed glavnih sestavnih delov reflektorja odbojna prizma, smo posledično imenovali reflektor, kar prizma. Izdelani so iz tristranega zrcala. Če bi bilo izdelano iz ravnega zrcala, bi bilo skoraj neuporabno, ker bi ga morali vedno postavljati popolnoma pravokotno na vpadni žarek.

Ločimo dva tipa reflektorjev:

- pasivni reflektorji – so narejeni tako, da sprejmejo in odbijejo vpadni svetlobni žarek vzporedno s smerjo vpada nazaj proti razdaljemeru,
- aktivni reflektorji – so narejeni tako, da sprejmejo, ojačijo in odbijejo vpadni svetlobni žarek, vzporedno s smerjo vpada nazaj proti razdaljemeru (Vinkl, 2004).



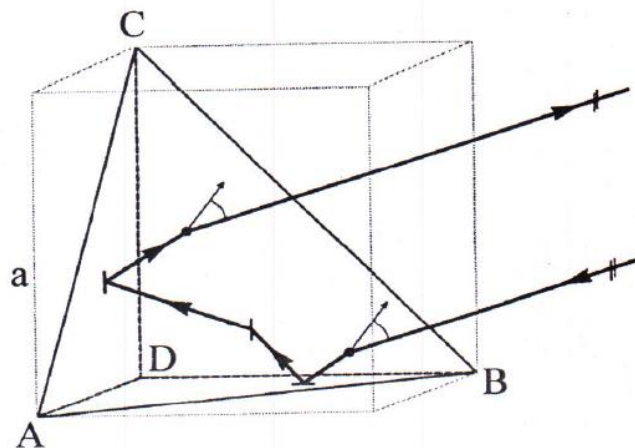
**Slika 4: Precizni reflektor Leica (model GPH1P)**

(<http://surveyequipment.com/leica-gph1p-precision-prism/>)

#### 3.1 Značilnosti reflektorjev

Za reflektor je najpomembnejši sestavni del triroba prizma (slika 5), ki jo najlažje dobimo, če preprosti kocki odrežemo en vogal. Sama prizma je vgrajena v ohišje, ki jo varuje pred mehanskimi udarci. Med sestavne dele reflektorja štejemo še nosilca prizme (stojiščno os

reflektorja), libelo in vizirno tarčo (običajno je centrična), ki služi za merjenje vertikalnih in horizontalnih kotov (Vinkl, 2004).



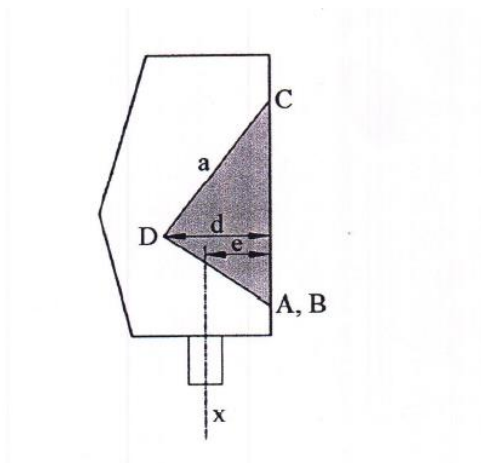
**Slika 5: Prikaz trirobo prizme in prehod žarka skozi**  
(Kogoj, 2005)

Za trirobo prizmo je značilno, da ima med seboj tri pravokotne in posrebrene ploskve, ki so: pravokotni trikotnik  $\Delta ADC$  (stranska posrebrana ploskev), pravokotni trikotnik  $\Delta BCD$  (stranska posrebrana ploskev) in pravokotni trikotnik  $\Delta ADB$  (stranska posrebrana ploskev). Enakostranični trikotnik  $\Delta ABC$  pa je osnovna ploskev.

Svetlobni žarek, ki prihaja od razdaljemera (slika 5), pade na osnovno ploskev (enakostranični trikotnik  $\Delta ABC$ ), kjer se lomi in pade na prvo posrebrano ploskev (pravokotni trikotnik  $\Delta ADB$ ). Tukaj se odbije in pade na drugo posrebrano ploskev (pravokotni trikotnik  $\Delta ADC$ ), kjer se še enkrat odbije in pade na tretjo posrebrano ploskev (pravokotni trikotnik  $\Delta BCD$ ). Ta ga odbije nazaj na osnovno ploskev, na kateri se lomi ter izstopi iz reflektorja vzporedno z vpadnim žarkom. Zaradi te lastnosti prizme reflektorja, je lahko reflektor obrnjen tudi do  $20^\circ$  stran od razdaljemera in je še vedno zagotovljen odboj žarka vzporedno z vpadnim žarkom v isti smeri (Kogoj, 2005).

Položaj odbojne prizme in stojiščna os reflektorja morata biti med seboj usklajena. Za odbojno prizmo velja, da mora zagotavljati pravo mesto odboja svetlobnega žarka glede na

stojiščno os reflektorja. Pri vseh reflektorjih tega ni mogoče zagotoviti, kar je prikazano na sliki 6.



Slika 6: Položaj odbojne prizme glede na stojiščno os reflektorja  
(Kogoj, 2005)

Oddaljenost  $d$  [m] mesta odboja od osnovne ploskve prizme  $a$  [cm] je višina pravilne piramide dana z izrazom:

$$d = \frac{\sqrt{3} \cdot a}{3}. \quad (14)$$

Ko pade svetlobni žarek pravokotno na osnovno ploskev (enakostranični trikotnik  $\Delta ABC$ ), bo optična pot svetlobnega žarka  $W$  [cm] znotraj odbojne prizme:

$$W = 2 \cdot d \cdot n_s. \quad (15)$$

Za katere velja:  $n_s$  – lomni količnik stekla prizme (Vinkl, 2004).

Za primer, ki ga kaže zgornja slika (slika 6), je treba zgornjo dolžino popraviti za konstanto reflektorja oziroma ekscentriciteto reflektorja  $k_R$  [mm], ki jo imamo dano z izrazom:

$$k_R = e - n_s \cdot d. \quad (16)$$

Za katere velja:  $e$  – oddaljenost osi reflektorja od osnovne ploskve prizme [cm].

Za nas bi bilo idealno, če bi bila ekscentriciteta reflektorja  $k_R$  enaka 0, kar pomeni, da stojiščna os reflektorja in osnovna ploskev sovpadata.

Običajno je ekscentriciteta reflektorja  $k_R$  vsebovana v vrednosti *adicijske konstante*  $k_a$  [mm], ki jo določimo elektronskim razdaljemerom skupaj s pripadajočim (uporabljenim) reflektorjem (Kogoj, 2005).

### 3.2 Merjenje z reflektorjem

Za merjenje dolžin v geodeziji večinoma uporabljamo reflektorje. Ko merimo krajše razdalje, uporabljamo en reflektor, za daljše dolžine pa lahko celo več reflektorjev oziroma sistem reflektorjev, ki pa je odvisen od zahtevane natančnosti in dosega razdaljemera. Ko se odločimo za merjenje dolžin z uporabo reflektorja, na začetno točko postavimo elektronski razdaljemer, na končno točko pa postavimo reflektor. Za oba, reflektor in razdaljemer velja, da sta centrirana in horizontirana. V postopku, ko elektronski razdaljemer odda svetlobni žarek proti reflektorju in ko žarek doseže reflektor, se od njega odbije in vrne v isti smeri proti elektronskemu razdaljemeru. V tem obdobju se izmeri čas potovanja svetlobnega signala, na osnovi katerega se nato znotraj elektronskega razdaljemera izračuna dolžina.

Za elektronske razdaljemere, ki uporabljajo reflektorje pri merjenju dolžin velja, da nimajo visoke jakosti svetlobnega žarka. To pripomore k temu, da so manjši porabniki električne energije. S tem sta povezana velikost in teža samih razdaljemerov.

Ko uporabljamo reflektorje, je sam doseg dolžine bistveno večji, kot bi bil brez uporabe reflektorjev. Tudi sama natančnost izmerjene dolžine, je do 10-krat boljša od tiste, pri kateri ne uporabljamo reflektorjev (Kogoj, 2005).

### 3.3 Merjenje brez reflektorja

V situacijah, ko so točke nedostopne ali pa težje dostopne, jih ni smiselno meriti z reflektorji. Prav zato imamo na tržišču razdaljemere, ki omogočajo merjenje dolžin brez uporabe reflektorjev. Sprva so tako možnost imeli samo impulzni razdaljemerji, a z razvojem tehnologije lahko dolžine brez uporabe reflektorjev izmerimo tudi s faznimi razdaljemerji. Na merjenje brez reflektorjev vpliva barva in vrsta podlage, od katere se svetlobni žarek odbije. Tudi vpadni kot je pomemben in najbolj idealna je situacija, ko svetlobni žarek pade pravokotno na podlago. Ne glede na podlago je jakost svetlobnega žarka za merjenje večja, kot bi bila za merjenje dolžine z reflektorjem. Ta način merjenja se nam izide samo v primeru,

ko je jakost povratnega svetlobnega žarka tolikšna, da ob prihodu nazaj naš razdaljemer še prepozna žarek (Kogoj, 2005).

Imamo dve skupini razdaljemerov, ki omogočajo merjenje dolžine brez uporabe reflektorja:

- pravi geodetski elektronski razdaljemer – v osnovi so samostojni razdaljemer, so lahko pritrjeni na teodolit, v veliki večini pa so sestavni del tahimetrov. Za delo z njimi uporabljamo stative (nosilce za instrumente) in tako jih v sklopu postavitve tudi centriramo. Z njimi se da meriti tudi z reflektorjem, kjer pa dobimo boljše natančnost izmerjene dolžine,
- ročni elektronski razdaljemer – v praksi te razdaljemere držimo v roki. Njihova natančnost je veliko slabša, zato pa naj bi se uporabljali pri manj natančnih merjenjih. V gradbeništvu so zelo popularni, saj je delo z njimi hitrejše in dovolj natančno (Vinkl, 2004).





## 4 POGREŠKI PRI MERJENJU DOLŽIN Z ELEKTRONSKIMI RAZDALJEMERI

Ko merimo, so naše merjene dolžine obremenjene z zunanjimi vplivi, kar privede do tega, da nastanejo pogreški, ki so posledično vplivali na vrednost izmerjene dolžine. Med te vplive štejemo vplive atmosfere in instrumentalne pogreške, ki so posledica konstrukcijske nepopolnosti samega razdaljemera in uporabljenega pribora (Kogoj, 2005).

### 4.1 Vpliv pogreškov atmosfere

Če želimo dobiti pravilne merjene dolžine, moramo v času merjenja poznati atmosferske pogoje, da jih lahko upoštevamo in popravimo izmerjene dolžine za pogreške. Poznamo dva načina, kako atmosfera vpliva na vrednost izmerjene dolžine:

- vpliv lomnega količnika  $n$  na velikost modulacijske valovne dolžine  $\lambda$  in na hitrost širjenja valovanja, kar ponazorimo z:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c_0}{nf}, \quad (17)$$

- vpliv gostote atmosfere na geometrično obliko poti svetlobnega žarka (tu pride do tega, da elektromagnetno valovanje potuje po refrakcijski krivulji in ne po premi liniji) (Skakić, 2007).

#### 4.1.1 Lomni količnik $n$

Z elektronskim razdaljemerom oddamo svetlobni žarek, ki sodi v območje mikrovalov ali v območje vidne svetlobe in na ta svetlobni žarek vpliva atmosfera. Lomni količnik  $n$  valovanja je odvisen od valovne dolžine valovanja in od meteoroloških pogojev oziroma gostote atmosfere (te pogoje določimo z meritvijo zračnega tlaka, temperature in delnega tlaka vodne pare).

Fazna hitrost ( $c_f$  [m/s]) je hitrost širjenja monokromatičnega valovanja ( $\lambda_N$  le ena valovna dolžina). Za to imamo enačbo:

$$c_f = \frac{c_0}{n_f}, \quad (18)$$

kjer velja:  $c_f$  – fazna hitrost,

$c_0$  – hitrost širjenja elektromagnetnega valovanja v vakuumu [m/s],

$n_f$  – fazni lomni količnik.

Popolnega monokromatskega valovanja ne moremo doseči, kajti na elektromagnetno valovanje vpliva poleg izvora svetlobe še oddajna in sprejemna optika razdaljemera ter sredstvo, skozi katerega se širi. Pri tem nastane ozek pas valovnih dolžin in hitrosti elektromagnetnega valovanja, ki se prekrivajo in nastanejo valovne skupine oziroma grupe. Tako se energija širi z grupno hitrostjo  $c_g$  [m/s], ki jo zapišemo z enačbo:

$$c_g = \frac{c_0}{n_g}. \quad (19)$$

Za katere velja:  $n_g$  – grupni lomni količnik,

$c_g$  – grupna hitrost,

$n_g$  – grupni lomni količnik je dan z interpolacijsko enačbo (Cauchyjevo vrsto):

$$(n_g - 1) * 10^6 = N_g = A + 3 * \frac{B}{\lambda_{ef}^2} + 5 * \frac{C}{\lambda_{ef}^4}, \quad (20)$$

kjer je:  $\lambda_{ef}$  [μm] - efektivna valovna dolžina (določi jo proizvajalec in predstavlja aritmetično sredino valovnih dolžin, na katero vplivajo sposobnosti filtriranja oddajne in sprejemne optike, sprejemnika in modulatorja).

$$N_g = 287,583 + 3 * \frac{1,6134}{\lambda_{ef}^2} + 5 * \frac{0,0144}{\lambda_{ef}^4}, \quad (21)$$

ta enačba velja v območju  $0,3 \mu\text{m} < \lambda < 1,0 \lambda \text{ m}$  (Kogoj, 2005).

Za zgornjo enačbo smo uporabili efektivno valovno dolžino  $\lambda_{ef}$  in konstante A, B in C. Vse konstante so določene iz laboratorijskih poizkusov glede na normalno atmosfero, kjer je zračni tlak  $p = 1013,25 \text{ hPa}$ , temperatura  $T = 0^\circ\text{C}$  in delni tlak vodne pare  $e = 0 \%$ .

Običajno izmero v naravi ne izvajamo v normalni atmosferi, ampak je ta vedno odvisna od dejanskih razmer na terenu. V času meritev imamo na voljo določene atmosferske pogoje in zato uporabljamo Barrell-Sears-ovo enačbo, s katero izračunamo dejanski lomni količnik ( $n_D$ ):

$$n_D = 1 + \frac{n_g - 1}{1 + \alpha * T} * \frac{p}{1013,25} - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha * T} * e, \quad (22)$$

za katere velja:  $n_D$  – skupni lomni količnik pri dejanskih razmerah,

$\alpha = 0.00366^\circ C^{-1}$  – razteznostni koeficient zraka,

$T$  – merjena temperatura [ $^\circ C$ ] (srednja vrednost),

$p$  – merjen zračni tlak [hpa] (srednja vrednost),

$e$  – merjen delni tlak vodne pare [%].

Dejanski lomni količnik pri elektronskih razdaljemerih, ki delujejo na principu mikrovalov, je  $n_{D-mv}$ , dan z enačbo:

$$(n_{D-mv} - 1) * 10^6 = A * \frac{p}{T+273} - B * \frac{e}{T+273} + C * \frac{e}{(T+273)^2}. \quad (23)$$

(Skakić, 2007).

#### 4.1.2 Vpliv gostote atmosfere

Določamo jo na osnovi merjenja meteoroloških parametrov:

- temperatura zraka ( $T$ ) – v večini primerov se meri temperatura zraka s termometri. Pri merjenju dolžin jih uporabljamo na začetku, tam, kjer je postavljen instrument in na koncu merjene dolžine, kjer je reflektor. Lahko tudi na sredini, a v našem primeru meritev smo to izvedli na začetku in na koncu. Za zagotovitev pravilnega delovanja morajo ti termometri izpolnjevati določene pogoje,
- zračni tlak ( $p$ ) – zračni tlak se meri samo na eni krajni točki merjenja. Meri se z barometri. Izračuna se povprečni zračni tlak  $\bar{p}$  [hPa], temperatura  $T$  [ $^\circ C$ ] in višinska razlika med krajnima točkama  $\Delta h$  [m]. Zračni tlak izračunamo po Jordanovi enačbi barometričnega višinomerstva:

$$\bar{p} = p * (1 - 1,7 * 10^{-2} * \frac{\Delta h}{T} + 1,9 * 10^{-4} * \frac{\Delta h}{T-2}) \quad (24)$$

- delni tlak vodne pare ( $e$ ) – vsi vemo, da je v zraku vlaga oziroma vodna para. Vodna para narašča, dokler delni tlak vodne pare ( $e$ ) ne naraste do nasičenega tlaka vodne pare  $E$  [%]. Razmerje med delnim in nasičenim tlakom vodne pare imenujemo relativna vlažnost. Za merjenje relativne vlažnosti se običajno uporabljajo psihometri in v ekstremnih pogojih higrometri.

Delni tlak vodne pare izračunamo po Sprungovi enačbi:

$$e = E - (T_s - T_m) * \frac{K}{755} * p, \quad (25)$$

za katere velja:

$T_s$  - temperatura suhega termometra na psihometru [°C],

$T_m$  - temperatura mokrega termometra na psihometru [°C],

$K$  – empirično določena konstanta.

Nasičen tlak vodne pare  $E$  izračunamo po Magnus-Tetensevi empirični enačbi:

$$E = 10^{\left(\frac{\alpha * T_m}{\beta + T_m} + \gamma\right)}. \quad (26)$$

Za meritve delnega tlaka vodne pare  $e$  velja enako kot za tlak in ga merimo samo na enem krajišču merjene dolžine. V zgornji enačbi so  $\alpha$ ,  $\beta$  in  $\gamma$  empirično določene konstante, ki so odvisne od tega ali mokri termometer uporabljamo pod vodo ali pod ledom (Vinkl, 2004).

## 4.2 Instrumentalni pogreški

Instrumentalni pogreški niso odvisni od operaterja. V veliki večini se pojavljajo zaradi konstrukcijskih nepravilnosti instrumenta in pribora. Za potrebno natančnost moramo poznati vse instrumentalne pogreške, ter ugotoviti njihov vpliv in velikost. Ko imamo vse te pogreške, moramo dolžino popraviti za njihovo vrednost (Kogoj, 2005).

### 4.2.1 Modulacijska frekvenca

Ta pogrešek je prisoten pri faznih elektronskih razdaljemernih, kjer ga moramo določiti in upoštevati. V instrumentu mora biti časovna enota razdaljemera konstantna.

Vzroki za nastanek modulacijske frekvence:

- zagonski efekt – je nelinearni potek frekvenčne spremembe v času,
- staranje kristala kot izvora modulacijske frekvence – ker se vsaka stvar stara, je to značilno tudi za kremenov kristal. To povzroča počasno in neprekinjeno spreminjanje v kristalni strukturi, kar pa vpliva na generiranje frekvence. Ta vzrok skušajo omiliti z umetnim staranjem kristala pred vgradnjo v razdaljemer,
- temperaturna odvisnost frekvence frekvenčnega izvora – vsak instrument je potrebno pred meritvami privaditi na okolje. S tem se v instrumentu tudi oscilator prilagodi na temperaturo, saj je frekvenca kremenovega frekvenčnega oscilatorja odvisna od temperature (Kogoj, 2005).

Moduliranje nosilnega valovanja:

Modulacijska frekvenca  $f_M$  (je valovna dolžina merskega vala),

ki ga sestavljata:

- poznana hitrost svetlobe  $c$  ( $c_0$ )
- lomni količnik sredstva, skozi katerega se širi  $n$  ( $n_0$ )

$$\lambda_M = \frac{c}{f_M} = \frac{c_0}{n_0 * f_m}. \quad (27)$$

Spremembo merila, povzroči sprememba modulacijske frekvence

$$d\lambda_M = -\frac{c_0}{n} * \frac{1}{f_M^2} * df_M = -\frac{\lambda_M}{f_M} * df_M. \quad (28)$$

Dolžina pri faznem načinu merjenja se določi:

- velikost valovne dolžine merskega vala  $\lambda_M$
- število merskih valov  $N$
- ostanka  $\Delta\lambda_M$  (dela valovne dolžine)

$$D = N * \frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2}. \quad (29)$$

Vpliv spremembe  $df_M$  je na določitev  $\Delta\lambda_M$  zanemarljiv, ker je  $N * \lambda_M \gg \Delta\lambda_M$ , torej bo sprememba dolžine

$$dD = \frac{1}{2}N * d\lambda_M \approx \frac{D}{\lambda_M} d\lambda_M \text{ in je } \frac{dD}{D} = \frac{d\lambda_M}{\lambda_M} = -\frac{df_M}{f_M}. \quad (30)$$

Z negativnim predznakom označena relativna sprememba modulacijske frekvence je enaka relativni spremembi dolžine  $dD/D$ . Za posledico prekratke izmerjene dolžine, je krivo povečanje frekvenc (modulacijska valovna dolžina je zmanjšana). Na samo spremembo dolžine vpliva sprememba lomnega količnika in sprememba merske frekvence. Sorazmerno z povečevanjem dolžine raste velikost spremembe dolžine. Zato fino merilo določa osnovna oziroma odločilna najmanjša  $f_M$ . Pri impulznih razdaljemerih dobimo približen rezultat, s tem da je tukaj merilo definirano z enoto  $T$  (osnovna časovna enota - takt):

$$D = \frac{c}{2}N * T, \text{ odvajamo } dD = \frac{c}{2}N * dT = \frac{D}{T} * dT \text{ in dobimo } \frac{dD}{D} = \frac{dT}{T} \quad (31)$$

(Kogoj in sodelavci, 2003).

#### 4.2.2 Ciklični pogrešek (pogrešek faze)

Pri faznih razdaljemerih se pojavlja ciklični pogrešek, ki je periodično ponavljajoč se fazni pogrešek. To pomeni, da je posledica skupnega pogreška, sprejemnika, oddajnika in merilca faze.

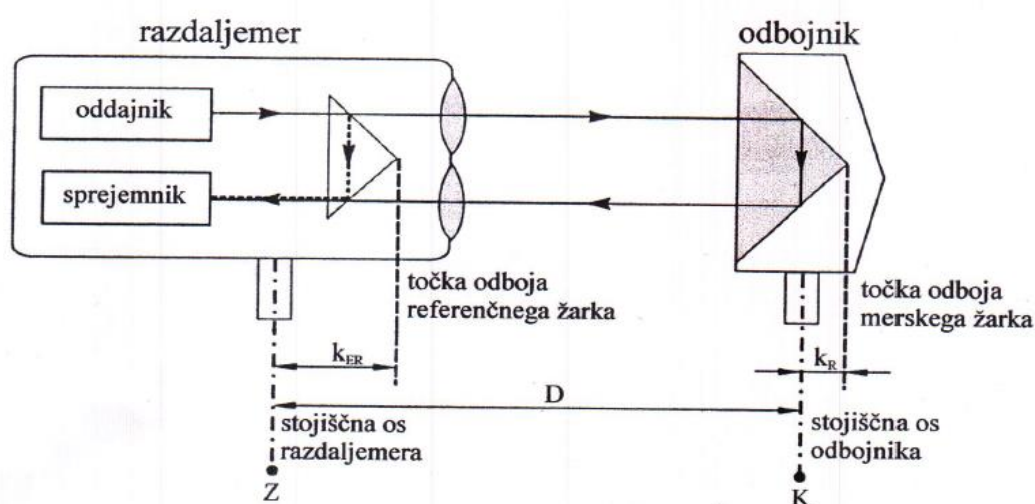
Med vzroki za merjenje dolžin so:

- pogrešek resolverja – pri tem pogrešku gre za to, da je pri resolverju možna ekscentričnost med statorjem in rotorjem. Ta pogrešek resolverja povzroči periodični pogrešek faze s periodo  $U/2$  (dva polna nihaja pogreška na mersko enoto),
- električno prekrivanje signala – do tega pogreška prihaja, ker oddajnik in sprejemnik ležita skupaj v istem ohišju zelo tesno skupaj in pride do prekrivanja signala (merskega in referenčnega). Čeprav se proizvajalci trudijo, da bi oddajnik in sprejemnik, kolikor se le da izolirali drug od drugega, se to ne da povsem, ker imata skupne elemente (kabel za napajanje),
- optično prekrivanje signala – do tega pogreška pride pri razpršenem valovanju. Tukaj prihaja modulirana svetloba direktno od oddajnika na sprejemnik, kjer se začne prekrivati s prihajajočo svetlobo merskega signala. (Vinkl, 2004)

### 4.2.3 Pogrešek adicijske konstante (ničelne točke razdaljemera in reflektorja)

Adicijska konstanta vsebuje vse geometrične in elektronske linearne ekscentricitete razdaljemera in reflektorja (slika 7). Poleg tega vsebuje tudi razliko, ki nastane, ker svetlobni žarki ne potujejo z enako hitrostjo skozi elektrooptični sistem razdaljemera in reflektorja, kot skozi atmosfero. Dejansko ni mogoče ugotoviti vseh parametrov, ki vplivajo na vrednost adicijske konstante. Z zanesljivo natančnostjo je mogoče ugotoviti samo dva parametra:

- ekscentriciteta razdaljemera  $k_{ER}$  [mm] (ekscentriciteta referenčnega signala) – je posledica geometrične poti referenčnega signala in elektronskih zakasnitev v posameznih delih razdaljemera. Znotraj razdaljemera nastaja torej ekscentričnost glede na aktivno odbojno točko notranje poti referenčnega signala. Ekscentriciteta predstavlja ne sovpadanje stojiščne osi razdaljemera in točke oddaje (sprejema) referenčnega žarka,
- ekscentriciteta reflektorja  $k_R$  [mm] (ekscentriciteta merskega signala) – je posledica geometrične poti merskega signala skozi prizmo reflektorja in je odvisna predvsem od položaja prizme glede na stojiščno os reflektorja. Ta ekscentriciteta predstavlja nesovpadanje stojiščne osi reflektorja in točke odboja merskega žarka (Skakić, 2007).



Slika 7: Ekscentriciteta razdaljemera in reflektorja

(Kogoj D., 2005)



Popravek adicijske konstante  $k_a$  [mm] je vsota obeh linearnih ekscentricitet razdaljema in reflektorja:

$$k_a = k_{ER} + k_R. \quad (32)$$

Določimo ga z merjenjem dolžin na komparatorski bazi, katere dimenzije so znane z višjo natančnostjo, kot je natančnost določitve dolžin z uporabljenim razdaljemerom in priborom. Lahko pa ga določimo tudi, ko ne poznamo oziroma nimamo znanih dolžin baze. V tem primeru se merijo dolžine v vseh možnih kombinacijah med točkami baze.

Izmerjeno dolžino  $D'$  [m] popravimo za vpliv adicijske konstante  $k_a$  in dobimo vrednost iskane dolžine  $D$  [m]:

$$D = D' + k_{ER} + k_R = D' + k_a. \quad (33)$$

Vrednost adicijske konstante se časovno spreminja, zato jo je treba na določene časovne intervale ponovno določiti. Adicijsko konstanto lahko upoštevamo pri merjenju dolžin preko korekcijskih enačb ali pa jo neposredno vnesemo v razdaljemer. Spreminjanje geometrične ekscentričnosti  $k_{ER}$ ,  $k_R$  pomenijo spremembo vrednosti adicijske konstante tudi v primeru:

- kratke časovne fazne neenakosti med moduliranim merskim signalom in referenčnim signalom,
- vplivov fazne nehomogenosti v odvisnosti od razdalje,
- odstopanja v modelu za korekcijo cikličnih pogreškov.

Pogrešek adicijske konstante ima sistematičen vpliv in ni odvisen od velikosti merjene dolžine. Ne moremo ga eliminirati z metodo dela ali s povečanjem števila meritev (Skakić, 2007).

#### 4.2.4 Pogreški pri orientaciji reflektorja

Ko izvajamo merjenje dolžin, uporabljamo instrument, ki odda signal in reflektor, ki ga odbije. V takem primeru je nujno, da reflektor pravilno obrnemo v smeri instrumenta, ker

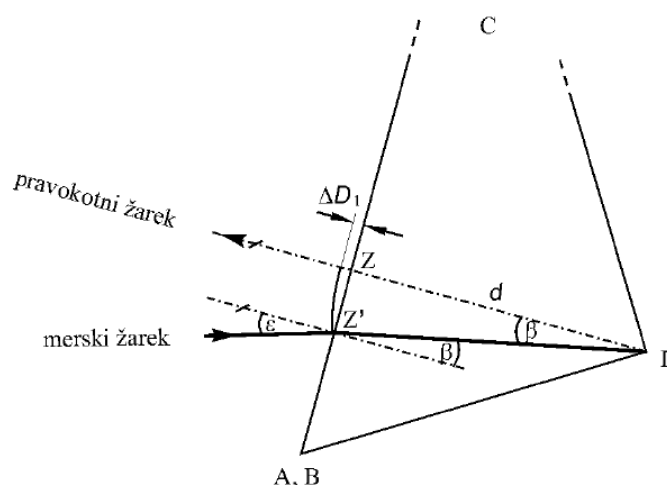
drugače povzročimo spremembo v merjenju dolžin in s tem dobimo pogrešek orientacije reflektorja (Vinkl J., 2004).

Tukaj ločimo pogreške orientacije prizme na reflektor z eno in reflektor z več prizmami.

#### 4.2.4.1 Reflektor z eno prizmo

Pri tem imamo nenatančno orientacijo reflektorja, zato vpadna smer svetlobnega žarka ni pravokotna na osnovno ploskev prizme reflektorja. Kot posledici tega sta:

- podaljšanje optične poti žarka skozi prizmo reflektorja – kar vpliva na povečanje merjene dolžine:



Slika 8: Podaljšanje optične poti  
(Vinkl, 2004)

$$\Delta D_1 = n_s d \left( 1 - \frac{1}{\cos \beta} \right), \quad (34)$$

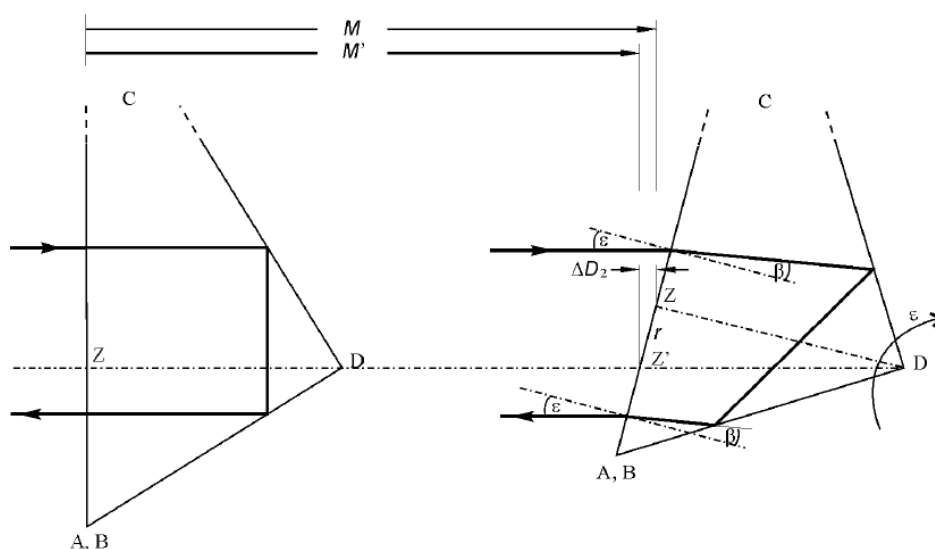
za katere velja:

$\Delta D_1$  – sprememba merjene dolžine [m],

$d$  – debelina stekla [mm],

$\beta$  – lomni kot [°].

- nesimetrični prehod žarka skozi prizmo reflektorja – na merjeno dolžino vpliva premik centra prizme:



Slika 9: Premik centra prizme

(Vinkl, 2004)

$$\Delta D_2 = n_s * r * \sin\beta = n_s * d * \operatorname{tg}\beta * \sin\beta, \quad (35)$$

za katere velja:

 $\Delta D_2$  – sprememba merjene dolžine [m], $r$  – premik centra prizme [mm].

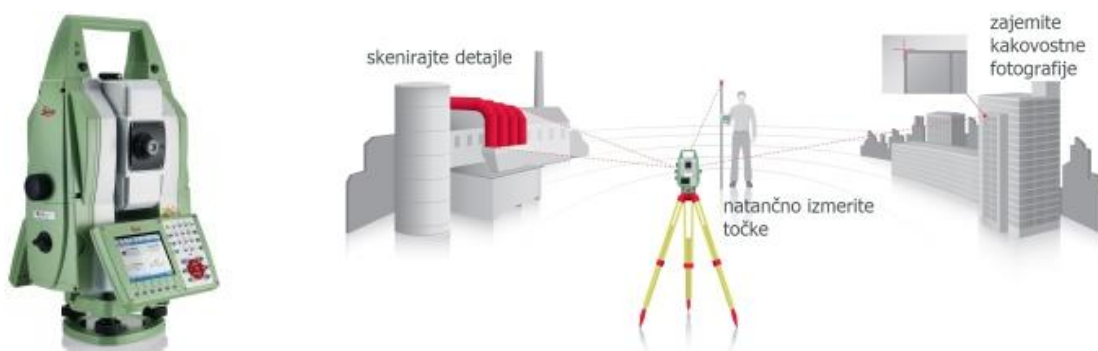
Skupni vpliv na dolžino, ki je bila merjena, zaradi nesimetričnega prehoda žarkov skozi prizmo reflektorja in podaljšanja optične poti žarka, se lahko odpravi z metodo dela. To pomeni, da se moramo osredotočiti na orientacijo reflektorja proti razdaljemeru (Vinkl, 2004).

## 5 METODOLOGIJA

Predstavljen bo instrumentarij, ki smo ga uporabljali, metoda dela in enačbe, ki smo jih uporabili za izračun adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111.

### 5.1 Instrumentarij

Za terenske meritve smo uporabljali tahimeter Leica Nova MultiStation MS50 (slika 10), sodoben instrument, kjer ima ena narava možnost več merskih tehnik. Sam instrument ima funkcijo merjenja brez reflektorja do 2 km, 3D skeniranje, povezavo z GNSS tehnologijo (na vrh instrumenta se pritrdi GNSS antena) in slikovno podporo.



Slika 10: Instrument Leica Nova MultiStation MS50

([http://www.geoservis.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=244&Itemid=5](http://www.geoservis.si/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=5))

Preglednica 1: Prikaz karakteristik instrumenta Leica Nova MultiStation MS50

<b>Merjenje kotov:</b>	
Natančnost	1"
<b>Merjenje razdalj:</b>	
Z reflektorjem (doseg / natančnost)	10000 m / 1 mm + 1.5 ppm
Brez reflektorja (doseg / natančnost)	2000 m / 2 mm + 2 ppm
Velikost pike laserskega žarka	8 mm × 20 mm na razdalji 50 m
Doseg ATR na okrogli reflektor GPR1	1000 m, sledenje reflektorja: 800 m
Kotna natančnost in trajanje meritve ATR na GPR1	1" / običajno 2.5 s
<b>Slikovna podpora:</b>	

Vgrajeni kameri (ločljivost / frekvenca osveževanje)	5 MP CMOS slikovni senzor / 20 Hz
Lastnosti	Samodejno fokusiranje, viziranje preko zaslona, digitalna skica na fotografiji
<b>Splošno:</b>	
Operacijski sistem / nameščena programska oprema	Windows CE 6.0 / Leica SmartWorx Viva
Zaslon v obeh krožnih legah	8.9 cm, 640 x 480 slikovnih elementov (VGA), barvni LED zaslon na dotik, berljiv na soncu
Tipkovnica	36 osvetljenih tipk (12 funkcijskih in 12 alfanumeričnih tipk), pametna tipka za proženje meritev, 2 tipki za ročno nastavitvev fokusiranja
Neskončni vijaki	2 vijaka za Hz pomik, 1 vijak za V pomik, vijak za ročno fokusiranje
Vgrajen pomnilnik / pomnilniški vmesniki	1 GB / SD kartica, USB ključ
Komunikacijski vmesniki	RS232, Bluetooth, WLAN
Baterija / avtonomija delovanja	Li-Ion 5.8 Ah / 7 – 9 ur (GEB242)
Temperaturno območje delovanja	- 20 °C do + 50 °C
Odpornost na prah in vodo (IEC 60529) / vlago	IP65 / 95%, brez kondenziranja

([http://www.geoservis.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=244&Itemid=5](http://www.geoservis.si/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=5))

Ostali instrumentarij:

- precizna reflektorja WILD GPH1P številka 1 in WILD GPH1P številka 2,
- mini reflektorji GMP 111 (A, B, C),
- trinožnik Leica GDF 22,
- nastavek Leica za reflektorje GZR 2,
- jekleni nastavek za mini reflektor GMP 111,
- Meteo station Hm 30 za izmero temperature, tlaka in vlažnosti.



**Slika 11: Precizna reflektorja WILD GPHIP številka 1 in 2**

(osebni arhiv)



**Slika 12: Trinožnik Leica GDF 22**

(<https://www.sccsurvey.co.uk/survey-equipment-accessories/tribrachs-adapters.html>)



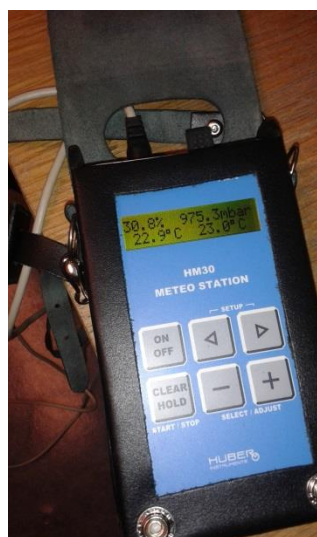
**Slika 13: Nastavek Leica za reflektorje GZR 2**

(<http://www.geoshop.si/k/3-6-2/Merilni-pribor-in-priporocki/Trinozna-podnozja-in-nosilci/Trinozna-podnozja-nosilci-prizem>)



**Slika 14: Mini reflektor GMP 111**

(<http://commandercn.en.made-in-china.com/product/gqcxjwvDSNUB/China-Leica-Mini-Prism-with-Holder-GMP111.html>)



**Slika 15: Meteo station Hm 30**

(osebni arhiv)

Za meritve z mini reflektorjem GMP 111 smo uporabljali jekleni nastavek (slika 16), ki nam je omogočil, da je višina centra mini reflektorja GMP 111 enaka višini centra preciznega reflektorja WILD GPH1P in GPH2P. To smo naredili tako, da smo mini reflektor GMP 111 privili na jekleni nastavek in potem jekleni nastavek pritrdili na nastavek za reflektorje GZR 2 (slika 17).



**Slika 16: precizni reflektor WILD GPH1P (zgoraj), jekleni nastavek (na sredini), mini reflektorji GMP 111 (spodaj)**

(osebni arhiv)



**Slika 17: Slika mini reflektorja GMP 111 na jeklenem nastavku**

(osebni arhiv)

V diplomski nalogi smo določevali adicijsko konstanto treh mini reflektorjev GMP 111. Merjenje je potekalo v prostorih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, in sicer v učilnici zimske vaje. Tam so postavljeni štirje betonski stebri, ki so med seboj različno oddaljeni. Meritve smo izvedli tudi na strehi fakultete, kjer so prav tako postavljeni štirje betonski stebri.





**Slika 18: Betonski steber v učilnici zimske vaje**

(osebni arhiv)

V učilnici in na strehi so omenjeni stebri betonski in fiksirani v tla tako, da se ne premikajo. Meritve so vsebovale prestavljanje reflektorjev, zato smo potrebovali fiksno stojišče, ki se med merjenjem ne bo premikalo.

V učilnici zimske vaje ni bilo sprememb v ozračju; temperatura je bila konstantna, tlak je bil enakomeren, vlažnost se ni spreminjala in sonce ni direktno svetilo na instrument ali reflektorje. V učilnici smo izvedli več meritev med tremi stebri, ki so bile časovno daljše kot na strehi. Večji izziv je bila izvedba meritev na strehi fakultete, saj so bile meritve opravljene na odprtem prostoru. Merili smo v sredini meseca marca, temperature so se gibale okoli  $15^{\circ}\text{C}$ . Vreme je bilo za merjenje ustrezno; oblačno, zaradi tega se instrument ali reflektor z določene strani ni segreval, temperatura je bila enakomerna skozi celotno obdobje meritev in vlaga se ni spremenila v času merjenja.

Na strehi je bila dolžina med najbolj oddaljenima stebroma (meritve na strehi smo opravili zgolj med njima) daljša kot med najbolj oddaljenima stebroma v učilnici. Največ časa nam je vzela menjava reflektorjev.

## **5.2 Postopek merjenja**

Instrumentarij, ki smo ga uporabljali, smo pustili v učilnici, da se prilagodi na temperaturo okolja. Instrument smo postavili na steber in ga pričvrstili na podnožje na stebri, prav tako

smo to naredili z reflektorji. Preizkus reflektorjev smo opravili s instrumentom Leica Nova MultiStation MS50.

### 5.2.1 Prva serija meritev

Z napravo Meteo station Hm 30 smo pomerili temperaturo, vlago in tlak ter začeli z merjenjem razdalj. Reflektorja, ki smo ju uporabljali za merjenje razdalj, sta bila precizna reflektorja WILD GPH1P 1 in GPH1P 2 z adicijsko konstanto 0 mm ( $k_a = 0$  mm).

Najprej smo si v učilnici izbrali najkrajšo dolžino med stebroma (steber 1 in 2), ki je merila 2,8599m.

Dobiti smo želeli srednjo vrednost razdalje med stebroma. To smo naredili tako, da smo 10-krat pomerili razdalje s preciznim reflektorjem WILD GPH1P 1. Potem smo precizni reflektor 1 zamenjali s preciznim reflektorjem WILD GPH1P 2 ter postopek meritev ponovili. Na osnovi izmere s preciznima reflektorjema, smo dobili srednjo vrednost merjene dolžine, ki pa je opisana v nadaljevanju in prikazana v prilogi A.



**Slika 19: Precizna reflektorja WILD GPH1P (reflektor 1 in 2 sta enaka)**  
(osebni arhiv)

V nadaljevanju smo zamenjali precizni reflektor WILD GPH1P 2 z mini reflektorjem GMP 111, ki smo ga označili z A, s katerim smo ponovno naredil deset meritev. Ves postopek merjenja in zamenjav reflektorjev pa je predstavljen v preglednici 2.



**Slika 20:** Novi mini reflektor na podnožju (reflektorji A, B in C so enaki)

(osebni arhiv)

**Preglednica 2:** Prikaz meritev v prvi seriji

Kratka dolžina med instrumentom na stebru 1 in reflektorjem na stebru 2 (2,8599 m)		
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 precizni reflektor 1
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 precizni reflektor 2
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor A
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor B
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor C
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor A
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor B
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor C
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor A
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor B
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 mini reflektor C
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 precizni reflektor 1
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 2 precizni reflektor 2

### 5.2.2 Druga serija meritev

Pri merjenju v učilnici med stebrom 1 in stebrom 3 je dolžina 13,6044 m. To je bila naša srednja dolžina, na kateri smo merili. Ta dolžina je bila več kot 4-krat daljša od dolžine med stebroma 1 in 2. Postopek meritev je bil enak, kot smo ga navedli prej, le dolžina med stebroma je bila večja. Postopek merjenja dolžine nazorno prikaže spodnja preglednica 3.

**Preglednica 3: Prikaz meritev v drugi seriji**

Srednja dolžina med instrumentom na stebru 1 in reflektorjem na stebru 3 (13,6044 m)		
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>precizni reflektor 1</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>precizni reflektor 2</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor A</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor B</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor C</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor A</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor B</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor C</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor A</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor B</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>mini reflektor C</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>precizni reflektor 1</b>
Instrument na stebru 1	10 meritev	Steber 3 <b>precizni reflektor 2</b>

### 5.2.3 Tretja serija meritev

Ko smo v učilnici končali drugo serijo meritev na srednji razdalji, smo pospravili celoten instrumentarij in ga prenesli na streho. Tam smo ga postavili na stativ in ga pustili, da se je prilagodil na temperaturo ozračja. Zadostovalo bi 15 minut, vendar smo ga mi pustili dlje časa. Vremenski pogoji so bili drugačni kot v učilnici; zaradi oblačnega vremena ni bilo direktnega osončenja instrumentarija in občasno je zapihal veter.

Na strehi smo merili dolžine med stebroma 4 in 5. Postopek merjenja je bil enak prejšnjima dvema serijama meritev (preglednica 4), le s to razliko, da je bila tukaj dolžina za približno 5-krat daljša od dolžine med stebroma 1 in 3 v učilnici in do 20-krat daljša od dolžine med stebroma 1 in 2 v učilnici. To nam bo dalo zanimiv vpogled v določitev adicijske konstante na različnih dolžinah.

**Preglednica 4: Prikaz meritev v tretji seriji**

Daljša dolžina med instrumentom na steburu 4 in reflektorjem na steburu 5 (65,3219 m)		
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 precizni reflektor 1
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 precizni reflektor 2
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor A
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor B
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor C
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor A
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor B
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor C
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor A
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor B
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 mini reflektor C
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 precizni reflektor 1
Instrument na steburu 4	10 meritev	Steber 5 precizni reflektor 2

### 5.3 Izračuni srednje vrednosti merjene dolžine in adicijske konstante

Na osnovi opravljenih meritev smo izračunali adicijsko konstanto posameznega reflektorja.

Na osnovi enačbe:

Enačba za precizni reflektor:

$$d_{PRECIZNA\ mi} = \frac{\sum_{k=1}^{40} d_{PRECIZNA\ mik}}{40} \quad (36)$$

⇒ sredina preciznega reflektorja na m-ti razdalji v i-ti seriji

$$d_{PRECIZNA\ m} = \frac{\sum_{i=1}^3 d_{PRECIZNA\ mi}}{3} \quad (37)$$

$i = 1, 2, 3$  serije

$j = 1, 2, \dots, 10$  - meritev v prvi seriji

$k = 1, \dots, 40$  - meritev na preciznem reflektorju na eni razdalji

$m = 1, 2, 3$  - dolžine

A, B, C - mini reflektorji GMP 111

1, 2 – precizni reflektor WILD GPH1P

$m_1 = 2,8599$  m

$m_2 = 13,6044$  m

$m_3 = 65,3219$  m

Enačba za srednjo vrednost merjene dolžine v  $i$ -ti seriji,  $j=1 \dots 10$  meritev za  $m$ -to dolžino:

$$\mu_{MINImi} = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_{MINImij}}{10} \quad (38)$$

Enačba za srednjo vrednost merjene dolžine  $i=1 \dots 3$  serij meritev za mini reflektor GMP 111 za  $m$ -to dolžino:

$$\mu_{MINIm} = \frac{\sum_{i=1}^3 \mu_{MINImi}}{3} \quad (39)$$

Adicijsko konstanto mini reflektorjev smo izračunali na osnovi dolžine, ki je bila izmerjena s preciznimi reflektorji. Od srednje vrednosti dolžine preciznih reflektorjev 1 in 2 smo odšteli izračunano dolžino posameznega mini reflektorja, kot je to prikazano v spodnjih enačbah.

Izračun  $k_a$  za  $m$ -to dolžino za posamezni mini reflektor (A, B, C):

$$k_{a\ MINIm} = d_{PRECIZNA\ m} - d_{MINIm}. \quad (40)$$

Izračun  $k_a$  za mini reflektorje GMP 111 za  $m=1, \dots, 3$  dolžine:

$$k_{a\ MINI} = \frac{\sum_{m=1}^3 k_{a\ MINIm}}{3} \quad (41)$$

## 5.4 Določitev skladnosti adicijske konstante z navedbo proizvajalca

Proizvajalec navaja, da imajo reflektorji GMP 111 adicijsko konstanto 17,5 mm. Navedbe proizvajalca smo z izmerami in izračuni preverili. Referenčno dolžino za izračun adicijskih konstant mini reflektorjev GMP 111 predstavlja srednja dolžina izmerjena z dvema preciznima reflektorjema.

Razliko adicijskih konstant si izračunamo po enačbi:

$$\Delta k_a = k_{a \text{ PROIZVAJALEC}} - k_{a \text{ EMPIRIČNO}} \quad (42)$$

## 5.5 Ocena natančnosti določitve adicijske konstante

V tem poglavju je predstavljen postopek izračuna ocene natančnosti določitve adicijske konstante posameznega mini reflektorja. Natančnosti izračunamo tako, da parcialno odvajamo enačbo 40 v poglavju 5.3. po vseh opazovanjih ter upoštevamo natančnosti določitve posamezne dolžine med stojiščem in mini oz. preciznim reflektorjem.

Podajamo postopek izračuna za en reflektor. Najprej izračunamo natančnost merjene dolžine na eni razdalji za precizni reflektor.

$$\sigma_{d_{\text{PRECIZNA } mi}} = \sqrt{\frac{r^2}{n}}, \quad (43)$$

kjer je  $r$  odstopanje posamezne merjene dolžine od povprečne vrednosti 40 merjenih razdalj in  $n = 39$  je število prostostnih stopenj.

Podobno izračunamo natančnost merjenja dolžine do mini reflektorja na eni razdalji:

$$\sigma_{d_{\text{MINI } mi}} = \sqrt{\frac{p^2}{l}}. \quad (44)$$

Kjer je  $p$  odstopanje posamezne merjene dolžine od povprečne vrednosti 30 merjenih razdalj za posamezno dolžino in  $l = 29$  je število prostostnih stopenj.

Oceno natančnosti določitve adicijske konstante na  $m$  – ti razdalji izračunamo kot:

$$\sigma_{k_a MINIm} = \sqrt{\sigma_{d_{PRECIZNA} mi}^2 + \sigma_{d_{MINI} mi}^2} \quad (45)$$

Kjer je adicijska konstanta za posamezni primer določena kot aritmetična sredina treh adicijskih konstant za razdalje  $m = 1, \dots, 3$ , končno oceno natančnosti določitve adicijske konstante posameznega mini reflektorja izračunamo kot:

$$\sigma_{k_a MINI} = \sqrt{\frac{\sigma_{k_a MINI1}^2 + \sigma_{k_a MINI2}^2 + \sigma_{k_a MINI3}^2}{3}} \quad (46)$$

Oceno natančnosti določitve razlike adicijskih konstant, ki jih navaja proizvajalec ter v tej nalogi določenih vrednosti izračunamo z enačbo:

$$\sigma_{\Delta k_a} = \sqrt{\sigma_{k_a PROIZVAJALEC}^2 + \sigma_{k_a EMPIRIČNO}^2}, \quad (47)$$

kjer privzamemo, da je vrednost za  $\sigma_{k_a PROIZVAJALEC} = 0$ .

Kakovost rezultatov ugotavljamo s statističnim testiranjem, kjer velikost razlike adicijskih konstant  $\Delta k_a$  primerjamo s trkratno vrednostjo določitve te razlike  $\sigma_{\Delta k_a}$ . Pravimo, da je razlika adicijskih konstant statično značilna (velja za stopnjo zaupanja 99,75 %), če je:

$$\Delta k_a > 3 * \sigma_{\Delta k_a} \quad (48)$$

Postopek ponovimo za vse tri mini prizme.





## 6 PREDSTAVITEV REZULTATOV

### 6.1 Rezultati in njihova analiza

#### 6.1.1 Rezultati za kratko dolžino 2,8599 m

Najprej smo računali dolžine za najkrajšo dolžino v učilnici, ki meri 2,8599 m.

V preglednici 5 so prikazani podatki izmere s preciznim reflektorjem 1 pred obdelavo.

**Preglednica 5: Rezultati za precizni reflektor WILD GPH1P številka 1**

Zaporedna številka	Številka merjenja	Dobljena dolžina
1	4000	2,8598 m
2	4001	2,8597 m
3	4002	2,8598 m
4	4003	2,8598 m
5	4004	2,8598 m
6	4005	2,8598 m
7	4006	2,8598 m
8	4007	2,8598 m
9	4008	2,8598 m
10	4009	2,8599 m

Iz teh podatkov smo izračunali srednjo vrednost dolžine za precizni reflektor 1, ki je hkrati tudi referenčna dolžina, ki znaša 2.8598 m.

Vsako dolžino za precizni reflektor smo merili 2-krat, zato smo dobili dva rezultata. Podatki izmere dolžine s posameznim reflektorjem so podani v prilogi A.

Srednje vrednosti izmerjenih dolžin s preciznim reflektorjem znašajo:

**Preglednica 6: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema**

$d_{PRECIZNA\ 11}$	2.8598 m
$d_{PRECIZNA\ 12}$	2.8599 m
$d_{PRECIZNA\ 21}$	2.8599 m
$d_{PRECIZNA\ 22}$	2.8560 m

$d_{PRECIZNAx}$	2.8599 m
-----------------	----------

Izmerjene dolžine z mini reflektorji so zbrane v preglednici 7.

**Preglednica 7: Srednja vrednost krajše merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111**

Sredina meritev reflektorja A			$d_{A1}$
$d_{Ax}$	$d_{Ay}$	$d_{Az}$	
2,8420	2,8417	2,8416	2,8417 m
Sredina meritev reflektorja B			$d_{B1}$
$d_{Bx}$	$d_{By}$	$d_{Bz}$	
2,8418	2,8418	2,8420	2,8419 m
Sredina meritev reflektorja C			$d_{C1}$
$d_{Cx}$	$d_{Cy}$	$d_{Cz}$	
2,8418	2,8422	2,8422	2,8421 m

Adicijske konstante za vsak posamezen reflektor so izračunane po enačbi 49 in zbrane v spodnji preglednici 8.

$$k_{aMINI1} = d_{PRECIZNAx} - d_{MINI x} \quad (49)$$

**Preglednica 8: Adicijske konstante za krajšo dolžino**

$d_{PRECIZNAx1}$	$d_A$	$k_{aA1}$
2,8599	2,8417	0,0182 m
$d_{PRECIZNAx1}$	$d_B$	$k_{aB1}$
2,8599	2,8419	0,0180 m
$d_{PRECIZNAx1}$	$d_C$	$k_{aC1}$
2,8599	2,8421	0,0178 m

### 6.1.2 Rezultati za srednjo dolžino 13,6044 m

V učilnici je bil pri srednji razdalji postopek računanja enak. Rezultati, ki smo jih dobili za precizne reflektorje in mini reflektorje so naslednji:

**Preglednica 9: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema**

$d_{PRECIZNA 11}$	13.6043 m
$d_{PRECIZNA 12}$	13.6042 m

$d_{PRECIZNA\ 21}$	13.6046 m
$d_{PRECIZNA\ 22}$	13.6046 m
$d_{PRECIZNAy}$	13.6044 m

Izmerjene dolžine z mini reflektorji so zbrane v preglednici 10.

**Preglednica 10: Srednja vrednost srednje merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111**

Sredina meritev reflektorja A			$d_{A2}$ 13,5863 m
$d_{Ax}$	$d_{Ay}$	$d_{Az}$	
13,58609	13,58630	13,58643	
Sredina meritev reflektorja B			$d_{B2}$ 13,5863 m
$d_{Bx}$	$d_{By}$	$d_{Bz}$	
13,58619	13,58620	13,58640	
Sredina meritev reflektorja C			$d_{C2}$ 13,5866 m
$d_{Cx}$	$d_{Cy}$	$d_{Cz}$	
13,58660	13,58660	13,58662	

Adicijske konstante za vsak posamezen reflektor so izračunane po enačbi 50 in zbrane v spodnji preglednici 11.

$$k_{aMINI2} = d_{PRECIZNAx} - d_{MINI\ x} \quad (50)$$

**Preglednica 11: Adicijske konstante za srednjo dolžino**

$d_{PRECIZNAx2}$	$d_A$	$k_{aA2}$
13,6044	13,5863	0,0182 m
$d_{PRECIZNAx2}$	$d_B$	$k_{aB2}$
13,6044	13,5863	0,0182 m
$d_{PRECIZNAx2}$	$d_C$	$k_{aC2}$
13,6044	13,5866	0,0178 m

### 6.1.3 Rezultati za najdaljšo dolžino 65.3219 m

Pri najdaljši razdalji je bil postopek računanja enak. Rezultati, ki smo jih dobili za precizne reflektorje in mini reflektorje, so naslednji:

**Preglednica 12: Srednje vrednosti dolžin s preciznima reflektorjema**

$d_{PRECIZNA\ 11}$	65.3219 m
$d_{PRECIZNA\ 12}$	65.3216 m
$d_{PRECIZNA\ 21}$	65.3221 m
$d_{PRECIZNA\ 22}$	65.3221 m
$d_{PRECIZNAz}$	65.3219 m

Izmerjene dolžine z mini reflektorji so zbrane v preglednici 13.

**Preglednica 13: Srednja vrednost najdaljše merjene dolžine za mini reflektorje GMP 111**

Sredina meritev prizme A			$d_{A3}$
$d_{Ax}$	$d_{Ay}$	$d_{Az}$	
65,3038	65,3034	65,3038	65,3037 m
Sredina meritev prizme B			$d_{B3}$
$d_{Bx}$	$d_{By}$	$d_{Bz}$	
65,3039	65,3037	65,3038	65,3038 m
Sredina meritev prizme C			$d_{C3}$
$d_{Cx}$	$d_{Cy}$	$d_{Cz}$	
65,3048	65,3048	65,3048	65,3048 m

Adicijske konstante za vsak posamezen reflektor so izračunane po enačbi 51 in zbrane v spodnji preglednici 14.

$$k_{aMINI3} = d_{PRECIZNAx} - d_{MINI\ x} \quad (51)$$

**Preglednica 14: Adicijske konstante za najdaljšo dolžino**

$d_{PRECIZNAx3}$	$d_A$	$k_{aA3}$
65,3219	65,3037	0,0182 m
$d_{PRECIZNAx3}$	$d_B$	$k_{aB3}$
65,3219	65,3038	0,0181 m
$d_{PRECIZNAx3}$	$d_C$	$k_{aC3}$
65,3226	65,3048	0,0178 m

### 6.1.4 Vrednosti empirične adicijske konstante

Za posamezni mini reflektor GMP 111 smo izračunali adicijsko konstanto po enačbi 52, standardni odklon po enačbi 45 in rezultate predstavili v preglednici 15.

$$k_{aMINI} = \frac{k_{aMINIx} + k_{aMINIy} + k_{aMINIz}}{3} \quad (52)$$

**Preglednica 15: Srednja vrednost adicijskih konstant mini reflektorjev GMP 111**

	$k_{aMINI1}$	$\sigma_{k_{a1}}$	$k_{aMINI2}$	$\sigma_{k_{a2}}$	$k_{aMINI3}$	$\sigma_{k_{a3}}$	$k_{aMINI}$
Mini reflektor A	18,2 mm	0,12 mm	18,2 mm	0,15 mm	18,2 mm	0,17 mm	18,2 mm
Mini reflektor B	18,0 mm	0,12 mm	18,2 mm	0,11 mm	18,1 mm	0,12 mm	18,1 mm
Mini reflektor C	17,8 mm	0,19 mm	17,8 mm	0,03mm	17,8 mm	0,05 mm	17,8 mm

## 6.2 Primerjava adicijskih konstant

V primerjavi adicijskih konstant smo prikazali razliko med empirično pridobljenimi rezultati in rezultati, ki jih navaja proizvajalec. Primerjava med temi rezultati za adicijsko konstanto je prikazana v enačbi 53, statični test z enačbo 48 in z rezultati v preglednici 16.

$$\Delta k_{aMINI} = k_{aPRIZVAJALEC} - k_{aMINI} \quad (53)$$

**Preglednica 16: Prikaz razlike med našo in adicijsko konstanto, ki jo navaja proizvajalec**

$k_{aPROIZVAJALEC}$	$k_{aA}$	$\sigma_{k_{aA}}$	$\Delta k_{aA}$	$\sigma_{\Delta k_{aA}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aA}}$	Statistični test
17,5 mm	18,2 mm	0,15 mm	-0,7 mm	0,15 mm	0,44 mm	da
$k_{aPROIZVAJALEC}$	$k_{aB}$	$\sigma_{k_{aB}}$	$\Delta k_{aB}$	$\sigma_{\Delta k_{aB}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aB}}$	Statistični test
17,5 mm	18,1 mm	0,16 mm	-0,6 mm	0,11 mm	0,34 mm	da
$k_{aPROIZVAJALEC}$	$k_{aC}$	$\sigma_{k_{aC}}$	$\Delta k_{aC}$	$\sigma_{\Delta k_{aC}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aC}}$	Statistični test
17,5 mm	17,8 mm	0,11 mm	-0,3 mm	0,11 mm	0,34 mm	ne

Iz preglednice 16 je razvidno, da se adicijska konstanta mini reflektorja A od navedb proizvajalca razlikuje za -0.7 mm, adicijska konstanta mini reflektorja B za -0.6 mm in adicijska konstanta mini reflektorja C -0.3 mm.

Razlika med navedbami proizvajalca in našimi rezultati je pomembna. Ker se te mini reflektorje uporabljajo za namen zakoličb, prenosa točk na profile, ..., je dobro, da vemo točno, kakšna je adicijska konstanta posameznega reflektorja. Priporočljivo je, da prizmi na vsake toliko časa preverimo adicijsko konstanto.

Rezultati v preglednici 16 nam povedo, da sta razliki adicijskih konstant mini reflektorjev A in B, ki jih navaja proizvajalec ter teh, ki smo jih določili mi, statistično značilno različni. Pri mini reflektorju C tega s stopnjo zaupanja 99,75 % ne moremo trditi.

## 7 ZAKLJUČEK

Proizvajalec navaja, da znaša adicijska konstanta mini reflektorjev GMP 111 17,5 mm. Cilj diplomske naloge je bil, da preverimo adicijsko konstanto treh mini reflektorjev GMP 111. Adicijske konstante mini reflektorjev GMP 111, ki smo jih določili s preizkusom na osnovi izmere treh serij različnih dolžin, so bile med serijami primerljive, zato smo adicijsko konstanto posameznega reflektorja določili kot srednjo vrednost.

Na osnovi opravljene analize oziroma primerjave rezultatov določitve adicijskih konstant s podatki, ki jih navaja proizvajalec, smo ugotovili, da ima najmanjše odstopanje mini reflektor GMP 111 z oznako C (-0,3 mm). Največje odstopanje ima mini reflektor GMP 111 z oznako A (-0,7 mm). Razlika adicijskih konstant reflektorja GMP 111 z oznako B pa znaša -0,6 mm.

Mini reflektorje GMP 111 običajno uporabljamo za preciznejše meritve, kot so zakoličbe, prenosi točk na gradbene profile, podaljševanje linij,... Takrat moramo poleg primernega instrumenta uporabiti tudi preciznejši pribor (prizme, toga grezila,...). Za kakovostno delo je priporočljivo, če poznamo vse karakteristike uporabljenega instrumentarija in opreme. Proizvajalec sicer navaja tehnične podatke instrumentarija in opreme, a dobro je, če jih sami preverimo in se tudi sami prepričamo v to. Prišli smo do ugotovitve, da se adicijska konstanta razlikuje in da so te razlike statistično značilno razlikujejo za mini reflektor A in B, medtem, ko za mini reflektor C tega ne moremo trditi.





## VIRI

Berdajs, A. Ulbl M. 2010. Inženirska geodezija. Višja strokovna šola Academia. Ljubljana. [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva\\_ESS/Impletum/IMPLETUM\\_157GRADBENISTVO\\_Inzenirska\\_Ulbl.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva_ESS/Impletum/IMPLETUM_157GRADBENISTVO_Inzenirska_Ulbl.pdf) (Pridobljeno 12. 3. 2016.)

Cvetko, U. 2007. Testiranje ločilne sposobnosti elektronskih tahimetrov pri minimalnih spremembah položaja prizme. Diplomski naloga UNI. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Cvetko): loč. pag.

Elektromagnetni spekter. 2016. [http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/upravljanje\\_ik/40\\_brezzicna/02\\_datoteka.html](http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/upravljanje_ik/40_brezzicna/02_datoteka.html) (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Kogoj, D., Stopar, B. 2009. Geodetska izmera 2009. [http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Geodetska\\_izmera\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf) (Pridobljeno 7. 3. 2016.)

Kogoj, D., Vodopivec, F. 2003. Kompariranje in kalibriranje elektronskih razdaljemerov. Geodetski vestnik 47, 1-2: 18-26.

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

Leica Nova Multi StationMS50. 2016. [http://www.geoservis.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=244&Itemid=5](http://www.geoservis.si/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=5) (Pridobljeno 20. 4. 2016.)

Mini prizma GMP 111. 2016. <http://commandercn.en.made-in-china.com/product/gqcxjwvDSNUB/China-Leica-Mini-Prism-with-Holder-GMP111.html> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Nosilec prizme GZR 2. 2016. <http://www.geoshop.si/k/3-6-2/Merilni-pribor-in-pripomocki/Trinozna-podnozja-in-nosilci/Trinozna-podnozja-nosilci-prizem> (Pridobljeno 14. 4. 2016.)

Podstavek GDF 22. 2016. <https://www.sccsurvey.co.uk/survey-equipment-accessories/tribrachs-adapters.html> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Precizni reflektor Leica GPH1P. 2016. <http://surveyequipment.com/leica-gph1p-precision-prism/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Skakić, M. 2007. Testiranje elektronskih razdaljemerov pri merjenju dolžin brez uporabe reflektorjev. Diplomaska naloga VSŠ. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Skakić): loč. pag.

Vinkl, J. 2004. Določitev adicijskih konstant izbranih elektronskih razdaljemerov na republiški mali komparatorski bazi Logatec. Diplomaska naloga UNI. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Vinkl): loč. pag.

---

## SEZNAM PRILOG

Priloga A: Merjene dolžine med stebrom 1 in 2 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorji GMP 111 .....	A
Priloga B: Merjene dolžine med stebrom 1 in 3 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorji GMP 111 .....	D
Priloga C: Merjene dolžine med stebrom 4 in 5 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorji GMP 111 .....	G
Priloga D: Merjene dolžine med stebrom 4 in 5 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorjem GMP 111 številka C .....	I
Priloga E: Prikaz rezultatov natančnosti in statičnega testiranja .....	K



## Priloga A: Merjene dolžine med stebrom 1 in 2 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorji GMP 111

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 2 (krajša dolžina)

Precizni reflektor WILD GPH1P številka 1:

Vse meritve:

Zaporedna številka	$d_{PRECIZNA11}$	$d_{PRECIZNA12}$	$d_{PRECIZNA21}$	$d_{PRECIZNA22}$
1	2,8598	2,8598	2,8600	2,8600
2	2,8597	2,8598	2,8600	2,8601
3	2,8598	2,8599	2,8599	2,8600
4	2,8598	2,8598	2,8599	2,8600
5	2,8598	2,8598	2,8599	2,8600
6	2,8598	2,8599	2,8599	2,8601
7	2,8598	2,8599	2,8599	2,8600
8	2,8598	2,8599	2,8599	2,8600
9	2,8598	2,8599	2,8600	2,8600
10	2,8599	2,8599	2,8599	2,8600
Povprečna vrednost dolžine:	2,8598	2,8599	2,8599	2,8600

Srednja vrednost dolžine:

precizni reflektor 1 - prvič

2,8598

m

precizni reflektor 1 - drugič

2,8599

m

precizni reflektor 2 - prvič

2,8599

m

precizni reflektor 2 - drugič

2,8600

m

Srednja vrednost prve dolžine:

2,8599

m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 2 (krajša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka A

Prva meritve:

Zap. številka	D	D	D
1	2,8418	2,8415	2,8415
2	2,8418	2,8416	2,8416
3	2,8418	2,8416	2,8415
4	2,8418	2,8417	2,8416
5	2,8418	2,8417	2,8415
6	2,8418	2,8417	2,8415
7	2,8418	2,8416	2,8416

8	2,8418	2,8417	2,8416
9	2,8418	2,8417	2,8416
10	2,8418	2,8417	2,8416
$\mu$	2,8418	2,8417	2,8416

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor A - prvič

2,8418 m

Mini reflektor A - drugič

2,8417 m

Mini reflektor A - tretjič

2,8416 m

Srednja vrednost dolžine:

2,8417 m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 2 (krajša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka B

Prva meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	2,8418	2,8417	2,8420
2	2,8418	2,8417	2,8420
3	2,8418	2,8418	2,8420
4	2,8418	2,8417	2,8420
5	2,8418	2,8418	2,8420
6	2,8418	2,8418	2,8420
7	2,8418	2,8418	2,8420
8	2,8418	2,8418	2,8420
9	2,8418	2,8418	2,8420
10	2,8418	2,8418	2,8420
	2,8418	2,8418	2,8420

:

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor - prvič

2,8418 m

Mini reflektor - drugič

2,8418 m

Mini reflektor - tretjič

2,8420 m

Srednja vrednost dolžine:

2,8419 m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 2 (krajša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka C

Prva meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	2,8418	2,8422	2,8422

2	2,8418	2,8422	2,8422
3	2,8419	2,8423	2,8421
4	2,8419	2,8422	2,8422
5	2,8418	2,8423	2,8422
6	2,8418	2,8422	2,8421
7	2,8418	2,8422	2,8421
8	2,8418	2,8422	2,8422
9	2,8418	2,8423	2,8422
10	2,8418	2,8422	2,8422
	2,8418	2,8422	2,8422

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor - prvič

2,8418	m
--------	---

Mini reflektor - drugič

2,8422	m
--------	---

Mini reflektor - tretjič

2,8422	m
--------	---

Srednja vrednost dolžine:

2,8421	m
--------	---



## Priloga B: Merjene dolžine med stebrom 1 in 3 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorji GMP 111

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 3 (srednja dolžina)

Precizni reflektor WILD GPH1P številka 1:

Meritev:

Zaporedna številka	$d_{PRECIZNA\ 11}$	$d_{PRECIZNA\ 12}$	$d_{PRECIZNA\ 21}$	$d_{PRECIZNA\ 22}$
1	13,6043	13,6046	13,6046	13,6046
2	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
3	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
4	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
5	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
6	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
7	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
8	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
9	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
10	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046
Povprečna vrednost dolžine:	13,6042	13,6046	13,6046	13,6046

Srednja vrednost dolžine:

precizni reflektor 1 - prvič

13,6043 m

precizni reflektor 1 - drugič

13,6042 m

precizni reflektor 2 - prvič

13,6046 m

precizni reflektor 2 - drugič

13,6046 m

Srednja vrednost dolžine:

13,6044 m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 3 (srednja dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka A

Zap. številka	D	D	D
1	13,5861	13,5863	13,5864
2	13,5861	13,5863	13,5864
3	13,5861	13,5863	13,5864
4	13,5861	13,5863	13,5865
5	13,5861	13,5863	13,5865
6	13,5861	13,5863	13,5864

7	13,5861	13,5863	13,5864
8	13,5861	13,5863	13,5865
9	13,5861	13,5863	13,5864
10	13,5860	13,5863	13,5864
	13,5861	13,5863	13,5864

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor - prvič

13,5861 m

Mini reflektor - drugič

13,5863 m

Mini reflektor - tretjič

13,5864 m

Srednja vrednost prve dolžine:

13,5863 m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 3 (srednja dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka B

Prva meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	13,5862	13,5862	13,5864
2	13,5862	13,5862	13,5864
3	13,5862	13,5862	13,5864
4	13,5862	13,5862	13,5864
5	13,5862	13,5862	13,5864
6	13,5862	13,5862	13,5864
7	13,5862	13,5862	13,5864
8	13,5862	13,5862	13,5864
9	13,5861	13,5862	13,5864
10	13,5862	13,5862	13,5864
	13,5862	13,5862	13,5864

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor B - prvič

13,5862 m

Mini reflektor B - drugič

13,5862 m

Mini reflektor B - tretjič

13,5864 m

Srednja vrednost dolžine:

13,5863 m

Dolžina med stebrom 1 in stebrom 3 (srednja dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka C

Meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	13,5866	13,5866	13,5866
2	13,5866	13,5866	13,5866
3	13,5866	13,5866	13,5866
4	13,5866	13,5866	13,5866
5	13,5866	13,5866	13,5867
6	13,5866	13,5866	13,5866
7	13,5866	13,5866	13,5866
8	13,5866	13,5866	13,5866
9	13,5866	13,5866	13,5867
10	13,5866	13,5866	13,5866
	13,5866	13,5866	13,5866

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor C - prvič

13,5866 m

Mini reflektor C - drugič

13,5866 m

Mini reflektor C - tretjič

13,5866 m

Srednja vrednost dolžine:

13,5866 m

## Priloga C: Merjene dolžine med stebrom 4 in 5 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorjema GMP 111 številka A in B

Dolžina med stebrom 4 in stebrom 5 (najdaljša dolžina)

Precizni reflektor WILD GPH1P številka 1:

Meritev:

Zaporedna številka	$d_{PRECIZNA\ 11}$	$d_{PRECIZNA\ 12}$	$d_{PRECIZNA\ 21}$	$d_{PRECIZNA\ 22}$
1	65,3219	65,3216	65,3222	65,3221
2	65,3219	65,3216	65,3221	65,3221
3	65,3218	65,3215	65,3221	65,3221
4	65,3219	65,3215	65,3221	65,3221
5	65,3219	65,3215	65,3221	65,3221
6	65,3219	65,3216	65,3222	65,3221
7	65,3218	65,3215	65,3221	65,3221
8	65,3219	65,3216	65,3220	65,3221
9	65,3219	65,3215	65,3220	65,3221
10	65,3219	65,3216	65,3221	65,3221
Povprečna vrednost dolžine:	65,3219	65,3216	65,3221	65,3221

Srednja vrednost dolžine:

precizni reflektor 1 - prvič

65,3219
---------

 m

precizni reflektor 1 - drugič

65,3216
---------

 m

precizni reflektor 2 - prvič

65,3221
---------

 m

precizni reflektor 2 - drugič

65,3221
---------

 m

Srednja vrednost dolžine:

65,3219
---------

 m

Dolžina med stebrom 4 in stebrom 5 (najdaljša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka A

Meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	65,3038	65,3035	65,3038
2	65,3038	65,3034	65,3038
3	65,3038	65,3034	65,3037
4	65,3038	65,3034	65,3038
5	65,3037	65,3035	65,3038
6	65,3038	65,3035	65,3038
7	65,3037	65,3034	65,3038
8	65,3038	65,3034	65,3038

9	65,3038	65,3035	65,3038
10	65,3037	65,3034	65,3038
	65,3038	65,3034	65,3038

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor A - prvič

65,3038 m

Mini reflektor A - drugič

65,3034 m

Mini reflektor A - tretjič

65,3038 m

Srednja vrednost dolžine:

65,3037 m

Dolžina med stebrom 4 in stebrom 5 (najdaljša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka B

Meritev:

Zap. Številka	D	D	D
1	65,3039	65,3037	65,3038
2	65,3038	65,3038	65,3038
3	65,3039	65,3039	65,3038
4	65,3038	65,3036	65,3038
5	65,3038	65,3036	65,3038
6	65,3038	65,3035	65,3038
7	65,3039	65,3036	65,3038
8	65,3039	65,3036	65,3038
9	65,3039	65,3036	65,3038
10	65,3038	65,3036	65,3038
	65,3039	65,3037	65,3038

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor B - prvič

65,3039 m

Mini reflektor B - drugič

65,3037 m

Mini reflektor B - tretjič

65,3038 m

Srednja vrednost dolžine:

65,3038 m

## Priloga D: Merjene dolžine med stebrom 4 in 5 s preciznim reflektorjem WILD GPH1P in mini reflektorjem GMP 111 številka C

Dolžina med stebrom 4 in stebrom 5 (najdaljša dolžina)

Precizni reflektor WILD GPH1P številka 1:

Meritev:

Zaporedna številka	$d_{PRECIZNA\ 11}$	$d_{PRECIZNA\ 12}$	$d_{PRECIZNA\ 21}$	$d_{PRECIZNA\ 22}$
1	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
2	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
3	65,3229	65,3226	65,3226	65,3225
4	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
5	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
6	65,3229	65,3226	65,3226	65,3225
7	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
8	65,3230	65,3226	65,3227	65,3225
9	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
10	65,3229	65,3226	65,3227	65,3225
Povprečna vrednost dolžine:	65,3229	65,3226	65,3226	65,3225

Srednja vrednost dolžine:

precizni reflektor 1 - prvič

65,3229	m
---------	---

precizni reflektor 1 - drugič

65,3226	m
---------	---

precizni reflektor 2 - prvič

65,3226	m
---------	---

precizni reflektor 2 - drugič

65,3225	m
---------	---

Srednja vrednost dolžine:

65,3226	m
---------	---

Dolžina med stebrom 4 in stebrom 5 (najdaljša dolžina)

Mini reflektor GMP 111 številka C

Meritev:

Zap. številka	D	D	D
1	65,3048	65,3049	65,3049
2	65,3048	65,3049	65,3048
3	65,3048	65,3049	65,3048
4	65,3048	65,3048	65,3048
5	65,3048	65,3048	65,3049
6	65,3048	65,3048	65,3048
7	65,3048	65,3048	65,3048
8	65,3048	65,3048	65,3048

---

9	65,3048	65,3048	65,3048
10	65,3048	65,3048	65,3049
	65,3048	65,3048	65,3048

Srednja vrednost dolžine :

Mini reflektor C - prvič

65,3048	m
---------	---

Mini reflektor C - drugič

65,3048	m
---------	---

Mini reflektor C - tretjič

65,3048	m
---------	---

Srednja vrednost dolžine:

65,3048	m
---------	---

**Priloga E: Prikaz rezultatov natančnosti in statičnega testiranja**

Izračun za vsak mini reflektor

Mini reflektor A

Seriya 1	$\sigma_{k_{aA1}}$	$\sigma_{\Delta k_{aA}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aA}}$	Statistični test
0,00000039	0,00012 m	0,00015 m	0,00044 m	da
Seriya 2	$\sigma_{k_{aA2}}$			
0,00000064	0,00015 m			
Seriya 3	$\sigma_{k_{aA2}}$			
0,00000086	0,00017 m			

Mini reflektor B

Seriya 1	$\sigma_{k_{aB1}}$	$\sigma_{\Delta k_{aB}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aB}}$	Statistični test
0,00000039	0,00012 m	0,00011 m	0,00034 m	da
Seriya 2	$\sigma_{k_{aB2}}$			
0,00000033	0,00011 m			
Seriya 3	$\sigma_{k_{aB2}}$			
0,00000040	0,00012 m			

Mini reflektor C

Seriya 1	$\sigma_{k_{aC1}}$	$\sigma_{\Delta k_{aC}}$	$3 * \sigma_{\Delta k_{aC}}$	Statistični test
0,00000106	0,00019 m	0,00011 m	0,00034 m	ne
Seriya 2	$\sigma_{k_{aC2}}$			
0,00000002	0,00003 m			
Seriya 3	$\sigma_{k_{aC2}}$			
0,00000006	0,00005 m			