



PD 7135



003070562

COBISS e

UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Mr. dipl. inž. RADOVAN MRKIĆ

**PRILOG OBJEKTIVNOJ OCENI TAČNOSTI
MERENJA DUŽINA ELEKTRONSKIM
DALJINOMERIMA**

BEOGRAD 1978

PL 7155



GRADJEVINSKI FAKULTET - BEOGRAD
Institut za geodeziju

IZVEŠTAJ O METODI MERENJA DUŽINE ELEKTRONSKIM
DALJINOMERIMA
1.1. Instrument i pribor
1.2. Ispitivanje metode merenja dužine
odbravnice

Mr dipl.inž. Radovan Mrkić

PRILOG OBJEKTIVNOJ OCENI TAČNOSTI MERENJA
DUŽINA ELEKTRONSKIM DALJINOMERIMA

- Doktorska disertacija -

Beograd, 1978. godina

S A D R Ź A J

	Strana
1. U V O D	5
2. ANALIZA METODE MERENJA DUŽINA ELEKTROOPTIČKIM DALJINOMERIMA	8
2.1. Instrument i pribor	8
2.2. Ispitivanje rektifikacija kontrola i održavanje	8
2.3. Popravke koje se unose kod računanja dužina	15
2.4. Izvori grešaka i greške koje se javljaju kod merenja dužina elektronskim daljinomerima	19
2.5. Podela grešaka po značaju	31
2.6. Izrazi za ocenu tačnosti	35
2.7. Izrazi za uslove tačnosti	37
3. PRETHODNA OCENA TAČNOSTI MERENJA DUŽINA ELEKTRONSKIM DALJINOMERIMA	41
3.1. Opšti podaci za izvore grešaka	42
3.2. Prethodna ocena tačnosti merenja dužina	46
3.3. Prethodna ocena tačnosti vlaka - podužna linearna greška vlaka	55
3.4. Uslovi tačnosti	60
4. DETALJNA RAZRADA METODE MERENJA	64
4.1. Odredjivanje adicione konstante	64
4.2. Podaci za praćenje i kontrolu merenja	65
5. PRETHODNA OCENA TAČNOSTI MERENJA DUŽINA ELEKTRONSKIM DALJINOMEROM WILD DI-10 U GRADSKOJ POLIGONOMETRIJSKOJ MREŽI 1. REDA	68

5.1. Podaci za izvore grešaka	68
5.2. Prethodna ocena tačnosti merenja dužina	73
5.3. Prethodna ocena tačnosti vlaka - poduž- na linearna relativna greška vlaka	80
5.4. Uslovi tačnosti	85
6. GRADSKA POLIGONOMETRIJSKA MREŽA ŠTIPA	89
6.1. Ocena tačnosti uglovnih merenja	92
6.2. Ocena tačnosti linearnih merenja	93
6.3. Transformacija koordinata gradske trigo- nometrijske mreže	94
6.4. Izravnanje gradske trigonometrijske mreže	95
6.5. Ocena tačnosti gradske poligonometrijske mreže	100
7. ZAKLJUČCI	102
8. LITERATURA	

1. U V O D

Nešto više od dve decenije počeli su u geodeziji da se primenjuju elektromagnetni daljinomeri. Njihov princip rada je poznat i zasniva se na tome da se izmeri vreme za koje talasi, čija je brzina prostiranja poznata, predju dvostruki put od instrumenta do reflektora.

Proteklo vreme za koje emitovani talasi predju dvostruki put, određuje se indirektno kroz uporedjenje faza osnovnog talasa sa reflektovanim signalom. Pri tome vrši se modulacija nosećeg talasa u merni talas. Kod svetlosnih talasa koristi se amplitudna, a kod mikrotalasa, frekventna modulacija.

Mikrotalasni instrumenti - radiodaljinomeri - počeli su da se proizvode još 1957. godine. Prvi instrument ove vrste bio je telurometar. Sa izvesnim poboljšanjima, nešto kasnije, dolazi distomat Wild DI 50 (1962. god.), i kao njihov naslednik SAIL 60 (1972/73. god.). Prednost ovih mikrotalasnih daljinomera su veliki domet i mogućnost merenja po svakom vremenu. Nedostaci su uticaj meteoroloških parametara na tačnost merenja i refleksija talasa od površine Zemlje.

Posle desetogodišnjeg istraživanja Bergstrand je 1953. godine, predstavio prvi Geodimeter za merenje dužih odstojanja. Kao noseći talas upotrebljena je svetlost, a modulacija je vršena pomoću Kerove ćelije. Posle Geodimetra model 4 (1959. god.) i model 6 (1962. god.), pojavljuje se godine 1965., daljinomer Zeiss EOS sa ultrazvučnim modulatorom.

Jedan svojevrsan preokret u geodetskoj praksi merenja dužina nastupio je pojavom lasera, odnosno njegovom primenom u merenju dužina. To je monohromatska koherentna svetlost vrlo velikog intenziteta HeNe - gaslasera, koji se pojavio 1961. god. Instrumenti koji su koristili laser su Geodolit 3G (1966. god.) od Spectra Phisyc/USA, zatim od proizvođača AGA Geodimetri model 8 i model 700/710.

Značajan korak napred učinjen je, takodje i primenom luminiscentne diode. Njena prednost je u tome, što može neposredno vršiti modulaciju talasa, ali i nedostatak zbog slabog intenziteta zračenja (oko 0,2 mW), te se može upotrebiti kao izvor svetlosti nosećeg talasa za mrenje kraćih odstojanja. Svi geodetski instrumenti za merenje kraćih odstojanja uglavnom koriste galijum-arsenid-diodu.

Godine 1968. proizveden je prvi serijski instrument za merenje kraćih odstojanja, koji je koristio galijum-arsenid-diodu. Bio je to Wild DI 10. Odmah zatim dolazi, 1969. god., Telurometar MA 100, do tada instrument najveće tačnosti.

Novije konstrukcije instrumenata dovele su do velike portabilnosti, digitalizacije i tačnosti koja zadovoljava sve potrebe geodetskih radova. Medju takve spadaju instrumenti Kern DM 500, Zeiss Eldi sa raznim tipovima, Wild DI 3S, AGA Geodimeter 12, Packard HP 3810 A i Telurometar CD6. Ovo je nekoliko instrumenata iz tzv. druge generacije.

Postavlja se dalje pitanje povećanja tačnosti merenja dužina. Javlja se, zbog toga, nove konstrukcije koje imaju za cilj povećanje sigurnosti odredjivanja meteoroloških parametara od kojih zavisi tačnost odredjivanja dužina. Tako je početkom 1973. god. bio predstavljen novi serijski instrument visoke tačnosti $\pm(0,2 \text{ mm} \pm 1 \cdot 10^{-6} D)$ - elektrooptički daljinomer Mekometar ME 3000. Proizvodi ga Kern (Švajcarska) i Com-Rad (Engleska) po licenci National Research u Development Corporation, a ugrađen je nedavno u godinu po Froome i Bradsel u National Physical Laboratory (NPL) u Teddington-u. Napredak u pogledu tačnosti kod Mekometra ME 3000 povećan je zahvaljujući upotrebljenoj vrlo velikoj frekvenciji, kao i automatskom registrovanju meteoroloških podataka.

Do sada najtačniji instrument koncipiran za odstojanja $3 \text{ km} < D < 20 \text{ km}$ nastaje pod rukovodstvom dr Froome u NPL. Nosi naziv Georan I. Kao izvor svetlosti koristi se argon-impuls-laser iz koga se filtriraju dve boje: $\lambda_{\text{plavo}} = 485$ i $\lambda_{\text{zeleno}} = 514$. Korišćenjem disperzionog efekta, očekuje se tačnost veća od $1 \cdot 10^{-7} D$. Rešenje bi bilo jednostavnije ako bi na raspolaganju stajala dva lasera (Bradsell - 1974. god.) sa odnosom talasnih dužina 1:2.

Ilustracije radu u sledećoj tabeli daju se greške dužine u 10^{-6} , koje se javljaju usled grešaka poznavanja temperature, pritiska i vlažnosti vazduha, uporedno kod svetlosnih daljinomera i Georana I.

	Kod jednobojne svetlosti	Kod Georana I
Greška u $t = 1^{\circ}\text{C}$	1,0 mm	0,01 mm
$p = 3 \text{ mmHg}$	1,2	0,01
$e = 3 \text{ mmHg}$	0,1	0,4

Pored velikog napretka koji je učinjen u konstrukciji instrumenta sa dve talasne dužine, javljaju se teškoće u poznavanju pritiska vodene pare. Ipak i te teškoće se mogu otkloniti na način koji su ispitivanjima pokazali Huggelt i Slater u USA. Kod njihovog instrumenta korišćena su dva lasera: HeNe-laser $\lambda_{\text{crveno}} = 632,8$ i HeCd-laser $\lambda_{\text{plavo}} = 441,6$ i dopunski mikrotalasni daljinomer.

Ovako brz razvitak oblasti elektrooptičkih daljinomera zahteva odgovarajući razvitak metode merenja. Poznato je, naime, da se pored instrumentalnih grešaka javljaju i druge greške, koje mogu biti od značaja za tačnost merenja, ili se na neki način mogu otkloniti ili učiniti beznačajnim. Potrebno je, dakle, izvršiti analizu metode merenja i prethodnu ocenu tačnosti, kako bi smo tako došli do objektivne ocene tačnosti merenja dužine elektrooptičkim daljinomerima, što će se pokušati u ovom radu.

Posle izvršene analize metode merenja i prethodne ocene tačnosti, biće izvršena detaljna razrada metode merenja. U detaljnoj razradi metode merenja biće dat program ispitivanja instrumenta i pribora, kao i pojedinih izvora grešaka. Takođe će se doći do podataka koji služe za praćenje i kontrolu izvršenja merenja.

Sledeći korak u radu biće izvršenje merenja u konkretnom modelu za koji se predviđa poligonometrijska mreža 1. reda grada Štipa. Po završetku merenja biće izvršena obrada podataka merenja i ocena tačnosti izvršenih merenja i dobijenih rezultata.

Najzad je potrebno izvršiti uporedjenje rezultata dobijenih u prethodnoj oceni tačnosti i oceni tačnosti iz podataka izvršenih merenja. I na kraju, daju se zaključci u kojima su, na sažet način, interpretirani rezultati dobijeni u celom radu.

2.1. Pravna osnova i ciljevi

2.1.1. Pravna osnova i ciljevi

Elektronički uređaji za mjerenje su široko rasprostranjeni u savremenoj tehnici. Oni omogućavaju precizna i brza mjerenja različitih veličina. U ovom radu istražuje se mogućnost primjene takvih uređaja u određenim područjima. Cilj ovog rada je istražiti tačnost i pouzdanost takvih mjerenja u praksi.

2.1.2. Metode i oprema

U ovom radu korišteni su različiti tipovi elektroničkih uređaja za mjerenje. Metode mjerenja su detaljno opisane, a rezultati su prikazani u tabelarnom obliku. Oprema koja je korištena uključuje osciloskop, generator signala i druge elektroničke komponente.

2.2. Teorijski aspekti i rezultati

U ovom poglavlju razmatraju se teorijski aspekti mjerenja elektroničkim uređajima. Opisane su metode za određivanje tačnosti i pouzdanosti mjerenja. Također su prikazani rezultati mjerenja i njihova interpretacija. Rezultati ukazuju na visoku tačnost i pouzdanost takvih mjerenja u praksi.

2.2.1. Teorijski aspekti i rezultati

U ovom poglavlju detaljnije se razmatraju teorijski aspekti mjerenja. Opisane su metode za određivanje tačnosti i pouzdanosti mjerenja. Također su prikazani rezultati mjerenja i njihova interpretacija. Rezultati ukazuju na visoku tačnost i pouzdanost takvih mjerenja u praksi.



2. ANALIZA METODE MERENJA DUŽINA ELEKTROOPTIČKIM DALJINOMERIMA

2.1. Instrument i pribor

2.1.1. Princip funkcionisanja

Elektrooptičkim daljinomerima odstojanje se dobija na taj način što se posrednim putem izmeri vreme za koje svetlost poznate brzine predje dvostruki put od instrumenta do reflektora.

2.1.2. Uredjaj za merenje

Potpun uredjaj za merenje dužine sastoji se od predajnika, prijemnika, indikatora, reflektora i izvora električne energije.

2.2. Ispitivanje i rektifikacija

Pre početka merenja potrebno je izvršiti odredjivanje adicione konstante i njenog periodičnog karaktera, ispitivanje i rektifikacija paralelnosti vizure i elektrooptičkog zraka, kontrolu kablova, konstantnost frekvencije i ostale potrebne kontrole instrumenta i pribora.

2.2.1. Odredjivanje adicione konstante

Adiciona konstanta predstavlja zbir odstojanja centra emitovanja od alhidadne osovine i ravni odbijanja talasa od obrtne osovine prizme. Sastavljena je prema tome od dve komponente. Adiciona konstanta upisana je kao CAL vrednost na indikatoru, na primer kod DI 10, ili se automatski zauzima kod digitalnih instrumenata. Pre početka merenja adicijonu konstantu potrebno je ispitati i po potrebi unositi odgovarajuću popravku. Način ispitivanja proizilazi iz definicije adicione konstante i može se izvršiti na tri osnovna načina:

1) Odredjivanje adicione konstante vrši se tako što se ispitivanim instrumentom mere uslovno tačna odstojanja i

prave se razlike

$$a_i = D_0 - D_i \tag{2.1}$$

gde je:

D_0 - uslovno tačno odstojanje

D_i - odstojanje mereno ispitivanim instrumentom.

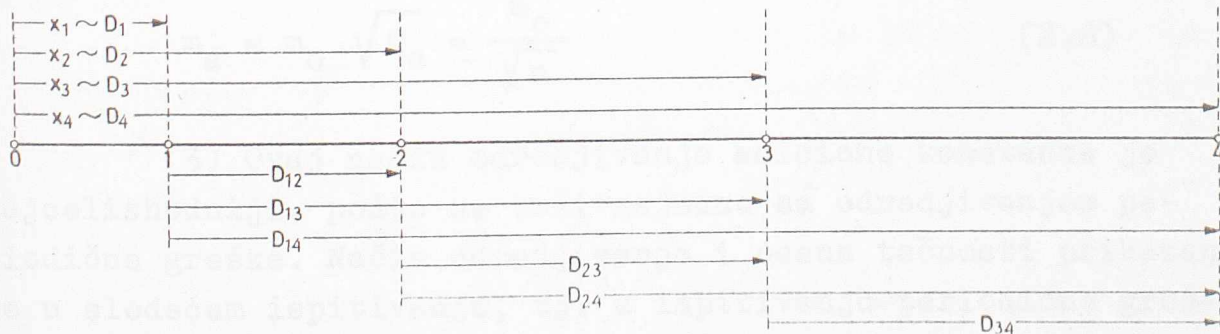
Ovako se izvrši merenje više puta i za definitivnu vrednost se uzme prosta aritmetička sredina

$$\bar{a} = \frac{D_0 - D_i}{n} \tag{2.2}$$

Za vrednost adicione konstante dobiće se realnija vrednost, ako raspolažemo sa uslovno tačnim odstojanjima ravnomerno raspoređenim u okviru polovine talasne dužine instrumenta za koji se adicione konstanta odredjuje.

Ocena tačnosti odredjivanja adicione konstante vrši se iz podataka suvišnih merenja. To je ocena tačnosti iz podataka merenja. Odredjivanje potrebnog broja merenja, izbor odsečaka i dr. biće izvršeno u detaljnoj analizi metode merenja (4).

2) Jedno približno horizontalno odstojanje izdela se na više proizvoljnih odsečaka, čije dužine nisu poznate, kao na sledećoj slici:



Dužine se mere u svim kombinacijama. Ovako dobijena odstojanja izravnavaju se po metodi najmanjih kvadrata, pri čemu se, pored nepoznatih odstojanja X_i , uvodi kao nepoznata adi.

ciona konstanta K ili popravka za adicijonu konstantu dK .

Po jednačini:

$$D_i + K + V_i = X_i \quad (2.3)$$

dobijaju se jednačine popravaka

$$\begin{aligned} V_1 &= -K + dX_1 && + f_1 \\ \text{-----} &&& \\ V_{1.2} &= -K + dX_1 + dX_2 && + f_{1.2} \quad (2.4) \\ \text{-----} &&& \\ V_{3.4} &= -K && -dX_3 + dX_4 + f_{3.4} \end{aligned}$$

Dalje se na poznat način dobijaju nepoznate dX_i i adicijona konstanta K.

Ocena tačnosti vrši se na osnovu podataka iz izravnjanja. Srednja greška jednog merenja iz popravaka v jedna-ka je:

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[v \ v]}{N - U}} \quad (2.5)$$

gde je:

N - broj merenih dužina

U - broj nepoznatih,

a srednja greška odredjivanja adicione konstante

$$m_a = m_o \sqrt{Q_a} = \frac{m_o}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

3) Ovaj način odredjivanja adicione konstante je najcelishodniji, pošto se vrši zajedno sa odredjivanjem pe-riodične greške. Način odredjivanja i ocena tačnosti prikazan je u sledećem ispitivanju, tj. u ispitivanju periodične greš-ke.

2.2.2. Periodična greška

Periodična greška ima svoj uzrok u uzajamnom utica-ju odašiljača, prijemnika i merača faze. Pošto se električno stanje instrumenta, posle podešavanja intenziteta signala na odredjenu meru, ponavlja posle jedne polovine talasne dužine

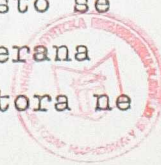
modulisanog talasa, to i greška zbog uzajamnog uticaja pomenutih elemenata ima upravo tu periodu. Periodična greška se naročito pojavljuje kod daljinomera sa elektrinskim merenjem faze. Nasuprot tome, kod instrumenata sa optičko-mehaničkim merenjem faze ove greške nema.

Ako se periodična greška prikaže u funkciji odstojanja, dobija se sinusoidna kriva. čija perioda odgovara polovini dužine modulisanog talasa. U svrhu otklanjanja periodične greške, dodaje se mernom signalu jedan sinusoidalni kompezijski signal, čija se amplituda i faza mogu podešavati.

Za odredjivanje periodične greške potreban je komparator koji se sastoji iz niza tačaka čiji je uzajamni odnos tačno poznat i koje su ravnomerno rasporedjene u intervalu od najmanje jedne periode (polutalasnne dužine). Ukupno odstojanje između instrumenta i reflektora treba da bude kratko (do 200 m) i ne mora biti uslovno tačno, pošto se tačan tok krive grešaka odredjuje merenjem uslovno tačnih medjurastojanja. Međutim, ako se istovremeno odredjuje i adicijona konstanta, onda je neophodno da i ovo odstojanje između instrumenta i reflektora bude uslovno tačno.

Komparator firme Kern za ispitivanje periodične greške, dugačak je 30 m. Merenje polovina modulisane talasne dužine, sa odgovarajućim medjutačkama, moguće je sa svakog odstojanja do 100 m. Sam komparator se sastoji iz jedne šine na kojoj je na svakom celom metru označena tačka. Znači, unutar svakog perioda (polutalasnne dužine) ima 10 tačaka. Pošto je iskustvo pokazalo da fazni pomak periodične krive u odnosu na nulu podele kod svih instrumenata leži između 0° i 20° , označene su u blizini maksimuma i minimuma krive grešaka, tj. na 2,5 m i 7,5 m, još dve tačke.

Da reflektor ne bi smo posle svakog merenja morali ručno pomicati, konstruisana su specijalna kolica koja preuzimaju ovu ulogu. Ta kolica se mogu pomoću specijalnog upravljačkog pulta, koji se nalazi na mestu opažanja, dovesti, zajedno sa reflektorom, u željeni položaj. Tačan položaj kolica sa reflektorom automatski se pokaže na upravljačkom pultu i postiže se pomoću dva rastavljena prorezna inicijatora. Nakon što se sa upravljačkog pulta kolica stave u pokret voze se, terana motorom, normalnom brzinom dok ih impuls prvog inicijatora ne



prebaci na usporenu vožnju. Impuls za zaustavljanje motora zaustavlja kolica na tačno odredjenom rastojanju od drugog inicijatora. Zato se pri dovodjenju kolica u isti položaj, treba voditi računa o rasporedu tačaka, kao i uzimati u obzir da li se kretanje kolica vrši u smeru napred ili nazad. Kolica se dovode u željeni položaj sa tačnošću $\pm 0,1$ mm.

Na ovom komparateru vrši se rektifikacija sinusne komponente periodične greške pomoću pomičnog kompenzacionog signala. Preostala greška je reda veličine greške sa kojom se meri fazni ugao.

Periodična greška kod elektrooptičkih daljinomera manifestuje se kao greška podele skale, što ustvari nije, već predstavlja sistematsku grešku merenja razlike faza, koja ima periodični karakter.

U nedostatku pravog komparatora može se uočiti nešto prostiji - priručni komparator. Na približno horizontalnom odstojanju od 10 m pobija se kolje u pravcu na svaki metar ili guńće. Na svaki kočić pobije se oksor na malom glavnom. Ispitivanje se vrši tako što se ova odstojanja mere instrumentom pošto su prethodno izmerena preciznom pantljkikom. Posle izvršenog ispitivanja ova odstojanja se ponovo izmere preciznom pantljkikom.

Intervalom komparatora od 10 m obuhvaćen je pun krug skale. Merenju svakog etalona odgovara različit fazni ugao. Merene dužine etalona instrumentom dobijaju se po sledećoj formuli:

$$D_i = D'_i + \Delta_1 + \Delta_2 \quad (2.7)$$

gde je:

- D_i - dužine merene instrumentom
- Δ_1 - popravka za atmosfere uslove
- Δ_2 - popravka za redukciju.

Za svaki etalon nalaze se razlike između uslovno tačnih dužina i dužina dobijenih merenjem:

$$\Delta D_i = D_{0_i} - D_i \quad (2.8)$$

Iz ovih vrednosti mogli bi smo odmah načiniti grafik, tako što bi smo na apscisu naneli merene dužine D_i , a na ordinatu odgovarajuće razlike D_i . Dobijene tačke bi ukazale da njihov raspored izražava zakon sinusoide, ako periodična greška postoji. Izravnavajuća kriva izražava se sledećim izrazom:

$$K = X_0 + X \sin(2\varphi + \varphi_0)$$

gde je:

- X_0 - pomak ose krive u odnosu na apscisu, odnosno popravku adicione konstante
- X - amplituda
- φ_0 - fazni pomak u odnosu na početak skale.

Ova izravnavajuća kriva (2.9) predstavlja promenu funkcije korekcije skale instrumenta. Parametre X_0 , X i φ_0 treba odrediti izravananjem.

Radi lakšeg računanja uvode se pomoćne veličine:

$$\begin{aligned} y &= X \cos \varphi_0 \\ z &= X \sin \varphi_0 \end{aligned} \tag{2.10}$$

tako da važe odnosi:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{y^2 + z^2} \\ \operatorname{tg} \varphi_0 &= \frac{z}{y} \end{aligned} \tag{2.11}$$

a funkcija K u transformisanom obliku glasi:

$$K = X_0 + y \sin 2\varphi_i + z \cos 2\varphi_i \tag{2.12}$$

Odgovarajuće jednačine popravaka imaju sledeći oblik:

$$V_i = X_0 + y \sin 2\varphi_i + z \cos 2\varphi_i - l_i \tag{2.13}$$

Izravananjem po metodi najmanjih kvadrata dobijaju se nepoznate X_0 , y i z , a zatim i X i φ_0 .

Zatim se računaju popravke V_i i srednja greška merenja jedne strane po formuli:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{n - 3}} \quad (2.14)$$

gde je:

n - broj merenih etalona.

Takodje, se mogu sračunati ekstremi funkcije K po formulama:

$$\varphi = \frac{2K + 1}{4} - \frac{\varphi_0}{2} \quad (2.15)$$

$$K = X_0 + X\varphi$$

Srednja greška M_k , koja pokazuje tačnost odredjivanja korekcije skala, može se sračunati pomoću težine funkcije P_k dobijene iz izravnjanja, tj.

$$M_k = m_0 \sqrt{\frac{1}{P_k}} \quad (2.16)$$

Komplikovan izraz za težinu funkcije P_k može se pod pretpostavkom $n \rightarrow \infty$, što se kod visokotačnih merenja može pretpostaviti, pojednostaviti tako da se može smatrati da je:

$$P_k = 2\pi$$

te je:

$$M_k = \frac{\pm m_0}{\sqrt{2\pi}} = \pm 0,40 m_0 \quad (2.17)$$

Periodični karakter sistematske greške merenja razlike faza postoji ako je:

$$\begin{aligned} m_0 &< X \\ m_k &\ll X \end{aligned} \quad (2.18)$$

Kad se utvrdi postojanje periodične greške i popravne za adicijonu konstantu, onda se za određene intervale skale instrumenta, tj. za određjen ugao φ računa ukupna popravka.

2.2.3. Paralelnost optičke vizure i elektronskog zraka

Kod nestručnog rukovanja može doći do derektifikacije paralelnosti vizure teodolita i infracrvenog emitovanog zraka. To se primećuje kad se optički navizira reflektor. Tada nema otklona kazaljke galvanometra. Derektifikacija se javlja u horizontalnoj, a redje u vertikalnoj ravni. Rektifikacija se izvodi tako, što se vizurna glava pomera u ležištu pomoću korekcionih zavrtnjeva, dok se ne postigne paralelnost koja se pokazuje maksimalnim otklonom kazaljke galvanometra.

2.2.4. Kontrola kablova

Oštećeni kablovi koji kod pojedinih instrumenata vezuju nišansku glavu sa indikatorom mogu prouzrokovati greške u rezultatima. Ispitivanje se vrši tako, što se mori neko kraće odstojanje (do 100 m), više puta sa različitim intenzitetom signala (npr. kod DI 10 otklon kazaljke galvanometra 3-10 podeoka). Mereno odstojanje trebalo bi da bude u granicama tačnosti merenja. Zatim se reflektor pomeri za 2,5 m i postupak ponovi. Ako je mereno odstojanje opet u granicama tačnosti merenja, zaključuje se da su kablovi ispravni. U protivnom, oštećene kablove treba zameniti.

2.3. Popravke koje se unose kod računanja dužina

2.3.1. Popravke za atmosferske uslove

Pri konstantnoj frekvenciji f , veličina talasne dužine λ zavisi od brzine prostiranja elektromagnetnih talasa kroz atmosferu. Brzina prostiranja talasa kroz atmosferu zavisi od temperature, barometarskog pritiska i pritiska vodene

pare. Kod svetlosnih daljinomera uticaj pritiska vodene pare je neznatan, dok je naročito izražen kod radiodaljinomera.

Za računanje popravke za atmosferske uslove, data je u literaturi [27] sledeća formula:

$$\Delta_{1(\text{cm})} = 50(\lambda_m - 2000) D(\text{km}) \quad (2.19)$$

pri čemu je λ_m stvarna dužina modulisanog talasa i zavisi od indeksa prelamanja.

$$\lambda_{m(\text{cm})} = \frac{2000,564}{n} \quad (2.20)$$

Ako je temperatura vazduha t izražena u $^{\circ}\text{C}$ i barometarski pritisak vazduha p u mmHg, onda se, prema preporuci MGGU, indeks prelamanja računa

$$n = 1 + \frac{0,387 p}{1 + 0,0037 t} \cdot 10^{-6} \quad (2.21)$$

Ova formula vredi za noseći talas talasne dužine 0,875 mikrona, koji je primenjen kod distomata Wild DI 10.

Na osnovu formula (2.19), (2.20) i (2.21) načinjen je nomogram sa koga se, po argumentima (t i p) odmah očitava popravka za atmosfersku korekciju u (cm/km).

S obzirom da su u pitanju kraća odstojanja, elemente za računanje popravke dovoljno je meriti samo na mestu instrumenta. Ilustracije radi, treba navesti, da se promenom temperature od (10°C) ili pritiska od (30 mmHg), popravka menja za 1 mm/100 m.

2.3.2. Popravka za redukciju dužina

Za redukciju koso merenih dužina na horizont, potrebno je odrediti visinsku razliku ili izmeriti vertikalni ugao. Uobičajeno je da se, za odredjivanje popravke za redukciju dužina kod elektronskih daljinomera, meri vertikalni ugao. Tada se popravka dobija na sledeći način:

$$\Delta_2 = r = D' - D = D(\sin Z - 1) \quad (2.22)$$

gde je:

Z - zenitno odstojanje.

Horizontalno odstojanje, neposredno se može odrediti po formuli:

$$D' = D \sin Z \quad (2.23)$$

Interesantno je videti, kako tačnost merenja zenitnog odstojanja utiče na tačnost odredjivanja horizontalne dužine. Ako se diferencira formula (2.23), dobija se:

$$m_{D'} = D \cos Z \frac{m_Z''}{\varrho} \quad (2.24)$$

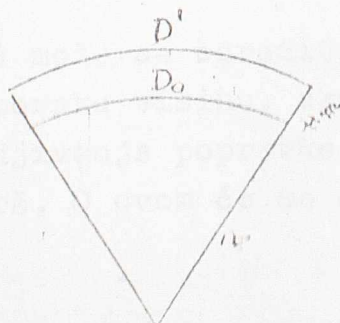
odnosno

$$m_Z'' = \frac{m_{D'} \cdot \varrho}{D \cos Z} \quad (2.25)$$

Lako je videti da najveću tačnost merenja vertikalnih uglova, odnosno zenitnih odstojanja, treba postići pri merenju kraćih i strmijih dužina. O ovom će se takodje govoriti u poglavlju 4.

2.3.3. Popravka za svodjenje dužina na nultu nivovsku površ

Sve dužine, redukovane na horizont, treba svesti na nultu nivovsku površ. Pri tom se Zemlja aproksimira loptom poluprečnika $R = 6.376$ km (sl. 2).



Slika 2

Kako su dužine strana koje se mere elektrooptičkim

daljinomerima relativno kratke u odnosu na dimenzije Zemlje, mogu se smatrati kao deo luka, poluprečnika $(R + H_m)$.

Sa slike 2. može se napisati sledeća proporcija:

$$\frac{D_o}{D'} = \frac{R}{R+H_m} = \frac{1}{1+\frac{H_m}{R}} = (1+\frac{H_m}{R})^{-1} = 1 - \frac{H_m}{R} + \dots \quad (2.26)$$

gde je:

H_m - srednja nadmorska visina merene strane, koja se u većini slučajeva može uzeti sa karte ili plana.

U formuli (2.26) dovoljno je samo zadržati linearni član, pa se popravka dobija:

$$\Delta_3 = D_o - D' = -\frac{H_m}{R} \cdot D' \quad (2.27)$$

Sa kojom tačnošću treba znati vrednost srednje nadmorske visine H_m . Diferenciranjem izraza (2.27), dobija se:

$$m_{\Delta_3} = \frac{D'}{R} \cdot m_{H_m} \quad (2.28)$$

odnosno

$$m_{H_m} = \frac{m_{\Delta_3}}{D'} \cdot R \quad (2.29)$$

Iz (2.30) može se odrediti tačnost sa kojom je potrebno odrediti nadmorsku visinu, ako je poznata, odnosno zadana, tačnost odredjivanja popravke za svodjenje dužina na nultu nivovsku površ. O ovom će se detaljnije govoriti u poglavlju 4.

2.3.4. Popravka za adiclonu konstantu

Proizvodjači instrumenata odredjuju adiclonu konstantu pre isporuke i njena vrednost unosi se automatski u rezultat merenja dužine ili se namešta na skali pre početka me-

renja.

Adiciona konstanta po definiciji predstavlja konstantnu vrednost. Medjutim, njena vrednost može se, upotrebom instrumenta, promeniti. Ta promena može nastupiti iz dva osnovna razloga:

1. Primopredajnik se obično postavlja, kod većine elektrooptičkih daljinomera, na teodolit u određena ležišta. Kako dolazi, recimo, do derektifikacije paralelnosti vizure teodolita i elektronskog zraka, tako može doći do instrumentalne komponente adicione konstante.

2. Stakleni reflektor smešten je u metalni ili plastični zaštitnik i moguće je da dodje do izvesnog pomeranja reflektora u njegovom ležištu, a timo i do promene druge komponente adicione konstante.

Zbog toga, potrebno je adicijonu konstantu ispitati i po potrebi unositi odgovarajuću popravku.

2.4. Izvori grešaka i greške koje se javljaju kod merenja dužina elektromagnetnim daljinomerima

Prilikom merenja dužina elektromagnetnim daljinomerima, javljaju se sledeći izvori grešaka, koji mogu biti od značaja za tačnost merenja dužina ovim načinom:

1. Greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu
2. Greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu
3. Greška merne frekvencije
4. Promena frekvencije tokom vremena
5. Greške odredjivanja adicione konstante
6. Periodična greška
7. Refleksija talasa
8. Greška centrisanja daljinomera i reflektora
9. Greška indeksa prelamanja
10. Greška redukcije
11. Greška mrenja razlike faza (slučajna)
12. Greška usled nedovoljne jačine signala

13. Greška usled nedovoljnog napona baterije
14. Greška usled netačnog viziranja reflektora
15. Greška usled nepoklapanja obrtne osovine dubrina i centra emitovanja
16. Zaokruženje čitanja
17. Greška nameštanja adicione konstante i greška čitanja
18. Promena CAL vrednosti tokom jednog merenja.

2.4.1. Greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu ε_{v_0} . Greška Δd_1 .

Brzina svetlosti u vakuumu predstavlja normalnu meru, a greška njenog odredjivanja grešku normalne mere. Brzina svetlosti u vakuumu odredjuje se eksperimentalno.

Greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu je slučajnog karaktera. Greška merene dužine, koja dolazi od ovog izvora greške je, takodje, slučajnog karaktera, ali deluje kao linearna sistematska greška i pripada prvoj grupi grešaka, koje ograničavaju tačnost merenja.

2.4.2. Greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu ε_v . Greška Δd_2 .

Brzina prostiranja svetlosti u vazduhu jednaka je:

$$v = \frac{v_0}{n_r} \quad (2.31)$$

gde je:

v_0 - brzina prostiranja svetlosti u vakuumu
 n_r - indeks prelamanja svetlosti u vazduhu.

Kao što se vidi, tačnost odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu zavisi od tačnosti poznavanja indeksa prelamanja duž putanje prostiranja talasa na dužini koja se meri. Podaci koji se mere za računanje indeksa prelamanja uzimaju se na stanici i eventualno na mestu reflektora. Ti podaci ne karakterišu stanje vazduha duž putanje prostiranja. Za računanje integralnog indeksa prelamanja preporučuju se razne empirijske formule, koje su uglavnom u funkciji koeficijen-

ta refrakcije i visinske razlike krajnjih tačaka merene dužine.

Veća tačnost odredjivanja indeksa prelamanja postiže se koji rade sa više nosećih talasa.

Znatno povećanje tačnosti je usledilo kod upotrebe lasera.

Greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu slučajnog je karaktera, ali deluje kao linearna sistematska greška. Pripada prvoj grupi grešaka od kojih zavisi tačnost merenja.

2.4.3. Greška merne frekvencije ϵ_f . Greška Δd_3

Za merenja razlike faza mora biti poznata frekvencija elektromagnetnih talasa, koji se koriste kod datog instrumenta. Frekvencija je poznata i sadrži se u izrazu za računanje dužine. Veoma je značajno da frekvencija bude stabilna i da njena veličina bude određena sa zadovoljavajućom tačnošću.

Pri odredjivanju greške frekvencije treba uzeti u obzir da je ona uplivisana od sledećih izvora grešaka:

- a) Greška nominalne frekvencije m_{nf} . Ovu frekvenciju proizvode kvarcni oscilatori vrlo visoke tačnosti.
- b) Nestabilnost frekvencije n_{sf} . Kvarcni oscilatori daju vrlo stabilnu frekvenciju i ova veličina se kreće između 10^{-8} do 10^{-7} .

c) Greška merenja frekvencije m_{Mf} . Pri merenju frekvencije elektronskim brojačem odbrojava se broj titraja u jedinici vremena. Rezultat može biti pogrešan za jedan titraj. Kod izvodjenja merenja frekvencije pokazuje se još da ispitivana frekvencija nije sama stabilna, gde je osobito značajna temperaturna razlika kvarca na početku i na kraju merenja.

d) Nedovoljna reprezentacija merene frekvencije m_{rf} . Kvarcni oscilatori visoke tačnosti treba permanentno da titraju pri istoj temperaturi. Svako isključivanje struje prekida prirodnu liniju starenja kvarca. Elektronski daljinomeri se pokreću još uvek samo kratkotrajno i isključuju se već posle nekoliko minuta rada. Zbog toga se javljaju veća ili manja odstupanja od prirodne linije starenja kvarca.

Ukupna greška frekvencije jednaka je:

$$m_f^2 = m_{n_f}^2 + m_{ns_f}^2 + m_{M_f}^2 + m_{r_f}^2 \quad (2.32)$$

Greška merne frekvencije je ukupna greška, ali u merenju dužine deluje kao linearna sistematska greška. Pripada prvoj grupi grešaka.

2.4.4. Promena frekvencije tokom vremena σ_f .

Greška Δd_4

Ne konstantnost kvarcne frekvencije javlja se usled starenja kvarca. Dakle, frekvencija se menja sa vremenom i time dolazi do sistematske greške u merenju dužina. Zato se povremeno vrši merenje frekvencije, odnosno baždarenje i određivanje njene prave vrednosti.

Greška dužine, koja dolazi usled ovog izvora greške, je sistematskog karaktera i pripada drugoj grupi grešaka.

2.4.5. Greška određivanja adicione konstante ε_a .

Greška Δd_5

Adiciona konstanta se određuje sa srednjom greškom koja ima slučajan karakter, kao i greška dužine koja dolazi od ovog izvora greške. Međutim, deluje kao konstantna sistematska greška.

Tačnost određivanja adicione konstante zavisi od načina određivanja. Ako se, na primer, adicione konstanta određuje na način prikazan pod 1), onda sledi da je:

$$m_a = \frac{\pm m_0}{\sqrt{n}} \quad (2.33)$$

gde je:

m_0 - srednja greška jednog merenja
 n - broj merenja.

Iz ovog se može zaključiti da se tačnost određiva-

nja adicione konstante povećava sa povećanjem broja merenja. Prema tome, način ispitivanja i odredjivanja broja merenja za odredjivanje adicione konstante zavisi od tačnosti koja se traži za merenje dužina.

Greška adicione konstante pripada drugoj grupi grešaka - četvrtoj podgrupi.

2.4.6. Periodična greška σ_f . Greška Δd_6

Ova greška predstavlja sistematsku grešku merenja razlike faza.

Prikazani princip merenja dužina podrazumeva da svi elementi instrumenta rade idealno. Poznato je da to nije slučaj. Nastupaju mnogi nepoželjni efekti, koji se samo do jednog razumnog stepena mogu eliminisati. Ovi efekti kvare čitanje faze, dovode dakle, do pomeranja nulpunkta instrumenta, koji se eksperimentalno, na dužini za ispitivanje, može odrediti.

Analiza dobijenih rezultata pokazuje:

a) Za grešku nulte tačke mora se pretpostaviti ciklična zavisnost od čitanja faze u okviru talasne dužine, kao i od vremena i temperature.

b) Promena uporedne, uslovno tačne dužine, ne donosi značajne promene parametara.

c) Veličina preostalih grešaka izražava se kroz srednju grešku m_0 dobijenu iz izravnjanja.

Periodična greška ima, dakle, sistematski periodičan karakter i na merenu dužinu deluje kao konstantna sistematska greška. Pripada prvoj grupi grešaka od kojih zavisi tačnost merenja. Za povećanje tačnosti merenja može se izvršiti ispitivanje i odredjivanje vrednosti periodične greške i unosi popravka, pa onda ova greška može preći u drugu grupu grešaka, koje se mogu otkloniti unošenjem popravka.

2.4.7. Refleksija talasa ϵ_R . Greška Δd_7

Emitovani elektromagnetni talasi se postepeno razilaze, zavisno od širine snopa. Kada nailaze na prepreke, odbijaju se od njih, stižu do reflektora zajedno sa talasima koji su išli direktno, zatim se odbijaju od reflektora i vra-

čaju do prijemnika. Reflektovani talasi su prešli duži put i dovode do smetnji u vidu šumova, kao i do izvora greške.

Refleksija talasa zavisi od vrste prostiruće podloge iznad koje se meri odstojanje. Ako se dužina meri preko vodene površine, onda se talasi od nje odbijaju kao od ogledala. Najmanja je refleksija elektromagnetnih talasa na terenu koji je obrastao, ako je emitovani snop uži i većeg intenziteta. U pogledu refleksije prednost nad radio talasima imaju svetlosni, a zbog poznatih osobina velika je prednost lasera.

Može se govoriti o smanjenju refleksije kao izvora greške, ali uvek ostaje jedan deo koji je sistematskog karaktera, kao i greška merene dužine koja dolazi od ovog izvora greške.

Ova greška ulazi u prvu grupu grešaka od kojih zavisi tačnost merenja. Medjutim, ako se pretpostavi da se merenja vrše elektro-optičkim daljinomerima kod kojih su talasi veoma usmereni, ova greška može proći u drugu grupu grešaka koje se otklanjaju uslovima pri radu.

Kod distomata DI 10, snop se preko reflektora emituje pod uglom od $15'$, što iznosi 22 cm/50m, 44/100, 65/150, 87/200, 109/250, 131/300, 153/350, 175/400, 196/450, 218/500m. Prema tome, visina zraka (vizure) iznad terena gde može doći do refleksije, mora biti veća od 11/55, 22/100, 33/150, 44/200, 55/250, 66/300, 77/350, 88/400, 99/450, 109/500 cm/m.

2.4.8. Greška centrisanja instrumenta i reflektora ε_c . Greška Δd_g

Centrisanje instrumenta i reflektora vrši se optičkim viskom. Ako je potrebno, centrisanje se može vršiti prisilno, ili se mogu odredjivati veličine ekscentriciteta.

Ako se centrisanje vrši prisilno, veoma je bitno da rektifikacija optičkih viskova bude izvedena brižljivo radi toga što greška rektifikacije deluje kao sistematska greška na koordinate tačaka koje se odredjuju, a što nije izraženo u oceni tačnosti dobijenoj iz podataka izvršenih izravnanjem.

Greška centrisanja je slučajnog karaktera i pripada drugoj grupi grešaka koje se mogu otkloniti postavljenim

uslovima tačnosti ili unošenjem popravaka.

2.4.9. Greška indeksa prelamanja ϵ_n . Greška Δd_0

Brzina elektromagnetnih talasa u odredjenoj sredini zavisi od indeksa prelamanja, koji je u funkciji apsolutne temperature T , vlažnosti vazduha - izražene kroz pritisak pare e i vazdušnog pritiska p . Indeks prelamanja odredjen je višestruko empirijski. Za merenje odstojanja sa mikrotalasima koristi se, od Medjunarodne geodetske i geofizičke unije usvojena formula od Essen-a i Froome-a, za radio talase

$$(n-1)10^{-6} = N = \frac{103,49}{T} (p-e) + \frac{86,26}{T} \left(1 + \frac{57,48}{T}\right) e \quad (2.34)$$

gde su:

T - apsolutna temperatura u $^{\circ}K = 273,16+t^{\circ}C$

p - barometarski pritisak

e - vlažnost vazduha.

Tačnost računanja indeksa prelamanja zavisi od tačnosti merenja ovih parametara. Ukupna greška indeksa prelamanja iznosi:

$$m_n^2 = m_{n_t}^2 + m_{n_p}^2 + m_{n_e}^2 \quad (2.35)$$

pod uslovom da greške parametara deluju medjusobno nezavisno.

Ako se diferencira izraz (2.34), dobija se za $t=15^{\circ}C$, $p=755$ mmHg i $e=10$ mm.

$$\frac{\partial N}{\partial T} = -1,35 \quad \frac{\partial N}{\partial p} = 0,36 \quad \frac{\partial N}{\partial e} = 5,92 \quad (2.36)$$

odnosno

$$m_n = 1,82 m_t^2 + 0,13 m_p^2 + 35,05 m_e^2 \quad (2.37)$$

Za noseći talas talasne dužine od $0,875 \mu$ indeks prelamanja računa se po formuli:

$$n = 1 + \frac{0,387 p}{1+0,0037 t} - 10^{-6} \quad (2.38)$$

U ovom slučaju greška indeksa prelamanja u zavisnosti od parametara t i p jednaka je za iste vrednosti $t=15^{\circ}\text{C}$ i $p=755$, jednaka je:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \frac{0,001432 \cdot p}{(1+0,0037 t)} 2 \cdot 10^{-6} = -0,97 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\partial n}{\partial p} = \frac{0,387}{1+0,0037 t} \cdot 10^{-6} = 0,37 \cdot 10^{-6} \quad (2.39)$$

$$m_{n_r} = 10^{-6} \quad 0,94 m_t^2 + 0,14 m_p^2$$

Ovde se može reći da elektrooptički daljinomeri imaju prednost nad radio daljinomerima, radi beznačajnog uticaja vodene pare kod elektrooptičkih i veoma značajnog, kod radio daljinomera.

Popravka koja se odnosi za atmosferske uslove je:

$$\Delta_1 = 50 (\lambda_m - 2000) D \quad (2.40)$$

gde je:

λ_m - stvarna dužina modulisanog talasa i ona iznosi:

$$\lambda_m = \frac{200,564}{n_r}$$

pa je popravka

$$\Delta_1 = 50 \left(\frac{200,564}{n_r} - 2000 \right) D \quad (2.41)$$

Kolika je greška popravke u zavisnosti od greške indeksa prelamanja. Ako prethodnu formulu diferenciramo, dobija se:

$$\frac{\partial \Delta_1}{\partial n_r} = \frac{50 \cdot 200,564}{n_r^2} \cdot D \quad (2.42)$$

i prelaskom na srednje greške

$$m_{\Delta_1} [\sqrt{\text{cm}}] = \frac{100028,2}{n^2} \cdot D [\sqrt{\text{km}}] m_n \quad (2.43)$$

Za temperaturu $t=15^\circ$ i vazdušni pritisak 760 mm, indeks prelamanja iznosi:

$$n_r = 1,000279$$

pa je:

$$m_{\Delta_1} = 999,72 D \cdot m_n \quad (2.44)$$

Ako je zadana srednja greška indeksa prelamanja, može se sračunati sa kojom tačnošću je potrebno meriti temperaturu i vazdušni pritisak. Po principu jednakih uticaja, biće:

$$m_n^2 = m_{n_t}^2 + m_{n_p}^2 = 2 m_{n_{tp}}^2$$

odakle je:

$$m_{n_{tp}} = \frac{m_n}{2}$$

i dalje

$$m_t = \frac{m_{n_{tp}}}{0,97}$$

$$m_p = \frac{m_{n_{tp}}}{0,35}$$

(2.45)

Greška indeksa prelamanja, kao i greška merene dužine koja dolazi od ovog izvora greške, ima slučajan karakter. Pripada drugoj grupi grešaka, četvrtoj podgrupi.

2.4.10. Greška redukcije ϵ_r · Greška Δd_{10}

Elektromagnetnim daljinomerima meri se kosa dužina i potrebno je izvršiti njenu redukciju na horizont. Radi dobijanja horizontalne dužine meri se vertikalni ugao ili visinska razlika. Popravka za redukciju je:

$$r = - \frac{h^2}{2D} \quad (2.46)$$

Tačnost redukcije zavisi od tačnosti odredjivanja visinske razlike h

$$m_r = \frac{h}{D} \cdot m_h \quad (2.47)$$

Ako se mere vertikalni uglovi, onda greška redukcije zavisi od tačnosti merenja vertikalnih uglova. To se može izraziti kao:

$$r = D'(1 - \sin Z) \quad (2.48)$$

odnosno:

$$m_r = D \cos Z m_z$$

Greška merenja vertikalnog ugla, odnosno greška odredjivanja visinske razlike je slučajnog karaktera, kao i greška merene dužine. Pripada drugoj grupi grešaka, četvrtoj podgrupi.

2.4.11. Greška merenja razlike faza ϵ_φ . Greška

$$\Delta d_{11}$$

Iz formule za dužinu

$$D = \frac{v}{2f} (N + \varphi) \quad (2.49)$$

može se neposredno odrediti srednja greška merene dužine kao funkcija srednje greške merenja razlike faza

$$m_D = \frac{v}{2f} m_\varphi \quad (2.50)$$

Iz ovog izraza sledi da će greška dužine biti manja ako je f veće, a m manje. Ovo se rešava tako što elektromagnetni daljinomeri emituju visoko frekventne oscilacije i do nekoliko hiljada MHz, koje se pomoću nisko frekventne metode transformišu u nisko frekventne oscilacije, reda veličine od nekoliko KHz. Time je omogućena visoka tačnost merenja razlike faza, odnosno dužina.

Srednja greška merenja razlike faza zavisi od više faktora: od vrste indikatora i uticaja pojedinih elemenata instrumenta jednih na druge, jačine svetlosnog fluksa i dr.

Greška merenja razlike faza je ukupnog karaktera, sastavljena je iz slučajnog dela i sistematskog, koji se tretira kao periodična greška. Ovde će se dakle, govoriti o slučajnoj grešci merenja razlike faza.

Slučajna greška merenja razlike faza može se odrediti eksperimentalno. Ako se izdvoje svi ostali izvori grešaka, onda će se ova greška odrediti iz formule za ocenu tačnosti merene dužine, a na temelju teorije grešaka.

Ova greška pripada prvoj grupi grešaka od kojih zavisi tačnost merenja.

2.4.12. Greška usled nedovoljne jačine signala ϵ_{NS} , Greška Δd_{12}

Pojedini elementi instrumenta, koji su postavljeni u mernom sistemu, nisu apsolutno tačno uradjeni, već naprotiv, opterećeni su u odredjenom stepenu greškama; kao posledica toga javlja se slabljenje signala, koje se odražava, u prvom redu, na grešku merenja razlike faza, mada se može manifestovati i kroz druge izvore grešaka. Do slabljenja signala može doći i zbog neodgovarajuće postavljenog reflektora.

Kao uzrok slabljenja signala prolaskom kroz atmosferu u literaturi [17] daju se sledeći faktori:

a) Gubitak zbog smanjenja provodljivosti koju prouzrokuju kapi vode.

b) Absorpcija kroz kiseonik i vodene molekule, koji se kroz zračenje proizvode u više energetske stanje.

c) Rasipanje talasa na vodene kapi, kao turbulentna tela atmosfere.

d) Lokalni efekt kroz refleksiju na zemljinu površinu, na čvrste predmete i na granični sloj atmosferskog indeksa prelamanja.

Greška usled nedovoljne jačine signala je slučajna greška i pripada drugoj grupi grešaka, drugoj podgrupi.

2.4.13. Greška usled nedovoljnog napona baterije ϵ_{NV} , Greška Δd_{13}

Za normalan rad jednog elektromagnetnog daljinomera

koristi se akumulator odredjenog napona. Tokom rada dolazi do se pražnjenje akumulatora. Ovo pražnjenje može se tolerisati do odredjene granice. Napon ispod te granice dovodi do toga da se u radu instrumenta javljaju odredjene nepravilnosti, što dovodi do grešaka kod merenja dužina.

Greška koja se javlja je slučajnog karaktera, a može biti i gruba, i pripada drugoj grupi grešaka, drugoj podgrupi.

2.4.14. Greška usled pogrešnog viziranja reflektora ϵ_{VR} . Greška Δd_{14}

Ako reflektor nije tačno naviziran, dolazi do pojave greške koja utiče na tačnost merene dužine. Veličina ove greške zavisi od više faktora i to od: ugla rasipanja emitovanog talasa, veličine i oblika reflektora, odstojanja predajne i prijemne optike instrumenta, odstojanja reflektora, otvora blende i dr.

Greška usled netačnog viziranja reflektora je slučajnog karaktera, a na merenu dužinu deluje kao konstantna sistematska greška. Pripada drugoj grupi grešaka, drugoj podgrupi.

2.4.15. Greška usled ne poklapanja obrtne osovine
durbina i centra emitovanja σ_{oc} . Greška
 Δd_{15}

Poznato je da se primopredajnik kod većine elektromagnetnih daljinomera postavlja na durbin teodolita. U tom slučaju nastaje, tzv. ekscentrično merenje dužina. Ova greška može biti izražena na kraćim odstojanjima i to vrlo kratkim i trebalo bi zbog toga obratiti pažnju kod ispitivanja. Sa povećanjem odstojanja uticaj ove greške se smanjuje.

Greška je sistematska, uvek istog znaka i povećava se sa smanjenjem odstojanja. Pripada drugoj grupi grešaka, drugoj podgrupi.

2.4.16. Zaokruživanje čitanja ε_z . Greška Δd_{16}

Greška usled zaokruživanja čitanja javlja se otuda, što se pri merenju vrši zaokruživanje čitanja samim tim što se u datom slučaju uvek čita odredjen zaokruženi podatak.

Greška usled zaokruživanja čitanje je slučajna greška i kao opšta granica tačnosti pripada prvoj grupi grešaka, od kojih zavisi tačnost merenja.

2.4.17. Greška nameštanja adicione konstante i greška čitanja ε_{τ_0} . Greška Δd_{17}

Prilikom merenja vrši se nameštanje vrednosti adicione konstante i čitanje izmerene dužine. Pri tome se čini greška koja ima slučajni karakter, kao i greška merene dužine. Pripada prvoj grupi grešaka od kojih zavisi tačnost merenja.

2.4.18. Promena CAL vrednosti tokom jednog merenja σ_{pC} . Greška Δd_{18}

Kada se nerenje vrši po poznatom postupku, onda se CAL vrednost na finom krugu namešta pre odredjivanja startne vrednosti. Do očitavanja merene dužine prodje izvesno vreme za koje se nameštena CAL vrednost pomeri. Tako dolazi do greške u merenju dužine usled ovog izvora. Radi toga potrebno je pre samo očitavanja ponovo namestiti CAL vrednost i zatim izvršiti očitavanje.

Greška koja nastaje slučajnog je karaktera, kao i greška merene dužine. Pripada drugoj grupi grešaka, prvoj podgrupi.

2.5. Podela grešaka po značaju

Sve greške treba podeliti u dve grupe. U prvu grupu ulaze one od kojih zavisi tačnost merenja, a u drugu grupu greške koje se mogu otkloniti. Greške druge grupe dele se u četiri podgrupe.

2.5.1. Greške od kojih zavisi tačnost merenja dužina. Greške prve grupe

U prvu grupu ulaze sledeće greške:

1. $(\Delta d)_1$
 2. $(\Delta d)_2$
 3. $(\Delta d)_3$
 4. $(\Delta d)_6$
 5. $(\Delta d)_{11}$
 6. $(\Delta d)_{16}$
 7. $(\Delta d)_{17}$
 8. $(\Delta d)_6$
- (2.51)

Kao što se vidi u prvu grupu ulaze greške $(\Delta d)_1$ i $(\Delta d)_{16}$ - greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu (greška radne mere) i greška zaokruživanja čitanja - koje opšte uzevši, ograničavaju tačnost merenja

Greška $(\Delta d)_2$ - greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu zavisi od reprezentativnog indeksa prelamanja n_r . Kako ovaj indeks ne može biti odredjen sa dovoljnom tačnošću, to ostaje greška od koje zavisi tačnost merenja.

Greška merne frekvencije $(\Delta d)_3$, odražava se na tačnost merene dužine kao greška razmere. Ona se menja tokom vremene, zbog starenja kvarca.

Refleksija talasa, kao izvor greške, javlja se kod većih odstojanja i naročito kod radiodaljinomera, dok je taj uticaj kod elektrooptičkih daljinomera neznatan.

Greške $(\Delta d)_6$, $(\Delta d)_7$ i $(\Delta d)_{17}$ predstavljaju greške merenja razlike faza: slučajna, sistematska i greška čitanja. To su greške koje dolaze od instrumenta i lične greške operatora. Greška $(\Delta d)_6$ može se svrstati u drugu grupu grešaka, ako se popravka unosi sa zadovoljavajućom tačnošću.

2.5.2. Greške koje se mogu otkloniti.

Greške druge grupe

2.5.2.1. Greške koje se otklanjaju metodom rada. Greške prve podgrupe

U ovu podgrupu dolazi sledeća greška

1. $(\Delta d)_{18}$ (2.52)

Ova greška otklanja se tako što se neposredno pre očitavanja dužine namešta CAL vrednost.

2.5.2.2. Greške koje se otklanjaju postavljanjem odredjenih uslova pri merenju. Greške druge podgrupe

U drugu podgrupu dolaze sledeće greške:

1. $(\Delta d)_7$
2. $(\Delta d)_{12}$
3. $(\Delta d)_{13}$ (2.53)
4. $(\Delta d)_{14}$
5. $(\Delta d)_{15}$

Postavljaju se uslovi da jačina signala i napon baterije imaju odredjene vrednosti i da se vrši elektronsko viziranje do maksimalnog intenziteta.

Greška $(\Delta d)_{15}$ svrstana je u drugu podgrupu tako što je postavljen uslov da odstojanje ne bude kraće od onog za koje je ova greška značajna. Inače, ako je potrebno izmeriti neko kratko odstojanje, onda bi ova greška prešla u četvrtu podgrupu.

2.5.2.3. Greške koje se otklanjaju uslovima tačnosti. Greške treće podgrupe

U treću podgrupu dolazi sledeća greška:

1. $(\Delta d)_8$ (2.54)

Postavlja se uslov da centrisanje daljinomera i reflektora vršimo sa odredjenom tačnošću.

2.5.2.4. Greške koje se otklanjaju popravkama.
Greške četvrte podgrupe

1. $(\Delta d)_4$
2. $(\Delta d)_9$ (2.55)
3. $(\Delta d)_{10}$

U zavisnosti od tačnosti sa kojom se vrši merenje dužine određuje se tačnost sa kojom treba određivati popravke za adicijonu konstantu, redukciju i indeks prelamanja.

Tabelarni pregled grešaka

R. br.	Greška	Grupa	Podgrupa	I z v o r g r e š k e
1	ϵ_{v_0}	1	-	greška određivanja brzine svetlosti u vakuumu
2	ϵ_v	1	-	greška određivanja brzine svetlosti u vazduhu
3	ϵ_f	1	-	greška merne frekvencije
4	δ_f	2	4	promena frekvencije tokom vremena
5.	ϵ_a	2	4	greška određivanja adicione konstante
6	δ_f	1	-	periodična greška
7	ϵ_R	2	2	refleksija talasa
8	ϵ_c	2	3	greška centrisanja
9	ϵ_n	2	4	greška indeksa prelamanja
10	ϵ_r	2	4	greška redukcije
11	ϵ_φ	1	-	greška merenja razlike faza (slučajna)
12	ϵ_{nS}	2	2	greška usled nedovoljne jačine signala
13	ϵ_{nV}	2	2	greška usled nedovoljnog napona baterije

14	ϵ_{VR}	2	2	greška usled pogrešnog viziranja reflektora
15	ϵ_{OC}	2	2	greška nepoklapanja obrtne osovine dur- bina i centra emitovanja
16	ϵ_Z	1	-	zaokruživanje čitanja
17	ϵ_{τ_0}	1	-	greška nameštanja adicione konstante i greška čitanja
18	ϵ_{PC}	2	1	promena CAL vrednosti tokom jednog čitanja

2.6. Izrazi za ocenu tačnosti

2.6.1. Izraz za ocenu tačnosti merene dužine

U izraz za ocenu tačnosti merene dužine ulaze sve greške prve grupe.

Kosa dužina D dobija se kod elektronskih daljinomera pomoću osnovne formule

$$D = \frac{v_0}{2nf} (N + \varphi) \quad (2.56)$$

gde je:

N - broj celih talasnih dužina

n - indeks prelamanja u dotičnoj sredini

v_0 - brzina elektromagnetnih talasa u vakuumu

f - modulaciona frekvencija

φ - razlika faza osnovnog i reflektovanog talasa.

Posle diferenciranja izraza (2.56) i prelaza na srednje kvadratne greške dobija se:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)^2 = \left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_n}{n}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{\lambda^2}{4D^2} \cdot m_\varphi^2 \quad (2.57)$$

Ako se uzmu u obzir i ostale greške prve grupe koje ne figurišu u izrazu (2.57) i zameni vrednost $\frac{m_n}{n} = \frac{m_v}{v}$, dobija se:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)^2 = \left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{\lambda^2}{4D^2} \cdot m_\varphi^2 + \frac{m_Z^2}{D^2}$$

gde je:

- m_{v_0} - greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu
- m_v - greška brzine svetlosti u vazduhu
- m_f - greška frekvencije
- m_φ - greška merenja razlike faza
- m_z - greška usled zaokruživanja čitanja.

Prilikom izvodjenja izraza (2.57) pretpostavljeno je da između pojedinih veličina ne postoji korelativna zavisnost.

Greška merenja razlike faza predstavlja ukupnu grešku. Celokupan uticaj greške merenja razlike faza razložen je na sledeće:

$$\frac{\lambda^2}{4} m_\varphi^2 = m_{\varphi_\varepsilon}^2 + m_{\varphi_\sigma}^2 + m_0^2 \quad (2.58)$$

gde je:

- m_{φ_ε} - srednja slučajna greška merenja razlike faza
- m_{φ_σ} - srednja sistematska greška merenja razlike faza
- m_0 - srednja greška čitanja.

Ako se ovo uvrsti u izraz (2.57) dobija se relativna greška jednog merenja dužine sa jednim čitanjem

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)^2 = \left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{m_{\varphi_\varepsilon}^2 + m_{\varphi_\sigma}^2 + m_0^2}{D^2} + \frac{m_z^2}{D^2} \quad (2.59)$$

Ako se sada uzme u obzir da se dužina meri n -puta sa n_0 čitanja, imajući u vidu karakter pojedinih grešaka, srednja relativna greška merenja jedne dužine n -puta sa n_0 čitanja biće:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)^2 = \left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{D^2} \left(\frac{m_{\varphi_\varepsilon}^2}{n} + m_{\varphi_\sigma}^2 + \frac{m_0^2}{n \cdot n_0} + m_z^2 \right) \quad (2.60)$$

2.6.2. Izraz za ocenu tačnosti vlaka

Ako se pretpostavi da je vlak razvučen sa približno jednakim stranama, onda je dužina vlaka data izrazom:

$$L = [d] = n_d \cdot D_{sr} \tag{2.61}$$

gde je:

- D_{sr} - prosečna dužina strane u vlaku
- n_d - broj strana u vlaku.

Imajući u vidu prethodno, kao i karakter pojedinih izvora grešaka i grešaka koje figurišu u izrazu za ocenu tačnosti merene dužine, podužna relativna greška vlaka koja dolazi usled linearnih merenja, bila bi:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right)^2 = \left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{n_d \cdot D_{sr}^2} \left(\frac{m_{\phi_\epsilon}^2}{n} + m_{\phi'_0}^2 + \frac{m_o^2}{n \cdot n_0} + m_z^2 \right) \tag{2.62}$$

2.7. Izrazi za uslove tačnosti

2.7.1. Izraz za uslove tačnosti merene dužine

U izraz za uslove tačnosti ulaze sve greške druge grupe, treće i četvrte podgrupe.

Ukupna greška ostatka $(m_d)_{\tau_0}$ jednaka je zbiru svih grešaka treće i četvrte podgrupe, tj.

$$(m_d)_{\tau_0} = \epsilon_{d_c} + \epsilon_{d_a} + \epsilon_{d_n} + \epsilon_{d_r} \tag{2.63}$$

Srednja kvadratna ukupna greška ostatka jednaka je:

$$(m_d)_{\tau_0}^2 = m_{d_c}^2 + m_{d_a}^2 + m_{d_n}^2 + m_{d_r}^2 \tag{2.64}$$

Ako se sada, na osnovu (2.24) i (2.39) izvrše odgovarajuće zamene dobija se opšta formula za srednju ukupnu grešku ostatka

$$(m_d)_{\tau_0}^2 = 2m_c^2 + m_a^2 + 0,94m_z^2 + 0,14m_p^2 + D^2 \cos^2 z m_z^2 \quad (2.65)$$

Izraz za uslove tačnosti dobija se na osnovu kriterijuma beznačajnosti, tj.

$$(m_d)_{\tau_0} \leq \frac{1}{3} (m_d)_{\tau} \quad (2.66)$$

odnosno

$$2m_c^2 + m_a^2 + 0,94m_z^2 + 0,14m_p^2 + D^2 \cos^2 z m_z^2 \leq \frac{1}{9} (m_d)_{\tau}^2 \quad (2.67)$$

Ovaj izraz može se koristiti kada se postupa po principu nejednakih uticaja.

Ako želimo da koristimo princip jednakih uticaja, onda je:

$$\begin{aligned} (m_d)_{\varepsilon_1} = \dots = (m_d)_{\varepsilon_n} = \dots = (m_d)_{\sigma_1} & \\ = \dots = (m_d)_{\sigma_n} = \dots = (m_d)_0 & \end{aligned} \quad (2.68)$$

Zamenom u (2.64), dobija se:

$$(m_d)_{\tau_0}^2 = 4(m_d)_0^2 \quad (2.69)$$

odnosno:

$$4(m_d)_0^2 \leq \frac{1}{9} (m_d)_{\tau}^2 \quad (2.70)$$

i dalje:

$$(m_d)_0 \leq \frac{1}{6} (m_d)_{\tau} \quad (2.71)$$

gde je:

1. $(m_d)_c = m_c \sqrt{2}$
2. $(m_d)_a = m_a$
3. $m_{d_n} = 999.72 D m_{n_r}$
4. $m_{d_r} = D \cos z m_z$

(2.72)

2.7.2. Izraz za uslove tačnosti vlaka

Na osnovu izraza (2.63) može se napisati greška ostatka za vlak - $(m_L)_{\tau_0}$

$$(m_L)_{\tau_0}^2 = m_{L_c}^2 + m_{L_a}^2 + m_{L_n}^2 + m_{L_r}^2 \quad (2.73)$$

Kako je:

$$m_{L_c}^2 = n_d \cdot m_{d_c}^2 = 2n_d m_c^2$$

$$m_{L_a}^2 = n_d^2 \cdot m_{d_a}^2 = n_d^2 m_a^2 \quad (2.74)$$

$$m_{L_n}^2 = n_d \cdot m_{d_n}^2 = n_d m_n^2$$

$$m_{L_r}^2 = n_d \cdot m_{d_r}^2 = n_d m_r^2$$

onda se dobija:

$$(m_L)_{\tau_0}^2 = 2n_d \cdot m_c^2 + n_d^2 \cdot m_a^2 + n_d \cdot m_n^2 + n_d \cdot m_r^2 \quad (2.75)$$

Prema kriterijumu beznačajnosti uticaja treba da bude:

$$(m_L)_{\tau_0} \leq \frac{1}{3} (m_L)_{\tau} \quad (2.76)$$

pa se dobija opšta formula:

$$2n_d m_c^2 + n_d^2 m_a^2 + n_d m_n^2 + n_d m_r^2 \leq \frac{1}{9} (m_L)_{\tau}^2 \quad (2.77)$$

Po principu jednakih uticaja, tj. kad je:

$$(m_L)_{\varepsilon_1} = (m_L)_{\varepsilon_2} = \dots (m_L)_{\varepsilon_n} = (m_L)_{\sigma_1} = (m_L)_{\sigma_2} = \dots (m_L)_{\sigma_n} = (m_L)_0 \quad (2.78)$$

onda sledi, na osnovu (2.73), da je:

$$(m_L)_{\tau_o}^2 = 4(m_L)_o^2 \tag{2.79}$$

odnosno:

$$4(m_L)_o^2 \leq \frac{1}{9} (m_L)_{\tau}^2 \tag{2.80}$$

$$(m_L)_o \leq \frac{1}{6} (m_L)_{\tau} \tag{2.81}$$

gde je:

$$1. (m_L)_o = \sqrt{2n_d} m_c$$

$$2. (m_L)_a = n_d m_a \tag{2.82}$$

$$3. (m_L)_n = \sqrt{n_d} m_{d_n} = \sqrt{n_d} \cdot 999,72 \cdot D \cdot m_{n_r}$$

$$4. (m_L)_r = \sqrt{n_d} m_r = \sqrt{n_d} \cdot d \cos z m_z$$

3. PRETHODNA OCENA TAČNOSTI MERENJA DUŽINA ELEKTROOPTIČKIM DALJINOMERIMA

Prethodna ocena tačnosti vrši se na osnovu izraza za ocenu tačnosti dobijenih iz analize metode merenja.

U poglavlju (2) izvedeni su izrazi za srednju relativnu ukupnu grešku merene dužine i za srednju relativnu podužnu linearnu grešku vlaka.

Srednja ukupna relativna greška merenja dužine jednaka je:

$$\frac{m_D}{D} = \sqrt{\left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{D^2} \left(\frac{m_{\varphi_\epsilon}^2}{n} + m_{\varphi_\sigma}^2 + \frac{m_0^2}{n \cdot n_0} + m_z^2 \right)} \quad (3.1)$$

a srednja relativna podužna linearna greška vlaka:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right) = \sqrt{\left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{n_d D_{sr}^2} \left(\frac{m_{\varphi_\epsilon}^2}{n} + m_{\varphi_\sigma}^2 + \frac{m_0^2}{n \cdot n_0} + m_z^2 \right)} \quad (3.2)$$

gde su:

- m_{v_0} - greška određivanja brzine svetlosti u vakuumu
- m_v - greška određivanja brzine svetlosti u vazduhu
- m_f - greška merne frekvencije
- m_{φ_ϵ} - slučajna greška merenja razlike faza
- m_{φ_σ} - sistematska greška merenja razlike faza
- periodična greška
- m_0 - greška čitanja
- m_z - greška zaokruživanja čitanja
- v_0 - brzina svetlosti u vakuumu
- v - brzina svetlosti u vazduhu
- f - merna frekvencija
- D_{sr} - dužina strane
- n - broj merenja
- n_0 - broj čitanja
- n_d - broj strana u vlaku

3.1. Opšti podaci za izvore grešaka

Da bi smo izvršili prethodnu ocenu tačnosti, odnosno da bi smo sračunali srednju relativnu ukupnu grešku merene dužine i srednju relativnu podužnu linearnu grešku vlaka, potrebno je da znamo vrednosti za pojedine greške koje se nalaze u tim izrazima. Vrednosti za pojedine greške odredjuju se eksperimentalno posebnim ispitivanjima. Neke od grešaka odredjuju se kao veličine koje figurišu kod svih elektronskih instrumenata, dok se neke odredjuju posebno za svaki instrument.

3.1.1. Greška prostiranja elektromagnetnih talasa u vakuumu

Greška odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu odredjuje se eksperimentalno. Od strane Medjunarodne geodetske i geofizičke unije u Torontu usvojena je vrednost ove srednje greške i ona iznosi:

$$m_{v_0} = \pm 0,5 \text{ km/sec}$$

Istovremeno je usvojeno da brzina prostiranja elektromagnetnih talasa u vakuumu iznosi:

$$v_0 = 299\,792,5 \text{ km/sec}$$

Tačnost odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu vremenom je povećavana. Tako je na osnovu merenja u Švedskoj i Austriji dobijena vrednost:

$$m_{v_0} = \pm 0,16 \text{ km/sec}$$

Medjunarodni biro za mere i tegove, na svojoj konferenciji maja 1975. god., uzimajući u obzir savremenu saglasnost izmedju rezultata merenja dužina talasa, koji se odnose na radijaciju lasera, usvojio je za grešku odredjivanja brzine svetlosti u vakuumu

$$m_{v_0} = \pm 4 \cdot 10^{-9} v_0$$

Posmatrajući, takodje, merenja na više frekvencija

ovih radijacija, Medjunarodni biro preporučuje vrednost koja odatle rezultira za brzinu svetlosti u vakuumu

$$v_0 = 299\,792\,458 \text{ m/sec}$$

3.1.2. Greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu

Srednja greška integralnog indeksa prelamanja može se odrediti za povoljne uslove sa tačnošću

$$\frac{m_n}{n} = 1 - 2 \cdot 10^{-6}$$

a za nepovoljne uslove:

$$\frac{m_n}{n} = 2 - 4 \cdot 10^{-6}$$

Kod opita indeks prelamanja, pomoću disperzionog efekta, direktno se odredjuje sa tačnošću

$$\frac{m_n}{n} = \pm 1 \cdot 10^{-6}$$

a kod sistema koji rade sa više nosećih talasa (GEORAN I), očekuje se tačnost odredjivanja indeksa prelamanja reda veličine $1 \cdot 10^{-7}$.

Za sada po Kondraševu, mora se računati sa greškom indeksa prelamanja od

$$\frac{m_n}{n} = \pm 1,4 \cdot 10^{-6}$$

3.1.3. Greška frekvencije

Kao što je rečeno, greška frekvencije je ukupna greška sadržana od više izvora grešaka:

a) Greška normalne frekvencije je reda veličine

$$\frac{m_{nf}}{f} = \pm 1 \cdot 10^{-9}$$

b) Za ne stabilnost frekvencije koju proizvode kvarcni oscilatori, proizvođači daju vrednost između 10^{-8} do 10^{-9} . Ako uzmemo nepovoljniju vrednost, dobija se:

$$\frac{m_{nsf}}{f} = \pm 1 \cdot 10^{-8}$$

c) Greška merača frekvencije iznosi:

$$\frac{m_{Mf}}{f} = \pm 3 \cdot 10^{-7}$$

d) Greška ne dovoljne reprezentacije frekvencije koja se odnosi na promenu temperature i prekidanje prirodne linije starenja kvarca, kao i drugih uzroka, iznosi oko:

$$\frac{m_{rf}}{f} = \pm 1 \cdot 10^{-6}$$

Ukupna greška frekvencije biće dakle:

$$\frac{m_f}{f} = \pm 1 \cdot 10^{-6}$$

3.1.4. Srednja slučajna greška merenja razlike faza

Srednja slučajna greška merenja razlike faza, zavisi od upotrebljenog instrumenta. U literaturi su date, za pojedine ispitivane instrumente, sledeće vrednosti:

DM 500	$m_{\varphi} = \pm 3,5 \text{ mm}$
DI 3	" $= \pm 2,5 \text{ mm}$
AGA 6 BL	" $= \pm 5,0 \text{ mm}$
ME 3000	" $= \pm 0,15 \text{ mm}$

3.1.5. Sistematska greška merenja razlike faza

Ispitivanjem periodične greške za instrumente dobijene su sledeće vrednosti za ovu grešku:

DM 500	$m_{\varphi\zeta} = 8,7 \text{ mm}$
DI 3	$m_{\varphi\zeta} = \pm 5,0 \text{ mm}$
AGA 6 BL	$m_{\varphi\zeta} = \pm 0,9 \text{ mm}$

3.1.6. Srednja slučajna greška odredjivanja sistematske greške merenja razlike faza

Prilikom odredjivanja periodične greške iz većeg broja merenja odredjene su srednje slučajne greške odredjivanja sistematske greške merenja razlike faza, koje iznose za:

DM 500	$m_{\varphi\zeta\varepsilon} = \pm 0,8 \text{ mm}$
DI 3	$m_{\varphi\zeta\varepsilon} = \pm 0,8 \text{ mm}$
AGA 6 BL	$m_{\varphi\zeta\varepsilon} = \pm 1,0 \text{ mm}$

3.1.7. Srednja greška čitanja

Eksperimentalnim merenjem, na osnovici u Paliću, prilikom odredjivanja adicione i multiplikacione konstante, odredjena je i greška čitanja za instrument DI 3S i ona iznosi:

$$m_0 = \pm 1,0 \text{ mm.}$$

3.1.8. Greška usled zaokruživanja čitanja

Ova greška je poznata i iznosi:

$$m_z = \pm \frac{1}{2\sqrt{3}} p$$

gde je:

p - podatak koji se čita.

Kod većine instrumenata čitanje se vrši digitalno do na 1 mm, a kod nekih i do na 0,1 mm.

Prema tome, srednja greška koja dolazi usled zaokruživanja čitanja iznosi kod DM 500, DI 3 i AGA 6 BL:

$$m_z = \pm 0,29 \text{ mm.},$$

a kod ME 3000

$$m_z = \pm 0,029 \text{ mm.}$$

Imajući u vidu prethodno navedene podatke, mogli bi smo instrumente podeliti u dve grupe:

- A - instrumenti DM 500, DI 3, AGA 6 BL i ostali, koji imaju slične karakteristike;
- B - instrument ME 3000.

Približne srednje vrednosti za pojedine greške iznose:

	A	B
$\frac{m_{V_0}}{V_0}$	$\pm 4 \cdot 10^{-9}$	
$\frac{m_V}{V}$	$\pm 1,4 \cdot 10^{-6}$	
$\frac{m_f}{f}$	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$	
m_{φ_ε}	$\pm 5,0$	$\pm 0,15$
$m_{\varphi'_6}$	$\pm 8,7$	-
$m_{\varphi'_6\varepsilon}$	$\pm 1,0$	-
m_0	$\pm 1,0$	-
m_Z	$\pm 0,29$	$\pm 0,029$

(3.3)

Treba napomenuti da ovi podaci za srednje greške važe za neki fiktivni instrument, pošto su to srednje vrednosti. Medjutim, ovde je potrebno da se dobije slika o opštoj tačnosti, tako da izvesna manja odstupanja za pojedine izvore grešaka neće tu sliku pomutiti.

3.2. Prethodna ocena tačnosti merenja dužine

Prethodna ocena tačnosti može se izvršiti na osnovu izraza za ocenu tačnosti (3.1), u koji se unose vrednosti

za pojedine greške dobijene kao opšte vrednosti. Takva prethodna ocena tačnosti predstavlja opštu ocenu tačnosti, i na osnovu nje može se, na bazi konkretnih ispitivanja, izvršiti konkretna prethodna ocena tačnosti.

3.2.1. Donja granica tačnosti

Donja granica tačnosti, odnosno najniža tačnost, postiže se za:

$$n = n_{\min} = 1$$

$$n_o = n_o \frac{\min}{gr} = 1 \quad (3.4)$$

$$D = D_{\min}$$

Kako je već rečeno, kod instrumenata novije konstrukcije očitavanje se vrši digitalno, tako da je greška čitanja beznačajna i kao takva, ako nije posebno određivana, sadržana je u srednjoj slučajnoj grešci merenja razlike faza.

Iz formule za ocenu tačnosti vidi se da je najmanja relativna tačnost kod merenja kraćih odstojanja. Ovde bi bilo interesantno da se vidi od koje dužine se ta relativna tačnost smanjuje. To je upravo ona dužina koja se dobija iz uslova beznačajnosti, odnosno kad član u formuli za ocenu tačnosti, koji ne zavisi od dužine, postaje značajan, tj. kad je:

$$\frac{1}{9} \left[\left(\frac{m_{v_o}}{v_o} \right)^2 + \left(\frac{m_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f} \right)^2 \right] \leq \frac{m_{\varphi_\varepsilon}^2 + m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + m_o^2 + m_z^2}{D^2} \quad (3.5)$$

Na ovom mestu, i dalje u izvodjenjima pretpostavljamo da se unosi popravka za sistematsku grešku merenja razlike faza.

Kad se uvrste opšti podaci za pojedine vrednosti srednjih grešaka, dobija se da je:

$$A : D \leq 9000 \text{ m}$$

$$B : D \leq 270 \text{ m.}$$

Očigledno relativna greška merenja dužine povećava se sa smanjenjem dužine, odnosno relativna tačnost se smanjuje kod kraćih dužina.

Kod instrumenta A, donja granica tačnosti postiže se na minimalnim dužinama, a tačnost počinje da se praktično smanjuje od granice dometa merenja, pošto je ta granica manja od 9.000 m.

Kod instrumenta B, donja granica tačnosti postiže se, takodje, na kraćim odstojanjima, a tačnost se smanjuje od dužine 270 m. Od te dužine relativna greška postaje konstantna i iznosi:

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 580\ 000$$

3.2.2. Gornja granica tačnosti

Gornja granica tačnosti, odnosno najviša tačnost postiže se kad je:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right) = \left(\frac{m_D}{D}\right)_{\min} \frac{1}{gr}$$

Ovaj uslov biće ispunjen kad je:

$$n = n_{\max} \frac{1}{gr}$$

$$n_0 = n_0 \frac{1}{gr} \quad (3.6)$$

$$D = D_{\max} \frac{1}{gr}$$

Zavisnost izmedju broja merenja n , broja čitanja n_0 i dužine D , dobija se, za gornju granicu tačnosti, iz uslova beznačajnosti:

$$\frac{1}{D^2} \left[\frac{m_{\rho_e}^2}{n} + m_{\rho_e}^2 + \frac{m_0^2}{n \cdot n_0} + m_z^2 \right] \leq \frac{1}{9} \left[\left(\frac{m_{v_0}}{v_0}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 \right] \quad (3.7)$$

Kad se uvrste vrednosti za pojedine izvore grešaka dobija se:

$$A : D \geq 1,75 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{25,0}{n} + \frac{1,0}{n \cdot n_0} + 1,08} \quad (3.8)$$

$$n_0 = 3$$

n	2	3	4	5	10
D	6500	5400	4800	4300	3300

$$B : D \geq 1,75 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{0,0225}{n} + 0,00084} \quad (3.9)$$

n	2	3	4	5	10
D	230	190	170	150	110

Za ove vrednosti broja merenja n , čitanja n_0 i dužine D , koje su date u gornjim tabelama, gornja granica tačnosti bila bi konstantna i iznosi:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\min}^{\text{gr}} = 1 : 580\,000$$

Broj merenja, za gornju granicu tačnosti, ima smisla povećavati dok se ne ispuni uslov

$$A : \frac{25,0}{n} + \frac{1,0}{n \cdot n_0} \leq \frac{1}{3} \cdot 1,08$$

$$\text{za } n_0 = 3$$

$$n \geq 72$$

$$B : \frac{0,0225}{n} \leq \frac{1}{3} \cdot 0,00084$$

$$n \geq 80$$

Odgovarajuće dužine za ove podatke o broju merenja iznose:

$$A : D \geq 2.100 \text{ m}$$

$$B : D \geq 60 \text{ m}$$

Iz ovih rezultata može se zaključiti da maksimalna tačnost ne može da se postigne na odstojanjima kraćim od 2.100 m za instrument A i 60 m za instrument B.

3.2.3. Raspon tačnosti

Tačnost merenja dužina elektrooptičkim daljinome-
rima zavisi od dužine koja se meri. Gornja granica tačnosti
postiže se na dužinama koje su veće od 2.100 m, odnosno 60 m.
Ako bi smo tačnost vezali samo za broj merenja, onda bi smo
donju granicu dobili za

$$\begin{aligned}n &= 1 \\n_0 &= 1 \\D &= 60\end{aligned}$$

Dužina od $D=60$ za instrumente iz grupe A uzima se
uslovno, s obzirom na njihov domet. Tako relativne greške
iznose:

$$A : \quad \frac{m_D}{D} = 1 : 12\ 000$$

$$B : \quad \frac{m_D}{D} = 1 : 320\ 000.$$

Za dužine u rasponu od 60 - 2.100 m., tačnost iz-
nosi u zavisnosti od broja merenja za A

$$1 : 12\ 000 \quad - \quad 1 : 580\ 000$$

a za dužine u rasponu od 60 - 270 m. za B iznosi:

$$1 : 320\ 000 \quad - \quad 1 : 580\ 000.$$

Sa povećanjem dužine smanjuje se raspon tačnosti
do trenutka kada se donja i gornja granica tačnosti spaja-
ju. Tada relativna greška merenja dužine postaje konstantna
i iznosi:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\min}^{\text{gr}} = 1 : 580\ 000,$$

U sledećoj tabeli daje se pregled dobijenih rezul-
tata.

Tabela 1

Dužina (m)	G r a n i c a t a č n o s t i							
	D o n j a				G o r n j a			
	A		B		A		B	
	n	$(m_D)_\tau$	n	$(m_D)_\tau$	n	$(m_D)_\tau$	n	$(m_D)_\tau$
60	1	5,0	1	0,19			80	0,10
270			1	0,47			1	0,47
2100	1	3,6			72	3,6		

3.2.4. Dominantne greške za granice tačnosti

Posmatrajući izraz za ocenu tačnosti može se zaključiti da su neke greške značajne više, a neke manje. Ako se neke od tih grešaka menjaju, menja se i ukupna greška merene dužine, dok se sa promenom drugih, do izvesne granice, ukupna greška merene dužine ne menja. Prve greške su dominantne.

Tačnost merenja dužine može se povećati, ako mogu da se smanje dominantne greške. Ako neka od dominantnih grešaka ne može da se smanji, onda ona ograničava tačnost merenja dužine.

Kriterijum za dominantne greške merene dužine je:

$$(m_D)_d \geq \frac{1}{3} (m_D)_\tau$$

gde su:

$(m_D)_d$ - dominantna srednja greška merene dužine

$(m_D)_\tau$ - srednja ukupna greška merene dužine.

Srednje greške merene dužine, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka, na osnovu formule (3.1), jednake su:

$$m_{D_{v_0}} = \frac{m_{v_0}}{v_0} \cdot D$$

$$m_{D_v} = \frac{m_v}{v} \cdot D$$

$$m_{D_f} = \frac{m_f}{f} \cdot D$$

$$m_{D_{\varphi_\epsilon}} = \frac{m_{\varphi_\epsilon}}{\sqrt{n}} \tag{3.10}$$

$$m_{D_{\varphi_{\delta_\epsilon}}} = m_{\varphi_{\delta_\epsilon}}$$

$$m_{D_o} = \frac{m_o}{\sqrt{n \cdot n_o}}$$

$$m_{D_z} = m_z$$

U tabeli, na sledećoj strani prikazane su srednje greške merene dužine za granice tačnosti, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka.

Iz tabele se vidi da su dominantne sledeće srednje greške:

A : - za donju granicu tačnosti dominantna je srednja greška merenja razlike faza,

- za gornju granicu tačnosti dominantne su srednja greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu i srednja greška frekvencije.

B : - za donju granicu tačnosti dominantne su srednja greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu i srednja slučajna greška merenja razlike faza,

- za gornju granicu tačnosti dominantne su srednja greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu i srednja greška frekvencije.

Iz ove analize može se primetiti da je u svim slučajevima, za gornju granicu tačnosti dominantna srednja greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu. Radi povećanja tačnosti, savremena istraživanja usmerena su u ispitivanju

Tabela 2

Dužina (m)	Sred- nja greš- ka	G r a n i c a t a č n o s t i							
		D o n j a				G o r n j a			
		A		B		A		B	
		n		n		n		n	
60	$(m_D)\tau$	1	5,0	1	0,19			80	0,10
	$(m_D)d$		1,7		0,063				0,033
	$m_{D_{v_0}}$		0,00024		0,00024				0,00024
	m_{D_v}		0,084		<u>0,084</u>				<u>0,084</u>
	m_{D_f}		0,060		0,060				<u>0,060</u>
	$m_{D\varphi_\epsilon}$		<u>5,0</u>		<u>0,15</u>				0,017
	$m_{D\varphi_{6\epsilon}}$		1,0		-				-
	m_{D_0}		1,0		-				-
	m_{D_z}		0,29		0,029				0,029
	270	$(m_D)\tau$			1	0,47			1
$(m_D)d$					0,16				0,16
$m_{D_{v_0}}$					0,0011				0,0011
m_{D_v}					<u>0,38</u>				<u>0,38</u>
m_{D_f}					<u>0,27</u>				<u>0,27</u>
$m_{D\varphi_\epsilon}$					0,15				0,15
m_{D_z}					0,029				0,029

2100	$(m_D)_{\tau}$				72	3,6	
	$(m_D)_d$					1,2	
	$m_{D_{v_0}}$					0,0084	
	m_{D_v}					<u>2,94</u>	
	m_{D_f}					<u>2,10</u>	
	$m_{D_{\varphi_{\varepsilon}}}$					0,59	
	$m_{D_{\varphi'_{\varepsilon}}}$					1,0	
	m_{D_0}					0,068	
	m_z					0,29	

takvih konstrukcija kod kojih bi se ova greška smanjila. Jedan prototip instrumenta koji radi na dve talasne dužine je i GEORAN I.

3.2.5. Uticaj grešaka koje nisu dominantne

Greške koje nisu dominantne mogu imati svoj uticaj na tačnost merenja dužina. Od posebnog značaja je njihov zajednički uticaj koji se može oceniti pomoću koeficijenta k koji se dobija:

$$k = \frac{(m_D)}{(m_D)_{\tau_{nd}}} \quad (3.11)$$

gde je:

$(m_D)_{\tau_{nd}}$ - srednja ukupna greška nedominantnih grešaka

$(m_D)_{nd}$ - srednja nedominantna greška dužine.

$$(m_D)_{\tau_{nd}} = \sqrt{[(m_D)_{nd}]^2} \quad (3.12)$$

Koeficijent k , u opštem slučaju, može imati sledeće vrednosti:

1. $k < 1$
2. $k = 1$
3. $k > 1$

U prvom slučaju ukupan uticaj nedominantnih grešaka je dominantan, pa je potrebno, po mogućnosti, neku od nedominantnih grešaka smanjiti.

U drugom slučaju ove greške nije potrebno smanjivati, ali se ne mogu ni povećavati.

U trećem slučaju nedominantne srednje greške mogu se i povećavati srazmerno koeficijentu k , i to povećanje neće imati uticaja na tačnost merene dužine.

Vrednosti za koeficijent k date su u sledećoj tabeli:

Tabela 3

Dužina	G r a n i c a t a č n o s t i			
	D o n j a		G o r n j a	
	A	B	A	B
60	3,5	1,3	1,8	1,8
270		1,8		
2100			1,8	

Kada se kod neke granice tačnosti nadje više dominantnih grešaka, onda koeficijent k treba sračunati sa onom koja je po apsolutnoj vrednosti najmanja, što je u tabeli 3. i učinjeno.

Kao što se iz tabele vidi, i za donju i za gornju granicu tačnosti, nije potrebno, s obzirom na vrednost koeficijenta k , smanjivati nedominantne greške.

3.3. Prethodna ocena tačnosti vlaka - podužna linearna greška vlaka

Podužna linearna relativna greška vlaka zavisi od dužine vlaka, broja strana u vlaku, kao i od broja merenja i broja čitanja.

3.3.1. Donja granica tačnosti

Donja granica tačnosti, odnosno najmanja tačnost postiže se, kad je:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right)_{\tau} = \left(\frac{m_L}{L}\right)_{\tau \frac{\max}{gr}}$$

S obzirom na (3.2), ovo će biti postignuto uz sledeće uslove:

$$n = n_{\frac{\min}{gr}} = 1$$

$$n_o = n_{o \frac{\min}{gr}} = 1$$

$$D = D_{\frac{\min}{gr}} = 60 \text{ m}$$

$$n_d = n_{d \frac{\min}{gr}} = 2$$

(3.13)

Ako se sada u formuli (3.2), uvrste vrednosti pojedinih izvora grešaka iz prethodne vrednosti, dobija se:

$$A : \left(\frac{m_L}{L}\right)_{\frac{\max}{gr}} = 1 : 16.000$$

$$B : \left(\frac{m_L}{L}\right)_{\frac{\max}{gr}} = 1 : 400.000$$

3.3.2. Gornja granica tačnosti

Gornja granica tačnosti, odnosno najviša tačnost postiže se, kad je:

$$n = n_{\frac{\max}{gr}}$$

$$n_o = n_{o \frac{\max}{gr}}$$

$$n_d = n_{d \frac{\max}{gr}}$$

$$D_o = D_{o \frac{\max}{gr}}$$

Ove vrednosti ima smisla povećavati, dok se ne ispuní uslov beznačajnosti uticaja grešaka, koje od tih vrednosti zavise, tj.

$$\frac{1}{n_d \cdot D_o} \left(\frac{m_{\varphi_{\varepsilon}}^2}{n} + m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + \frac{m_o^2}{n \cdot n_o} + m_z^2 \right) \leq \frac{1}{9} \left(\left(\frac{m_{v_o}}{v_o} \right)^2 + \left(\frac{m_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f} \right)^2 \right) \quad (3.14)$$

Ako usvojimo da se strane mere obostrano ($n=2$) i da se pri tom vrše tri čitanja ($n_o=3$), utvrdićemo vrednosti n_d , za

$$D_o = D_o \underset{\text{gr}}{\text{min}} = 60 \text{ m}$$

i D_o , za

$$n_d = n_d \underset{\text{gr}}{\text{min}} = 2.$$

Kad se uvrste vrednosti za pojedine greške u (3.14), dobija se:

A :	- za	$D_o = 60 \text{ m}$	\Rightarrow	
		$n_d \geq 5.800$		
	- za	$n_d = 2$	\Rightarrow	
		$D_o \geq 4.600$		(3.15)
B :	- za	$D_o = 60 \text{ m}$		
		$n_d \geq 10$		
	- za	$n_d = 2$		
		$D_o \geq 140$		

U svim slučajevima dobija se gornja granica tačnosti, tj.

$$\frac{m_L}{L} = 1 : 580.000$$

Očigledno, vrednosti n_d i D_o , dobijene za instrumente A, predstavljaju samo teoretske veličine i za gornju granicu mogu se naći povoljniji odnosi za broj strana i dužinu strana u vlaku, što se daje u sledećoj tablici:

n	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
D _o	3700	3200	2900	2600	2440	2300	2200	2000	1700	1400

3.3.3. Dominantne greške vlaka za granice tačnosti

Već je objašnjeno šta su dominantne greške i koji je kriterijum za te greške.

Srednje greške vlaka, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka, na osnovu izraza (3.2), jednake su:

$$\begin{aligned}
 m_{L_{V_0}} &= \frac{m_{V_0}}{V_0} \cdot L \\
 m_{L_V} &= \frac{m_V}{V} \cdot L \\
 m_{L_f} &= \frac{m_f}{f} \cdot L \\
 m_{L_{\varphi_\varepsilon}} &= \sqrt{\frac{n_d}{n}} \cdot m_{\varphi_\varepsilon} \\
 m_{L_{\varphi'_\varepsilon}} &= \sqrt{nd} \cdot m_{\varphi'_\varepsilon} \\
 m_{L_o} &= \sqrt{\frac{n_d}{n \cdot n_o}} \cdot m_o \\
 m_{L_z} &= \sqrt{n_d} \cdot m_z
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

U sledećoj tabeli prikazane su srednje greške sračunate na osnovu (3.16), odnosno srednje podužne greške vlaka za granice tačnosti, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka.

Tabela 4

Greška	Granica tačnosti					
	Donja		Gornja			
	A	B	A		B	
			a	b	a	b
$(m_L)_\tau$	7,5	0,30	600,0	15,9	1,03	0,48
$(m_L)_d$	2,5	0,10	200,0	5,3	0,34	0,16
$m_{L_{y_0}}$	0,00048	0,00048	0,14	0,037	0,0024	0,001
m_{L_V}	0,17	0,17	487,0	12,9	0,84	0,39
m_{L_f}	0,12	0,12	348,0	9,2	0,60	0,28
$m_{L_{\varphi_\varepsilon}}$	5,0	0,15	269,0	5,0	0,33	0,15
$m_{L_{\varphi_0\varepsilon}}$	1,4	-	76,0	1,4	-	-
m_{L_o}	0,58	-	31,0	0,34	-	-
m_{L_z}	0,41	0,041	22,0	0,41	0,092	0,041

Za donju granicu tačnosti:

- A - dominantna je srednja slučajna greška merenja razlike faza;
- B - dominantne su greške odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu, greška frekvencije i srednja greška merenja razlike faza.

Za gornju granicu tačnosti:

- A - dominantne su greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu, srednja greška frekvencije i u slučaju a) - srednja greška merenja razlike faza;

B - dominantne su greška odredjivanja brzine svetlosti u vazduhu i srednja greška frekvencije.

3.3.4. Uticaj grešaka koje nisu dominantne

Uticaj grešaka koje nisu dominantne ceni se preko koeficijenta k , koji se daje u sledećoj tabeli:

Tabela 5

	G r a n i c a t a č n o s t i					
	D o n j a			G o r n j a		
	A	B	A	B	A	B
			a	b	a	b
k	2,0	2,9	3,1	1,8	1,8	1,8

Kao što se iz tabele vidi koeficijent k je u svim slučajevima veći od jedinice, što znači da su nedominantne greške u svom ukupnom uticaju beznačajne, te ih nije potrebno smanjivati.

3.4. Uslovi tačnosti

3.4.1. Uslovi tačnosti za merenu dužinu

U analizi metode merenja izvedeni su izrazi za merenu dužinu (2.72). Na osnovu njih, u tabeli 6, daju se numeričke vrednosti za granice tačnosti.

Za računanje srednje greške merenja vertikalnih uglova, usvojeno je

$$Z = Z_{\frac{\min}{gr}} = 85^{\circ} \quad (3.17)$$

Dobijeni podaci u tabeli 6. pokazuju, za granice tačnosti, sa kojom tačnošću je potrebno:

- centrisati instrument i reflektor,
- odredjivati adicijonu konstantu,
- odredjivati indeks prelamanja, odnosno meriti temperaturu i pritisak vazduha,

- meriti vertikalni ugao.

Tabela 6

Greška	G r a n i c a t a č n o s t i			
	D o n j a		G o r n j a	
	A	B	A	B
	n=1 D=60	n=1 D=60	n=72 D=2100	n=1 D=270
$(m_D)_c$	5,0	0,19	3,6	0,10
$(m_D)_d$	1,7	0,063	1,2	0,033
m_c	1,2	0,045	0,85	0,023
m_a	1,7	0,063	1,2	0,033
m_n	$28,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$0,57 \cdot 10^{-6}$	$0,12 \cdot 10^{-6}$
m_t	20,6°C	0,8°C	0,42°C	0,087°C
m_p	57 mmHg	2,2 mmHg	1,2 mmHg	0,24 mmHg
m_u	67"	2;5	1;4	0;29

Iz tabele se vidi da se uslovi za instrument A mogu ispuniti za obe granice tačnosti, bez većih napora. Što se tiče instrumenta B, tu je situacija drugačija. Kod njega je, s obzirom na dobijene podatke u tabeli 6, potrebno:

Za donju granicu tačnosti:

- centrisanje instrumenta i reflektora vršiti prisilno, ili meriti elemente ekscentriciteta i unositi popravke,
- adicijonu konstantu odredjivati iz većeg broja merenja,
- ostali uslovi, kao što su tačnost odredjivanja temperature, vazdušnog pritiska i merenja vertikalnog ugla, mogu se ispuniti bez većih teškoća.

Za gornju granicu tačnosti:

- za centrisanje instrumenta i reflektora i odredjivanje adicione konstante isto kao kod donje gra-

nice tačnosti,

- temperaturu i vazdušni pritisak treba meriti sa posebnom pažnjom,
- merenje vertikalnih uglova, ukoliko nije moguće postići sa odgovarajućom tačnošću, treba zameniti sa odredjivanjem visinskih razlika geometrijskim nivelmanom.

Treba napomenuti da su uslovi tačnosti odredjeni po principu jednakih uticaja. Moguće je, ako je to potrebno, primeniti princip različitih uticaja i time neke uslove pooštriti, a ostale ispunjavati sa nešto manjom tačnošću.

3.4.2. Uslovi tačnosti za vlak

Prema izrazima (2.82) u narednoj tabeli 7, daju se numerički podaci za uslove tačnosti.

Tabela 7

Greška	G r a n i c a t a č n o s t i					
	D o n j a		G o r n j a			
	A	B	A		B	
			a	b	a	b
$(m_L)_T$	7,5	0,30	600	15,9	1,03	0,48
$(m_L)_O$	2,5	0,10	200	5,3	0,34	0,16
m_c	1,2	0,050	1,9	2,6	0,17	0,080
m_a	1,8	0,071	2,6	3,7	0,11	0,11
m_n	$29,5 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$43,8 \cdot 10^{-6}$	$0,81 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$0,81 \cdot 10^{-6}$
m_t	$21,5^\circ\text{C}$	$0,87^\circ\text{C}$	32°C	$0,59^\circ\text{C}$	$1,3^\circ\text{C}$	$0,59^\circ\text{C}$
m_p	59,6mmHg	2,4mmHg	88mmHg	1,6mmHg	3,6mmHg	1,6mmHg
m_u	70"	2,8	104"	1,9	4,2	1,9

Očigledno je da se za B, i za gornju i za donju granicu tačnosti, centrisanje instrumenta i reflektora mora vršiti prisilno ili se moraju meriti elementi ekscentriciteta i unositi odgovarajuća popravka. Takodje, adicijonu konstantu potrebno je odredjivati iz većeg broja merenja.

Što se tiče ostalih uslova, oni se mogu bez većih napora ispuniti. Kod gornje granice tačnosti (b), nešto oštriji uslovi su za tačnost merenja temperature. Medjutim, to se može rešiti primenjujući pricip različitih uticaja elemenata iz kojih se odredjuje indeks prelamanja.

Uslovi tačnosti za vlak odredjeni su po principu jednakih uticaja. S obzirom na dobijene podatke u tabeli 7, može se steći utisak da bi bilo bolje da se primeni pricip različitih uticaja. To bi bilo ispravno zbog toga što ima uslova koji se lako mogu ispuniti, a ima i onih koji su dosta strogi. Primera radi, recimo, da bi smo adicijonu konstantu mogli odrediti sa manjom tačnošću ako usvojimo da ćemo centrisanje instrumenta i reflektora vršiti prisilno i da ćemo temperaturu, pritisak i vertikalni ugao meriti sa većom tačnošću od one koja je dobijena po principu jednakih uticaja.

Ukoliko se za određivanje indeksa prelamanja koristi metoda...
 tačnost određivanja...
 koje se dobija iz uslova tačnosti, na osnovu...
 može se...
 (1.1)

$$\left[\left(\frac{\partial \mu}{\partial T} \right)^2 + \left(\frac{\partial \mu}{\partial P} \right)^2 + \left(\frac{\partial \mu}{\partial \alpha} \right)^2 \right] \cdot \mu^2 \cdot \Delta \mu^2 = \dots$$

Određivanje broja...
 konstante...
 kao prethodno...
 adicijone konstante...

4. DETALJNA RAZRADA METODE MERENJA

Detaljna razrada metode merenja obuhvata program rektifikacije i ispitivanja instrumenta i pribora i računanje potrebnih podataka za praćenje i kontrolu merenja. U analizi metode merenja objašnjeno je koja se ispitivanja vrše, a ovde je potrebno razraditi metode ispitivanja sa aspekta prethodne ocene tačnosti, odnosno tačnosti sa kojom je potrebno vršiti merenja u konkretnoj mreži.

4.1. Odredjivanje adicione konstante

Način odredjivanja adicione konstante opisan je u (2.21). Na ovom mestu potrebno je dati odgovor, na osnovu teorije grešaka, na sledeća pitanja:

- na kojoj dužini treba odredjivati adicijonu konstantu,
- koliki broj merenja je dovoljan, i
- sa kojom tačnošću treba da bude poznata uslovno tačna dužina?

Dužina na kojoj treba odredjivati adicijonu konstantu dobija se iz uslova beznačajnosti uticaja grešaka, koje zavise od dužine, na tačnost odredjivanja adicione konstante, koja se dobija iz uslova tačnosti. Na osnovu izraza (3.1), može se napisati:

$$\left[\left(\frac{m_{v_0}}{v_0} \right)^2 + \left(\frac{m_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f} \right)^2 \right] \cdot D^2 \leq \frac{1}{9} m_a^2 \quad (4.1)$$

odnosno

$$D \leq \frac{m_a}{3 \sqrt{\left(\frac{m_{v_0}}{v_0} \right)^2 + \left(\frac{m_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f} \right)^2}} \quad (4.2)$$

Odredjivanje broja merenja kod ispitivanja adicione konstante vrši se, takodje, na osnovu izraza (3.1). Pošto smo prethodno odredili dužinu na kojoj će se vršiti ispitivanje adicione konstante, broj merenja n odredićemo na osnovu

principa beznačajnosti uticaja grešaka koje zavise od tog broja, tj.

$$\frac{m_{\varphi_{\varepsilon}}^2}{n} + \frac{m_o^2}{n \cdot n_o} \leq \frac{1}{9} m_a^2 \quad (4.3)$$

odnosno

$$n \geq \frac{9(m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + \frac{m_o^2}{n_o})}{m_a^2} \quad (4.4)$$

Treba napomenuti da broj merenja ima smisla povećavati sve dok ne bude:

$$n \geq \frac{9(m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + \frac{m_o^2}{n_o})}{m_z^2} \quad (4.5)$$

i tada se dobija granični slučaj tačnosti odredjivanja adicione konstante, pošto se greška koja dolazi usled zaokruživanja čitanja, ne može smanjiti i tada ona predstavlja opštu granicu tačnosti.

Iz izraza (3.1) izostavljene su sistematska greška merenja razlike faza $m_{\varphi_{\varepsilon}}$ i slučajna greška odredjivanja sistematske greške merenja razlike faza $m_{\varphi'_{\varepsilon}}$. Prva ulazi kao konstantna vrednost u vrednost adicione konstante, a druga ne postoji u slučaju kada se adicione konstanta odredjuje na jednom odsečku. Problem se rešava na taj način, što se adicione konstanta odredjuje na način opisan u (2.1), pod c., odnosno (2.2).

Odgovor na treće pitanje dobija se kao kod svih vrsta ispitivanja. Greška dužine na kojoj se vrši ispitivanje i odredjivanje adicione konstante mora biti beznačajna u odnosu na grešku sa kojom je potrebno odrediti adicione konstantu.

4.2. Podaci za praćenje i kontrolu merenja

Kao što je već napred rečeno, pri merenju vrši se n_o čitanja i n merenja. Za definitivnu vrednost merene dužine

uzima se aritmetička sredina. Prilikom merenja potrebno je pratiti samo merenje kroz dozvoljene razlike između pojedinih merenja i pojedinih čitanja.

4.2.1. Dozvoljene razlike između čitanja

Razlika između čitanja jednaka je:

$$r_1 = D_{oi} - D_{oj}$$

Srednja greška razlike biće:

$$m_{r_1} = m_{D_0} \cdot \sqrt{2}$$

gde je:

m_{D_0} = srednja greška merene dužine sračunata iz grešaka dužine koje dolaze do izražaja u razlici r_1 , odnosno

$$m_{D_0} = m_0.$$

Dalje je:

$$m_{r_1} = m_0 \sqrt{2}$$

i

$$\Delta_{r_1} = 2 \sqrt{2} \cdot m_0 \quad (4.6)$$

4.2.2. Dozvoljene razlike između pojedinih merenja - između merenja napred-nazad

Razlika između merenja napred-nazad, jednaka je:

$$r_2 = D_1 - D_2$$

Pod pretpostavkom da je $m_{D_1} = m_{D_2} = m_{D_n}$, dobija se:

$$m_{r_2} = m_{D_n} \cdot \sqrt{2}$$

gde je:

m_{D_n} - srednja greška za jedno merenje i n_0 čitanja, sračunata iz grešaka koje dolaze do izražaja u razlici r_2 , odnosno

$$m_{D_n}^2 = m_{\varphi_\varepsilon}^2 + \frac{m_0^2}{n_0}$$

Dalje je:

$$m_{r_2} = \sqrt{2\left(m_{\varphi_\varepsilon}^2 + \frac{m_0^2}{n_0}\right)}$$

i dozvoljena razlika

$$\Delta_{r_2} = 2 \sqrt{2\left(m_{\varphi_\varepsilon}^2 + \frac{m_0^2}{n_0}\right)} \quad (4.7)$$

5. PRETHODNA OCENA TAČNOSTI MERENJA DUŽINA ELEKTRONSKIM DALJINOMEROM WILD DI-10 U GRADSKOJ POLIGONOMETRIJSKOJ MREŽI 1. REDA

Elektronskim daljinomerom Wild DI-10 mere se dužine do jednog kilometra. Prethodna ocena tačnosti može se izvršiti na osnovu opšteg modela, koji je prikazan u poglavlju (3), primenjujući podatke za pojedine izvore grešaka koji se dobijaju na osnovu konkretnih ispitivanja. Prethodna ocena tačnosti vrši se, dakle, i za konkretan instrument. Kako tačnost merenja dužina elektronskim daljinomerima zavisi od dužine koja se meri, to je na ovom mestu prethodna ocena tačnosti vezana za gradsku poligonometrijsku mrežu 1. reda. Ova veza učinjena je zbog toga što će se kasnije formirati model gde će biti izvršena merenja, obrada i ocena tačnosti, a taj model će biti gradska poligonometrijska mreža 1. reda. Tako će biti omogućeno da se izvrši uporedjenje prethodne ocene tačnosti i ocene tačnosti dobijene iz podataka merenja.

5.1. Podaci za izvore grešaka

Pored opštih podataka za pojedine izvore grešaka koji su dati u (3.1), ovde će biti objašnjen način ispitivanja i prezentiraće se rezultati ispitivanja za ostale izvore grešaka, koji figurišu u formuli za ocenu tačnosti.

5.1.1. Srednja greška čitanja

Ova srednja greška kod elektronskog daljinomera Wild DI-10, sastoji se iz dve komponente i to iz srednje greške nameštanja adicione konstante i srednje greške čitanja.

Odredjivanje srednje greške čitanja može se izvršiti iz odstupanja pojedinih merenja od aritmetičke sredine

$$m_0 = \sqrt{\frac{[\delta_0 \delta_0]}{n - 1}} \quad (5.1)$$

pod uslovom da odstupanja sadrže samo grešku čitanja. To se može postići načinom rada. Postupak bi bio sledeći:

Na kraćem i proizvoljnom odstojanju postavi se re-

flektor. Po poznatom postupku izvrši se merenje. Ne isključujući instrument izvrši se n_0 nameštanja adicione konstante i isto toliko čitanja. Iz ovih merenja obrazuje se aritmetička sredina i na osnovu formule (5.1) sračuna m_0 , koja predstavlja srednju grešku čitanja.

Ako posmatramo izraz za ocenu tačnosti i imamo u vidu prethodno opisani postupak, jasno se može zaključiti da će u razlikama δ_0 ostati samo greška m_0 , a sve ostale greške će, kao konstantne veličine, biti eliminisane.

Eksperimentalno je određeno u 29 serija, da srednja greška čitanja iznosi:

$$m_0 = \pm 1,2 \text{ mm} \quad (5.2)$$

U svakoj seriji vršeno je

$$n_0 = 10$$

čitanja, a čitanje je vršio uvek različit operator.

5.1.2. Srednja slučajna greška merenja razlike faza

Srednja slučajna greška merenja razlike faza predstavlja grešku instrumenta. Ona karakteriše moć i tačnost instrumenta. Savršenstvo konstrukcije i izrade instrumenta izraženo je kroz ovu grešku, koja se kod savremenih instrumenata visoke tačnosti svodi na minimalne vrednosti. Srednja slučajna greška merenja razlike faza javlja se kao rezultat različitog i promenljivog uticaja pojedinih elektronskih delova jednih na druge, a promenljivost se manifestuje i kao posledica promene temperature sadržaja instrumenta.

Način određivanja srednje slučajne greške merenja razlike faza sastoji se u tome da se jedna ista dužina, naravno kraća, meri više puta. Iz svih merenja obrazuje se aritmetička sredina i sračuna srednja greška jednog merenja iz odstupanja pojedinih merenja od aritmetičke sredine.

$$m_{\varphi_{\tau_e}} = \sqrt{\frac{[\delta_{\varphi}\delta_{\varphi}]}{n-1}}$$

Ovako sračunata srednja greška, s obzirom na način ispitivanja i izraz za ocenu tačnosti merene dužine (3.1), sadrži dve greške: srednju slučajnu grešku merenja razlike faza i srednju slučajnu grešku čitanja, tj.

$$m_{\varphi_{\tau_{\varepsilon}}}^2 = m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + m_0^2 \quad (5.3)$$

Kod računanja treba voditi računa o tome koliki broj čitanja je vršen i to uzeti u obzir, tj.

$$m_{\varphi_{\tau_{\varepsilon}}}^2 = m_{\varphi_{\varepsilon}}^2 + \frac{m_0^2}{n_0} \quad (5.4)$$

Kako je u tački (5.1.1) posebnim ispitivanjem određena srednja slučajna greška čitanja, to iz (5.4) možemo izdvojiti srednju slučajnu grešku merenja razlike faza:

$$m_{\varphi_{\varepsilon}} = \sqrt{m_{\varphi_{\tau_{\varepsilon}}}^2 - \frac{m_0^2}{n_0}} \quad (5.5)$$

Na osnovu sopstvenih ispitivanja iz 29 serija, dobijeno je da srednja slučajna greška merenja razlike faza iznosi:

$$m_{\varphi_{\varepsilon}} = \pm 3,1 \text{ mm} \quad (5.6)$$

Serije su radjene u različito vreme od strane različitih operatora.

5.1.3. Sistematska greška merenja razlike faza

Ova greška i njeno ispitivanje detaljno su objašnjeni u tački 2.2.2. Na ovom mestu bilo bi potrebno da se kaže kako se vrši ispitivanje sa aspekta tačnosti.

Pre svega, ispitivanje treba vršiti na kraćim odstojanjima, takvim da greške koje zavise od odstojanja budu beznačajne u odnosu na tačnost sa kojom je potrebno izvršiti ispitivanje.

Broj merenja i broj čitanja, takodje, treba odrediti iz uslova beznačajnosti uticaja grešaka, koje zavise od broja merenja i broja čitanja, na tačnost ispitivanja siste-

matske greške merenja razlike faza.

Ispitivanjem je dobijeno iz 29 serija merenja da sistematska greška merenja razlike faza iznosi maksimalno:

$$m_{\varphi_{\delta}} = \pm 0,73 \text{ mm} \quad (5.7)$$

U literaturi [20] je, međutim, dato da ova greška kod nekih ispitivanih instrumenata iznosi:

$$m_{\varphi_{\delta}} = \pm 7,0 \text{ mm}, \quad (5.8)$$

o čemu se mora voditi računa kad se vrši prethodna ocena tačnosti, kao opšti model za elektronski daljinomer Wild DI-10.

5.1.4. Srednja slučajna greška odredjivanja sistematske greške merenja razlike faza

Kada se vrši odredjivanje sistematske greške merenja razlike faza, onda se periodičnost ove greške aproksimira nekom poznatom periodičnom krivom. Međutim, periodična greška se ne poklapa strogo sa periodičnom krivom, već odstupa u izvesnim granicama od nje. Tako nastaje greška aproksimacije, koja se ne može izbeći i u zavisnosti od odstojanja u okviru polovine talasne dužine ima slučajan karakter. Pošto se aproksimacija vrši po metodi najmanjih kvadrata, to se ova greška može dobiti iz popravaka.

Ispitivanjem sistematske greške merenja razlike faza, dobijena je i njena greška odredjivanja, koja je ovde nazvana srednjom slučajnom greškom odredjivanja sistematske greške merenja razlike faza i iznosi:

$$m_{\varphi_{\delta_2}} = \pm 0,46 \text{ mm} \quad (5.9)$$

U literaturi [20] je ova veličina prikazana kao vrednost koja iznosi:

$$m_{\varphi_{\delta_2}} = \pm 2,0 \text{ mm} \quad (5.10)$$

5.1.5. Greška usled zaokruživanja čitanja

Ovde treba napomenuti da je podela na finoj skali kod elektronskog daljinomera izvršena do na santimeter, ali se čitanje može izvršiti ceneći deseti deo podele, tj. milimetar. Tada greška, usled zaokruživanja čitanja, iznosi:

$$m_z = \pm 0,29 \text{ mm} \quad (5.11)$$

Približne srednje vrednosti za pojedine greške dobijene na osnovu podataka iz literature i na osnovu sopstvenih ispitivanja, iznose:

$$\frac{m_{v_0}}{v_0} = \pm 4 \cdot 10^{-9}$$

$$\frac{m_v}{v} = \pm 1,4 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{m_f}{f} = \pm 3 \cdot 10^{-6}$$

(5.12)

$$m_{\varphi_\varepsilon} = \pm 3,1 \text{ mm}$$

$$m_o = \pm 1,2 \text{ mm}$$

$$m_{\varphi_\sigma} = \pm 0,73 - \pm 7,0 \text{ mm}$$

$$m_{\varphi_{\sigma\varepsilon}} = \pm 0,46 - \pm 2,0 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 0,29 \text{ mm}$$

5.2. Prethodna ocena tačnosti merenja dužine

Prethodna ocena tačnosti može se izvršiti za proizvoljnu dužinu. Medjutim, ovde će se pažnja posvetiti poligonometrijskoj mreži prvog reda, gde se dužine strana kreću od 100-300 m, a prosečno 200 m. Zbog toga će se ovde izvršiti prethodna ocena tačnosti za dužine 100, 200 i 300 m.

5.2.1. Donja granica tačnosti

Donja granica tačnosti, odnosno najniža tačnost postiže se za

$$n = n_{\min} = 1 \quad (5.13)$$

$$n_o = n_{o\min} = 1$$

Kada se ovo uvrsti u izraz (3.1), dobija se:

a) Za dužinu od 100 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\max} = 1 : 12.000$$

b) Za dužinu od 200 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\max} = 1 : 25.000$$

c) Za dužinu od 300 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\max} = 1 : 37.000$$

Donja granica tačnosti za $n=2$ i $n_o=3$:

a) Za dužinu od 100 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\max} = 1 : 13.000 \quad (5.15)$$

b) Za dužinu od 200 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\frac{\max}{gr}} = 1 : 26.000 \quad (5.15)$$

c) Za dužinu od 300 m:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right)_{\frac{\max}{gr}} = 1 : 39.000$$

5.2.2. Gornja granica tačnosti

Gornja granica tačnosti, odnosno najviša tačnost, dobija se, kad je:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right) = \left(\frac{m_D}{D}\right)_{\frac{\min}{gr}}$$

Ovaj uslov biće ispunjen, kad je:

$$\begin{aligned} n &= n_{\frac{\max}{gr}} \\ n_o &= n_{o\frac{\max}{gr}} \\ m_{\varphi_{\sigma}} &= (m_{\varphi_{\sigma}})_{\frac{\min}{gr}} = 0 \end{aligned} \quad (5.16)$$

Srednja sistematska greška merenja razlike faza (m) biće jednaka nuli, ako se unose popravke za periodičnu grešku.

Relativna greška merene dužine biće tada:

$$\left(\frac{m_D}{D}\right) = \left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{\varphi_{\sigma\epsilon}}^2 + m_z^2 \quad (5.17)$$

pod uslovom da je:

$$\frac{1}{D^2} \left(\frac{m_{\varphi_{\sigma\epsilon}}^2}{n} + \frac{m_o^2}{n \cdot n_o} \right) \leq \frac{1}{9} \left[\left(\frac{m_v}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \frac{1}{D^2} (m_{\varphi_{\sigma\epsilon}}^2 + m_z^2) \right] \quad (5.18)$$

a) Za dužinu od 100 m, biće:

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 49.000$$

n_o	1	2	3
n	24	22	22

b) Za dužinu od 200 m:

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 94.000$$

n_o	1	2	3
n	22	21	20

c) Za dužinu od 300 m:

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 130.000$$

n_o	1	2	3
n	20	18	18

Interesantno je videti za gornju granicu tačnosti, koja je to dužina na kojoj linearne sistematske greške nemaju značaja. Po principu beznačajnosti, to se postiže kad je:

$$\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 \leq \frac{1}{9D^2}(m_{\varphi_{\delta\varepsilon}}^2 + m_z^2) \quad (5.19)$$

odnosno:

$$D^2 \leq \frac{1}{9} \cdot \frac{m_{\varphi_{\delta\varepsilon}}^2 + m_z^2}{\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \quad (5.20)$$

$$D \leq 200 \text{ m.}$$

5.2.3. Praktična gornja granica tačnosti

Za gornju granicu tačnosti merenja dužina vidi se, na osnovu dobijenih podataka, da je potrebno izvršiti relativno veliki broj merenja pod različitim uslovima, što se u gradskoj poligonometrijskoj mreži ne čini. Uobičajeno je da se dužine mere jednostrano, a najviše dvostrano, uz dva do tri čitanja. Isto tako, poznato je da se ne unosi popravka za periodičnu grešku. Imajući to u vidu, sračunaćemo praktičnu gornju granicu za:

$$n = 2$$

$$n_0 = 3$$

i kad se unose i kad se ne unose popravke za periodičnu grešku:

a) Za dužinu od 100 m:

- kad se unosi popravka za m

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 33\ 000,$$

- kad se popravka za m ne unosi

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 13\ 000;$$

b) Za dužinu od 200 m:

- kad se unosi popravka za m

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 65\ 000,$$

(5.21)

- kad se ne unosi popravka za m

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 26\ 000;$$

c) Za dužinu od 300 m:

- kad se unosi popravka za m

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 94\ 000,$$

- kad se popravka za m ne unosi

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 39\ 000.$$

Tabelarni pregled dobijenih rezultata

Tabela 8

Dužina	Granica tačnosti														
	Donja					Gornja			Praktično gornja						
	A			B		n	n _o	(m _D) min gr	A		B				
	n	n _o	(m _D) max gr	n	n _o				(m _D) max gr	n	n _o	(m _D) min gr	n	n _o	(m _D) min gr
100	1	1	8,3	2	3	7,7	22	3	2,0	2	3	3,0	2	3	7,7
200	1	1	8,0	2	3	7,7	20	3	2,1	2	3	3,1	2	3	7,7
300	1	1	8,1	2	3	7,7	18	3	2,3	2	3	3,2	2	3	7,7

5.2.4. Dominantne greške za granice tačnosti

U tabeli na sledećoj strani, prikazane su srednje greške sračunate na osnovu (3.13), odnosno srednje greške merene dužine za granice tačnosti, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka.

Iz tabele se vidi da su dominantne greške sledeće:

- za donju granicu tačnosti, bez obzira na dužinu, dominantne su srednja slučajna $m_{\varphi_{\epsilon}}$ i srednja sistematska greška $m_{\varphi_{\zeta}}$ merenja razlike faza;

- za gornju granicu tačnosti dominantna je srednja greška odredjivanja periodične greške - sistematske greške merenja razlike faza. Takođe, za dužinu od 300 m, dominantna je i srednja greška m_{D_f} modulacione frekvencije. Na dužini od 200 m, ova greška iznosi $(m_D)_f = 0,66$, dok je po kriterijumu dominantne greške $(m_D)_f = 0,70$, pa bi se moglo zaključiti da greška dužine, usled greške frekvencije, postaje dominantna na dužinama koje su veće od 200 m;

- kod praktično gornje granice tačnosti, kad se unese popravke za periodičnu grešku, dominantne su srednja greška merenja razlike faza $m_{\varphi_{\epsilon}}$ i srednja slučajna greška odredjivanja periodične greške $m_{\varphi_{\zeta}}$;

Tabela 9

Duzina	Srednja greška	Granica tačnosti														
		Donja						Gornja			Praktično gornja					
		A			B						A			B		
		n	n ₀		n	n ₀		n	n ₀		n	n ₀		n	n ₀	
100 m	(m _D) _τ	1	1	8,3	2	3	7,7	22	3	2,0	2	3	3,0	2	3	7,7
	(m _D) _δ			2,7			2,6			0,67			1,0			2,6
	m _D v ₀			0,0040			0,0040			0,0040			0,0040			0,0040
	m _D v			0,14			0,14			0,14			0,14			0,14
	m _D f			0,30			0,30			0,30			0,30			0,30
	m _D φ _ε			3,1			2,2			0,66			2,2			2,2
	m _D φ _δ			7,0			7,0			-			-			7,0
	m _D φ _δ ε			2,0			2,0			2,0			2,0			2,0
	m _D φ _δ ε			1,2			0,49			0,15			0,49			0,49
m _D z			0,29			0,29			0,29			0,29			0,29	
200 m	(m _D) _τ	1	1	0,8	2	3	7,7	20	3	2,1	2	3	3,1	2	3	7,7
	(m _D) _δ			2,7			2,6			0,70			1,0			2,6
	m _D v ₀			0,0080			0,0080			0,0080			0,0080			0,0080
	m _D v			0,28			0,28			0,28			0,28			0,28
	m _D f			0,60			0,60			0,60			0,60			0,60
	m _D φ _ε			3,1			2,2			0,66			2,2			2,2
	m _D φ _δ			7,0			7,0			-			-			7,0
	m _D φ _δ ε			2,0			2,0			2,0			2,0			2,0
	m _D φ _δ ε			1,2			0,49			0,15			0,49			0,49
m _D z			0,29			0,29			0,29			0,29			0,29	
300 m	(m _D) _τ	1	1	8,1	2	3	7,7	18	3	2,3	2	3	3,2	2	3	7,7
	(m _D) _δ			2,7			2,6			0,77			1,1			2,6
	m _D v ₀			0,012			0,012			0,012			0,012			0,012
	m _D v			0,42			0,42			0,42			0,42			0,42
	m _D f			0,90			0,90			0,90			0,90			0,90
	m _D φ _ε			3,1			2,2			0,66			2,2			2,2
	m _D φ _δ			7,0			7,0			-			-			7,0
	m _D φ _δ ε			2,0			2,0			2,0			2,0			2,0
	m _D φ _δ ε			1,2			0,49			0,15			0,49			0,49
m _D z			0,29			0,29			0,29			0,29			0,29	

- kod praktično gornje granice tačnosti, kad se ne unose popravke za periodičnu grešku, dominantna je jedino sistematska greška merenja razlike faza m_{φ} .

Vrednosti za koeficijent k , sračunate na osnovu (3.14), date su u sledećoj tabeli.

Tabela 10

Du- ži- na	G r a n i c a t a č n o s t i				
	D o n j a		G o r n j a	Praktično gornja	
	A	B		A	B
100	1,1	0,85	0,83	1,5	1,2
200	1,1	0,84	0,71	1,2	0,84
300	1,1	0,82	0,91	0,96	0,82

Kao što se vidi iz tabele, za donju granicu tačnosti nije potrebno smanjivati nedominantne greške.

Za donju granicu tačnosti, kad se vrše dva merenja i tri čitanja, koeficijent k je manji od jedinice, te je neke nedominantne greške po mogućnosti potrebno smanjiti.

Za gornju granicu tačnosti, takodje, bi neke nedominantne greške trebalo smanjiti. Medjutim, posmatrajući pojedine greške dolazi se do zaključka da pojedine greške nismo u mogućnosti da smanjimo, dakle, one u ukupnom svom delovanju ograničavaju tačnost merenja.

Kod praktično gornje granice tačnosti, i to kad se ne unose popravke za periodičnu grešku, za dužine od 200-300 m, potrebno je smanjiti neke nedominantne greške. To bi se moglo učiniti povećanjem broja merenja i broja čitanja. Medjutim, to takodje nema smisla, pošto je dominantna srednja sistematska greška merenja razlike faza, te bi nju trebalo smanjiti, odnosno unositi popravke, a time bi prešli na slučaj pod A.

5.3. Prethodna ocena tačnosti vlaka - podužna linearna relativna greška vlaka

Podužna linearna relativna greška vlaka zavisi od dužine vlaka i broja strana u vlaku. Ona je, takodje, zavisna i od broja merenja i broja čitanja.

5.3.1. Donja granica tačnosti

Donja granica tačnosti, tj. najmanja tačnost, postiže se kad je:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right) = \left(\frac{m_L}{L}\right)_{\max} \frac{1}{gr}$$

Za uobičajen način merenja, tj. kad je:

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ n_o &= 3 \end{aligned} \quad (5.22)$$

ovaj uslov će biti ispunjen, ako je:

$$n_d \cdot D_{sr} = \min.$$

Kako u gradskoj poligonometrijskoj mreži prvog reda minimalan broj strana u valku i minimalna dužina strane iznose:

$$n_{d \min} = 3$$

$$D_{sr \min} = 100 \text{ m,}$$

to će donja granica tačnosti za podužnu relativnu grešku vlaka, biti:

$$\frac{m_L}{L} = 1 : 23.000$$

5.3.2. Gornja granica tačnosti

Gornja granica tačnosti, odnosno najviša tačnost, postiže se kad je za uobičajen način merenja i prosečnu dužinu strane u vlaku:

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ n_o &= 3 \\ D_{gr} &= 200 \text{ m,} \end{aligned} \tag{5.23}$$

broj strana u vlaku:

$$n_d = (n_d)_{\frac{\max}{gr}}$$

i

$$m_{\varphi_g} = (m_{\varphi_g})_{\frac{\min}{gr}} = 0$$

Tada će podužna relativna greška vlaka biti jednaka:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right)_{\frac{\min}{gr}} = \sqrt{\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \tag{5.24}$$

Granična vrednost za broj strana u vlaku, postiže se, kad je:

$$\frac{1}{n_d \cdot D_{gr}^2} \left(\frac{m_{\varphi_g}^2}{2} + m_{\varphi_g}^2 + \frac{m_o^2}{2 \cdot 3} + m_z^2 \right) \leq \frac{1}{9} \left[\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 \right] \tag{5.25}$$

odnosno

$$n_d \frac{\max}{gr} \geq \frac{9}{D_o^2} \cdot \frac{\frac{m_{\varphi_g}^2}{2} + \frac{m_o^2}{2 \cdot 3} + m_z^2}{\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \tag{5.26}$$

Kada se uvrste vrednosti pojedinih grešaka, na osnovu (5.12), dobija se:

$$n_d \frac{\max}{gr} \geq 105$$

a relativna podužna linearna greška vlaka:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right)_{\frac{\min}{gr}} = 1 : 300 \text{ 000}$$

Ovde bi bilo interesantno utvrditi i zavisnost između broja strana u vlaku i dužine strane u vlaku. To se dobija na osnovu (5.26), tj.

$$n_d \cdot D_{sr}^2 = \frac{9 \cdot \frac{m_{\varphi_{\varepsilon}}^2}{2} + \frac{m_o^2}{6} + m_z^2}{\left(\frac{m_{v_o}}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{m_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \quad (5.27)$$

D	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000
n_d	420	105	47	26	17	12	9	7	5	4
	332	83	37	21	13	10	7	5	4	3

5.3.3. Praktično gornja granica tačnosti

Praktično gornja granica tačnosti dobija se, kad je

$$\begin{aligned} n_d &= 10 \\ D_{sr} &= 200, \end{aligned} \quad (5.28)$$

pošto je poznato da dužina vlaka u gradskoj poligonometrijskoj mreži prvog reda ne bi trebalo da bude veća od 2 km.

Ako se ove vrednosti uvrste u (3.2), dobija se praktično gornja granica tačnosti za podužnu relativnu grešku vlaka.

A. Kad se unose popravke za periodičnu grešku:

$$\frac{m_L}{L} = 1 : 170\ 000$$

B. Kad se ne unose popravke za periodičnu grešku:

$$\frac{m_L}{L} = 1 : 80\ 000.$$

5.3.4. Podužna relativna linearna greška za vlak prosečne dužine

Poznato je da se broj strana u vlaku u gradskoj poligonometrijskoj mreži prvog reda kreće od 3-10, a prosečno 6 i da je prosečna dužina strane u vlaku 200 m. Za ove podatke podužna linearna greška vlaka prosečne dužine biće:

A. Kad se unose popravke za sistematsku grešku

$$\frac{m_L}{L} = 1 : 140\ 000$$

B. Kad se ne unose popravke za sistematsku grešku:

$$\left(\frac{m_L}{L}\right) = 1 : 63\ 000$$

5.3.5. Dominantne greške vlaka za granice tačnosti

U 3.2.4. objašnjeno je šta su dominantne greške i koji je kriterijum za te greške.

Srednje greške vlaka, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka, na osnovu izraza (3.2), jednake su:

$$\begin{aligned} m_{L_{v_0}} &= \frac{m_{v_0}}{v_0} \cdot L \\ m_{L_v} &= \frac{m_v}{v} \cdot L \\ m_{L_f} &= \frac{m_f}{f} \cdot L \\ m_{L_{\varphi_\varepsilon}} &= \sqrt{\frac{n_d}{n}} \cdot m_{\varphi_\varepsilon} \\ m_{L_{\varphi_\delta}} &= n_d \cdot m_{\varphi_\delta} \\ m_{L_{\varphi_\delta\varepsilon}} &= \sqrt{n_d} \cdot m_{\varphi_\delta\varepsilon} \\ m_{L_o} &= \sqrt{\frac{n_d}{n \cdot n_o}} \cdot m_o \\ m_{L_z} &= \sqrt{n_d} \cdot m_z \end{aligned} \tag{5.28}$$

U tabeli, na sledećoj strani, prikazane su srednje greške sračunate na osnovu (5.28), odnosno srednje podužne greške vlaka za granice tačnosti, koje dolaze od pojedinih izvora grešaka.

Za donju granicu tačnosti dominantna je srednja sistematska greška merenja razlike faza.

Za gornju granicu tačnosti dominantna je srednja greška frekvencije m_f i srednja greška prostiranja brzine svetlosti u vazduhu m_v , kad se unose popravke.

Tabela 11

s v e r u	G r a n i c e t a č n o s t i					
	Donja $n_d=3$ D=100	Gornja $n_d=105$ D=200	Praktično gornja		$n_d = 6$ D = 200 Gornja za prosečnu dužinu vlaka	
			A $n_d=10$ D=200	B $n_d=10$ D=200	A	B
	$(m_L)_T$	13,0	70,0	11,8	25,0	8,57
$(m_L)_d$	4,3	23,0	3,9	8,3	2,9	6,3
$m_{L_{V_0}}$	0,0012	0,084	0,0080	0,0080	0,0048	0,0048
m_{L_V}	0,42	29,0	2,8	2,8	1,7	1,7
m_{L_f}	0,90	63,0	6,0	6,0	3,6	3,6
$m_{L_{\varphi_\varepsilon}}$	3,80	22,0	6,90	6,9	5,4	5,4
$m_{L_{\varphi_\beta}}$	12,0	-	-	22,0	-	17,0
$m_{L_{\varphi_{\beta\varepsilon}'}}$	3,5	20,0	6,3	6,3	4,9	4,9
m_{L_0}	0,85	5,0	1,5	1,5	1,2	1,2
m_{L_z}	0,50	3,0	0,92	0,92	0,71	0,71

Za praktično gornju granicu tačnosti dominantne su greške frekvencije m_f , slučajna greška merenja razlike faza m_i i slučajna greška odredjivanja srednje sistematske greške merenja razlike faza $m_{\varphi_{\beta\varepsilon}'}$. Kad se unose popravke za srednju sistematsku grešku merenja razlike faza, dominantna je samo sistematska greška merenja razlike faza.

Što se tiče gornje granice za prosečnu dužinu vlaka, isti je slučaj kao i kod gornje granice za najpovoljniju dužinu vlaka.

3.5.1. Uticaoaj grešaka koje nisu dominantne

Uticaoaj grešaka koje nisu dominantne ceni se preko koeficijenta k , koji se daje u sledećoj tabeli.

Tabela 12

	G r a n i c e t a č n o s t i					
	Donja	Gornja	Praktično gornja		Gornja za L proseka	
			A	B	A	B
k	0,83	0,76	1,2	0,72	1,3	0,75

Pošto je kod donje granice tačnosti $k < 1$, to znači da bi trebalo neku od nedominantnih grešaka smanjiti, jer su nedominantne greške u ukupnom uticaoaju dominantne. Medjutim, ovde bi trebalo pre svega obratiti pažnju na jednu dominantnu grešku $m_{L\varphi_e}$ i njenim smanjenjem uticati na ukupnu tačnost.

Kod gornje granice tačnosti, takodje je $k < 1$ i tu bi po mogućnosti trebalo smanjiti uticaoaj nedominantnih grešaka, što se u prvom redu odnosi na slučajnu grešku merenja razlike faza m_{φ_e} , koja bi se povećanjem broja merenja mogla smanjiti.

Za praktično gornju i gornju granicu tačnosti vlaka prosečne dužine isto bi se moglo reći što i za donju granicu tačnosti.

5.4. Uslovi tačnosti

5.4.1. Uslovi tačnosti za merenu dužinu

U analizi metode merenja izvedeni su izrazi za uslove tačnosti (2.72). Na osnovu njih, u sledećoj tabeli, daju se numeričke vrednosti za granice tačnosti.

Za računanje tačnosti merenja vertikalnih uglova uzima se, imajući u vidu gradsku poligonometrijsku mrežu prvog reda, da je

$$Z = Z_{\min}^{gr} = 85^{\circ}$$

$$D = D_{\max}^{gr} = 300 \text{ m.}$$

Tabela 13

Greška	G r a n i c e t a č n o s t i			
	D o n j a	G o r n j a	Praktično gornja	
			A	B
$(m_D)_t$	8,0	2,0	3,0	7,7
$(m_D)_o$	1,30	0,33	0,50	1,30
m_c	0,92 mm	0,23	0,35	0,92
m_a	1,30 mm	0,33	0,50	1,30
m_n	$130 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$4,34,3 \cdot 10^{-6}$
m_t	$9,5^{\circ}\text{C}$	$0,80^{\circ}\text{C}$	$1,20^{\circ}\text{C}$	$3,1^{\circ}\text{C}$
m_p	25 mm Hg	2,1 mm Hg	3,2 mm Hg	8,2 mm Hg
m_z	10"	2,6	3,9	10"

Dobijeni podaci u tablici odredjuju, za granice tačnosti merenja dužina, sa kojom tačnošću je potrebno:

- centrisati instrument i reflektor,
- odredjivati adicijonu konstantu,
- odredjivati indeks prelamanja, odnosno meriti temperaturu i pritisak vazduha, i
- meriti vertikalni ugao.

Iz tabele se vidi da za donju granicu tačnosti nije teško postići uslove tačnosti. Oni su čak i nešto komotniji, što se odnosi na tačnost merenja temperature t , vazdušnog pritiska p i vertikalnog ugla. Pošto se tačnost centrisanja instrumenta i reflektora kao i odredjivanja adicione konstante može lako postići, to princip jednakih uticaja odgovara za uslove tačnosti.

Za gornju granicu tačnosti uslovi su, kako se i očekivalo, dosta strogi. Oni se mogu postići uz posebnu pažnju:

- centrisanjem instrumenta i reflektora treba vršiti prisilno, ili meriti elemente ekscentriciteta i unositi popravku,
- adicijonu konstantu treba odrediti iz većeg broja merenja,
- indeks prelamanja, odnosno temperaturu i vazdušni

pritisak treba odredjivati sa $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ i $\pm 2,1\text{mmHg}$. Ove vrednosti za meteorološke parametre odredjene su po principu jednakih uticaja, ali bi bilo bolje da se primeni princip različitih uticaja. Tako, na primer, ako usvojimo da greška odredjivanja vazdušnog pritiska iznosi $\pm 1\text{mmHg}$, greška odredjivanja temperature iznosi:

$$m_t = \frac{m_n^2 - 0,14 m_p^2}{0,94} = 1,1^{\circ}\text{C}$$

Za grešku merenja "vertikalnih uglova", odnosno zenitnih odstojanja, $m_z = \pm 2,6''$ je dosta strog kriterijum, koji se teško može postići i zato je visinsku razliku potrebno odrediti na neki drugi, po tačnosti, zadovoljavajući način.

Kad se radi o praktično gornjoj granici tačnosti ima se u vidu gradska poligonometrijska mreža prvog reda, gde se centrisanje vrši prisilno. Ako je tako, onda bi grešku centrisanja mogli isključiti. Medjutim, ona dolazi do izražaja kod prekida rada. Ako se meri jedna dužina, onda su uslovi tačnosti za B sasvim realni dok za A treba voditi računa za uslov centrisanja, koji je strog za centrisanje optičkim viskom.

5.4.2. Uslovi tačnosti za vlak

Prema izrazima (2.82) u narednoj tabeli daju se numerički podaci za uslove tačnosti za granice tačnosti.

Uslovi za donju granicu tačnosti mogu se vrlo lako ispuniti.

Za gornju granicu tačnosti uslovi se realno mogu ispuniti. Nešto strožiji je kriterijum za grešku odredjivanja adicione konstante, ali su zato ostali uslovi dosta blagi, što znači da se i ovo može rešiti primenjujući princip jednakih uticaja.

Za praktično gornju granicu tačnosti, kao i za gornju granicu za grešku vlaka prosečne dužine, uslovi se mogu realno ispuniti sa naglaskom na to da se centrisanje mora vršiti prisilno, ili bar delimično prisilno, što podrazumeva prekid rada u jednom vlaku 1-2 puta.

Tabela 14

Greška	G r a n i c a t a č n o s t i					
	Donja $n_d = 3$ $D = 100$	Gornja $n_d = 10$ $D = 200$	Praktično gornja		Gornja za prosečnu dužinu vlaka	
			A $n_d = 10$ $D = 200$	B $n_d = 10$ $D = 200$	A $n_d = 6$ $D = 200$	B $n_d = 6$ $D = 200$
$(m_L)_c$	13,0	70,0	11,8	25,0	8,60	19,0
$(m_L)_o$	2,2	12,0	2,0	4,0	1,40	3,2
m_c	0,88	0,81	0,44	0,93	0,41	0,91
m_a	0,72	0,11	0,20	0,42	0,24	0,53
m_n	$13 \cdot 10^{-6}$	$5,70 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$
m_t	$9,5^\circ\text{C}$	$4,2^\circ\text{C}$	$2,3^\circ\text{C}$	$4,8^\circ\text{C}$	$2,1^\circ\text{C}$	$4,7^\circ\text{C}$
m_p	25mmHg	11mmHg	5,9mmHg	13mmHg	5,5mmHg	12mmHg
m_z	29"	13"	7;4	16"	7;0	15"

... 47, 48 i 49. ...

		Strana	Vlaka	
Dužina	min	31 m		
	max	562 m		
	pr.	250 m	1014,0 m	
Broj strana	min		3	
	max		11	
	pr.		6	

... stabilizacija polimerizacije ...

6. GRADSKA POLIGONOMETRIJSKA MREŽA ŠTIPA

Na području grada Štipe postavljena je 1969. god. gradska trigonometrijska mreža, koja je oslonjena na državnu trigonometrijsku mrežu trećeg i viših redova. Za testiranje razmere gradske trigonometrijske mreže izmerena je osnovica invarskim žicama u dužini od 480 m. Preko osnovičke mreže sračunata je izlazna strana i upoređena sa dužinom sračunatom iz koordinata. Dobijena je razlika

$$D_i - D_k = 2411,895 - 2411,889 = + 6 \text{ mm}$$

Merena dužina osnovice invarskim žicama nije, dakle, uvrštena u izravnaje, već je gradska trigonometrijska mreža izravnata tako što je oslonjena na državnu trigonometrijsku mrežu.

Poligonometrijska mreža prvog reda projektovana je po metodi grupnih čvornih tačaka i oslonjena je na devet tačaka gradske trigonometrijske mreže. To su tačke $\hat{1}$, $\hat{3}$, $\hat{4}$, $\hat{5}$, $\hat{6}$, $\hat{7}$, $\hat{9}$ i $\hat{10}$. Poligonometrijsku mrežu prvog reda sačinjavaju 295 tačaka raspoređenih u 76 vlakova, koji su međusobno učvorenjeni u 32 čvorne tačke. Osnovne karakteristike mreže daju se u sledećoj tabeli.

Tabela 15

		Strane	Vlaka	Poligona
Dužina	min	31 m		2,2 km
	max	562 m		5,5 km
	pr.	250 m	1014,066 m	3,4 km
Broj strana	min		3	
	max		11	
	pr.		4	

Stabilizacija poligonometrijskih tačaka izvršena je kamenim belegama u koje je ugradjena bolcna sa rupicom. Svaka tačka obeležena je i podzemnim centrom.

Uglovna merenja u mreži izvršena su sekundarnim teodolitom Wild T-2, na osnovu detaljne razrade metode merenja

horizontalnih uglova. Prelomni uglovi mereni su po girusnoj metodi. Na čvornim tačkama uglovi su mereni po metodi zatvaranja horizonta, a na trigonometrijskim po girusnoj metodi opažanja pravaca.

Za definitivnu vrednost merenog ugla uzeta je pros- ta aritmetička sredina iz četiri girusa. Pošto je bilo tačaka koje se ne dogledaju, do podataka za politonske vlakove dola- zilo se računskim putem. Računanja su obavljena u trigonomet- rijskom formularu br. 14 (p.21). Dakle, pojedini prelomni uglovi nisu mereni direktno, već su izvedeni. Prilikom izrav- nanja uglova ova činjenica je uzeta u obzir i za težinu izve- denog ugla uzeta je odgovarajuća težina. Pravci sa datih tri- gonometrijskih tačaka su orijentisani u trigonometrijskom fo- rmlularu br. 5. Pri uglovnom izravnanju takodje se vodilo raču- na o težini orijentisanog pravca.

Merenja dužina u mreži obavljena su elektronskim da- ljinomerom Wild DI 10, takodje na osnovu detaljne razrade me- tode merenja. Svaka dužina merena je obostrano, a navodjenje adicione konstante vršeno je tri puta. Za definitivnu vrednost merene dužine uzeta je aritmetička sredina iz tri čitanja, od- nosno iz merenja napred-nazad, pošto su prethodno dodate pop- ravke za atmosfenske uslove, redukciju koso merenih dužina na horizont, svodjenje na nultu nivovsku površinu i za adicijonu konstantu.

Prema Pravilniku za gradske geodetske radove, koor- dinate poligonometrijskih tačaka računaju se u lokalnom koor- dinatnom sistemu. Razmera dužina u tom koordinatnom sistemu je $m=1$, tj. dužine na elipsoidu jednake su dužinama sračuna- tim iz koordinata. Pravilnikom je, takodje, predviđeno da se na gradskom području odabere središnja tačka M čije koordina- te u lokalnom koordinatnom sistemu imaju istu brojnu vrednost kao i u državnom koordinatnom sistemu. Za preračunavanje koor- dinata iz državnog koordinatnog sistema (Y, X) u lokalni (Y', X'), služe sledeći izrazi:

$$Y' = Y + (Y - Y_m) \cdot F \quad (6.1)$$

$$X' = X + (X - X_m) \cdot F$$

gde je F koeficijent proporcionalnosti. Ako je F 0,0000250, onda se ne vrši prelaz u lokalni koordinatni sistem. Kako je za grad Štip za središnju tačku F = 0,0000225, to će sva računanja biti vršena u držanom koordinatnom sistemu.

Poligonometrijska mreža prvog reda izravnata je po metodi najmanjih kvadrata po načinu za posredna merenja. Izravnanje je obavljeno u tri etape. Prvo su izravnati uglovi, a zatim je izvršeno izravnanje koordinatnih razlika po osi Y i po osi X. Broj nepoznatih u svakoj od navedenih etapa jednak je broju čvornih tačaka. Iz izravnanja uglovnih merenja za nepoznate su uzeti direkcioni uglovi jedne strane na svakoj čvornoj tački koje su na skici označene debljom linijom (p.23). Kod druge i treće etape izravnanja nepoznate su bile koordinate čvornih tačaka. "Mereni element" kod prve etape je suma prelomnih uglova u vlaklu koji povezuje nepoznate direkcione uglove. Kod druge i treće etape "mereni elementi", koji izravnanjem dobijaju popravke su zbirovi koordinatnih razlika poligonometrijskih strana po vracima, tj. Y, odnosno po X osi. Prema tome, u svakoj etapi broj "merenih elemenata" jednak je broju poligonometrijskih vlakova.

Kod uglonih merenja usvojeno je da mereni pravac ima težinu $p = 2$, iz čega izlazi da je težina ugla $p = 1$. Na bazi ovog su izračunate težine sume uglova po vracima, koje su ulazile u izravnanje prve etape kao težine "merenih elemenata". Pri tom se vodilo računa da su u takve zbirove ulazili na izvesnim tačkama i definitivno orijentisani pravci. Težina orijentisanog pravca jednaka je:

$$\frac{1}{p_{\varphi}} = \frac{n + 1}{n} \cdot \frac{1}{p} \quad (6.2)$$

gde je:

n - broj pravaca ka datim tačkama

p - težina pravca.

Za računске prelomne uglove uzeta je odgovarajuća težina.

Za težine sume koordinatnih razlika po vracima, težina je:

$$p = \frac{1}{n} \quad (6.3)$$

gde je:

n - broj merenih strana u vlaku.

Ovo je uzeto zbog toga što je, na osnovu prethodne ocene tačnosti, dobijeno da je težina merene dužine jednaka:

$$p = \frac{k}{m_d^2} \quad (6.4)$$

Kako se srednja greška merene dužine ne menja sa promenom dužina koje se javljaju u poligonometrijskoj mreži prvog reda, to se može uzeti da je:

$$k = m_d^2$$

odnosno

$$p = 1.$$

Za računске strane u vlaku uzeta je odgovarajuća težina, s obzirom na funkciju računanja te strane.

6.1. Ocena tačnosti uglovnih merenja

Ocena tačnosti uglovnih merenja izvršena je iz:

- odstupanja pojedinih merenja od aritmetičke sredine,
- nezatvaranja horizonta ,
- nezatvaranja poligona
- popravaka

Srednja greška ugla merenog u četiri girusa sračunata iz pojedinih elemenata respektivno za celu mrežu, iznosi:

$$\begin{aligned} (m_u)_\delta &= 0,77 \\ (m_u)_{ZH} &= 2,1 \\ (m_u)_{ZP} &= 3,1 \\ (m_u)_v &= 3,7 \end{aligned} \quad (6.5)$$

Na osnovu prethodne ocene tačnosti dobijeno je da srednja greška ugla merenog u četiri girusa iznosi:

$$(m_n)_n = \pm 1,3$$

Upoređujući srednje greške dobijene iz podataka izvršenih merenja sa srednjom greškom, iz prethodne ocene tačnosti može se konstatovati da nisu u skladu. Kod grešaka sračunatih iz ne zatvaranja poligona i popravaka očigledno postoje još neki izvori grešaka koji nisu predviđeni u prethodnoj oceni tačnosti. O tome će biti reči u nekom od narednih poglavlja.

6.2. Ocena tačnosti linearnih merenja

Ocena tačnosti linearnih merenja izvršena je na osnovu razlika dvostrukih merenja i na osnovu popravaka.

Srednja greška merene dužine sračunate iz razlika dvostrukih merenja, iznosi:

$$m_d = \pm 3,5 \text{ mm} \quad (6.6)$$

Iz popravaka V , odnosno f_y i f_x sračunato je podužno odstupanje za svaki vlak, a zatim

$$\lambda = \frac{[l]}{\sum [d]} = 6,84 \text{ mm/km} \quad (6.7)$$

koeficijent uticaja sistematskih grešaka. Posle toga, sračunat je koeficijent uticaja slučajnih grešaka

$$\mu = \sqrt{\frac{[l_s^2]}{N-1}} = 2,22 \text{ mm} \quad (6.8)$$

i najzad, podužna linearna relativna greška vlaka prosečne dužine

$$m_{RL} = \frac{\mu \sqrt{[d]_{pr}} + \lambda [d]_{pr}}{[d]_{pr}} = 1 : 35 \text{ 000} \quad (6.9)$$

Ovako sračunata podužna linearna relativna greška vlaka ne može se upoređivati sa odgovarajućom greškom dobijenom u analizi metode merenja i prethodnoj oceni tačnosti. Zašto? Koefici-

jent uticaja sistematskih grešaka λ sračunat iz podužnih odstupanja vlakova, ne predstavlja samo sistematsku grešku merenja dužina, već je rezultat grešaka deformacije projekcije i razmere gradske trigonometrijske mreže.

6.3. Transformacija koordinata gradske trigonometrijske mreže

Da bi smo izbegli deformaciju projekcije, izvršena je transformacija koordinata iz držanog koordinatnog sistema u lokalni. Transformacija je izvedena na osnovu sledećih izraza:

$$\begin{aligned} Y' &= Y + (Y - Y_m) \cdot F \\ X' &= X + (X - X_m) \cdot F \end{aligned} \quad (6.10)$$

gde je F - koeficijent proporcionalnosti i jednak je:

$$F = - 0,00010001 \quad w'_a \quad (6.11)$$

gde je:

$$w'_a = \frac{y_m^2}{2r_m^2} \quad (6.12)$$

Posle izvršene transformacije koordinata iz državnog koordinatnog sistema u lokalni, izvršeno je uporedjenje strane $\hat{6}9 - \hat{6}7$, sračunate iz osnovičke mreže i iz koordinata. Dobijena je razlika:

$$D_i = D_k = 2411,895 - 2411,942 = - 4,7 \text{ cm}$$

Iz ove razlike može se zaključiti da je greška razmere gradske trigonometrijske mreže značajna i iznosi:

$$m_R = 1 : 51 \text{ 000}$$

pod uslovom da je greška strane $\hat{6}9 - \hat{6}7$ sračunata iz osnovičke mreže beznačajna u odnosu na ovu grešku.

U okviru lokalne gradske trigonometrijske mreže izvršeno je izravnjanje poligonometrijske mreže. Dobijena je sledeća vrednost za podužnu linearnu grešku vlaka:

$$m_{RL} = 1 : 21\ 000.$$

Ova podužna relativna greška vlaka sadrži, pored grešaka merenja, i grešku razmere gradske trigonometrijske mreže, koja je na strani $\hat{\delta}_9 - \hat{\delta}_7$ konstatovana kao vrednost 1 : 51 000. Pošto je gradska trigonometrijska mreža izravnanata tako da je oslonjena na date tačke, to ona nije homogena i razmera je promenljiva. Zbog toga se podužna relativna greška vlaka ne može uporedjivati sa odgovarajućom greškom iz prethodne ocene tačnosti.

6.4. Izravnanje gradske trigonometrijske mreže

Gradska trigonometrijska mreža izravnanata je kao slobodna mreža, pri čemu su osvojene koordinate tačke $\hat{\delta}_9$ direkcionim ugao $\})_9^7$ i dužina d_{9-7} kao date vrednosti. Dužina d_{9-7} sračunata je kao izlazna strana iz osnovičke mreže u kojoj je osnovica merena invarskim žicama.

Izravnanje gradske trigonometrijske mreže izvršeno je po načinu za posredna merenja.

6.4.1. Ocena tačnosti izlazne strane

Osnovička mreža izravnanata je po načinu za uslovna merenja $\sphericalangle 19_7$, u okviru jednog diplomskog rada. To je iskorišćeno i u prilogu se daju samo dopunska računanja koja su vršena u cilju odredjivanja težine izlazne strane kao težine funkcije:

$$D_{9-7} = (W-E) \frac{\sin(28-26) \sin(25-24) \sin(20-16)}{\sin(19-17) \sin(5-3) \sin(14-11)} \quad (6.13)$$

Težina strane D_{9-7} jednaka je:

$$\frac{1}{p} = \sphericalangle FF \sphericalangle = 0,1539 \quad (6.14)$$

Srednja greška strane D_{9-7} :

$$m_{D_{9-7}} = m_0 \sqrt{\frac{1}{p_{9-7}}} = m_0 \sqrt{0,1539} \quad (6.15)$$

jed. 5 dec.mesta

Relativna greška dobija se kao:

$$d \log D_{9-7} = \frac{dD_{9-7}}{D_{9-7}} \cdot \mu \quad (6.16)$$

odnosno

$$\frac{dD_{9-7}}{D_{9-7}} = \frac{m_{D_{9-7}}}{\mu} = \frac{0,392 \cdot 10^{-5}}{0,434} \cdot m_0 \quad (6.17)$$

$$\frac{dD_{9-7}}{D_{9-7}} = \frac{m_0''}{110\ 000''} \quad (6.18)$$

Srednja greška jedinice težine sračunata iz popravaka v , iznosi:

$$m_0 = \sqrt{\frac{[\sqrt{vv}]}{r}} = \sqrt{\frac{4,057}{16}} = 0,50 \quad (6.19)$$

Kad se ova vrednost uvrsti u (6.18), dobija se da je relativna greška izlazne strane

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 220\ 000$$

Srednja greška pravca opažanog u 12 girusa, imajući u vidu da se pravac opaža u merenju ugla po girusnoj metodi, iznosi:

$$(m_p)_{12} = \sqrt{\frac{1}{n} (m_{RM}^2 + m^2 + m_k^2) + m_r^2 + m_z^2} \quad (6.20)$$

Kad se za pojedine greške unesu odgovarajuće vrednosti dobija se:

$$(m_p)_{12} = \pm 0,68$$

Ako se za grešku pravca uzme ova vrednost kao objektivna srednja greška, onda se za relativnu grešku izlazne strane dobija vrednost od:

$$\frac{m_D}{D} = 1 : 160\ 000$$

pod uslovom da je greška merenja osnovice invarskim žicama beznačajna u odnosu na ovu tačnost, tj.

$$\frac{m(W-E)}{(W-E)} \leq \frac{1}{3} \frac{m_D}{D} = \frac{1}{160\ 000} \quad (6.21)$$

odnosno

$$\frac{m(W-E)}{(W-E)} = 1 : 480\ 000$$

Srednja greška merenja dužine invarskim žicama [3] jednaka je:

$$m_{RL} = \frac{\sqrt{\frac{2}{n_l} \left(\frac{m_{\epsilon_0}^2}{n \cdot n_s \cdot n_o} + m_z^2 \right) + m_k^2 + \frac{m^2 + 1^2 (\Delta t)_{sr}^2 m_{\alpha}^2}{n_s} (C-w_{sr}V)^2}}{1} \quad (6.22)$$

Evo nekoliko karakteristika merene osnovice koji su bitni za prethodnu ocenu tačnosti:

- Dužina osnovice iznosi 480 m ($n_1=20$),
- Merenje osnovice vršeno je sa dve žice ($n_s=2$),
- Merenje je vršeno u dva smera sa šest čitañja ($n=2$; $n_o=6$),
- Temperatura merenja iznosila je 24-35°C.

Ako se ovi parametri, kao i podaci za pojedine izvo-re grešaka iz [4], unesu u gornji izraz, imajući pri tom u vidu donju granicu tačnosti, za ovaj način merenja dobija se:

$$m_{RL} = 1 : 610\ 000.$$

Može se, dakle, konstatovati da je osnovica izmerekna sa tačnošću većom od 1 : 480 000, te da je greška merenja osnovice beznačajna u odnosu na grešku izlazne strane gradske trigonometrijske mreže 89 - 87.

4.4.2. Ocena tačnosti ostalih strana u gradskoj trigonometrijskoj mreži

Za sve strane u trigonometrijskoj mreži sračunate su relativne greške, kao greške funkcije nepoznatih veličina.

Ako imamo funkciju oblika:

$$F = D = \sqrt{(Y_k - Y_i)^2 + (X_k - X_i)^2} \quad (6.23)$$

njena recipročna vrednost težine biće:

$$\frac{1}{P_F} = A^{\mathbb{X}} Q_X A = A^{\mathbb{X}} N^{-1} A \quad (6.24)$$

gde je:

$$A^{\mathbb{X}} = \left\| \begin{matrix} f_{y_i} & f_{y_k} & f_{x_i} & f_{x_k} \end{matrix} \right\|$$

$$\frac{\partial F}{\partial y_i} = - \frac{\Delta Y}{D} = f_{y_i}$$

$$\frac{\partial F}{\partial y_k} = \frac{\Delta Y}{D} = f_{y_k}$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = - \frac{\Delta X}{D} = f_{x_i}$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_k} = \frac{\Delta X}{D} = f_{x_k}$$

(6.25)

Srednja greška funkcije, prema tome, biće:

$$m_D = m_0 \sqrt{\frac{1}{P_D}}$$

Srednja greška jedinice težine dobijena iz izravn-
anja mreže, jednaka je:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum p v v}{N-U}} = 0,79$$

Na osnovu analize metode i prethodne ocene tačno-
sti merenja horizontalnih uglova [5], [6], dobija se da je:

$$(m_u)_{\tau}^n = \sqrt{\frac{1}{n}(2m_{RM}^2 + m_{\tau_{\epsilon_V}}^2 + m_k^2) + 2(m_{\tau_R}^2 + m_Z^2)} \quad (6.26)$$

Zamenom odgovarajućih vrednosti dobija se da je srednja greška ugla merenog u šest girusa, koja dogovara srednjoj grešci jedinice težine iz izravnjanja, jednaka:

$$(m_u)_{\tau}^n = m_0 = 1,0$$

U sledećoj tabeli daju se relativne greške strana u trigonometrijskoj mreži, ako se ima u vidu srednja greška jedinice težine dobijene iz izravnjanja i iz prethodne ocene tačnosti.

Tabela 18

D	$m_D : D$	$m_0 = 0,79$ $m_D : D$	$m_0 = 1,0$ $m_D : D$
$\hat{\alpha}1 - \hat{\alpha}4$	$m_0 : 190\ 000''$	1 : 240 000	1 : 190 000
$\hat{\alpha}1 - \hat{\alpha}2$	$m_0 : 180\ 000$	1 : 230 000	1 : 180 000
$\hat{\alpha}1 - \hat{\alpha}3$	$m_0 : 180\ 000$	1 : 230 000	1 : 180 000
$\hat{\alpha}2 - \hat{\alpha}3$	$m_0 : 200\ 000$	1 : 230 000	1 : 180 000
$\hat{\alpha}2 - \hat{\alpha}8$	$m_0 : 170\ 000$	1 : 220 000	1 : 170 000
$\hat{\alpha}2 - \hat{\alpha}12$	$m_0 : 250\ 000$	1 : 320 000	1 : 250 000
$\hat{\alpha}3 - \hat{\alpha}4$	$m_0 : 200\ 000$	1 : 250 000	1 : 200 000
$\hat{\alpha}3 - \hat{\alpha}7$	$m_0 : 220\ 000$	1 : 280 000	1 : 220 000
$\hat{\alpha}3 - \hat{\alpha}8$	$m_0 : 280\ 000$	1 : 350 000	1 : 280 000
$\hat{\alpha}4 - \hat{\alpha}5$	$m_0 : 180\ 000$	1 : 230 000	1 : 180 000
$\hat{\alpha}4 - \hat{\alpha}6$	$m_0 : 200\ 000$	1 : 250 000	1 : 200 000
$\hat{\alpha}4 - \hat{\alpha}7$	$m_0 : 230\ 000$	1 : 290 000	1 : 230 000
$\hat{\alpha}5 - \hat{\alpha}11$	$m_0 : 220\ 000$	1 : 280 000	1 : 220 000
$\hat{\alpha}5 - \hat{\alpha}6$	$m_0 : 140\ 000$	1 : 180 000	1 : 140 000
$\hat{\alpha}6 - \hat{\alpha}11$	$m_0 : 250\ 000$	1 : 320 000	1 : 250 000
$\hat{\alpha}6 - \hat{\alpha}10$	$m_0 : 280\ 000$	1 : 350 000	1 : 280 000
$\hat{\alpha}6 - \hat{\alpha}7$	$m_0 : 250\ 000$	1 : 320 000	1 : 250 000
$\hat{\alpha}7 - \hat{\alpha}10$	$m_0 : 350\ 000$	1 : 440 000	1 : 350 000
$\hat{\alpha}7 - \hat{\alpha}8$	$m_0 : 320\ 000$	1 : 410 000	1 : 320 000
$\hat{\alpha}8 - \hat{\alpha}9$	$m_0 : 380\ 000$	1 : 480 000	1 : 380 000
$\hat{\alpha}8 - \hat{\alpha}12$	$m_0 : 220\ 000$	1 : 280 000	1 : 220 000

$\hat{\delta}_9 - \hat{\delta}_{10}$	$m_0 : 290\ 000$	$1 : 370\ 000$	$1 : 290\ 000$
$\hat{\delta}_9 - \hat{\delta}_{11}$	$m_0 : 230\ 000$	$1 : 290\ 000$	$1 : 230\ 000$
$\hat{\delta}_{10} - \hat{\delta}_{11}$	$m_0 : 130\ 000$	$1 : 160\ 000$	$1 : 130\ 000$
$\hat{\delta}_{11} - \hat{\delta}_{12}$	$m_0 : 270\ 000$	$1 : 340\ 000$	$1 : 270\ 000$

Ovo su bile greške razmere pojedinih strana gradske trigonometrijske mreže pod uslovom da je greška date strane beznačajna u odnosu na ove greške. Kako to nije slučaj, onda to treba uzeti u obzir. Za najnepovoljniji slučaj greška razmere iznosi:

$$m_R = \sqrt{\left(\frac{1}{16 \cdot 10^4}\right)^2 + \left(\frac{1}{13 \cdot 10^4}\right)^2} = 1 : 100\ 000$$

ako se za m_0 usvoji vrednost iz prethodne ocene tačnosti i

$$m_R = \sqrt{\left(\frac{1}{16 \cdot 10^4}\right)^2 + \left(\frac{1}{16 \cdot 10^4}\right)^2} = 110\ 000$$

ako se za m_0 usvoji vrednost dobijena iz izravnjanja.

Kako ima strana u gradskoj trigonometrijskoj mreži čije su greške beznačajne u odnosu na grešku date strane, može se konstatovati da se greška razmere gradske trigonometrijske mreže kreće u granicama

$$1 : 100\ 000 \quad - \quad 1 : 160\ 000$$

6.5. Ocena tačnosti gradske poligonometrijske mreže

Izravnjanje poligonometrijske mreže izvršeno je najzad u okviru gradske trigonometrijske mreže koja je izravnata u lokalnom koordinatnom sistemu, kao samostalna mreža. Dužina strane $\hat{\delta}_7 - \hat{\delta}_9$ odredjena je preko osnovičke mreže u kojoj je osnovica merena invarskim žicama.

U prethodnom poglavlju utvrđjeno je da se greška razmere gradske trigonometrijske mreže kreće u granicama $1 : 100\ 000 - 1 : 160\ 000$. Ovo će u daljim razmatranjima služiti kao osnov i za grešku razmere usvojićemo maksimalnu grešku, tj.

$$m_R = 1 : 100\ 000.$$

Iz ocene tačnosti gradske poligonometrijske mreže, koja je izvršena na uobičajeni način, dobijeno je da podužna linearna relativna greška vlaka prosečne dužine, iznosi:

$$m_{RL} = 1 : 56\ 000.$$

Ova relativna greška sadrži dve komponente, odnosno dva izvora grešaka. To su:

- greška merenja dužina u poligonometrijskoj mreži,
- greška razmere gradske trigonometrijske mreže.

Ove greške mogu se izraziti sledećim izrazom:

$$m_{RL}^2 = m_R^2 + (m_{RL})_M^2 \quad (6.27)$$

Imajući u vidu da je poznata greška razmere gradske poligonometrijske mreže iz izraza (6.27), može se odrediti podužna linearna relativna greška vlaka, koja dolazi usled greške merenja, tj.

$$\begin{aligned} (m_{RL})_M &= \sqrt{m_{RL}^2 - m_R^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{1 \cdot 10^3}\right)^2 - \left(\frac{1}{10^5}\right)^2} \\ (m_{RL})_M &= 1 : 59\ 000 \end{aligned} \quad (6.28)$$

Na osnovu prethodne ocene tačnosti merenja dobijeno je da podužna linearna greška vlaka iznosi:

$$m_{RL} = 1 : 63.000.$$

Ova greška odgovara greški dobijenoj iz izravnjanja mreže (6.28) i iz njihovog uporedjenja vidi se da je postignuta potpuna saglasnost prethodne ocene tačnosti i ocene tačnosti iz rezultata dobijenih merenjem.

7. ZAKLJUČCI

U okviru ovog rada izvršena je teoretska i eksperimentalna obrada metode merenja dužina elektronskim daljinomerima sa posebnim osvrtom na merenje dužina elektrooptičkim daljinomerom Wild DI-10 u gradskoj poligonometrijskoj mreži 1. reda. Teoretska obrada sastoji se u analizi metode merenja, prethodnoj oceni tačnosti i detaljnoj razradi metode merenja dužina elektronskim daljinomerima, dok se eksperimentalna obrada ogleda u konkretnim ispitivanjima pojedinih izvora grešaka, kao i merenjima u mreži koja je mogla poslužiti za testiranje teoretski dobijenih veličina.

Veoma brz razvoj geodetskih elektronskih instrumenata postavlja zadatak ispitivanja i analiziranja metode merenja. Instrumentalna tačnost već danas stoji na vrlo visokom nivou, a objektivna tačnost može se dobiti na osnovu analize metode i prethodne ocene tačnosti. Posle izvršene objektivne ocene tačnosti dobiće se odgovor na mnoga otvorena pitanja, koja su vezana, recimo za greške koje ograničavaju tačnost merenja.

U drugom poglavlju izvršena je analiza metode merenja dužina elektronskim daljinomerima. Pored opisa instrumenta i pribora, principa funkcionisanja i obrade rezultata merenja, što je detaljnije obradjeno u [16], ovde je naročita pažnja obraćena na: izvore grešaka i greške koje se javljaju kod merenja dužina elektronskim daljinomerima, podelu grešaka po značaju i grupama i izvodjenje izraza za ocenu tačnosti i uslove tačnosti. Za svaki izvor greške utvrđen je karakter, delovanje i kojoj grupi pripada.

Polazeći od poznate veze izmedju odstojanja, brzine prostiranja elektronskih talasa u vakuumu, indeksa prelamanja, merne frekvencije i razlike faza osnovnog i reflektovanog talasa, pod pretpostavkom nezavisnosti medjusobnog delovanja, diferenciranjem i prelaskom na srednje kvadratne greške, dobijen je izraz za srednju grešku merene dužine. Medjutim, ovako dobijen izraz za srednju grešku ne daje objektivnu tačnost, pošto nisu obuhvaćeni svi izvori grešaka koji ulaze u prvu grupu grešaka, od kojih zavisi tačnost merenja. Radi to-

ga, izraz za ocenu tačnosti dopunjen je na odgovarajući način ostalim greškama prve grupe.

Srednja greška merenja razlike faza, kao ukupna greška, razložena je na svoj slučajni i sistematski deo.

Dalje je utvrđen oblik izraza za ocenu tačnosti merene dužine u zavisnosti od broja čitanja i broja merenja, imajući u vidu karakter i način delovanja pojedinih grešaka u izrazu za ocenu tačnosti. Pored izraza za ocenu tačnosti merene dužine izvedeni su izrazi za ocenu tačnosti ispruženog poligonometrijskog vlaka.

Greške druge grupe, treće i četvrte podgrupe, ušle su u izraze za uslove tačnosti. U ovom radu uslovi tačnosti tretirani su po principu jednakih uticaja. Ako je to potrebno, oni se mogu računati i po principu različitih uticaja.

Prethodna ocena tačnosti izvršena je u trećem poglavlju. Ona predstavlja opštu ocenu tačnosti, koja bazira na izrazima za ocenu tačnosti dobijenih u analizi metode merenja. Vrednosti za pojedine izvore grešaka uzete su kao srednje vrednosti iz podataka datih u literaturi.

Raspon tačnosti na osnovu teoretskih razmatranja iznosi za grupe instrumenata

A :	1:12.000	-	1:580.000
B :	1:320.000	-	1:580.000

Kako je već poznato, tačnost kod elektronskog merenja dužina, izmedju ostalog, zavisi i od dužine koja se meri. Zato, jednog trenutka dolazi do toga da se gornja granica tačnosti kod svih instrumenata poklapa i iznosi:

$$\frac{m_D}{D} = 1:580.000$$

Medjutim, to se javlja kad merene dužine iznose:

A :	D = 2.100 m
B :	D = 270 m

Dužina kod nekih instrumenata iz grupe A od 2.100 m prelazi maksimalno moguću dužinu merenja, što znači da gornja

granica tačnosti koja je napred data, ne može da se postigne. Odgovarajuća gornja granica tačnosti postiže se, dakle, na maksimalnoj dužini merenja odgovarajućim instrumentom.

Ovde treba istaći da je broj merenja, takodje, dobijen na bazi teoretskih razmatranja. Kod konkretnog instrumenta, metodu merenja treba prilagoditi optimalnim parametrima i s tim u vezi obraditi, tzv. praktičnu gornju granicu tačnosti o kojoj se detaljnije govori u petom poglavlju.

Uz prethodnu ocenu tačnosti, obradjeni su uslovi tačnosti za granice tačnosti i dominantne greške za granice tačnosti. Uslovi tačnosti moraju biti ispunjeni, a ako to nije moguće, onda treba voditi računa o tome pošto one greške iz uslova tačnosti, koji se ne mogu ispuniti, prelaze u prvu grupu grešaka, a time i u izraz za ocenu tačnosti. Dominantne greške privlače na sebe pažnju, pošto njihovim smanjenjem možemo uticati na povećanje tačnosti merenja.

U četvrtom poglavlju izvršena je detaljna razrada metode merenja ograničena na elemente koji nisu izvedeni u analizi metode merenja. U analizi metode merenja, između ostalog, dat je program ispitivanja instrumenta i pribora i obrada rezultata merenja. Ovde je veća pažnja obraćena na one elemente razrade metode merenja, koji se odnose na prethodnu ocenu tačnosti i na podatke za praćenje i kontrolu merenja. Izvedene su opšte formule na osnovu kojih se određuje dužina na kojoj je potrebno određivati adicijonu konstantu, kao i potreban broj merenja u funkciji tačnosti sa kojom je potrebno odrediti adicijonu konstantu.

Peto poglavlje obuhvata već konkretnu prethodnu ocenu tačnosti merenja dužina elektrooptičkim deljinomerom Wild DI-10 u gradskoj poligonometrijskoj mreži 1. reda. Za izvore grešaka i greške koje se ovde javljaju podaci su dobijeni delimično iz sopstvenih ispitivanja, a delimično iz literature. Za ispitivanje je razradjena metoda ispitivanja i dobijeni podaci su testirani statistički. Na osnovu izraza za prethodnu ocenu tačnosti dobijeni su sledeći rasponi tačnosti merenja dužina:

100 m	:	1:12.000	-	1: 49.000
200 m	:	1:25.000	-	1: 94.000
300 m	:	1:37.000	-	1:130.000

Za poligonometrijski vlak je dobijeno:

1:23.000 - 1:300.000

Ovi rasponi tačnosti odnose se na teorijske vrednosti za parametre, koji figurišu u izrazima za ocenu tačnosti.

Ovde je interesantno videti kako se kreće praktično gornja granica tačnosti, tj. ona gornja granica tačnosti koja se postiže pri uobičajenom načinu merenja. U zavisnosti od toga da li se unosi ili ne popravka za sistematsku grešku merenja razlike faza, dobijena je praktično gornja granica tačnosti za merenu dužinu:

100 m	:	1:33.000	i	1:13.000
200 m	:	1:65.000		1:26.000
300 m	:	1:94.000		1:39.000

za poligonometrijski vlak 1. reda;

1:170.000 i 1:80.000

i za poligonometrijski vlak 1. reda prosečne dužine:

1:140.000 i 1:63.000.

Za testiranje dobijenih podataka iz analize metode merenja, prethodne ocene tačnosti i detaljne razrade metode merenja, korišćena je poligonometrijska mreža prvog reda grada Štipa. Kao model poligonometrijska mreža oslonjena je na tačke gradske trigonometrijske mreže. Kako je od interesa izvršiti ocenu tačnosti podužnih linearnih grešaka poligonometrijskih vlakova, to je bilo potrebno utvrditi grešku razmere gradske trigonometrijske mreže. Koristeći povoljnu okolnost da je u gradskoj trigonometrijskoj mreži Štipa merena osnovica invarskim žicama, bilo je moguće, preko osnovičke mreže i merenih horizontalnih uglova u trigonometrijskoj mreži, sračunati relativne greške svih strana u gradskoj trigonometrijskoj mreži. Tako je mogla da se odredi greška razmere gradske trigonometrijske mreže u svim pravcima opažanja.

U radu je izvedeno nekoliko konstatacija u pogledu već izravnate gradske trigonometrijske mreže. Osnovni zaključak, koji je izveden, odnosi se na to da je greška razmere gradske trigonometrijske mreže nepoznata i da je mreža nehomogena, s obzirom da je izravnata tako što je oslonjena na poznate tačke državne trigonometrijske mreže drugog i trećeg reda. Radi toga, gradska trigonometrijska mreža izravnata je ponovo, kao lokalna mreža, u kojoj je dužina jedne strane dobijena preko osnovičke mreže sa merenom osnovicom invarskim žicama.

U cilju odredjivanja greške razmere, gradske trigonometrijske mreže, izvršena je prethodna ocena tačnosti merenja horizontalnih uglova i prethodna ocena tačnosti merenja osnovice invarskim žicama, imajući u vidu način na koji su uglovi i osnovica mereni. Prethodna ocena tačnosti merenja horizontalnih uglova vršena je radi dobijanja objektivne srednje greške merenja horizontalnih uglova, dok je prethodna ocena tačnosti merenja osnovice invarskim žicama dala odgovor na pitanje beznačajnosti greške merenja osnovice u odnosu na srednju grešku izlazne strane gradske trigonometrijske mreže.

Srednje greške ostalih strana u gradskoj trigonometrijskoj mreži dobijene su kao greške funkcija

$$m_D = \frac{m_o}{\sqrt{P_D}}$$

Konstatovano je da se greška razmere gradske trigonometrijske mreže kreće u granicama

$$1:100.000 \quad - \quad 1:160.000.$$

U lokalno izravnatoj gradskoj trigonometrijskoj mreži izravnata je gradska poligonometrijska mreža 1. reda. U okviru ocene tačnosti sračunata je podužna linearna relativna greška vlaka, prosečne dužine koja iznosi:

$$(m_{RL})_{\tau} = 1:56.000$$

Ova relativna greška sadrži greške merenja i grešku razmere gradske trigonometrijske mreže. Ako se izdvoji greška razmere, dobija se podužna linearna relativna greška vlaka

$$(m_{RL})_{M_1} = 1:59.000$$

Ista ova greška iz prethodne ocene tačnosti merenja dužina elektronskim daljinomerima Wild DI-10 u gradskoj poligonometrijskoj mreži 1. reda za vlak prosečne dužine, iznosi:

$$m_{RL} = 1:63.000$$

Iz uporedjenja ovih dveju zadatih vrednosti podužne relativne linearne greške vlaka, vidi se da je postignuta saglasnost prethodne ocene tačnosti i ocene tačnosti iz podataka izvršenih merenja.

1. Mihailović, M.

2. Mihailović, M.

3. Mihailović, M.

4. Mihailović, M.

5. Mihailović, M.

6. Mihailović, M.

7. Mihailović, M.

8. Mihailović, M.

9. Mihailović, M.

10. Mihailović, M.

11. Mihailović, M.

12. Mihailović, M.

13. Mihailović, M.

14. Mihailović, M.

15. Mihailović, M.

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

Elektronska optička merenja dužina

8. LITERATURA

1. Bratuljević, N. Primena analize metode merenja horizontalnih uglova u gradskoj trigonometrijskoj mreži, Beograd, 1975. god.
2. Činklović, N. Analiza metode merenja, Herceg Novi, 1976. god.
3. Činklović, N. Analiza metode merenja dužina invarskim žicama (u štampi)
4. Činklović, N. Prethodna ocena tačnosti merenja dužina invarskim žicama (u štampi)
5. Činklović, N. Analiza metode merenja horizontalnih uglova (u štampi)
6. Činklović, N. Prethodna ocena tačnosti merenja horizontalnih uglova (u štampi)
7. Činklović, N. Metode preciznih geodetskih merenja, skripta, Beograd, 1977. god.
8. Delev, Dj. Diplomski rad, Beograd, 1971. god.
9. Janković, M. Inženjerska geodezija, Zagreb, 1966. god.
10. Jovanović, M. Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Beograd, 1971. god.
11. Kahmen, H. Untersuchung von analogen und digitalen Phasemesssystemen in der elektrooptischen Entfernungsmessung, München, 1973. j.
12. Kahmen, H. Elektronische Messverfahren in der Geodäsie, Karlsruhe, 1977. j.
13. Kontić, S. Elektronsko merenje dužina, Beograd, 1972. god.
14. Kuntz, E. Elektronische Entfernungsmessungen auf Teststrecken und im Testnetz Karlsruhe, München, 1971. j.
15. Mihailović, K. Geodezija II, Beograd, 1974. god.

16. Mrkić, R. Tačnost merenja dužina elektronskim daljinomerom Wild DI-10 u gradskoj poligonometrijskoj mreži, magistarski rad, Beograd, 1975. god.
17. Pelzer, H. Die Genauigkeit elektromagnetisch gemessener Streckennetze, insbesondere im Flachland und über küstennahen Gewässern, München, 1969. j.
18. Strasser, G. Neue Techniken und ihre Instrumente für die Geodäsie, FPK, 1975. j.
19. Vulović, P. Diplomski rad, Beograd, 1972. god.
20. Allgemeine Vermessungs - Nachrichten N° 2/1969, 9/1972, 6/1974.
21. Bulletin - Kern - Swiss N° 20/1973, 21/1974, 25/1977.
22. 6. Internationaler Kurs für Ingenieurmessungen hoher Präzision - Grac, 1970.
23. 7. Internationaler Kurs für Ingenieurmessungen hoher Präzision - Darmstadt, 1976.
24. Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie N° 3/1973, 8/1973.
25. Pravilnik za državni premer - II-A deo
26. Vermessungs Informationen, Carl Zeiss Jena, N° 26/1973.
27. Wild DI-10, Uputstvo za upotrebu.



