

## 6. MERENJE DUŽINA

### 6.1. Merenje dužina pantljikom

Pantljike se izrađuju od raznih vrsta materijala i mogu biti različite dužine i težine. U geodetskim primenama najčešće se koriste čelične pantljike kao i pantljike od posebnih plastificiranih materijala. Dužine čeličnih pantljika mogu iznositi 15 m, 30 m ili 50 m.

Komplet pribora za merenja dužina pantljikom sadrži:

- Obični visak;
- Ručna libela;
- Klinove (klinci brojači);
- Uređaj za istezanje pantljike (teg, dinamometar i sl.);
- Značke (trasirke); i
- Drveni kočiči (ili bolcne).

Procedura merenja dužina pantljikom zavisi od zahtevane tačnosti i namene premera. S obzirom na uobičajene zahteve relativne preciznosti premera od 1:5000, ukratko će se prikazati osnovne metode merenja dužina pantljikom.

Ukoliko se meri dužina između dve fiksirane tačke (na primer, između dve međne tačke) ekipu čine dva lica (rukovodilac ekipe i pomoćnik) sa opremom koju čini jedna ili više znački, klinci brojači i jedna pantljika.

#### 6.1.1. Merenje dužina po ravnom terenu

Postupak merenja dužina po ravnom terenu izvodi se po sledećoj proceduri:

- Jedna značka se postavlja na dalji kraj merene dužine - iza tačke i definiše pravac razvlačenja pantljike;
- Pomoćnik postavlja kraj pantljike na početak merene dužine;
- Rukovodilac ekipe početni kraj pantljike razvlači po terenu u pravcu značke koja se nalazi na drugom kraju dužine.
- Kada rukovodilac zategne pantljiku, pomoćnik daje znak rukovodiocu - pantljika - da je kraj pantljike iznad početne oznake;
- Pomoćnik tada uvodi rukovodioca ekipe u pravac, nakon čega ovaj ubada klin u zemlju pored nultog položaja pantljike (ili bolcnu ukoliko je tvrda podloga);

- Kada se obeležavanje završi, na znak rukovodioca - gotovo - pomoćnik pušta pantljiku i postupak se ponavlja;
- Posle svakog obeleženog raspona, pomoćnik skuplja klinove, pri čemu je uvek samo jedan klin u zemlji, a broj sakupljenih klinova označava koliko je celih pantljika sadržano u merenoj dužini;
- Na svakih 10 stanica rukovodilac pobada poslednji klin i daje znak pomoćniku da nema više klinova. Tada pomoćnik predaje rukovodiocu 10 klinova i obojica kontrolišu zapisnik. Postupak se dalje ponavlja na isti način.
- Kada se rukovodilac ekipe približi kraju merene dužine, za dužinu kraću od dužine pantljike, postavlja nulu pantljike na kraj merene dužine, a pomoćnik čita pantljiku iznad položaja poslednjeg klina. Radi kontrole, pomoćnik pomera pantljiku na ceo metar dok rukovodilac ne očita vrednost raspona koji se mora slagati sa prethodnom vrednošću.

Ukoliko se zahteva najviša preciznost merenja dužina, za uvođenje pojedinih raspona pantljika u pravac koristi se teodolit.

### **6.1.2. Merenje dužina po kosom terenu**

Ukoliko je teren jednolikog pada, bez preloma, merenje dužina koso po terenu, vrši se na isti način kao kada je teren horizontalan.

Ukoliko teren nije jednolikog pada, tj. ima prelome, merenje dužina koso po terenu, vrši se od preloma do preloma ili neprekidno.

Redukcija dužina na horizont zahteva merenje visinske razlike između krajnjih tačaka ili merenje vertikalnog ugla ili zenitnog odstojanja.

#### ***Redukcija na horizontalnu ravan - meren vertikalni (zenitni) ugao***

Ukoliko je  $\alpha$  vertikalni ugao - nagib pod kojim se kosa dužina  $S_k$  prostire, horizontalna dužina  $S_R$  računa se pomoću izraza oblika:

$$S_R = S_K \cos \alpha$$

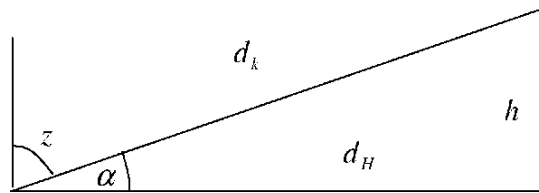
Ukoliko je meren zenitni ugao  $Z$ , horizontalna dužina se računa kao

$$S_R = S_K \sin Z$$

#### ***Redukcija na horizontalnu ravan - merena visinska razlika***

Ukoliko je merena visinska razlika između krajnjih tačaka, redukcija na horizontalnu ravan se vrši na osnovu izraza oblika:

$$S_R = \sqrt{S_K^2 - \Delta h^2}$$

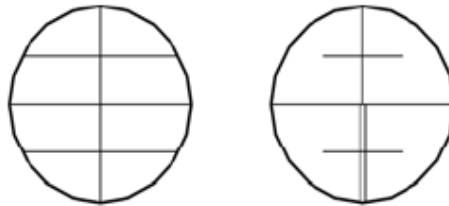


Slika 6.1 : Redukcija na horizontalnu ravan

## 6.2. Merenje dužina tahimetrom

Teodolit se može koristiti i za optičko merenje dužina, odnosno kao OPTIČKI DALJINOMER. Optički daljinomeri mogu biti različite konstrukcije, a biće detaljno razmatrani daljinomeri sa konstantnim paralaktičkim uglom.

Kada se končanica teodolita sastoji iz jedne (ili dve) vertikalne crte i tri horizontalne crte (slika 6.2), takav instrument se naziva Rajhenbahov daljinomer ili običan tahimetar.



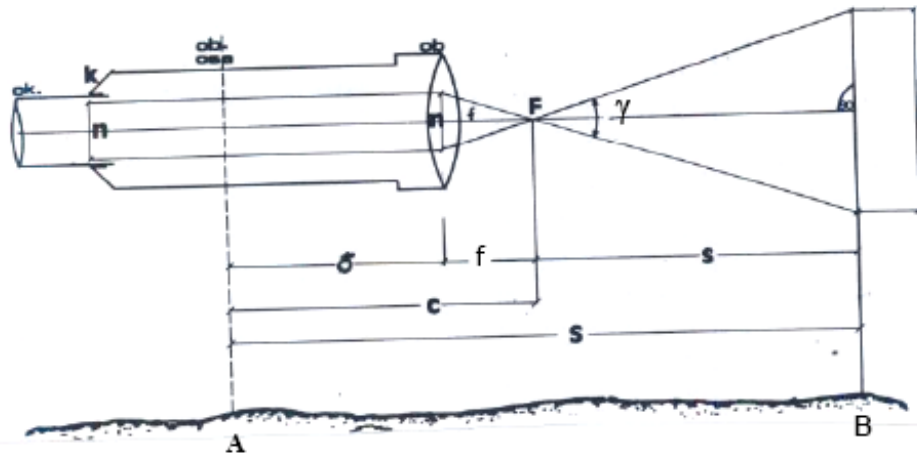
Slika 6.2 : Vidno polje Rajhenbahovog daljinomera

Elementi Rajhenbahovog daljinomera (slika 6.3)

- ok - okularno sočivo;
- n - rastojanje između gornje i donje crte končanice;
- k - končanica;
- ob - objektivno sočivo;
- f - žižna daljina objektivnog sočiva;
- δ - rastojanje između objektivnog sočiva i obrtne ose durbina;
- F - prednja žiža objektivnog sočiva;
- l - vrednost odsečka na vertikalnoj letvi (dobija se oduzimanjem čitanja na letvi koje vizurom pogađaju gornja ( $l_{\text{gornja crta}}$ ) i donja crta končanice ( $l_{\text{donja crta}}$ ))

$$l = l_{\text{gornja crta}} - l_{\text{donja crta}}$$

- A – stanica
- V – vizurna tačka



Slika 6.3 : Merenje dužine pri horizontalnoj vizuri

Pri horizontalnoj vizuri (slika 6.3) horizontalno rastojanje od obrtne ose durbina do letve (dužina S) iznosi:

$$S = s + f + \delta = \frac{f}{n} l + f + \delta$$

Kako su  $f$ ,  $n$  i  $\delta$  konstantne veličine, to je konstantno i:

$$K = \frac{f}{n} \quad \text{i} \quad a = f + \delta$$

pa dužina S iznosi:

$$S = Kl + a$$

gde su

K -multiplikaciona konstanta

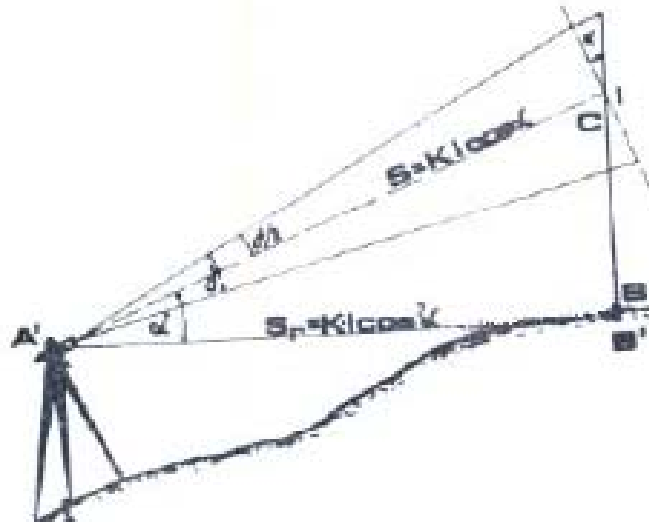
A -adiciona konstanta

Pri kosoj vizuri (slika 6.4) KOSA DUŽINA od prekreta durbina do podeoka na kome srednja crta končanice pogađa letvu (S) je:

$$S = K \cdot l_0$$

odnosno

$$S = K \cdot l \cdot \cos \alpha$$



Slika 6.4 : *Merenje dužine pri kosoj vizuri*

Redukovane dužine i visinske razlike kod optičkih daljinomera se dobijaju po formulama:

$$S_R = Kl \cos^2 \alpha$$

ili za zenitna odstojanja

$$S_R = Kl \sin^2 Z$$

### 6.3. Merenje dužina autoredukcionim tahimetrom

Instrumenti pomoću kojih se mogu, neposredno na terenu, dobiti horizontalne dužine se nazivaju autoredukcionim tahimetrima.

Njihov princip rada se sastoji u tome da se povećanjem nagnutosti vizure (povećanjem vertikalnog ugla  $\alpha$ ) smanjuje paralaktički ugao  $\gamma$ .

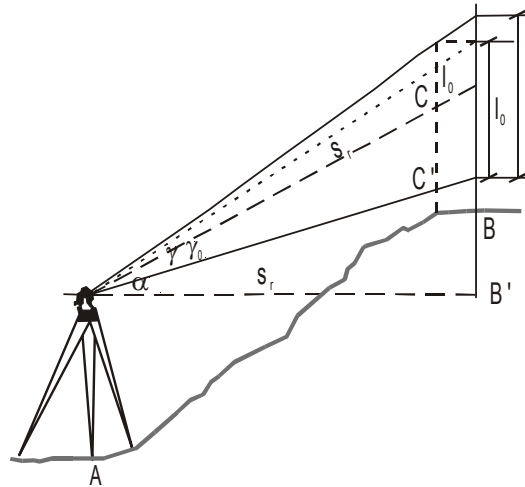
Ovaj princip se može objasniti pomoću slike 6.5.

Ukoliko se pomoću autoredukcionog daljinomera, određuje redukovana dužina  $S_R$  potrebno je u tački B očitati odsečak na letvi I i vertikalni ugao  $\alpha$  (odnosno Z).

Ukoliko se rotacijom oko tačke O dužina  $S_R$  prenese na pravac vizure, i tačka V poklopi sa tačkom S' ( $S_R = OS'$ ), i kada bi na tom mestu postavili letvu, ona bi na terenu stajala u fiktivnoj tački S', a na letvi bi se čitao odsečak  $l_0$ .

Kada se ovaj odsečak pomnoži sa multiplikacionom konstantom K, dobija se redukovana dužina  $S_R = K \cdot l_0$ . Kada se ovaj odsečak premesti na letvu u tački V, tada se

redukovana dužina može dobiti pomoću odsečka  $l_0$  koji bi se pročitao na letvi u tački V. Taj odsečak se može pročitati ukoliko bi se smanjila vrednost paralaktičkog ugla sa  $\gamma$  na  $\gamma_0$ .



Slika 6.5 : *Merenje dužine autoredukcionim tahimetrom*

Smanjenje paralaktičkog ugla zavisi od nagnutosti vizure, odnosno ugla  $\alpha$  (ili  $Z$ ) i veće je za veće vrednosti ugla  $\alpha$  i postiže se smanjenjem razmaka konaca končanice (za  $\alpha=0^\circ$ ,  $\gamma=34',38$ ; što je maksimalna vrednost).

Redukovane dužine i visinske razlike kod autoredukcionihih daljinomera se dobijaju po formulama:

$$S_R = Kl \cos^2 \alpha \quad (\text{ili } S_R = Kl \sin^2 Z)$$

$$\Delta H' = \frac{1}{2} Kl \sin 2\alpha \quad (\text{ili } \Delta H' = Kl \sin 2Z)$$

Kako je

$$K = \frac{f}{n}$$

gde je:

$f$  - žižna daljina,

$n$  - rastojanje između gornje i donje crte končanice.

Zamenom dobijamo

$$S_R = \frac{f}{n} l \cos^2 \alpha$$

$$\Delta H' = \frac{1}{2} \frac{f}{n} l \sin 2\alpha$$

ili

$$S_R = K_S l$$

$$\Delta H' = K_H l$$

gde je

$$K_S = \frac{f}{n} \cos^2 \alpha \quad (\text{ili } K_S = \frac{f}{n} \cos^2 Z)$$

$$K_H = \frac{1}{2} \frac{f}{n} \sin 2\alpha \quad (\text{ili } K_H = \frac{1}{2} \frac{f}{n} \sin 2Z)$$

#### **6.4. Merenje dužina elektro-optičkim daljinomerom**

Princip elektronskog merenja dužina zasniva se na merenju vremena koje je potrebno elektromagnetnom talasu za prelaz merene dužine u oba smera. Na početnu tačku dužine postavlja se instrument primopredajnik, a na krajnju tačku reflektor. Uz pretpostavku da se elektromagnetni talas širi pravolinijski konstantom brzinom  $C$ , dobijamo osnovnu jednačinu za određivanje dužine  $S$ :

$$2S = C \cdot t$$

odnosno

$$S = \frac{1}{2} C \cdot t = K \cdot t$$

gde je

$t$  -vreme potrebno mernom signalu da pređe dužinu dva puta (napred i nazad)

$K$  -multiplikaciona konstanta

Postupak merenja u principu je vrlo jednostavan, ali je taj način merenja u konstruktivnim rešenjima i tehničkom izvođenju vrlo složen. Razlog tome je velika brzina širenja elektromagnetnih talasa, koji u vremenu samo jedne mikrosekunde prelaze oko 300 m.

Za tačnost geodetskih merenja potrebno je stoga vremenski interval  $t$  meriti s izuzetno visokom tačnosti, što je omogućeno tek opštim tehnološkim razvojem u drugoj polovini 60-tih godina prošlog veka. S druge strane, na merni signal i njegovu brzinu prostiranja utiče atmosfera, kroz koju signal prolazi, svojim sastavom i nestabilnošću.

Emitovani snop zračenja ima određenu divergenciju, pa će više ili manje, zavisno od veličine otvora snopa doći do štetnih refleksija sa okolnih objekata ili terena, što daje lažne povratne signale, odnosno utiče na kvalitet prijema signala, a time i na tačnost merenja. Za tačnost merenja dužina, kakva se traži u geodeziji, potrebno je vrlo tačno poznavati brzinu širenja elektromagnetnog talasa. Stoga možemo smatrati da su se prvi počeci razvoja elektronskog merenja dužina pojaviti zajedno s prvim eksperimentima određivanja brzine svetlosti. Velika prekretnica u razvoju nastaje otkrićem galium-arsenid diode (Ga-As dioda) kao izvora i modulatora svetlosti (1960. godine), što će smanjiti dimenzije instrumenta i ubrzati izuzetan razvoj pogodnih i praktičnih elektronskih daljinomera kratkog dometa, te laserskog izvora svetlosti koji će omogućiti povećanje dometa elektrooptičkih daljinomera.

Kako je za standardizaciju konstrukcije elektronskih daljinomera bilo nužno što tačnije poznavati brzinu svetlosti u vakuumu, 1957. godine je na osnovu tada poznatih merenja, XI generalna konferencija Međunarodne geodetske i geofizičke unije u Torontu donela preporuku za brzinu svetlosti u vakuumu  $c_0 = (299792,5 \pm 0.4)$  km/s. Na osnovu brojnih kasnijih merenja s visokom tačnosi u specijalno opremljenim laboratorijama, XV generalna konferencija za mere i tegove, svojom rezolucijom br. 2 donosi preporuku da se kao reprezentativna brzina elektromagnetnih talasa u vakuumu upotrebljava vrednost

$$c_0 = 299792458 (1 \pm 4 \cdot 10^{-9}) \text{ m/s}$$

Ona je u definiciji prihvaćena kao konstanta, tj. kao nepogrešiva. Na osnovu te brojčane veličine definisana je 1983. godine i jedinica za dužinu metar.

## **6.5. Ispitivanje i rektifikacija instrumenata za merenje dužina**

Svi instrumenti koji se koriste za merenje dužina moraju da ispune sledeće uslove, neophodne za merenje rastojanja:

### **I uslov:**

*Srednja horizontalna crta končanice mora biti zaista horizontalna.*

Pošto je instrument centrisan, jednim krajem horizontalne crte končanice se navizira neka tačka, a alhidada se pomera horizontalno pomoću mikrometarskog zavrtnja i pri tome se prati da li horizontalna crta končanice stalno klizi po naviziranoj tački. Ako horizontalna crta končanice klizi po naviziranoj tački uslov je zadovoljen. Ukoliko



odstupa od navizirane tačke, mora se izvršiti rotacija končaničnog prstena dok se uslov ne zadovolji.

Pritom, ukoliko je zadovoljen treći uslov za merenje horizontalnih uglova, zadovoljen je i ovaj uslov.

**II uslov:**

*Srednja crta mora se nalaziti tačno u sredini između gornje i donje.*

Za ispitivanje ovog uslova, potrebno je navizirati vertikalno postavljenu letvu na rastojanju od 20–30 metara na približno horizontalnom terenu. Zatim dovesti vizuru u približno horizontalan položaj i očitati podelu letve pomoću sve tri crte končanice. Ako je navedeni uslov ispunjen, čitanje podele letve srednjom crtom končanice mora biti isto kao i aritmetička sredina iz čitanja gornjom i donjom crtom končanice.

Pošto su crtice končanice ugravirane na staklenoj pločici, ne postoji mogućnost rektifikacije ovog uslova. Ovaj uslov je obično zagaranatovan fabrički od strane samog proizvođača [7].