

vodič. Kako između tih vodiča ne postoji galvanika veza, to se izmjenična struja prenosi kapacitivnim putem iz jednog vodiča u drugi, što djeluje kao ubacivanje serijskih kondenzatora u dalekovod, pa se time kompenzira induktivitet. To dolazi u obzir na veoma dugim dalekovodima (znatno iznad 1000 km), a budućnost će pokazati da li će ovaj prijedlog naći i praktičnu primjenu.

Da se izbjegnu poteškoće do kojih dolazi zbog upotrebe izmjenične struje, u posljednje vrijeme počinje se uvoditi sistem prenosa s istosmjernom strujom. Danas već postoji u pogonu nekoliko takvih sistema prenosa, a nekoliko ih je u gradnji, pri čemu se radi o naponima od nekoliko stotina kilovolta. Ukoliko se za ovakve prenosne sisteme budu htjeli upotrijebiti dalekovodi (zasada se uglavnom radi o kabelskim vezama), a za to ima izgleda već u neposrednoj budućnosti, njihova izgradnja neće postavljati nikakvih posebnih problema, pa se može očekivati i izgradnja dalekovoda s vrlo visokim istosmjernim naponima.

LIT.: R. Rüdenberg, Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernungen, Berlin 1932. — K. Girkmann, E. Königshofer, Die Hochspannungs-Freileitungen, Wien 1938. — M. Vidmar, Problemi prenašanja električne energije, Ljubljana 1947. — P. Ilovaški, Građenje elektrovođa za visoke napone, Beograd 1949. — A. J. Rjabkov, Električne mreže i dalekovodi (prijevod), Zagreb 1949. — P. Ilovaški, Vodovi visokog napona u pogonu, Beograd 1950. — H. H. Skilling, Electric transmission lines, New York 1951. — P. Tucoulat, Construction des lignes aériennes, Paris 1952. — L. F. Woodruff, Principi prijenosa električne energije (prijevod), Zagreb 1954. — A. A. Глазунов, Электрические сети и системы, Москва 1954. — R. W. P. King, Transmission-line theory, New York 1955. — H. Carpentier, Lignes électriques T. H. T., Paris 1955. — A. A. Глазунов, Основы механической части воздушных линий электропередачи, Москва 1956. — H. Bornemann, Bau und Berechnung von Leitungen und Leitungsgestellen, Berlin 1956. — H. Rieger, Der Freileitungsbau, Berlin 1960. — G. Heyn, Der Bau von Hochspannungsfreileitungen, Berlin 1962. — В. В. Гулденбалк, М. М. Кастанювич, Д. В. Рабинович, М. А. Реум, Сооружение линий электропередачи, Москва 1963. — Westinghouse Electric Corporation, Prenos i distribucija električne energije (prijevod), Beograd 1964. — E. B. Kurtz, The lineman's and cableman's handbook, New York, 1964.

B. Stefanini

DALJINOMJERI (telemetri), instrumenti za mjerenje udaljenosti. Daljinomjeri imaju široku primjenu u geodetskoj praksi, a u armiji i ratnoj mornarici se upotrebljavaju za određivanje udaljenosti mete. Značaj primjene ovih instrumenata dolazi do izražaja na neravnom i nepristupačnom terenu, naročito kada je direktno mjerenje udaljenosti između dvije tačke nemoguće. U geodetskim mjerenjima daljinomjeri su zauzeli značajno mjesto zbog ekonomičnosti pri radu, a često i zbog velike preciznosti mjerenja.

Danas postoji vrlo mnogo različitih vrsta takvih instrumenata od sasvim jednostavnih do vrlo složenih. Prema tehničkim rješenjima u načinu mjerenja udaljenosti, daljinomjeri se dijele na dvije glavne grupe: *optičke* i *elektroničke* daljinomjere.

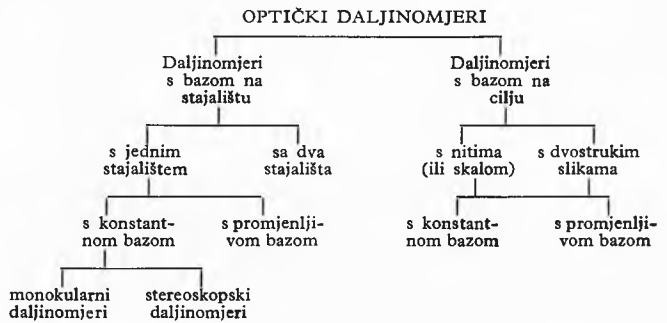
OPTIČKI DALJINOMJERI

U ovu najbrojniju grupu daljinomjera pripadaju svi oni instrumenti čiji optički elementi omogućavaju mjerenje udaljenosti bilo neposredno, njihovom funkcijom, bilo samo posredno, služeći za promatranje ili viziranje.

Princip optičkog mjerenja dužina zasnovan je na rješavanju trokuta (sl. 1) u kome su poznati ili mjereni jedna stranica (b) i dva kuta. Na osnovu tih veličina može se nepoznata dužina (D) izračunati pomoću jednostavnih trigonometrijskih formula. Stranica b je vrlo mala u odnosu na mjerenu dužinu D i naziva se bazom. Kut nasuprot ovoj bazi (α) također je malen; naziva se *paralaktičkim kutom*. Praktički je najčešće dovoljno poznavati, ili mjeriti, samo paralaktički kut ako je u paralaktičkom trokutu jedan od druga dva kuta (β ili γ) 90° , ili su oba kuta vrlo blizu 90° , odnosno, ako su oba kuta jednaka.

Vrh paralaktičkog kuta može biti na cilju ili na samom stajalištu instrumenta, već prema tome kakva je konstrukcija instrumenta. Ako je vrh paralaktičkog kuta na cilju, daljinomjeri (tzv. *daljinomjeri s bazom na stajalištu*) mogu biti s jednim stajalištem ili sa dva stajališta. Daljinomjeri s jednim stajalištem imaju jedan zajednički nosač optičkih dijelova, iako ti dijelovi mogu biti i prilično udaljeni jedan od drugog da bi se dobila veća baza. Daljinomjer sa dva stajališta ima dva zasebna instrumenta kojim

se istovremeno vizira na određeni cilj i mjere kutovi β i γ . Specijalni su daljinomjeri tzv. *depressioni daljinomjeri* kojima služi kao baza poznata visinska razlika između instrumenta i cilja. Baza je, dakle, u tom slučaju postavljena vertikalno. Primjenjuju se za određivanje udaljenosti brodova sa obalnih uzvisina. Prema različitim konstruktivnim osobinama daljinomjera može se njihova podjela prikazati ovom shemom:



Daljinomjeri s bazom na stajalištu

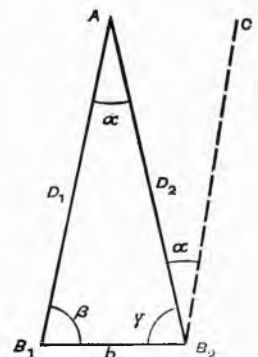
Daljinomjeri sa dva stajališta. Njima se određuje nepoznata udaljenost cilja tako da se mjere kutovi sa dva stajališta, na razmaku obično većem od 1 km, koji je prethodno izmjeren (baza). Kutovi se mjere dvama teodolitima. Kako se najčešće radi o pokretnim ciljevima (npr. brod, ciljevima u zraku), moraju kutovi β i γ biti izmjereni istovremeno, što se postiže telefonskom vezom ili putem električnog kontakta. Poznati suvremeni instrument ovog tipa je *kinoteodolit*. Naziv mu je po tome što se istovremeno dvama instrumentima kinematografski snima položaj cilja i odgovarajuća očitavanja na limbovima.

Monokularni daljinomjeri se u principu sastoje od dva čvrsto spojena durbina s paralelnim vizurnim osima, a s razmakom koji određuje bazu (sl. 2); ova je u prostoru horizontalna.

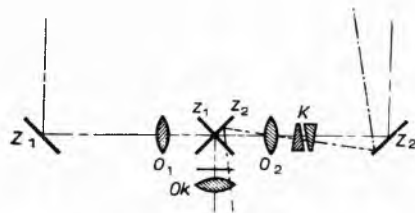
Vizira li se cilj jednim durbinom, npr. B_1A , drugi durbin pogadati će tačku C . Pomoću optičkog mikrometarskog uređaja (kutovi α su vrlo mali) dovodi se i vizura B_2C u tačku A . Time je izmjeren kut α . Kako su kutovi β i γ vrlo blizu 90° , a $D_1 = D_2 = D$, to je s dovoljnom tačnošću:

$D = b/\alpha$ (α u radijanima). Na odgovarajućoj podjeli mikrometra može se neposredno očitati preračunata udaljenost.

Praktički su ovi daljinomjeri izvedeni tako da osi obaju objektivna padaju u os cijevi, a pomoću zrcala ili prizama zrake se otklanjaju u zajednički okular. Na sl. 3 prikazana je optička shema



Sl. 2. Princip mjerenja monokularnim daljinomjerom



Sl. 3. Shema optičke građe monokularnog daljinomjera

jednog od starijih tipova ovakvog daljinomjera. Na kraju cijevi su glavna zrcala Z_1 i Z_2 koja otklanjaju zrake sa cilja u os objektivna. Unakrsna zrcala z_1 i z_2 svako na pola visine okulara, otklanjaju zrake svjetlosti prema okularu Ok , tako da se u gornjem vidnom polju vidi slika koju je dao jedan objektiv O_1 , a u donjem, slika koju je dao drugi objektiv O_2 . Obje slike treba postaviti na verti-

kalnu nit koja se nalazi ispred okulara. Mjerenje izvodi jedan opažač time što najprije dovodi na nit sliku cilja u jednom dijelu polja, a zatim zakretom zrcala Z_2 u drugom dijelu polja. Bolja rješenja optičkog mikrometarskog uređaja su translatorni klin, rotirajući klinovi (kao na sl. 3) i *Abatov klin* (sl. 5), koji se sastoji od dviju leća jednake žarišne daljine. Promjena paralaktičkog kuta postiže se translatorskim pomakom duž plan-ploha leća.

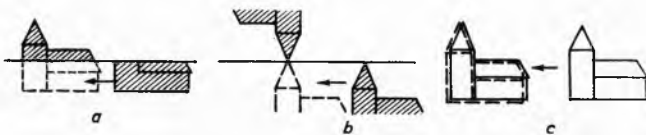


Sl. 5. Abatov klin

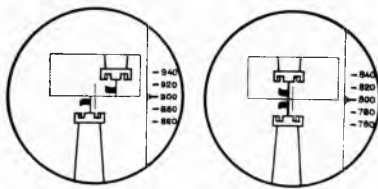
Odvojeno namještanje obiju slika kod pokretnih ciljeva je neizvedivo, a inače traži da instrument bude stabilan, jer mu se položaj ne smije mijenjati u intervalu između dvaju sukcesivnih postavljanja cilja na nit. Nedoovoljen je već zakret od nekoliko sekundi koji može nastati djelovanjem vjetrova. Zato je ovakvo postavljanje u daljnjem razvoju daljinomjera zamijenjeno koincidencijom samih slika obaju objektivna. Postoje različita rješenja za način koincidencije. Najčešće se primjenjuju: koincidencija presječenih slika, obrnutih slika i preklapanjem slika.

Pri koincidenciji presječenih slika (sl. 4 a) slike se na razdvojnoj liniji namještau tako da gornja slika bude produžena donje, te se obje slike stapaju u jedinstvenu sliku. Koincidencija obrnutih slika ostvaruje se prema sl. 4 b. Ovaj je način koincidencije pogodniji za terestričke objekte.

Koincidencija s preklapanjem slika (sl. 4 c) manje je tačna od drugih dviju. Na sl. 6 prikazano je vidno polje monokularnog *invertnog daljinomjera* (daljinomjera s koincidencijom obrnutih slika), a na sl. 7 shema modernijeg tipa takvog daljinomjera. Svjetlost ulazi kroz zaštitna stakla A_1 i A_d i otklanja se pomoću pentagonalnih prizama P_1 i P_d u os cijevi. Svaki od objektivna O_1 i O_d stvara sliku, a obje slike razdijeljene su na razdvojnoj crti kombinirane prizme S . Slike se promatraju pomoću okulara Ok . Korekciona leća K služi za izjednačavanje veličina slika. Za mikrometarski pomak slike pri mjerenju udaljenosti služi u prikazanom daljinomjeru Abatov klin. Jedna leća ovog klina (A_1) izvedena je ujedno kao zaštitno staklo, a druga leća L , koja nosi daljinsku podjelu, pomiče se pomoću mjernog valjka V_m .

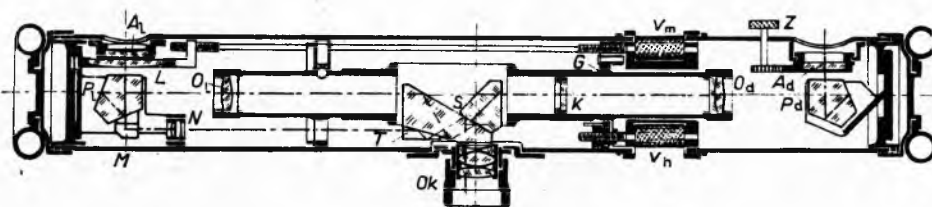


Sl. 4. Principi mjerenja koincidencijom slika



Sl. 6. Primjer mjerenja invertnim daljinomjerom (očitanje dužine 800 m)

Podjela se preslikava na rub vidnog polja okulara tako da svjetlo prolazi kroz gornji dio pentagonalne prizme, te dvostrukom refleksijom na prizmi M (koja je prilijepljena na pentagonalnu prizmu) dolazi do malog objektivna N koji stvara sliku skale u ravnini slika što ih stvaraju glavni objektivni ispred okulara. Prije toga dolazi još do trostruke refleksije, od toga dvije na maloj prizmi T koja je nalijepljena na kombiniranu razdvojnu prizmu S .



Sl. 7. Građa invertnog daljinomjera



Sl. 8. Monokularni telemetar u mjernom položaju (Wild TM2)

Valjak V_h služi za rektifikaciju slika po visini, time što se unutarnja cijev naginje unutar ležaja G . Za rektifikaciju udaljenosti može se zaštitno staklo A_d , izrađeno u obliku klina, zakretati pomoću zupčanika Z .

Jednadžba za tačnost mjerenja ovim daljinomjerima može se izvesti diferenciranjem formule za izračunavanje udaljenosti. Kako je baza konstantna, a mijenja se paralaktički kut, to će biti:

$$dD = \frac{D^2}{b} da,$$

tj. pogreška mjerene dužine svih daljinomjera s konstantnom bazom proporcionalna je kvadratu mjerene dužine, a obrnuto proporcionalna duljini baze. To znači da će se s porastom mjerene udaljenosti pogreška mjerenja naglo povećavati. Ako uzmemo za tačnost koincidencije prostim okom vrijednost a' , bit će za durbina povećanja Γ (dok to stanje u zračnim slojevima dozvoljava): $da = a'/\Gamma$. Za konvencionalnu vrijednost $a' = 10''$ dobiva se (u sekundama):

$$dD = \frac{D^2}{20\,600\,b\,\Gamma}.$$

Iz ovog se može lako izvesti i potrebna tačnost mjerenja paralaktičkog kuta:

$$da = \frac{b}{D^2} dD.$$

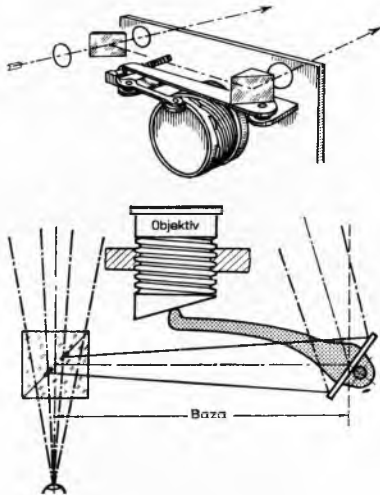
Ako imamo npr. daljinomjer s bazom 0,7 m, a tražimo tačnost mjerenja ± 100 m na udaljenosti 15 000 m, bit će $da = 0,9''$. Kako u žarišnoj ravnini objektivna žarišne daljine 30 cm ovaj iznos linearno daje vrijednost nešto veću od tisućinke milimetra, to se može lako shvatiti kolike tehničke poteškoće treba riješiti pri konstrukciji ovih daljinomjera, kako mehanički i termički utjecaji ne bi poremetili konstruktivnu tačnost mjerenja. Svakako je značajna primjena pentagonalnih prizama, koje nezavisno od zakreta oko osi (okomite na glavni presjek), zakreću zrake za 90° . Tačnost mjerenja zavisi i od kvaliteta razdvojne linije.

Na sl. 8 prikazan je jedan suvremeni daljinomjer ove vrste u mjernoj poziciji na stativu. Baza mu je 80 cm, mjerno područje 300...7000 m, povećanje durbina $11,25\times$. Desni okular služi za promatranje i mjerenje a lijevi za očitavanje udaljenosti. Kružni otvori na krajevima baze ulazni su otvori. Sl. 9 prikazuje koincidenciju



Sl. 9. Pogled u vidno polje telemetra (Wild TM2)

obrnutih slika prije očitavanja udaljenosti. Radi preglednosti, obrnuta slika ne zauzima polovinu polja.

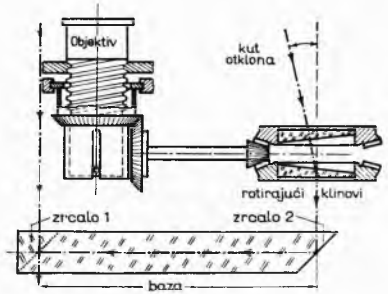


Sl. 10. Daljinomjer fotoaparata sa zakretnim zrcalom (prizmom)

Tačnost mjerenja, izračunata prema izvedenoj formuli, iznosi:

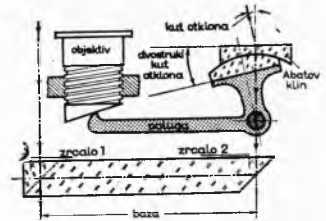
Udaljenost	Minimalna pogreška mjerenja
100 m	0,05 m (praktički 2 m)
500 m	1,30 m „
1000 m	5,4 m „
2000 m	21,5 m
4000 m	86,0 m
6000 m	193,6 m

Daljinomjer konstantne baze s koincidencijom slika primjenjuje se i na fotoaparata radi namještanja objektivna na odgovarajuću udaljenost, kako bi se dobila oštra slika. Na nekim fotoaparata ovo je mjerenje automatski povezano s odgovarajućim pomakom objektivna, pa očitavanje udaljenosti nije ni potrebno. Sl. 10 prikazuje takve konstrukcije sa zakretnim zrcalima. Sl. 11 i 12 prikazuju još dvije suvremene konstrukcije. Promjenljivi klin je također Abatov klin, a ovaj puta nastaje zakretanjem dviju plancilindričnih leća iste jakosti na kliznim ploham. Ako su vanjske plan-plohe paralelne, nema otklona zrake, a zakretanjem nastaje klin promjenljivog preloznog kuta.



Sl. 12. Shema daljinomjera fotoaparata s rotirajućim klinovima

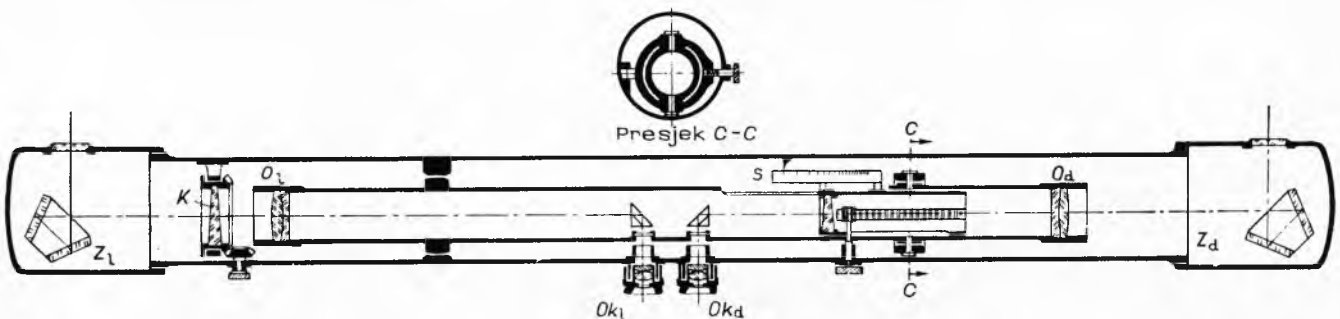
Stereoskopski daljinomjeri (stereotelemetri). Prostorno gledanje moguće je uslijed toga što se različite slike koje nastaju na mrežnicama obaju oka stapaju u jedan utisak. Dojam dubine prostora koji pri tome stičemo omogućuje nam također da procijenimo udaljenosti. U stvari, pri gledanju prostim očima formira se paralaktički trokut s bazom koja je određena razmakom očiju. Poveća li se optičkim putem ta baza, povećat će se i dojam plastičnosti prostora, a time i tačnost ocjenjivanja dubine prostora, tj. udaljenosti. Zbog toga naziva se *totalnom plastičnošću* dubina dvogleda produkt njegova povećanja i omjera razmaka između objektivna i okulara (v. *Durbin*). Na tom principu građeni su stereoskopski daljinomjeri. Od monokularnih daljinomjera u osnovi se razlikuju po tome što se slike obaju objektivna odvojeno pružaju svakom oku. U tu svrhu nemamo više razdjelne prizme, već dvije posve odvojene prizme ispred dvaju okulara (kojih razmak odgovara razmaku oba oka). U žarišnim ravninama objektivna ispred okulara nalaze se staklene pločice s ugraviranim nizom marki ili jednom markom (uz pomoćne marke). Ugravirani niz marki tako je podešen da se one pri promatranju stapaju u korespondirajuće prostorne marke, tako da imamo utisak jedne daljinomjerne cikcak-ljestvice (s označenim udaljenostima), koja prividno siže u promatrani prostor. Kad je na pločicu ugravirana jedna glavna marka, ona se stapa u prostornu marku koja prividno u prostoru lebdi, a približava se promatraču ili se od njega udaljuje kad on jednu pločicu translatorno pomiče pomoću specijalnog paralaktičkog vijka. Para-



Sl. 11. Shema daljinomjera fotoaparata sa Abatovim klinom



Sl. 13. Slika u stereoskopskom daljinomjeru s lebdećom markom

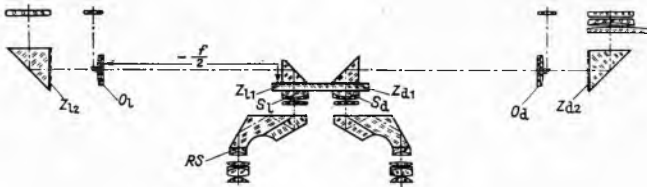


Sl. 14. Građa stereoskopskog daljinomjera

laktički vijak zakreće se sve dotle dok lebdeća marka prividno ne dođe na objekt kojemu se udaljenost mjeri (sl. 13). Na sl. 14 prikazana je konstrukcija takvog daljinomjera u kojemu je direktni pomak pločice zamijenjen translatorskim pomakom klina K (pomak slike proporcionalan je pomaku klina). Daljina se očitava na skali S pomoću kazaljke. Ispred lijevog objektiva O_1 nalazi se rotirajući korekcionni klin za justažu mjerenja dužina.

U pogledu tačnosti mjerenja stereoskopskih daljinomjera vrjedne analize koje su provedene za monokularne daljinomjere, s time što je opažanje s oba oka prirodnije i manje naporno. (Osobe koje uslijed pogreške oka ne mogu prostorno gledati, ne mogu vršiti mjerenja stereoskopskim daljinomjerom.)

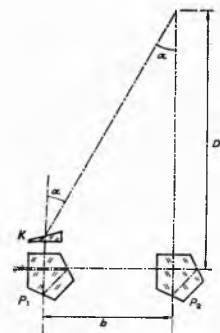
Vrlo štetno djeluje na tačnost mjerenja jednostrano zagrijavanje instrumenta. Konstantnost paralaktičkog kuta ovisi naime u prvom redu o nepromjenljivosti kuta otklona zraka svjetlosti u kutnim zrcalima (sl. 14, Z_1 i Z_2) ili na pentagonalnoj prizmi. Zakreće li se kutno zrcalo oko osi koja nije okomita na glavni presjek, mijenja se kut otklona, a time i paralaktički kut. Jednostranim zagrijavanjem odozgo sunčanim zrakama cijev se daljinomjera savija i time se kutna zrcala zakreću u nepovoljnom smjeru, što uzrokuje promjenu paralaktičkog kuta. Uslijed zagri-



Sl. 15. Grada specijalnog stereoskopskog daljinomjera

javanja dolazi i do konvekcije topline u zraku koji se nalazi u unutrašnjosti cijevi između optičkih elemenata, što uzrokuje lom zraka svjetlosti u tom prostoru. Veliki daljinomjeri ispunjavali su se zbog toga nekad helijumom.

Specijalnim stereoskopskim daljinomjerima neosjetljivim na deformacije osnovni je princip u tome da se kompenziraju izvjesna dejustiranja durbina, naročito objektiva. U tu svrhu marke se nalaze ili na objektivu (pa se specijalnim prizmama i lećama preslikavaju ispred okulara, gdje i objektivi stvaraju sliku cilja) ili ispred objektiva u optičkoj neizmjenjivosti. Sl. 15 prikazuje optičku shemu jedne izvedbe takvog daljinomjera. Marke se nalaze u stražnjim glavnim tačkama objektiva O_1 i O_a . U udaljenosti polovine žarišne daljine objektiva nalazi se poluprozirno zrcalo Z_{11} i Z_{d1} , izvedeno nanošenjem zrcalnog sloja na ravnu plohu optičkog elementa. Zrake koje dolaze s marke natrag u objektiv reflektiraju se tim zrcalom tako da one prođu punu žarišnu daljinu objektiva, te ih ovaj preslikava u optičku neizmjenjivost. Izlazne prizme imaju također zrcalni sloj Z_{12} i Z_{d2} , tako da se zrake vraćaju u objektiv, pa se u ravni slike RS pojavljuju zajedno slike marke i cilja. Optički sabirni sistemi S_1 i S_d imaju zadatak da skrate žarišnu daljinu objektiva. Baza iznosi 0,5 m, povećanje je $8\times$, a pogreška $dD = 12,5$ m na $D = 1000$ m. Ovi daljinomjeri ipak su osjetljivi na zakrete glavnih prizama, ako se ne vrše u glavnoj osi, i na refrakciju zrakā svjetlosti unutar cijevi daljinomjera.



Sl. 16. Shema daljinomjera s promjenljivom bazom

Daljinomjeri s promjenljivom bazom. Princip mjerenja ovim daljinomjerima prikazuje shematski sl. 16. Na mjernom linealu nalaze se dvije pentagonalne prizme P_1 i P_2 na različitoj visini, tako da pomoću objektiva dobivamo dvije slike, jednu iznad druge. Ispred prizme P_1 nalazi se stakleni klin K koji otklanja zrake svjetlosti za konstantni paralaktički kut α . Mijenjajući dužinu horizontalne baze b , pomakom prizme P_2 , mogu se obje slike dovesti



Sl. 17. Daljinomjer s promjenljivom bazom (Teletop)

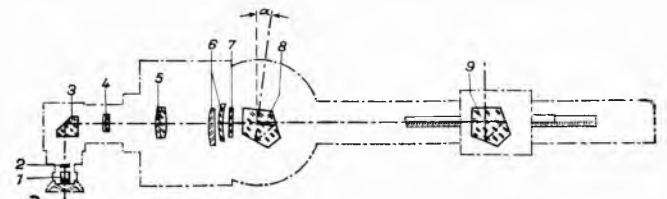
do koincidencije. Tada je: $D = b \operatorname{ctg} \alpha$, koja se vrijednost očitava direktno na mjernom linealu. Daljinomjer ove konstrukcije Zeiss Teletop ima mjerni lineal dužine 30 cm, a durbin povećanja $6\times$ (sl. 17). Za razdvajanje slika služi biprizma. Na nosaču instrumenta postoji i vertikalni krug za mjerenje vertikalnih kuteva (očitanje pomoću lupe s tačnosi $0,1^\circ$). Horizontalni kutovi mogu se mjeriti pomoću busolnog kruga uz procjenu $0,1^\circ$. Na taj način moguće je odrediti situacioni položaj tačke cilja.

Za mjerenje dužina postoji pet mjernih klinova (K) koji se mogu izmjenjivati:

Klin	Mjerno područje	Pogreška u % dužine
1: 100	2...30 m	0,2
1: 250	4...75	0,3
1: 500	8...150	0,5
1: 1000	15...300	1,0
1: 2000	30...6000	2...3

Svim do sada opisanim daljinomjerima mjeri se udaljenost od instrumenta do cilja. To znači da se na nagnutom terenu mjeri kosa dužina. U geodetskom premjeru potrebne su horizontalne dužine, pa ako je na nagnutom terenu udaljenost izmjerena ovim daljinomjerima, treba izračunati horizontalnu projekciju dužine, reduciranu dužinu U takvim slučajevima mora se mjeriti vertikalni kut. Ako je β kut što ga zatvaraju kosa dužina D i njezina projekcija D' , bit će: $D' = D \cos \beta$.

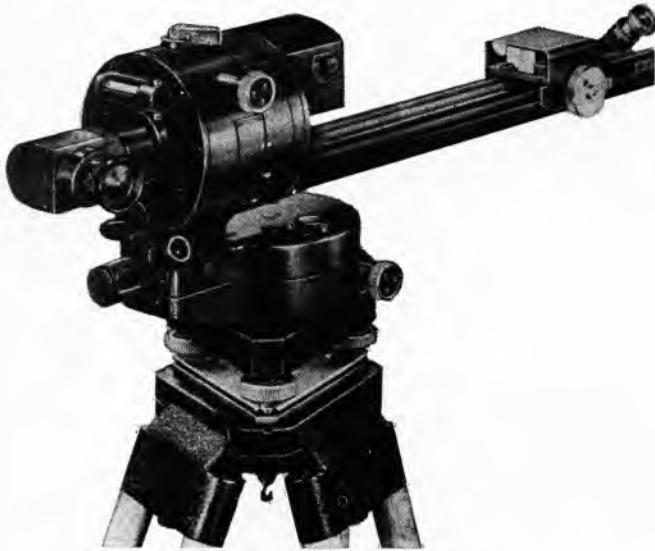
Daljinomjeri za geodetska mjerenja su većinom s bazom na cilju, a vrlo rijetko s bazom na stajalištu. Postavljanje baze na cilju je u teško pristupačnim i u vrlo izgrađenim terenima vezano s nizom teškoća pa je za takve slučajeve razvijen u najnovije vrijeme daljinomjer s bazom na stajalištu (s promjenljivom bazom) koji svojom tačnošću zadovoljava za geodetska mjerenja. Zbog ove namjene izrađen je kao redukcionni daljinomjer: na njemu se nalazi uređaj kojim se pri zakretanju durbina smanjuje paralaktički kut tako da se direktno očitava reducirana dužina. Optička shema ovog



Sl. 18. Optička shema bazisnog redukcionog tahimetra (Zeiss BRT 006). 1 Okular, 2 biprizma, 3 refleksna prizma, 4 leće objektiva za izoštravanje slike (unutarnje izoštravanje), 5 objektiv, 6 sistem leća redukcionog uređaja, 7 zaštitno staklo, 8 gornja nepomična prizma, 9 donja pomična prizma

daljinomjera, tzv. *bazisnoga redukcionoga tahimetra*, prikazana je na sl. 18, a na sl. 19 vidi se vanjski izgled.

Kako je bazisni redukcionni tahimetar razvijen prema teletopu, to mu je sličan ne samo oblikom već i osnovnom funkcijom mjerenja daljine. Pomakom pentagonalne prizme 9 dovode se do koincidencije gornja i donja slika. Očitanje na bazisnom linealu, dugom 30 cm, obavlja se pomoću indeksa i lupe povećanja $4\times$ (sl. 18).



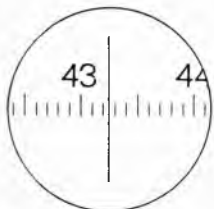
Sl. 19. Bazisni redukcionni tahimetar (Zeiss BRT 006)

Redukcionni uređaj za dužine može se po volji uključiti pomoću posebnog dugmeta. U tom slučaju mijenja se paralaktički kut α u ovisnosti od visinskog kuta β za:

$$\Delta\alpha = \alpha(1 - \cos\beta).$$

Ovo smanjenje paralaktičkog kuta izvedeno je na principu po-prječnog pomaka posljednjeg člana sistema leća δ (izvedenog kao poluleća), koji se nalazi između objektiva δ i gornje pentagonalne prizme δ .

Za tačnije mjerenje može se na cilj postaviti mala pomoćna marka. Mjerno područje je 2...60 m, a uz postavljanje male pomoćne horizontalne letve s markama, do 180 m. Tačnost mjerenja iznosi $\pm 0,06\%$ mjerene dužine. Instrumentom se mogu mjeriti također horizontalni i vertikalni kutovi (očitanje uz procjenu $1'$). Tačnost mjerenja koja se postiže svakako je značajno dostignuće suvremene optike i tehnike u razvoju daljinomjera s bazom na stajalištu.



Sl. 20. Očitanje dužine 43,25 m (Zeiss BRT 006)

Na tačnost mjerenja svih daljinomjera s promjenljivom bazom (tj. konstantnog paralaktičkog kuta) prirast dužine ne utječe tako nepovoljno kao kod daljinomjera s konstantnom bazom. To se može lako uvidjeti ako se diferencira formula za račun dužine, smatrajući α nepromjenljivim. Kako su paralaktički kutovi mali, možemo približno uzeti: $D = b/a$, (a u radijanima), pa je:

$$dD = \frac{D}{b} db.$$

Uz konstantni paralaktički kut pogreška mjerene dužine raste proporcionalno s povećanjem dužine.

Daljinomjeri s bazom na cilju

Daljinomjeri s bazom na cilju imaju značajnu primjenu kod geodetskih mjerenja. Dužine mjerene ovim daljinomjerima kratke su, iznose npr. kod precizne tahimetrije (metode snimanja terena) do 100 m, a kod obične tahimetrije do 150 m (izuzetno do 200 m). Samo pri topografskom premjeru dopušteno je direktno mjerenje dužina do 400 m.

Kao baza služi mjerna letva koja se postavlja na cilju u horizontalnom ili vertikalnom položaju, već prema konstrukciji daljinomjera. Horizontalni položaj uvijek se primjenjuje kad se daljina mjeri preciznim daljinomjerima, jer je onda manja tzv. *diferencijalna refrakcija*. To je pojava da zrake svjetlosti koje dolaze sa krajnjih tačaka baze na putu kroz zračne slojeve do instrumenta različito mijenjaju smjer uslijed razlika gustoće, a time i indeksa loma, tih slojeva. Budući da se gustoća zračnih slojeva mijenja s udaljenošću od terena i da je ta promjena naročito velika i nepra-

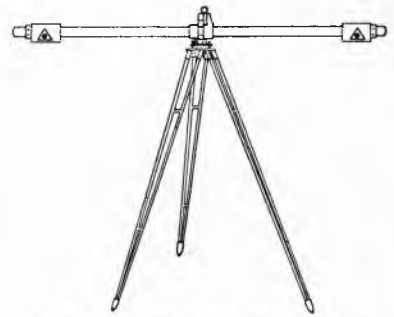
vilna u blizini terena, očito je da će utjecaji diferencijalne refrakcije biti znatni pri vertikalnom postavu baze. Zato se preporuča da pri mjerenju u ovom slučaju vizura ne prilazi terenu na udaljenost manju od 1 m. Kod horizontalne baze utjecaj diferencijalne refrakcije je neznatan, ali je postavljanje ove baze vrlo teško u zaraštenom i izgrađenom terenu. Osim toga, horizontalna baza se mora uvijek postavljati na stativ, a na njezinu horizontalnost i okomitost na vizuru mora se stalno paziti, što zahtijeva pouzdane i uvježbane pomoćne radnike figurante. Vertikalna mjerna letva, pak, brzo se i jednostavno postavlja neposredno na samu tačku terena i postav joj se kontrolira doznom libelom. S tih je razloga razvijen čitav niz daljinomjera kako sa horizontalnom bazom tako i s vertikalnom.

Daljinomjeri s bazom na cilju dijele se u dvije osnovne grupe: *daljinomjere s nitima* (nitne daljinomjere) i *daljinomjere s dvostrukim slikama*.

DALJINOMJERI S NITIMA

U daljinomjere s nitima ubrajaju se svi daljinomjeri pri kojima se mjerenje izvodi bilo viziranjem bilo očitanjem mjerne letve pomoću niti u durbinu ili na specijalnim staklenim krugovima instrumenta. Baza može biti konstantna ili promjenljiva. Značajni su po primjeni ili interesantni po konstrukciji ovi daljinomjeri s nitima: *precizni teodolit s horizontalnom bazisnom letvom*, *tangenti vijak teodolita* kao daljinomjer, *okularni mikrometar* kao daljinomjer, *Reichenbachov daljinomjer*. Posebnu značajnu grupu daljinomjera s nitima čine *autoredukcionni daljinomjeri*.

Precizni teodolit s bazisnom letvom spada u grupu preciznih daljinomjera. Preciznim teodolitom mjeri se paralaktički kut α viziranjem na specijalne marke bazisne letve (oblika trokuta, kruga ili paralelnih crtica). Jedno mjerenje se prema tome obavlja u dva vremenski odvojena viziranja durbinom teodolita. Radi povećanja tačnosti izvodi se mjerenje paralaktičkog kuta u više ponavljanja. Bazisna letva postavlja se na stativ na krajnjoj tački mjerene dužine tako da je horizontalna i okomita na dužinu (sl. 21). Vizurne marke nalaze se na stalnom razmaku od 2 m (na nekim starim letvama razmak je 3 m). Prema tome, to je daljinomjer sa konstantnom bazom. Zbog toga što je baza iz praktičnih razloga vrlo mala, razmak marki smio bi varirati maksimalno u granicama 0,1 mm da bi mjerenja bila precizna. Da se to postigne, naročita pažnja je poklonjena konstrukciji letve s obzirom na najznačajniji utjecaj, a to je promjena temperature. Vizurne marke su povezane specijalnim šipkama od invara (legure $\sim 36\%$ nikla i $\sim 64\%$ željeza) i još nekih dodataka u vrlo malim količinama, koja ima vrlo mali koeficijent rastezanja) u cijevima od lakog metala. Na taj način kolebanja temperature od 20°C ne mijenjaju razmak marki više od 0,05 mm. Kako se pri produkciji u tvornici postavlja razmak marki s tačnosti 0,05 mm, to je tačnost baze osigurana.



Sl. 21. Bazisna letva u mjernom položaju

Letva se postavlja okomito na mjerenu dužinu s potrebnom tačnosti do $0,5^\circ$ pomoću posebnog malog vizira na letvi (dioptra) a horizontira se pomoću dozne libele.

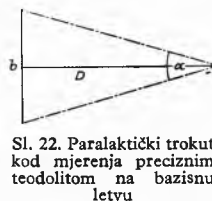
Dužina se računa po formuli (sl. 22):

$$D = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Ako je baza doista tačno 2 m, tada je

$$D = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \text{ i ova se vrijednost vadi direktno}$$

no iz tablica prirodnih vrijednosti trigonometričkih funkcija. Račun je dužine, dakle, vrlo jednostavan.



Sl. 22. Paralaktički trokut kod mjerenja preciznim teodolitom na bazisnu letvu

Prednost je mjerenja dužina ovim daljinomjerom što se i kod koso položenih dužina mjeri horizontalna projekcija (što je

važno kod geodetskih mjerenja), pa nema računanja redukcije dužine. Međutim, srednje pogreške mjerene dužine rastu proporcionalno s kvadratom dužine (konstantna baza), što je vrlo nepovoljno i ograničava veličinu direktno mjerene dužine. Ako uzmemo za tačnost mjenjenog paralaktičkog kuta $\alpha = \pm 1''$, a za dužinu baze $b = 2$ m (uz pretpostavku da je baza bespogrešna), srednje će pogreške mjerene dužine, u zavisnosti od njezine veličine, biti ove:

D	20	40	60	80	100	150	200 m
dD	1,0	3,9	8,7	16	24	55	97 mm

Kod dužine 20 m dobiva se na taj način srednja relativna tačnost 1/20 000. Za kraće dužine ova relativna tačnost se ne povećava, jer pogreška mjenjenog kuta raste. Tako visoke tačnosti mogu se postići samo uz vrlo povoljne terenske uslove i uz dovoljno tačno poznavanje stvarne dužine bazisne letve u času mjerenja, kao i uz dovoljno tačno postavljanje letve. Praktički su postignute tačnosti često manje. Za mjerenje većih dužina ovim načinom upotrebljavaju se pomoćne baze mjerene direktno pomoću bazisne letve (*paralaktična poligonometrija*). Ovaj daljinomjer ima zato značajnu praktičnu primjenu.

Tangentni vijak kao daljinomjer. Tangentni vijak je dodatna konstrukcija teodolita. Uređaj se sastoji od mikrometarskog vijka kojim se može pomicati alhidada teodolita za male iznose. Vijak ima određeni uspon u , a na bubnju se nalazi podjela pomoću koje se mogu očitati dijelovi jednog okretaja. Za očitavanje broja punih okretaja vijka nanosena je posebna skala. Mjerenje se provodi viziranjem na marke horizontalne letve (konstantna baza). Najprije se vizira jedna marka i očita na skali položaj tangentnog vijka, a zatim se zakretanjem tangentnog vijka vizira druga marka i ponovo očita položaj. Neka su ta očitavanja σ_1 i σ_2 . Ako sa r označimo razmak vrha vijka (odnosno pravca njegova pomaka) do okretne osi teodolita, bit će:

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{r} = \frac{l}{D},$$

gdje je l dužina baze, a D mjerena dužina. Slijedi:

$$D = \frac{l r}{\sigma_2 - \sigma_1}.$$

Kako je $\sigma_2 - \sigma_1 = n u$, to je $D = \frac{l r}{n u}$, gdje je n broj okretaja vijka. Veličina $r/u = k$ je konstanta uređaja, pa će dužina biti:

$$D = \frac{k}{n} l.$$

Dužina se određuje uz konstantnu bazu, ali je moguće mjeriti i tako da je broj okretaja n (paralaktički kut) konstantan, a očitava se veličina odgovarajuće baze na letvi s podjelom. Izrađene su i konstrukcije tangentnog vijka vezanog uz zakret durbina.

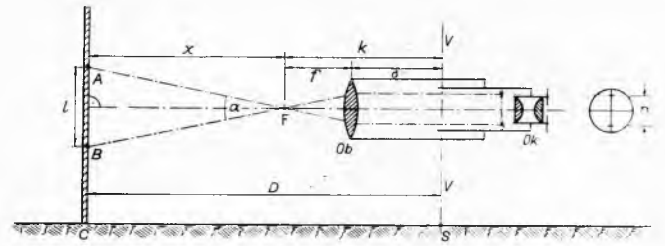
Zbog njegove velike osjetljivosti na udarce, tangentni vijak se može skinuti sa teodolita da se ne ošteti prilikom prenoasa.

Iako tangentni vijak omogućava precizna i brza mjerenja, danas se on više ne upotrebljava. Zamijenili su ga već opisani precizni teodoliti.

Okularni mikrometar kao daljinomjer. Princip mjerenja ovim daljinomjerom sastoji se u mjerenju paralaktičkog kuta pomakom vizurne niti, pomoću mikrometarskog vijka, u ravni slike objektiva. Viziranje se izvodi iz marke konstantne baze. Time se umjesto nagiba durbina, koji je čvrst, mijenja nagib vizurne osi. Ni ovaj daljinomjer nema značajnije praktične primjene. Poznat je daljinomjer ovog tipa primijenjen u SSSR, a karakteristika mu je što se primjenjuje i za mjerenja na većim dužinama (do 1 km) uz relativnu tačnost mjerenja $\sim 1/1800$.

Reichenbachov daljinomjer spada u vrlo jednostavne daljinomjere, a ima značajnu primjenu za geodetska mjerenja (tahimetriju). Nalazi se gotovo u svakom durbinu geodetskog instrumenta. Ako uz običan nitni

križ durbina postoje još dvije tzv. daljinomjerne niti, paralelne sa srednjom niti na određenom razmaku, njima je određen konstantan paralaktički kut. Kao baza promjenljive dužine služi vertikalno postavljena letva (sl. 23) podijeljena na centimetre, na kojoj se očitava položaj daljinomjernih niti. Razlika očitavanja daje odsječak letve l (promjenljivu bazu, sl. 24).



Sl. 24. Princip mjerenja Reichenbachovim daljinomjerom kod durbina s vanjskim izoštravanjem

Instrument se nalazi na stativu, horizontalan i centriran nad stajalištem S (vertikalna okretna os VV prolazi tačkom S). Durbini neka je horizontalan. Slike tačaka A i B letve, koja se nalazi na tački C , preslikane su na daljinomjernih nitima. Vrh paralaktičkog kuta nalazi se u žarištu predmeta objektiva F . Ova se tačka naziva i *analaktičkom tačkom*. S promjenom udaljenosti x mijenja se proporcionalno veličina odsječka l na letvi, jer je paralaktički kut konstantan. Prema sl. 24 dobivamo odnos:

$$x = \frac{f}{n} l, \text{ pa je dužina } D = \frac{f}{n} l + (f + \delta).$$

Kako je žarišna daljina f objektiva Ob konstantna, a isto tako razmak n daljinomjernih niti i razmak δ vertikalne okretne osi od objektiva, to formula pokazuje zavisnost mjerene dužine od odsječka l .

Veličina $f/n = K$ naziva se velikom ili multiplikacionom konstantom, a veličina $f + \delta = k$ malom ili adicionom konstantom, pa je opća formula mjerene dužine:

$$D = K l + k.$$

Multiplikaciona konstanta iznosi obično 100, a to znači da je razmak niti stoti dio žarišne daljine objektiva (što mora biti dato na tačnost reda veličine tisućinke milimetra). Mala konstanta iznosi $\sim 0,30 \dots 0,50$ m. Prije mjerenja moraju se daljinomjerne konstante durbina provjeriti.

Postoje konstrukcije durbina (Porrov durbini) kod kojih je dodavanjem pozitivne leće objektivu analaktička tačka pomaknuta u vertikalnu okretnu os, pa adicione konstante iščezava. Takvi se durbini nazivaju *analaktičkim*. Međutim, nakon što su konstruirani durbini s unutrašnjim izoštravanjem (v. Durbini), Porrovi se durbini više ne izrađuju jer su relativno dugački. Durbini s unutrašnjim izoštravanjem imaju vrh paralaktičkog kuta približno u vertikalnoj osi, pa se takvi durbini nazivaju *kvazianalaktičkim*. Odnosi su kod ovih durbina kompliciraniji, jer dužina više nije linearna funkcija omjera f/n , već je prema Roelofsu hiperbolna funkcija. Međutim, praktički se hiperbola može zamijeniti pravcem, najčešće asimptomom, tako da vrijede izvedene relacije i za ovaj durbini (odstupanja mogu se pojaviti samo za vrlo kratke dužine). Korisno je prije mjerenja ove odnose ispitati.

Veličina konstantnog paralaktičkog kuta može se izračunati. Prema sl. 24 imamo:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2x} = \frac{l}{2Kl} = \frac{1}{2K}.$$

Kako je α malen, može se pisati:

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2K} \text{ (} \alpha \text{ u radijanima).}$$

Iz toga slijedi:

$$\alpha = \frac{1}{K}.$$

$$\text{Za } K = 100, \quad \alpha = 34' 22,65''.$$

Slika 23. Mjerna letva

Uz konstante $K = 100$, $k = 0$ dobiva se jednostavan izraz za dužinu: $D = 100 l$. Ako konstanta K odstupa od vrijednosti 100, moraju se uzimati korekcije. Međutim, kod durbina s objektivom od dva dijela (kao što je i teleobjektiv durbina s unutrašnjim izoštravanjem) može se izvršiti korekcija konstante promjenom žarišne daljine objektiva.

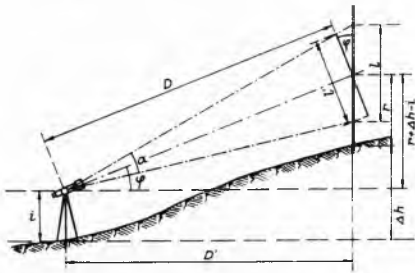
Srednja nit nitnog križa mora se nalaziti tačno u sredini između daljinomjernih niti, te na taj način služi kao kontrola očitavanja odsječka l .

Tačnost mjerenja Reichenbachovim daljinomjerom iznosi $\sim \pm 10 \dots 20$ cm.

Primjena Reichenbachova daljinomjera kod kosih vizura. Kod kosih vizura neće letva biti okomita na vizuru jer se ona postavlja na terenu uvijek vertikalno. Da bi se izračunala kosa dužina D , nagnuta pod kutom φ , potrebno je očitani odsječak l na letvi reducirati na l' (sl. 25), jer je:

$$D = K l' + k.$$

Kako je $l' = 2 \frac{l}{2} \cos \varphi$, slijedi $D = K l \cos \varphi + k$.



Sl. 25. Mjerenje Reichenbachovim daljinomjerom uz nagnutu vizuru

Kod geodetskih mjerenja potrebne su reducirane dužine D' ; ove ćemo dužine dobiti prema jednadžbi:

$$D' = D \cos \varphi = (K l \cos \varphi + k) \cos \varphi.$$

Radi jednostavnosti može se praktički uzeti dovoljno tačno: $k \cos \varphi \approx k \cos^2 \varphi$, jer je k malen, pa se dobiva:

$$D' = (K l + k) \cos^2 \varphi.$$

To znači da je kod kosih vizura potrebno mjeriti i vertikalni kut φ da bi se mogla izračunati horizontalna (reducirana) dužina.

Kod geodetskih mjerenja treba uz horizontalne dužine (potrebne radi horizontalnog predočivanja terena) mjeriti i visinske razlike (potrebne za visinsko predočivanje). Iz očitane dužine l odsječka na letvi i izmjenjenog vertikalnog kuta φ može se izračunati i visinska razlika tačaka Δh . Prema sl. 25 imamo:

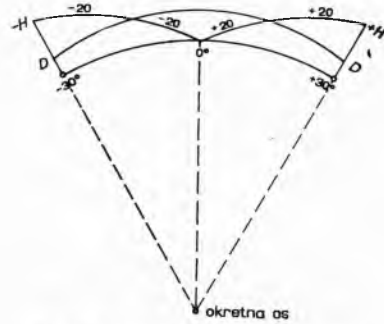
$$\begin{aligned} r + \Delta h - i &= D' \operatorname{tg} \varphi = (K l + k) \cos^2 \varphi \operatorname{tg} \varphi, \\ r + \Delta h - i &= (K l + k) \cdot \frac{1}{2} \sin 2 \varphi, \\ \Delta h &= (K l + k) \cdot \frac{1}{2} \sin 2 \varphi + i - r, \end{aligned}$$

gdje je i visina okretne osi durbina iznad tačke na terenu, a r visina vizurne tačke na letvi koju pogađa srednja nit. Za izračunavanje izraza $(K l + k) \cos^2 \varphi$ i $(K l + k) \cdot \frac{1}{2} \sin 2 \varphi$ upotrebljavaju se posebne tablice (Jordan) ili računala.

Ovakva metoda snimanja terena, kod koje se neposredno određuje situacioni i visinski položaj novih tačaka, naziva se *tahimetrijom*, a instrumenti koji u tu svrhu služe, *tahimetrima*.

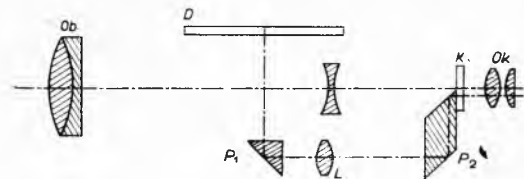
U novije vrijeme razvili su se daljinomjeri koji su do maksimuma usavršili Reichenbachov princip mjerenja. U prvom redu to su instrumenti kojima je povišena tačnost očitavanja primjenom specijalnog oblika nitnog križa ili specijalnih letava (npr. Breithaupt-Heckmannov daljinomjer), a u drugom redu to je veća grupa daljinomjera na kojima se pri mjerenju direktno očitava reducirana dužina i visinska razlika. Daljinomjeri s direktnim očitavanjem horizontalne udaljenosti dviju tačaka nazivaju se *autoredukcionim daljinomjerima*, a ako su građeni na principu nitnih daljinomjera, nazivaju se i *dijagram-tahimetrima*. U nastavku opisać će se tri izvedbe suvremenih dijagram-tahimetara.

Hammer-Fennelov dijagram-tahimetar. Prof. Hammer riješio je pitanje autoredukcionog mjerenja dužina time što je uzeo, umjesto daljinomjernih crtica, daljinomjerne krivulje nanesene na staklenoj pločici (sl. 26). Ova pločica nalazi se u ravnini okomitoj



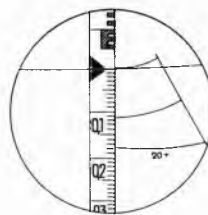
Sl. 26. Dijagram prema prof. Hammeru

na horizontalnu os durbina, a preslikava se optičkim putem u ravninu zaslona ispred okulara. Temeljna ili nulta krivulja dijagrama ima središte zakrivljenosti u horizontalnoj osi, a radijus joj je 30 mm. Daljinomjerna krivulja ($D-D$) konstruirana je tako da se udaljenost od temeljne krivulje postepeno smanjuje, te se kod nagnutih vizura očitavaju manji odsječci na letvi, koji množeni s konstantom (obično 100) daju horizontalnu dužinu. Konstruirana je i visinska krivulja $H-H$ koja omogućava, čitanjem odsječka prema nultoj krivulji, mjerenje visinske razlike između okretne osi durbina i tačke na letvi koju pogađa nulta krivulja (očítani odsječak množi se konstantom 20). Uzimajući u obzir visinu instrumenta i i visinu repa na letvi r , dobiva se visinska razlika tačaka terena. Optički sistem koji preslikava dijagram (sl. 27) sastoji se od objektiva L i prizama P_1 i P_2 čvrsto povezanih s durbinom. Kako je pločica D s dijagramom čvrsta i ne pomiče se kad se zakreće durbina, prizma će P_1 pri zakretanju durbina prenositi u vidno polje različite dijelove dijagrama, pa će se u ravnini nitnog križa pojavljivati različiti razmaci. Prizma P_2 zaklanja polovinu vidnog polja, što je nedostatak ove konstrukcije. Nitni



Sl. 27. Shema durbina Hammer-Fennelovog tahimetra

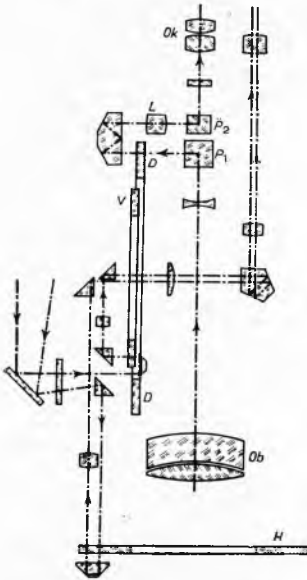
križ u ravnini zaslona K ima horizontalnu nit koja prelazi preko cijelog vidnog polja. Kod justiranog dijagrama mora nulta krivulja tangirati horizontalnu nit pri svakom položaju durbina. Osim toga pri horizontalnom položaju durbina mora biti ishodište kri-



Sl. 28. Očitavanje dijagram-tahimetra Hammer-Fennel (horizontalna udaljenost $0,115 \times 100 = 11,5$ m, visinska razlika $0,177 \times (+20) = +3,54$ m)

žulva u vizurnoj osi. Sl. 28 prikazuje izgled krivulja i slike letve u vidnom polju. U novijim konstrukcijama postoje dvije visinske krivulje s konstantama 10 i 20.

Dijagram-tahimetar Dahlta (prema konstruktoru ing. Dahlu) ima određene prednosti. To je u prvom redu neprikriveno vidno polje i uspravna slika. Na sl. 29 prikazan je hod zraka svjetlosti. Zrake koje ulaze u durbina dovode se preko zasebnog optičkog sistema P_1 na stakleni krug D s dijagramom, gdje se stvara slika



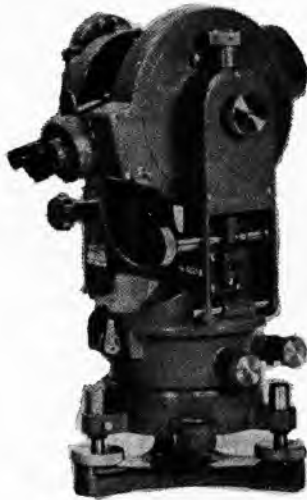
Sl. 29. Hod zraka u dijagram-tahimetru Dahlte 020 (novija konstrukcija)

letve. Optički sistem L i P_2 prenosi slike dijagrama i letve u ravninu zaslona ispred okulara. Prizme P_1 i P_2 zajedno čine jednu izvedenu Porrovu kombinaciju prizama, tj. jedan preokretni sistem. Konstante su: za dužine 100, a za visinske razlike 10, 20 i 100.

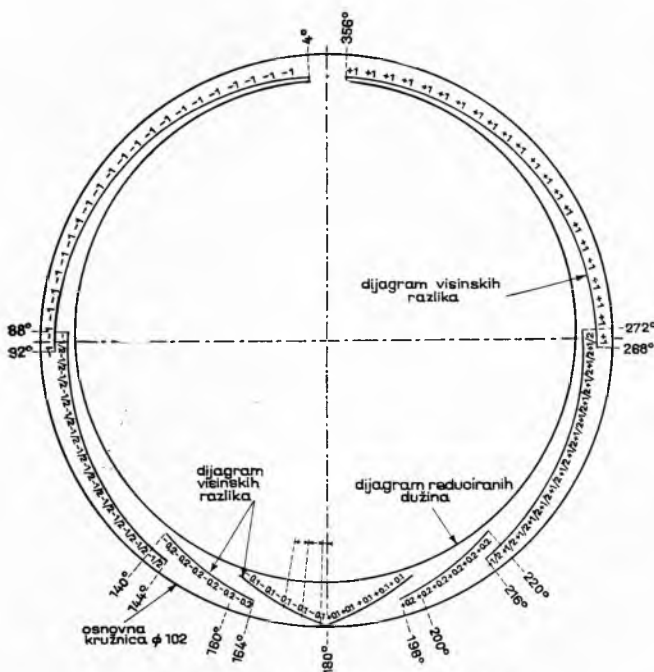
Na slici je shematski prikazano i preslikavanje slike podjele horizontalnog kruga H i vertikalnog kruga V u isto vidno polje mikroskopa neposredno uz okular durbina, što je odlika suvremenih konstrukcija instrumenata.

Dijagram-tahimetar RDS (redukциони daljinomjer za vertikalnu letvu).

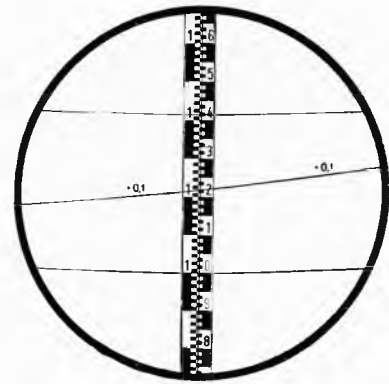
Ovaj u praksi vrlo često primijenjeni dijagram-tahimetar (sl. 30) ima sličan hod zraka svjetlosti pri preslikavanju dijagrama kao i dijagram-tahimetar Dahlta. Međutim, dijagramske krivulje na staklenom limbu i vertikalni krug nalaze se na suprotnim stranama durbina. Prednost je ovog tahimetra u tome što specijalni prenos zupčanika omogućuje prenos zakreta durbina na krug s dijagramom u trostrukom iznosu. Zbog toga su krivulje ucrtane položene preko čitavog kruga, one su u vidnom polju manje skošene, pa je time tačnost očitavanja veća (sl.31).



Sl. 30. Dijagram-tahimetar RDS



Sl. 31. Staklena pločica s dijagramom RDS



Sl. 32. Očitanje RDS (dužina 41,3 m, visinska razlika $+0,1 \times 21,7 = +2,17$ m)

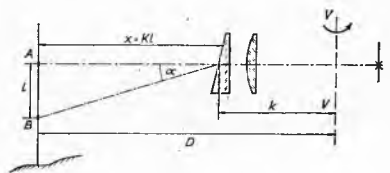
Konstante za RDS iznose: za dužine 100, za visinske razlike 10, 20, 50 i 100. Sl. 32 prikazuje očitavanje.

Tačnost mjerenja dužina dijagram-tahimetrima otprilike odgovara tačnosti mjerenja Reichenbachovim daljinomjerom. Međutim, kod strmijih vizura ona je nešto manja zbog smanjenja paralaktičkog kuta.

DALJINOMJERI S DVOSTRUKIM SLIKAMA

Daljinomjeri s dvostrukim slikama mjere dužinu na osnovu razmaka pomaknute slike od nepomaknute. Pomaknuta slika nastaje optičkim djelovanjem posebnog optičkog elementa ili sistema. Veličina pomaka daje promjenljivu bazu u paralaktičkom trokutu, a konstantan paralaktički kut određen je optičkom funkcijom. Ovi daljinomjeri imaju niz prednosti pred nitnim daljinomjerima. U prvom redu primjenjuje se uglavnom horizontalna letva, što gotovo isključuje štetne utjecaje diferencijalne refrakcije. Pri očitavanju nema paralakse (relativnog pomaka slike uslijed pomaka oka ispred okulara) zbog toga što su pomaknuta i nepomaknuta slika uvijek u istoj optičkoj ravnini, što kod daljinomjera s nitima može biti samo izuzetno.

Otklon zrake za određeni paralaktički kut može se postići na različite načine, npr. kutnim zrcalom ili parom prizama pred objektivom, pomičnim translatorskim klinom, zakretnom lećom, pomičnom lećom (pomakom okomitim na os objektiva), pomakom polovine rasječene leće po kliznoj plohi, i sl. Međutim u praktičnim izvedbama afirmirao se u te svrhe stakleni klin određenog prelomnog kuta, koji se stavlja ispred objektiva i pokriva jedan njegov dio (sl. 33). Uviziramo li durbinom neku tačku A , slika će te tačke biti u presjeku nitnog križa.

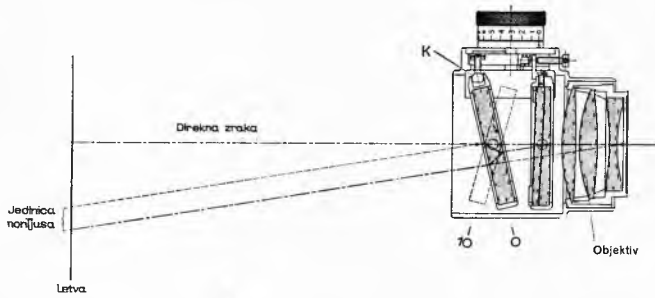


Sl. 33. Stakleni klin kao daljinomjerni uređaj

Prekrijemo li čitav objektiv durbina klinom, slika tačke A više neće pasti u presjek nitnog križa, već će biti otklonjena za određeni iznos u zavisnosti od prelomnog kuta i indeksa loma klina. Ako klin prekriva samo dio objektiva (npr. srednji dio, što je povoljno zbog simetričnijeg prolaza zraka otklonjene i neotklonjene slike kroz oko opažača, čime se smanjuje veličina personalne pogreške pri mjerenju), nastat će dvostruke slike. Odaberemo li odnose takve da veličina otklona odgovara paralaktičkom kutu $34^{\circ} 22,65''$ ($\alpha = 0,01$ rad), veličina će pomaka, očitana na letvi, množena s konstantom 100 (vidi Reichenbachov daljinomjer) dati udaljenost od letve do klina. (Klin pri tom mora biti postavljen tako da glavni presjek klina bude horizontalan.) Mjerena dužina će biti:

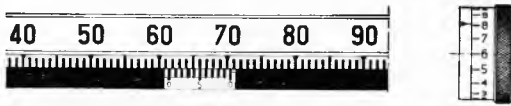
$$D = x + k = \frac{l}{\alpha} + k \quad (\alpha \text{ u radijanima}), \quad D = 100l + k,$$

gdje je k adiciona konstanta. Da bi adiciona konstanta bila jednaka nuli, pomaknuta je nultačka letve prema indeksu za očitavanje za iznos $k/100$.



Sl. 34. Daljinomjerni klin s mikrometrom (DM 1) (shema i vanjski izgled)

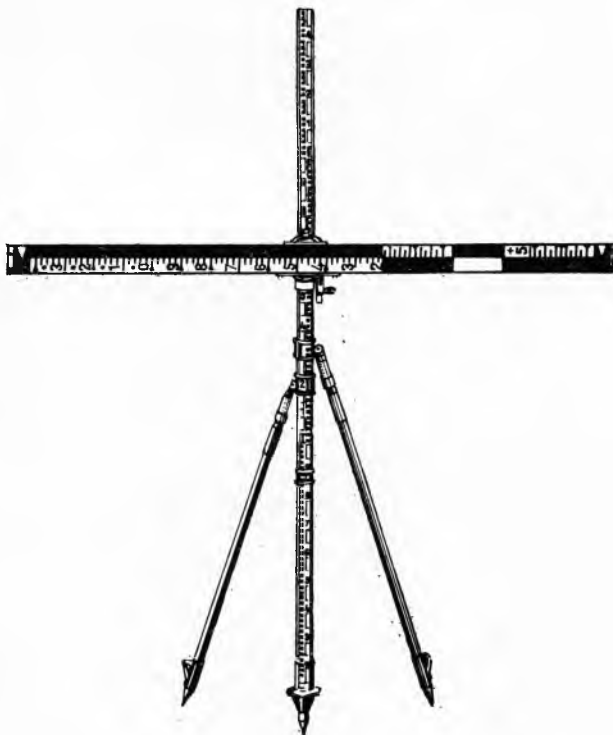
Letva se postavlja na stativ okomito na dužinu, a ima odgovarajuću podjelu i, obično, nonijus za očitavanje. Razmak između nulte crte glavne podjele i nulte crte nonijusa daje bazu koju očitavamo. Ako je npr. letva podijeljena na centimetre, pomak će nam nulte crte nonijusa za određeni broj podjela dati pune metre dužine, a ako je nonijus podijeljen na 20 dijelova, pomoću njegove podjele moći ćemo očitavati direktno 5 cm. Neke konstrukcije ima-



Sl. 35. Primjer očitavanja pomoću DM 1 (61,58)

ju i posebni mikrometar s plan-pločom, pa je moguće direktno očitavati centimetre dužine. Klin kao daljinomjerni uređaj stavlja se na objektiv durbina kao dodatak. Sl. 34 prikazuje takav daljinomjerni uređaj s mikrometrom, a sl. 35 prikazuje primjer očitavanja.

Mjerni klin mora biti vrlo precizno brušen. Za tačnost mjerenja dužina od 2 cm/100 m potrebna je tačnost ocjene pomaka slike od 0,2 mm, a to znači za dužinu od 100 m tačnost kuta od 0,4". Da se postigne konstanta 100, neki su klinovi bili kombinirani s odgovarajućim letvama (što je nepraktično), a postoji i mogućnost korekcije malim naginjanjem klina, ili pomoću posebnog korekcionog pretklina koji se može rotirati. Radi uklanjanja kromatskih aberacija, klin se izrađuje kao akromatski klin, sastavljen



Sl. 36. Specijalno bojena mjerna letva za mjerenje daljinomjernim klinom kao dodatkom objektivu durbina

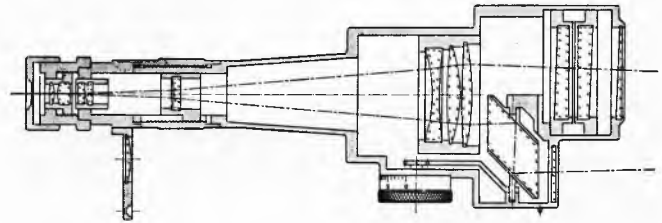
zapravo od dva klina odgovarajućih prelomnih kuteva i odgovarajućih indeksa loma.

Postoji još pitanje kako odvojiti pomiješane dvostruke slike. Kada klin služi kao daljinomjerni dodatak koji se stavlja pred objektiv durbina, slike se mogu odvojiti samo primjenom specijalno obojenih letava. Polovine polja gdje nema podjele letve ili nonijusa obojene su crno (sl. 36). Time se postiže da se istovremenim djelovanjem klina i objektiva, kao i samog objektiva (nepokrivenog dijela), bijela i crna ploha sastavljaju u sivu miješanu sliku, a crna podjela se ističe.

Daljinomjери s klinom kao dodatkom daju kod nagnutih vizura kose dužine, pa se one moraju reducirati.

Autoredukcionni daljinomjери s dvostrukim slikama. Kod instrumenata koji su specijalno izrađeni kao daljinomjери s dvostrukim slikama, odvajanje slika izvedeno je mehanički (pomoću dijafragme uzduž osi durbina) ili optički (npr. pomoću biprizme i odgovarajućih zaslona).

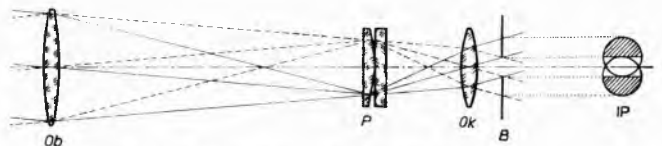
Daljinomjerni uređaj se sastoji od dva akromatska klina koji mogu rotirati oko zajedničke osi u suprotnom smislu (*Boškovićevi klinovi*). Pri horizontalnom durbinu klinovi daju maksimalni otklon koji odgovara veličini paralaktičkog kuta konstante 100. Pri nagibu durbina za određeni kut zaokrenu se i klinovi preko prenosa zupčanika tako da se paralaktički kut smanjuje proporcionalno s kosinusom kuta zakreta. Time se automatski očitava i pri nagnutom položaju durbina horizontalna udaljenost. Adiciona konstanta je nula, što je postignuto odgovarajućom konstrukcijom letve (početnim položajem indeksa nonijusa), kao i optičkog mikrometra. Male korekcije adicione konstante za strme vizure očitavaju se na samom instrumentu. Ispred daljinomjernih klinova nalazi se korekcionni klin za multiplikacionu konstantu.



Sl. 37. Optička shema durbina autoredukcionog daljinomjera RDH

Vrlo su poznati daljinomjери ovog tipa RDH (redukcionni daljinomjer s horizontalnom letvom), REDTA (redukcionni tahimetar) i DK-RT.

Sl. 37 prikazuje optičku shemu durbina autoredukcionog daljinomjera RDH. Odvajanje slika izvedeno je primjenom biprizme P i zaslona B (sl. 38). Izlazna pupila (IP), koja se nalazi u ravni



Sl. 38. Optička shema odvajanja slika kod RDH

zaslona, prikazana je u presjeku sa strane. Donja polovina gornjeg kružića izlazne pupile sadrži samo one zrake iz prostora predmeta koje prelaze gornju polovinu objektiva i koje nisu otklonjene klinovima, a gornja polovina donje izlazne pupile sadrži samo one zrake koje su prošle kroz klinove. Sve ostale zrake zadržava zaslon B. Stoga se u durbinu vide dvije različite polovine slike (jedna prema drugoj pomaknute), odijeljene horizontalnim bridom biprizme P. Pri mjerenju stavlja se ova razdvojna linija na sredinu horizontalne letve. Tada vidimo iznad srednje linije glavnu podjelu letve otklonjenu pomoću klinova, a ispod te linije neotklonjenu sliku nonijusa. Ovom konstrukcijom omogućeno je da dvostruke slike budu ne samo odvojene već i da prolaze istim dijelovima oka opažača (vidi presjek izlazne pupile na sl. 38), što je vrlo važno zbog uklanjanja personalnih pogrešaka uslijed nesimetričnosti optičkog sistema oka.

Rombična prizma ispred objektiva upotrebljava se i kao optički mikrometar, a zakreće se pomoću posebnog vijka s podjelom na bubnju. Letva je podijeljena na intervale od 2 cm (a to znači za mjerenu dužinu 2 m), nonijus ima 10 dijelova, a broj podjela na bubnju iznosi 20, iz čega slijedi da je vrijednost jedne podjele bubnja 1 cm (sl. 39). Optičkim mikrometrom izvrši se prije očitavanja koincidencija crte nonijusa i crte glavne podjele.



Sl. 39. Primjer očitavanja (12,4 m + očitavanje bubnja)

Boškovićevi klinovi daljinomjera RDH primjenjuju se i za mjerenje visinskih razlika. Pomoću posebnog dugmeta moguće je zakrenuti klinove u drugi ishodišni položaj tako da je za horizontalni durbin otklon nula. Kad se durbin nagiba, raste kut otklona uslijed istodobnog zaokretanja klinova proporcionalno sa sinusom kuta, te pomak slike množen s konstantom 100 daje visinsku razliku. Tačnost mjerenja visinske razlike iznosi 4-5 cm/100 m, tačnost mjerenja dužina 1-2 cm/100 m.

Na vrlo sličan način građeni su i *autoredukциони daljinomjeri REDTA i DK-RT* s time da se sistem optičkog odvajanja slika ponešto razlikuje i što nema mogućnosti mjerenja visinskih razlika pomoću klinova. Visinske razlike se dobivaju množenjem mjerene dužine s tangensom visinskog kuta, koji se očitava prilikom mjerenja.

Automatizirani daljinomjeri. U najnovije vrijeme razvijaju se konstrukcije automatiziranih daljinomjera. Jednu takvu konstrukciju predstavlja *Code-tahimetar KERN* (Švicarska). To je, u stvari, automatizirani daljinomjer DK-RT. Pri mjerenju fotografski se snima kodirana podjela horizontalnog i vertikalnog kruga (limba), kao i položaj daljinomjernih klinova. Istovremeno se registriiraju baze na letvi, kojih ima tri za tri različita stepena udaljenosti. Filmska kamera nalazi se postrance na instrumentu i film se u njoj lako mijenja; na 10 m filma može se registrirati ~ 250 tačaka. Snimljeni podaci prenose se na perforiranu traku na konverteru tipa ZUSE Z-84 i pomoću nje podaci se automatski obrađuju elektroničkim računskim strojem.

ELEKTRONIČKI DALJINOMJERI

Elektronički daljinomjeri primjenjuju elektromagnetske valove za mjerenje udaljenosti. Ovi valovi se šire kroz zrakoprazan prostor brzinom $c = 299\,792,5 \pm 0,4$ km/s (vrijednost usvojena od Međunarodne geodetske i geofizičke unije). Prisustvo atmosfere i promjene koje se pojavljuju pri kretanju duž površine zemlje uzimaju se u obzir prilikom obrade rezultata. Elektromagnetski val prevali dakle u vremenu od 1 mikrosekunde ($1 \mu s = 10^{-6}$ s) udaljenost od ~ 300 m. Mjerenje udaljenosti elektroničkim daljinomjerima vrši se mjerenjem vremena koje protječe između polaska i povratka valnog impulsa (impulsni daljinomjeri), odnosno uspoređivanjem faze i mjerenjem fazne razlike između dva vala, pri čemu za određivanje udaljenosti služi dužina upotrijebljenog elektromagnetskog vala (fazni daljinomjeri).

Primopredajnik *impulsnih elektroničkih daljinomjera*, postavljen na mjestu odakle se mjeri, zrači elektromagnetske valove u vidu slijeda impulsa. Kad valovi stignu do cilja čija se udaljenost želi izmjeriti, oni se od njega odbijaju i vraćaju prema mjernom mjestu (po principu običnog radara) ili pak bivaju primljeni od pomoćnog primopredajnika smještenog na cilju i od njega s određenim zakašnjenjem ponovo zračeni prema izlaznoj tački (po principu sekundarnog radara). Ako je između polaska i povratka valnog impulsa proteklo vrijeme t mikrosekundi, iznosi udaljenost D između mjernog mjesta i cilja, koju valovi moraju proći dva puta, $D = \frac{1}{2} \cdot 299,7925 \cdot t$ metara. Mjerenje daljine po običnom radarskom principu nije za potrebe geodezije dovoljno tačno. Zbog toga se za svrhe premjeravanja primjenjuju uvijek uređaji koji rade po principu sekundarnog radara, tj. s pomoću ponavljača.

Kod *faznih daljinomjera* mjeri se fazna razlika između dva vala, npr. između zračenog i povratnog vala, s pomoću uređaja koji mogu da izmjere razlike faze od jedne stotnine valne du-

žine ili čak manje. Iz mjerene fazne razlike zna se koliki je dio puta prešao elektromagnetski val unutar jedne valne dužine. Tačnost takvog mjerenja daljine zavisi u prvom redu od upotrijebljene valne dužine (odn. frekvencije), tj. od dužine puta što ga prevali elektromagnetski val u toku jedne periode. Mana je ove metode što se može daljina odrediti samo do udaljenosti jedne valne dužine. Ako je udaljenost do cilja veća od jedne valne dužine, mjerni će rezultat dati uvijek samo onaj dio udaljenosti koja prelazi mnogokratnik punih valnih dužina. Ova se neodređenost otklanja grubljim mjerenjima po istom postupku, a sa većom valnom dužinom koja sadrži određen broj, npr. 10, manjih valnih dužina.

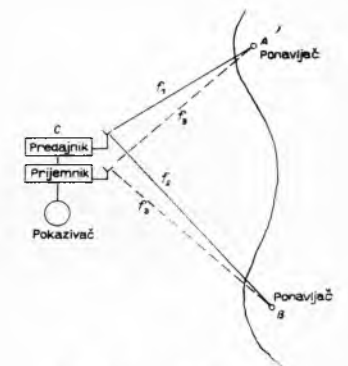
Neki sistemi koji rade na ovom principu služe se pri mjerenju povratnim valom, a kod drugih postoje na dvije određene tačke na terenu fazno usklađeni predajnici koji zrače dva vala prema pomičnom objektu na kome se vrši mjerenje fazne razlike između njih. U prvom slučaju je linija na kojoj se negdje nalazi pokretni objekt kružnica, a u drugom hiperbola (v. *Elektronička navigacija*).

Predstavnicima impulsnih elektroničkih daljinomjerskih sistema jesu: SHORAN, RADAR i EPI, a faznih LORAC, RAYDIST, RANA, DECCA, Telurometar i drugi, kao i elektrooptički daljinomjerski sistemi. Ovdje ćemo opisati samo neke od njih.

Shoran je impulsni radio-navigacijski sistem koji je ranije služio za navođenje i navigaciju aviona. Njegov naziv je kovanica prema engl. *Short Range Navigation* — 'navigacija na manje udaljenosti'. Ovaj sistem, koji radi na principu sekundarnog radara, primjenjuje se prilikom geodetskih premjeravanja kao elektronički daljinomjer za veće udaljenosti (i preko 200 km). U tom svojstvu on može da služi za određivanje dužine stranica trokuta triangulacijske mreže, za određivanje pozicije aviona prilikom geodetskog snimanja ili za određivanje pozicije hidrografskog broda koji vrši na pučini neka hidrografska mjerenja. Radio-uredaji sistema Shoran rade obično s vrlo kratkim valovima, ali se za neke specijalne namjene primjenjuju i druge valne dužine.

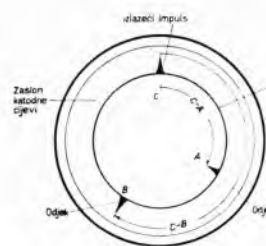
Uređaj Shorana se sastoji od tri jedinice. Glavna primopredajna postaja se nalazi na pokretnom objektu, npr. avionu, gdje se mjere i udaljenosti. Dvije pomoćne postaje sa po jednim ponavljačkim primopredajnikom postavljene su na dva pogodno odabrana, povišena i među sobom dovoljno udaljena mjesta na zemlji.

Postupak mjerenja objasniti će se s pomoću sl. 40. Primopredajnik na pokretnom objektu zrači slijedove radio-impulsa naizmjenice na dvije frekvencije f_1 i f_2 . Valove frekvencije f_1 prima ponavljač u tački A, a valove frekvencije f_2 ponavljač u tački B. Oba ponavljača zrače sa tačno određenim vremenskim zakašnjenjem signale jednake primljenima prema pokretnom objektu C na frekvenciji f_3 . Prijemnik glavne postaje prima te signale i zorno ih prikazuje na ekranu katodne cijevi svog J-pokazivača (v. *Radar*).



Sl. 40. Princip SHORAN

Vremenska linija ima na pokazivaču te vrste kružni oblik (sl. 41). Ta svjetleća linija nastaje na ekranu katodne cijevi time što se snop elektrona kreće po kružnici tačno određenom brzinom. On kreće na čeno u trenutku odašiljanja svakog pojedinog impulsa i nakon što pređe cijeli krug vraća se na polaznu tačku. Trenutni položaj zrake elektrona predstavlja dakle mjerilo za vrijeme, pa zato se ta linija naziva i vremenskom. Polazak impulsa i prijem signala očituju se na ekranu pokazivača kao otklon mlaza elektrona u vidu



Sl. 41. Impulsi izlaznog signala i odjeka na vremenskoj liniji

svjetlećih zubaca, upravljenih za stanicu A prema obodu, a za stanicu B prema centru. Udaljenost od početnog zupca do zupca povratnog signala mjerilo je za vrijeme koje protekne od polaska do povratka vala, a ona je mjerilo i za predenu udaljenost, pa je stoga mjerni uređaj baždaren izravno u udaljenostima. Zakašnjenje do kojeg dolazi zbog retransmisije u ponavljajima eliminira se pomicanjem početne značke. Cijeli sistem biva sinhroniziran od jedne od stanica na zemlji. S obzirom na brzinu kretanja aviona, kinokamerom se stalno snimaju svi podaci sa skala i pokazivača zajedno s vremenom koje pokazuje sat, radi kasnije analize. Mjerenje udaljenosti vrši se na taj način da se kontrolne značke mjernog uređaja stalno održe u koincidenciji sa zupcem povratnog vala na ekranu pokazivača. To se postiže okretanjem posebnog mjernog mehanizma koji odmah pokazuje numerički iznos daljine. Nakon prvog grubog mjerenja vrši se rastezanje vremenske linije oko značke povratnog signala, što omogućuje još tačnije određivanje daljine.

Radi utvrđivanja pozicije aviona prilikom geodetskog snimanja ili broda prilikom hidrografskog premjeravanja, dovoljno je obično mjerjenje daljine od dviju tačaka. Radi utvrđivanja dužine stranice triangulacijskog trokuta potrebna je veća tačnost. Zbog toga mora avion između obje tačke da leti više puta, npr. po putanjama u obliku brojke osam. Iz velikog broja mjernih podataka dobija se grafički parabola čije tjeme pokazuje stvarnu udaljenost na spojnici između obje tačke. Nakon redukcije tih vrijednosti na horizontalu i nakon korektura za odstupanje brzine širenja radiovalova dobiva se stvarna dužina kraka trokuta između tačaka A i B .

Relativna tačnost mjerenja dužine iznosila je $\sim 1 : 15\,000$, ali je metoda mjerenja usavršena, pa je razvijena metoda HIRAN (SHORAN povišene tačnosti) koja omogućuje relativne tačnosti mjerenja $1 : 100\,000$ i veće. Pri mjerenju većih dužina veća je i relativna tačnost jer je pogreška mjerenja po ovom postupku gotovo nezavisna od dužine.

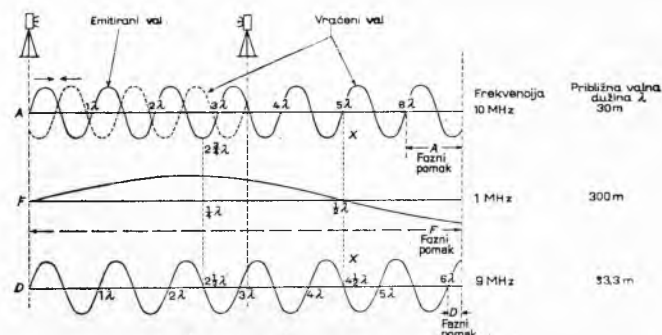
Telurometar firme Tellurometer Ltd., Cape Town, primjer je elektroničkog mikrovalnog faznog daljinomjera. On služi za mjerenje udaljenosti između dvije tačke na terenu koje mogu biti udaljene jedna od druge 150 m do 50 km; u vrlo povoljnim uvjetima može udaljenost biti i preko 100 km. Uređaj se sastoji od dvije jedinice koje obje rade na valnom području od ~ 10 cm (~ 3000 MHz). Glavni predajno-prijemni uređaj sa fazomjernim uređajem i pokazivačem vremena nalazi se na mjestu odakle se mjeri udaljenost, a pomični ponavljajući primopredajnik nalazi se na mjestu do kojeg se želi izmjeriti udaljenost. Uređaj radi na principu uspoređivanja faza zračenog radio-vala i vala što ga pomoćna postaja nakon prijema ponovo zrači. Međutim, uspoređivanje faze ne vrši se na samom valu nosiocu od 10 cm, već na znatno duljem valu, tj. na znatno nižoj frekvenciji kojom je val nosilac u polasku i u povratku moduliran. Glavni uređaj zrači dakle neprekidno val nosilac moduliran jednom od mjernih frekvencija prema ponavljajućoj postaji, koja tu emisiju prima. Ponavljajuća postaja stalno emitira svoj val nosilac koji ima drugu frekvenciju, ali je moduliran upravo primljenom mjernom frekvencijom. U principu Telurometar za mjerenje udaljenosti upotrebljava četiri frekvencije i to: 0,01 MHz, 0,1 MHz, 1 MHz i 10 MHz, kojima se uzastopno modulira val nosilac i mjeri fazna razlika.

Prvo mjerenje vrši se frekvencijom 0,01 MHz, što odgovara valnoj dužini $\lambda_1 = 30\,000$ m. Ako pretpostavimo da cijela udaljenost ($2D$) što je elektromagnetski val mora da prevali od glavne do pomoćne stanice (D) i opet natrag iznosi npr. 23 666,66 m, mjerac će faze na glavnoj stanici izmjeriti faznu razliku od ~ 79 podjelaka, što će reći da između polaznog i povratnog vala postoji

fazna razlika od $\Delta\varphi_1 = \frac{360}{100} \cdot 79 \approx 284^\circ$. To izraženo kao udaljenost iznosi $2D = 30\,000 \times 0,79 = 23\,700$ m. Prava udaljenost iznosi polovinu toga, tj. $D = 23\,700 : 2 = 11\,850$ m. Time je tražena udaljenost grubo određena (prva brojka). Zatim se mjeri fazna razlika s idućom višom mjernom frekvencijom od 0,1 MHz ($\lambda_2 = 3000$ m). Ovim mjerenjem više nismo u mogućnosti odrediti koliko cijelih valnih dužina ide u mjerenu udaljenost ($n \times \lambda_2$), što nam je uostalom već poznato iz prvog mjerenja, već možemo tačno odrediti samo ostatak. Dvostruka

udaljenost je onda $2D = n\lambda_2 + \text{ostatak}$. Ako u našem primjeru prilikom drugog mjerenja izmjerimo razliku faze od 88 podjelaka, to znači da ostatak iznosi $3000 \times 0,88 = 2620$ m, a pređeni put vala $2D = 7 \times 3000 + 2620 = 23\,620$ m. Time je tačno određena i druga brojka. Na isti način izvršimo mjerenje i s idućim mjernim frekvencijama, pa na taj način u datom primjeru dobijamo uz frekvencije 1 MHz i 10 MHz fazne razlike od 88 i opet 88 podjelaka, što daje tačan prevaljeni put vala $2D = 23\,666,66$ i izmjerenu udaljenost $D = 11\,833,33$ m.

Sa čisto tehničkih razloga kod telurometra ne vrši se modulacija vala nosioca frekvencijama $f_1 = 0,01$ MHz, $f_2 = 0,1$ MHz, $f_3 = 1$ MHz i $f_4 = 10$ MHz, već sa četiri frekvencije: $f_A = 10$ MHz, $f_B = 9,99$ MHz, $f_C = 9,9$ MHz i $f_D = 9$ MHz, iz kojih se kao diferencije mogu dobiti sve ranije spomenute frekvencije, npr. $f_A - f_D = f_1$, tj. $10 - 0,99$ MHz = 0,01 MHz. Isto tako dobijaju se odbijanjem jedne izmjerene fazne razlike od druge i fazna zakašnjenja koja odgovaraju ranijim frekvencijama f_1 , f_2 , f_3 i f_4 . Koristeći se tom činjenicom mjere se prilikom rada s telurometrom fazna zakašnjenja za četiri modulationske mjerne frekvencije f_A do f_D , pa se kao diferencije među njima dobijaju faze koje odgovaraju naprijed spomenutim frekvencijama i na osnovu njih se izračunava udaljenost. Kad se mjere udaljenosti veće od 15 km, treba dakako znati u kome se odsjeku od 15 000 m nalazi tačka od koje se mjeri udaljenost, što obično nije teško.



Sl. 42. Prikaz mjernih valova Telurometra

Na slici 42 prikazano je kako se neodređenost udaljenosti kod dijagrama A može otkloniti mjerenjem nižom frekvencijom (dijagram F) i kako je razlika faze između frekvencija 10 MHz i 9 MHz (dijagrami A i D) na svakom mjestu jednaka razlici faze dijagrama frekvencije 1 MHz.

Za grublja mjerenja očitavanja se izvode u dva ponavljanja, a za fina mjerenja u 10-20 ponavljanja. Čitavo mjerenje dužine na opisani način, s postavljanjem instrumenta, iskusni par operatora obavi za ~ 30 minuta.

Što se tiče terenskih uslova pri mjerenjima, pogodni su valoviti i zarašteni tereni. Kako stožasti snop emitiranih valova čini kut od $\sim 10^\circ$, ne može se u cjelini kretati iznad terena, pa su upravo zbog toga vrlo nepogodni ravni i čisti tereni, gdje umjesto difuzne refleksije nastaju usmjerene refleksije valova koje kvare mjerenja. U tom slučaju važna su i električna svojstva terena. Za optimalna mjerenja poželjno je da stožac valova ne susreće zapreke na stotinjak metara od stanice i da vizura prelazi u čitavom toku bar 15 m iznad terena, a u idealnom slučaju 60 m. Inače nepokretni predmeti i zapreke na dužini ne smetaju mjerenju ako nisu veliki, tj. ako ne sprečavaju prolaz većem dijelu snopa. Relativno mali pokretni objekti nemaju značenja. Mjerenja se mogu provoditi danju ili noću, ali je precizna mjerenja bolje vršiti danju. Idealno je za mjerenja lijepo, suho i sunčano vrijeme s vjetrovom u smjeru dužine. Nepovoljne meteorološke okolnosti (magla, dim, slaba kiša) ne smetaju samom mjerenju. Na stanicama se mjere također pritisak, vlaga i temperatura, kako bi se izvršile korekcije u brzini širenja radio-valova. Nedostatak je mjerenja s radio-valovima što im je brzina širenja u znatnoj mjeri zavisa od vlažnosti i od pritiska zraka. Tačnost mjerenja izražena vjerojatnom pogreškom iznosi $\pm(5 \text{ cm} + 3 \cdot 10^{-6} D)$, gdje je D mjerena dužina. To znači da je za dužine od 5 km relativna pogreška mjerenja $1 : 100\,000$, za dužine od 10 km $1 : 200\,000$, a za dužine preko 30 km već

$\sim 1:300\,000$. Sam instrument ima težinu ~ 12 kp, a čitav pribor s baterijama 6 V, 40 Ah, ~ 45 kp. Stanice telurometra novije konstrukcije (MRA-X) izmjenljive su, pa se stanica odgovarajućim prespajanjem podešava kao glavna ili kao sekundarna.

Na sličnim principima mjere drugi poznati daljinomjeri, kao Distomat, Distametar, Elektrotape, Радиодальномер ВРД.

Distomat DI 50 (Wild) (sl. 43) ima mjereno područje 100 m do 50 km, frekvencija vala nosioca je 10 200...10 500 MHz, područje



Sl. 43. Elektronički daljinomjer Distomat DI 50

temperature mjerenja $-40 \dots +50$ °C, širina zračenja 3°, težina instrumenta $\sim 7,5$ kp (bez kutije za transport), težina ostalog pomoćnog uređaja $\sim 14,5$ kp. Tačnost mjerene dužine je $\pm(2 \text{ cm} + D \cdot 10^{-6})$ do $\pm(2 \text{ cm} + D \cdot 10^{-6})$, u zavisnosti od atmosferskih prilika. Obje stanice su identične i izmjenljive, tj. mogu služiti i kao glavna ili kao sekundarna. Pomoćni uređaj može se instalirati do 15 m daleko od stanice (npr. u automobilu na cesti). Odgovarajuće postepeno zakretanje prespajča (mjerne frekvencije) izvodi se na programskoj ploči obaju instrumenata ovog daljinomjera,



Sl. 44. Kutija za upravljanje i mjerenje Distomatom

a dužina se očitava bez računanja do na 1 cm na odgovarajućem indikatoru (sl. 44). Pri ponovljenom mjerenju prespajča se zakreće samo na glavnoj stanici, a na sekundarnoj stanici mjerenje je automatizirano, tj. bez učešća operatora. Time se znatno skraćuje vrijeme mjerenja. Samo osnovno mjerenje traje do jedne minute, a svako ponavljanje samo 10 sek. Normalni program predviđa 14 finih mjerenja u 20 stepenovanja preko frekvencija 10 210...10 490 MHz. Čitavo mjerenje sa postavljanjem instrumenta traje 15...20 minuta. Sredina iz svih mjerenja daje kosu dužinu, pa se ona reducira na osnovu visinske razlike. Mjerena dužina odgovara srednjim atmosferskim prilikama ($p = 745$ mm Hg, $t = +12$ °C, relativna vlaga 76%) s indeksom loma zraka za mikrovalove 1,000324. Za druge vrijednosti uzima se iz tabela korekcionni faktor.

Distametar ima mjereno područje 50 m...50 km, frekvencija vala nosača je 10 250...10 450 MHz (valne dužine 2,93 do 2,87 cm), težina instrumenta 10 kp. Tačnost mjerenja jednaka je kao Distomata. Svima elektroničkim daljinomjerima s ultrakratkim radio-valovima mogu se u najpovoljnijem slučaju mjeriti dužine do 70 km. Za veće dužine potrebne su veće dimenzije antena.

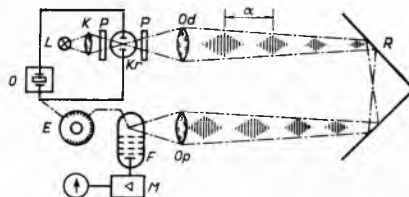
ELEKTROOPTIČKI DALJINOMJERI

Ovi daljinomjeri upotrebljavaju se za mjerenje svjetlosnim valovima koje emitira mjerni instrument na početku mjerene dužine. Na kraju dužine postavlja se reflektor (nema, dakle, skupe sekundarne stanice, što pojeftinjuje čitav uređaj mjerenja), koji ima zadatak da vraća svjetlosne valove prema mjernoj stanici. Mjerni instrument ima, prema tome, dva zasebna precizno izrađena optička sistema, jedan za emisiju svjetlosti a drugi za primanje svjetlosti. Međutim, svjetlosni val valne dužine ~ 600 nm prefino je mjerilo za mjerenje velikih dužina. Zato se svjetlosni valovi upotrebljavaju kao nosioci, a za mjerenje služi val koji se (slično kao i pri mjerenju radio-valovima), modulira time što se valu nosiocu superponira val znatno veće valne dužine. Modulirani mjerni val dobiva se tako da se pravilno ritmički mijenja intenzitet emitirane svjetlosti. U osnovi se mjerenje zasniva u usporedivanju intenziteta emitirane i vraćene svjetlosti. Ako su, npr., intenziteti jednaki, dužina je jednaka cjelobrojnom višekratniku valne dužine modulirane svjetlosti.

Osnovna funkcija elektrooptičkih daljinomjera prema tome je dvojaka: s jedne strane modulacija, emisija i prijem svjetlosnih valova, a s druge, komparacija intenziteta emitiranog i primljenog svjetla.

Među poznate daljinomjere ove vrste idu geodimetri različitih tipova, daljinomjer EOS (Zeiss) i elektrooptički daljinomjeri izrađivani u SSSR, CT-61, CBB-1, ЭОД-1.

Geodimeter. Proizvode se dva osnovna tipa ovog instrumenta: NASM-2 i NASM-4. Svjetlosni valovi moduliraju se pomoću Kerrove ćelije. To je staklena posuda napunjena nitrobenzenom ($C_6H_5NO_2$), u koji su uronjene dvije elektrode priključene na visokofrekventni napon. Djelovanjem izmjeničnog napona na polarizirano svjetlo koje prolazi između elektroda dolazi do zakretanja ravnine polarizacije. Kao polarizatori služe nikoli, koji su jedan u odnosu na drugi zakrenuti za 90°, tako da drugi nikol gasi svjetlo. Kako se Kerrova ćelija nalazi između nikola, dolazi do periodičnog slijeda svjetlosnih impulsa u ritmu izmjeničnog napona. Dobiveni modulirani val određen je frekvencijom izmjeničnog napona. Emisioni optički uređaj projicira taj modulirani val u mjerenu dužinu. Na kraju te dužine val se pomoću ravnog zrcala ili specijalnih prizama (tzv. trostranih prizama), reflektira i vraća prema emisionom instrumentu; tamo prijemni optički sistem svjetlost koncentrira na vrlo osjetljivu fotoćeliju koja svjetlosnu energiju transformira u električnu. Fotoćelijom upravlja kristalni oscilator koji regulira i izmjenični napon Kerrove ćelije, pa fotoćelija prihvaća svjetlo samo u ritmu izmjeničnog napona. U fotoćeliji nastaje na taj način struja proporcionalna produktu napona oscilatora i svjetlosnog toka što ga šalje objektiv. Ova struja dovodi se preko pojačala do mikroampermetra indikatora, pa otklon kazaljke pokazuje vremensku sredinu ovog produkta (sl. 45). Ako je struja jednaka nuli, to znači da je razlika u fazi titrajâ oscilatora i modulirane svjetlosti $\frac{\pi}{2}$ ili $3\frac{\pi}{2}$, a to znači istovremeno da je put od Kerrove ćelije do reflektora i natrag jednak cjelobrojnom višekratniku od $\lambda/2$, odnosno jednokratni put, tj. mjerena dužina, višekratniku od $\lambda/4$. (Kod svjetlosnih valova brda i dolovi jednako



Sl. 45. Pojednostavnjena shema geodimetra. O kristalni oscilator, L izvor svjetlosti, K kondenzator, P polarizator, Kr Kerr-ćelija, O_d objektiv-odašiljač, R reflektor, O_p objektiv-prijemnik, F fotoćelija, M pojačalo, I indikator, E vremenski relej

se ispoljuju, tj. za svakih $\lambda/2$ nastaje tama, pa razmjerniku za dužinu odgovara jedinica $\lambda/2$.) Općenito će dužina biti:

$$D = n \lambda/4 + r.$$

Ostatak r se kod tipa NASM-2 određuje optičkim zaobilaskom svjetla (mijanjem dužine svjetlosnog puta) naknadnim priključenjem zrcala ili prizmi. Stepencičastim uključivanjem svjetlosnog zaobilaska postiže se u indikatoru struja nula, a veličina r se očitava. Kod tipa NASM-4 se ostatak mjeri tako da se između oscilatora i fotoćelije uključi vremenski relej pomoću kojeg se tiranje oscilatora može vremenski pomaknuti prije priključka na fotoćeliju.

Razmak impulsa za prvi kristalni oscilator ovog geodimetra iznosi $\lambda_1 = 10$ m. Određena dužina je zbog toga nesigurna za višekratnik od 2,5 m (budući da je n u datoj formuli nepoznat). Da bi se dužina odredila tačnije, izvodi se mjerenjem daljnjim oscilatorom sa $\lambda_2 = \frac{20}{31} \lambda_1$. Time je nesigurnost višekratnik od 50 m. Zato se mjeri i oscilatorom sa $\lambda_2 = \frac{400}{301} \lambda_1$, pa je nesigurnost data višekratnikom od 1000 m. S tom tačnošću potrebno je stoga poznavati dužinu.

Težina instrumenta NASM-4 iznosi 16 kp, tačnost mjerene dužine je $\pm (1 \text{ cm} + 5 \cdot 10^{-6} D)$, mjerno područje je 15 do 1000 m danju, do 10 km noću.

Instrument se stavlja na lako prenosivi stativ. Za dobivanje struje služi mali agregat s benzinskim motorom i dinomom 110 V za izmjeničnu struju 50 Hz.

Veliki geodimetar NASM-2 upotrebljava se za precizna mjerenja većih dužina. Težina instrumenta je 115 kp, tačnost mjerene dužine $\pm (1 \text{ cm} + 1 \cdot 10^{-6} D)$, mjerno područje 20...50 km.

Daljinomjer EOS (Zeiss). U tom daljinomjeru svjetlost se modulira pomoću ultrazvučne ćelije. Mjerno područje je danju 10...15 km uz povoljne atmosfere prilike, a noću 25 km. Težina instrumenta je 32 kp, tačnost mjerene dužine $\pm (0,5 \cdot 1 \text{ cm} + 2 \cdot 10^{-6} D)$.

Za mjerenje svim elektrooptičkim daljinomjerima potrebna je optička vidljivost između krajnjih tačaka mjerene dužine, ali terenski oblici mnogo manje utječu na tačnost mjerenja nego kod elektroničkih daljinomjera jer su emitirani snopovi uski. Reflektor na kraju dužine vrlo je jednostavan, pa su i mjerenja jednostavnija.

Historijat. Prva mjerenja udaljenosti optičkim putem pojavljuju se u XVII st., kada je pronađen durbini. G. 1674 upotrebljava Montanari u Italiji u tu svrhu durbini s paralelnim nitima u ravnini slike. U Engleskoj primjenjuju sličan uređaj 1770 Watt i Green, a 1810 uvodi Reichenbach u Njemačkoj po njemu nazvani daljinomjer u geodetska mjerenja. Paccoco ob Ucedos izgradio je 1767 monokularni daljinomjer stavivši optičke elemente na krajeve duge cijevi, ali taj je daljinomjer imao sve mane daljinomjera uz dva opažanja. Već 1781 gradi Brander praktičan i upotrebljiv monokularni daljinomjer po shemi sličnoj sl. 3. Ramsden je 1790 pokušao izbjeći potrebu stabilnog postavljanja daljinomjera konstrukcijom daljinomjera s dvostrukim slikama uz mjerenje preklapanjem slike, ali je takvo mjerenje bilo vrlo netačno. Problem je riješio P. Adie svojim patentom od 1860. On je izostavio nitni križ za mjerenja, doveo slike jednu iznad druge i vršio mjerenja udaljenosti na principu koincidencije slike. Barr i Stroud svojim vrlo različitim rješenjima razdvojenih prizmi dali su u razvoju tih daljinomjera bitan prilog. Razvoj stereoskopskih daljinomjera počinje 1866 radovima Macha (koji ističe značaj optičkog povećanja razmaka očiju za prostorno promatranje) i Groussilliersa (1893), koji je konstruirao stereotelemetar sa čvrstom skalom. Ovaj pronalazak preuzeo je E. Abbe, profesor u Jeni, glasoviti konstruktor optičkih instrumenata, u svojoj konstrukciji savremenih stereotelemetara s pokretnom markom.

Pomični stakleni klin prvi je primijenio, kao dvostruki klin-biprizmu, Maskelyne 1777. Iste godine otkriva R. Bošković svojstvo dvaju rotirajućih klinova da djeluju kao jedan klin promjenljivog prelomnog kuta. Otrprike u isto vrijeme primjenjuje Abat promjenljivi klin dobiven pomoću dviju leća (to je najstariji optički mikrometar). Za mjerenje udaljenosti Abatove klinove vjerojatno je prvi primijenio Goulier 1864, a Barr i Stroud su primijenili pomični Maskelynov klin (prema patentu 1889) za mjerenje dužine na osnovu promjenljivog paralaktičkog kuta prema letvi konstantne dužine. U patentu 1890 stavljaju čvrsti klin pred jednu polovinu objektivu i time dobivaju konstantni otklon (konstantni paralaktički kut). G. 1894 upotrebljava sličan uređaj Amerikanac Richards uz mjerenje na vertikalnu letvu. Tako dolazi do razvoja daljinomjera s dvostrukim slikama s bazom na cilju. Mjerenje s dvostrukim neodvojenim slikama primijenjeno je već u heliometru kojim je mjeran prividni promjer sunca (Bouguer 1748). Objektiv durbina bio je presječan, pa se mjerena izvodila pomicanjem jedne polovine po drugoj u smjeru okomitom na optičku os. Ova prva ideja mjerenja s dvostrukim slikama sigurno je poslužila i u primjeni tog principa za mjerenje dužina, iako pomoću drugih optičkih uređaja. Interesantno je, međutim, da je u novije vrijeme izgrađen na potpuno istom principu daljinomjer u SSSR.

Richardsov klin primijenio je H. Wild 1921 pri konstrukciji daljinomjernog uređaja kao dodatka pred objektiv durbina teodolita za geodetska mjerenja. Da bi postigao simetriju pri prolazu zraka svjetla, Arreger 1925 stavlja klin ispred srednjeg dijela objektivu. Precizan autoredukcioni daljinomjer s primjenom Boškovićevih klinova konstruirao je Bosshardt (1922), a optičke proradnje za ovaj značajan instrument geodetske prakse dao je A. König. Autoredukcioni dijagram-tahimeter razvija 1894 Hammer na osnovu zamisli Roncaglija i Urbanija 1890, koji su u ravnini slike objektivu stavili pomičnu staklenu pločicu sa dvije konvergentne daljinomjerne crte. God. 1900 u suradnji s A. Fennelom proizveden je prvi autoredukcioni dijagram-tahimeter. Savremeniji tip ovakvog daljinomjera konstruirao je Dahl, a proizveden je 1942 (daljinomjer Dahla). Kasnije je ovaj tip daljinomjera i dalje usavršen.

Elektronički daljinomjeri razvili su se kao rezultat snažnog napretka i sve već primjene elektronike na svim područjima tehnike. I. Aslakson sa svojim suradnicima uočio je 1943 mogućnost primjene radara (SHORAN) za geodetska mjerenja. Prva praktična mjerenja izvedena su 1945 u području Denvera (Colorado, USA). U ovim prvim pokušajima mjerene su dužine od 158 km do 496 km.

Prvi pokušaji mjerenja po postupku HIRAN izvedeni su 1950 u Floridi (USA). Značajna primjena postupka HIRAN bilo je povezivanje triangulacionih mreža Evrope i Sjeverne Amerike (1953—1956). — Prvi elektrooptički daljinomjer-geodimetar razvijen je u Švedskoj konstrukcijama E. Bergstranda 1941—1950. Prvi tip geodimetra bio je težak i nepraktičan, ali je činjenica da ga još nijedan daljinomjer nije do sada nadmašio u tačnosti mjerenja. Prvi elektronički daljinomjer uz primjenu mjerne tehnike s ultrakratkim radio-valovima, telurometar, razvijen je u Južnoafričkoj Uniji u Nacionalnom istraživačkom laboratoriju za telekomunikacije (T. L. Wadley) i proizveden 1956. Elektronički daljinomjeri vrlo su se brzo afirmirali u praksi, te predstoji daljnji njihov razvoj i primjena.

LIT.: R. Bosshardt, *Mesure optique des distances*, Genève 1930. — C. H. v. Hofe, *Fernoptik*, 1941. — D. H. Jacobs, *Fundamentals of optical engineering*, New York 1943. — F. Deumlich, M. Seyfert, *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*, Berlin 1957. — A. König, H. Köhler, *Die Fernrohr und Entfernungsmesser*, Berlin 1959. — *Справочник геодезиста*, Москва 1966.

D. Benčić

DALJINSKO MJERENJE (telemetrija, telemjerenje),

grana tehnike koja se bavi uređajima i postupcima s pomoću kojih se podaci mjerenja prenose sa mjesta mjerenja na neko drugo, udaljeno mjesto gdje se vrši pokazivanje ili registriranje tih podataka, a po potrebi i njihova daljnja prerada. Udaljenost između mjesta mjerenja i mjesta očitavanja rezultata može iznositi mnogo stotina kilometara, kao npr. pri mjerenju temperature ili intenziteta zračenja na nekoj svemirskoj letjelici, ili nekoliko metara, kao npr. pri mjerenju zračenja u nuklearnom reaktoru. Daljinsko se mjerenje upotrebljava najčešće tamo gdje je pristup mjestu na kojem treba izmjeriti neku veličinu nemoguć, opasan ili nepraktičan, ili kad je potrebno podatke o mjerenjima koja se vrše na više udaljenih mjesta očitati, registrirati ili obraditi zajednički na jednom centralnom mjestu. Daljinsko mjerenje može se upotrijebiti samostalno radi dobivanja ili praćenja određenih podataka, radi kontrole ispravnosti prenosa u sustavima daljinskog upravljanja, kao izvor mjernih veličina u uređajima za obradu podataka i, konačno, kao sastavni sklop uređaja za automatsku regulaciju ili automatizaciju proizvodnje.

Daljinsko mjerenje obuhvaća tri odvojene funkcije: proizvodnje signala koji svojim oblikom predstavlja ili u svom kodu sadrži iznos mjerene veličine i pogodan je za prenos do udaljenog mjesta; prenos tog signala do mjesta gdje se vrši prijem i pokazivanje rezultata mjerenja; pretvorbu signala u oblik pogodan za pokazivanje odnosno registraciju rezultata ili za ulaz u uređaje za daljnu obradu podataka.

Mada se signal s informacijom o mjerenoj veličini može prenositi na mnogo različitih načina (npr. modulacijom zrake svjetla), većina uređaja za daljinsko mjerenje prenosi signal na jedan od ova tri načina: mehanički, električki i radio-valovima.

Mehanički prenos upotrebljava se redovito samo na razmjerno kratke udaljenosti: direktni mehanički prenos poluzjem (npr. za mjerenje razine tekućine u posudama) na udaljenost od metar-dva, hidraulički ili pneumatski prenos (npr. u procesnoj tehnici) na udaljenosti reda veličine 100 m. O principima takvog prenosa v. *Servomehanizmi i Regulacija*.

Električki prenos signalâ koji sadrže mjerne podatke obavlja se preko zračnih i kabelskih vodova, dalekovoda i radio-relejnih veza mijenjanjem napona ili jakosti istosmjerne struje ili nekom odgovarajućom modulacijom izmjenične struje niske ili visoke frekvencije. Moderni sistemi daljinskog mjerenja obuhvaćaju često zamršene elektronske uređaje, npr. kad se rezultat daljinskog mjerenja prikazuje na zaslonu katodne cijevi specijalnog pokazivača u vidu teksta, znakova i brojeva. Najstarija je i još danas najraširenija primjena električke telemetrije u elektroprivredi, gdje se na centralnom mjestu skupljaju podaci o opterećenju u različitim dijelovima sistema, kako bi se (u modernim sistemima automatski preko digitalnog računala) to opterećenje što ekonomičnije razdijelilo na različite, među sobom udaljene proizvođače električne energije. Danas se daljinsko mjerenje s električkim prenosom susreće još i u velikim industrijskim pogonima za praćenje toka proizvodnje, nadalje za mjerenje razine i protoka u vodoprivredi, na kanalima i ustavama, kod pumpnih međustanica, cijevnih vodova za transport tekućina (vode, nafte) ili plinova, i drugdje.

Radio-telemetrija se primjenjuje obično samo za prenos mjernih podataka sa pokretnih objekata; kod nje se podaci nakon prethodne obrade i pretvorbe ne prenose preko žičanog voda već bežičnim putem. Za ovakav se prenos upotrebljavaju kratki, vrlo kratki ili ultrakratki valovi. Radio-telemetrija, upotrebljavana