

# ELEKTROMAGNETSKI DALJINOMJERI ZA MJERENJE KRATKIH DUŽINA

(ELEKTROMAGNETSKI TAHIMETRI)

Veljko PETKOVIC — Zagreb

Klasični instrumenti koji služe u geodetskoj praksi za određivanje položaja tačke u horizontalnom i vertikalnom smislu relativno su jednostavne konstrukcije. Osnivaju se na principu optičkog prolaza zrake kroz razne sisteme leća. Viziranje i čitanje vrši se direktno uz pomoć nitnog križa, indeksa ili noniusa, a cilj koji se vizira mora biti vidljiv.

Međutim, cilj do kojega se mjeri dužina primjenom elektromagnetskih daljinomjera ne mora biti u svim slučajevima vidljiv. Kontakt između krajnjih tačaka dužine uspostavlja se putem elektromagnetskih valova čiju pojavu u odašiljaču mogu izazvati razni izvori različitih intenziteta. Elektromagnetski valovi čine bazu pri mjerenju elektromagnetskim daljinomjerima. Oni su nosači signala.

Na Nobelovom institutu 1941. g. započeo je E. Bergstrand pokusima u cilju određivanja dužina pomoću elektromagnetskih valova. Kasnije je u suradnji sa firmom AGA iz Stockholma (Lidingö) realizirao svoju konstrukciju elektronskog daljinomjera pod nazivom Geodimeter (GEOdezie DIstance METER). Prvi put je o tome referirao na Baltičkoj geodetskoj komisiji 1948. g.

Složena konstrukcija samog daljinomjera treba da osigura što stabilniju emisiju valova, što bolji njihov ponovni prijem i što tačnije mjerenje vremena potrebnog da signal prođe put u oba smjera između odašiljača i reflektora.

Elektromagnetski valovi nastaju periodskim promjenama izazvanim u elektromagnetskom polju, promjenama u atomima i molekulama, a definirane su u prostoru i vremenu.

Titranje čestica tijela nastaje djelovanjem sile  $P$ , a pokreće ih brzinom  $V$  koja zavisi o gustoći, temperaturi, pritisku i vlazi kao i o drugim karakteristikama sredstva u kome se šire.

Poznato je da električni valovi obuhvaćaju područje od cca 300 GHz, a svjetlosni cca 400 THz<sup>1)</sup>. Svjetlosni, toplotni, ultraljubičasti, röntgenski, radio i gama valovi imaju iste osobine električnih valova. Razlikuju se po dužini  $\lambda$ . Svi zajedno se nazivaju elektromagnetski valovi a imaju slične osobine svjetlosnih valova (brzinu, svojstvo odbijanja i loma, širenje u pravcu, interferenciju, difrakciju i polarizaciju). Može se stoga kazati da je svjetlost vidljivi dio elektromagnetskog spektra određene valne dužine.

1) Učestalost titraja u 1 sec tj. frekvencija  $f$  koja se mjeri Hertzima (Hz)  $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$ ,  $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$

Za prolaz zrake elektromagnetskog vala kroz razne kristale (koji se koriste u konstrukciji elektromagnetskih daljinomjera) vrijede drugi zakoni obzirom na njihova anizotropna svojstva<sup>2)</sup>, koja uvjetuju pojavu dvoloma ili Kerrovog efekta, kod kojega je intenzitet proporcionalan kvadratu jačine električnog polja (kvadratni elektrooptički efekt). Ovu pojavu koristi velika većina elektromagnetskih daljinomjera za moduliranje valova nosača signala.

Konstrukcije elektromagnetskih daljinomjera u svom početku bile su podešene za mjerenje dužina triangulacije I i II reda. Kasnije pojavom novih modela i usavršavanjem samih instrumenata povećala se mogućnost mjerenja od cca 100 m do cca 50 km. Razni uvjeti konstrukcije, njihove korisne primjene uz potrebnu tačnost mjerenja za geodetske svrhe u praksi su ubrzo pokazali prednosti daljinomjera konstruiranih za mjerenje kraćih udaljenosti.

S većinom daljinomjera ranijih konstrukcija moglo se mjeriti kraće dužine, ali u tim slučajevima njihova ekonomičnost ne dolazi do izražaja.

U praktičnoj geodeziji mjere se u cca 80% slučajeva kratke dužine. Ovu činjenicu su uočili i konstruktori, pa su zadnjih godina njihovi napori usmjereni na izradu daljinomjera specijalno za dužine kraće — do 3 km i kratke — do 1 km. (Ovaj pojam kraće i kratke dužine nije tačno definiran, ali mislim da bi obzirom na mogućnosti daljinomjera kao i klasifikacije praktičnih geodetskih radova mogli usvojiti prednju podjelu.)

Hölscher je na simpoziumu u Oxfordu 1965. g. dao prikaz jednog daljinomjera za kratke dužine sa Ga-As luminiscenc diodom kod ultracrvene zrake homogene strukture uz direktnu modulaciju. 1965. g. Popov je prikazao sličan daljinomjer koji koristi quantni izvor svjetla (GD-314). U oba slučaja omogućeno je uvođenje kvalitetnih promjena koje su gotovo iste ili slične, u konstrukciji raznih tipova ovih daljinomjera.

Korištenje dijela spektra u infracrvenom području, Ga-As (Gallim Arsenid) luminiscenc diode uz KDP kristal (Kalium Dihydrogen Phosfat) kao modulatora za direktnu modulaciju, identične optičke sisteme, za odašiljač i prijemnik i sl. omogućilo je osjetno smanjenje težine instrumenta i izvora energije.

Za polarizaciju kod KDP ili ADP kristala kao i nekih drugih koristi se Pockels-ov efekt. Intenzitet emitirane zrake svjetla proporcionalan je električnom naponu (linearni elektrooptički efekt). Za geodetske svrhe koristi se posebni način direktne modulacije. Dijeljenjem zrake od izvora svjetla, u dvije poluzrake — jedne P sa malo elektrona i druge N sa viškom elektrona.

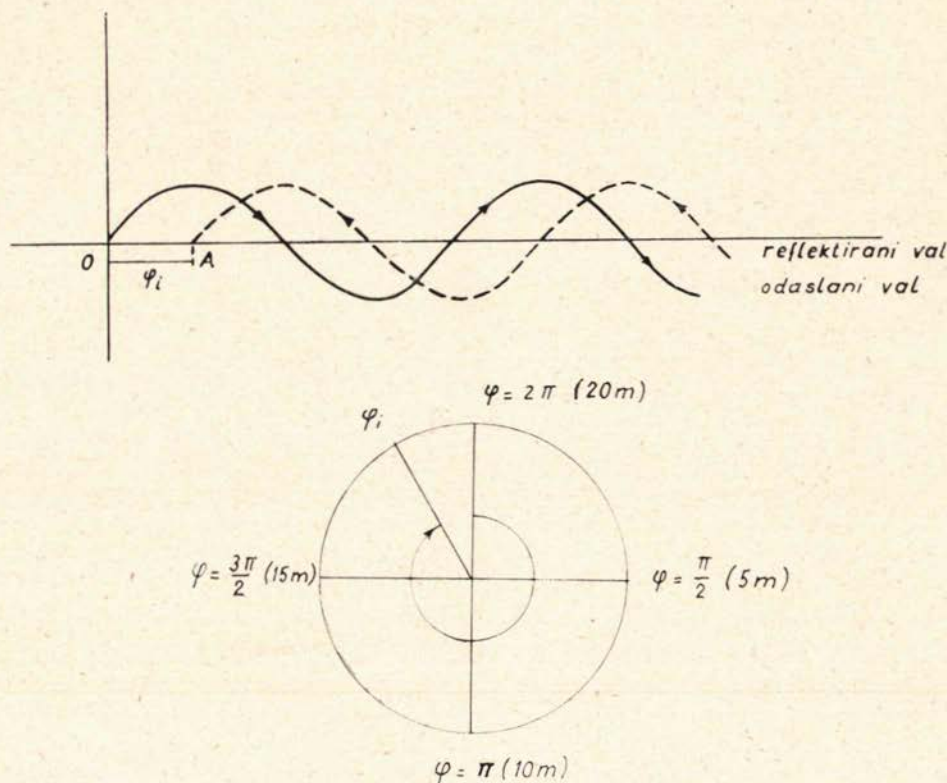
U prostoru između ovih zraka nastaje u određenom momentu viši napon koji se onda emitira u obliku zrake svjetla tzv. luminiscenc diodu, ili indukcijom Leaser diodu. Na ovako proizvedene zrake svjetla i na kratkim dužinama gotovo ne utječu vanjski uvjeti, pa je moguće mjerenje i u mutnijoj atmosferi danju i noću, a zraka se smatra pravcem pa je dobivanje dužine, koju ne uvjetuje promjena koeficijenta loma  $n$ , svedena na direktno čitanje brojčanika.

Smanjenjem dužine valova  $\lambda$  smanjio se ili gotovo eliminirao utjecaj tereštičke refleksije, koja stvara interferenciju na putu valova i smanjuje tačnost mjerenja.

2) Anizotropija: svojstvo raznih kristala da u raznim smjerovima imaju različite fizikalne osobine: elastičnost, index loma svjetlosti, toplinsku vodljivost, brzinu rasprostiranja i sl.

Pošto su neki od ovih daljinomjera snabdjeveni horizontalnim i vertikalnim limbovima predstavljaju neku vrstu elektronskih tahimetara. Neki su kao takovi i specijalno konstruirani. U svim konstrukcijama fazni pomak mjeri se načinom digitalnog očitavanja. U tu svrhu ugrađene su usvojene srednje vrijednosti za index loma zraka  $n_0$ .

U cilju određivanja dužine mjere fazni pomak, kut, odaslanih i reflektiranih valova. Sl. 1.



Slika 1 — Pomak faze odaslano i reflektiranog vala

Između tačaka O i A načinjen je pomak u čijem intervalu nastaje brojenje. Počinje u tački O odaslano vala, a završava u tački A reflektiranog vala.

Kut usnopljenja je kod svih veoma malen (Di-10 15'). Kod svih zraku reflektira pasivni reflektor sastavljen od 1 ili više specijalno brušenih prizama koja prolazi kroz optički sistem prijemnika do silicium fotodiode.

Prema tome svi su oni elektrooptički daljinomjeri. Pošto inkoterentna zraka koju proizvodi V. F. oscilator Ga-As diode nemože interferirati, utjecaj terestičke refleksije je gotovo otklonjen. Otpada potreba mjerenja meteoroloških podataka.

Fazni kut  $\varphi$  je dio cijelog kruga  $2\pi$ , kojega prevale val  $\lambda$ , a predstavlja u linearnom odnosu različitu dužinu  $D$  kao jedinicu. Mjerenje faznog pomaka u dosadašnjim konstrukcijama izvodi se:

- 1 — direktnim čitanjem faznog kuta na kružnoj skali katodne cijevi. Jedinice mogu biti date ili za vrijeme ili za dužinu (MRA-1, MRA-2, MRA-3-MK-III). Obzirom na način čitanja skale, prekidom krivulje, rezultati su opterećeni pogreškama procjene.
- 2 — kompenzacionom metodom ili nulmetodom. Dovođenjem na nulu kazaljke galvanometra koja se otkloni za razliku u promjeni napona odaslanog i primljenog signala, a u odnosu na komparativnu veličinu poznate nutarnje jedinice, konstruktivno date svjetlosnom petljom, moguće je izvršiti čitanje troznamenastog broja na brojčaniku usporeivača (Geodimetri, MRA-3).
- 3 — automatiziranim električnim digitalnim postupkom. Fazni pomak tj. kut određuje se momentalnim prolazom signala kroz nulu skale. Kod svakog impulsa koji zavisi o frekvenciji iskače jedan broj u času kada se vratašca otvaraju. Frekvencija se bira tako da se rezultati čitaju u metrima. (Di-50, i dr.)

Za sve tri metode vrijedi pravilo, da se za svaku frekvenciju i fazu posebno čitaju rezultati, a onda iz svih računa dužina. Kod pojedinačnog mjerenja dugih dužina to je rentabilno, ali ne za kraće i kratke dužine poligometrije i tahimetrije.

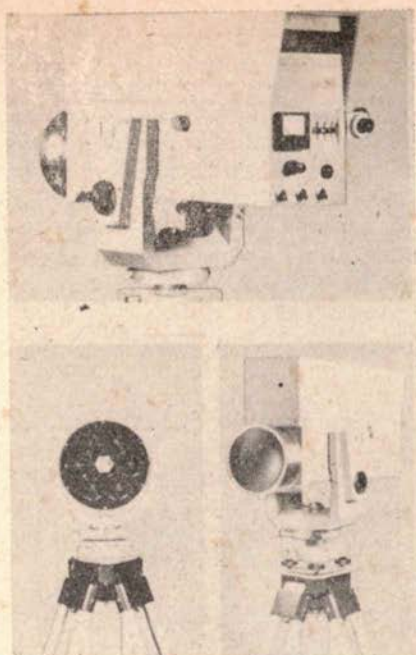
Ove metode imaju isti princip dobivanja rezultata, odnosno rješavanje neodređenosti pojedine dužine primjenom dvije i više različitih modula-cionih frekvencija (vrpca različitih dužina s različitim podjelama). S obzirom na udaljenosti koje mjere i nabrojene specifičnosti ovih daljinomjera, otpada potreba fizikalne ili meteorologijske redukcije dužine. Geometrijska redukcija će biti potrebna u slučajevima visinskih razlika među krajnjim tačkama strane.

Pri radu s ovim daljinomjerima nije potrebna njihova priprema i nije potrebno čekati da se prethodno zagriju. Čim je instrument centriran i korizontiran može se započeti mjerenje.

Rad na konstrukciji ovih daljinomjera započeo je poslije 1960. g. a prvi rezultati bili su objavljeni oko 1965. g. Njihova primjena u praksi otpočela je pred dvije do tri godine.

#### SM-11 — sl. 2 — PROIZVODNJA FIRME ZEISS-OBERKOCHEN

Prvi put je prikazan 1967. g na fotogrametrijskom tjednu u Karlsruhe. Konstruiran je za mjerenje dužina do 500 m eventualno 1000 m. Kako se iz slike vidi oblik mu je sličan klasičnim teodolitima. Pomak u vertikalnom smislu je moguć u granicama  $\pm 45^\circ$  a u horizontalnom u granicama punog kruga. Predstavlja tip elektronskog tahimetra. Stakleni limb i mikroskop su isti kao i kod teodolita Zeiss Th 4. Ima podjelu na grade. Visinski krug čita se automatski pomoću indexa. Podešen je za rad s prisilnim centriranjem koristeći pribor Zeissa.



Slika 2 — Elektrooptički daljinomjer SM-11

Električni i optički centar daljinomjera i reflektora identični su sa geometrijskim centrom, pa otpadaju konstante excentričnosti. Kao reflektor služe specijalne prizme (za dužinu do 300 m potreban je reflektor sa 5 prizama). Mjeri se tačnošću do  $\pm 0.5$  cm. Koristi izvor energije od  $2 \times 6$  V. Težina mu je sa stativom 14 kg. Instrument je potpuno tranzistoriziran. Kao izvor svjetla koristi luminiscenc Ga-As diodu čiji je vijek trajanja gotovo neograničen. Dioda emitira zraku proporcionalno električnom naponu. Modulacijom napetosti modulira se i zraka.

Dužina valova Ga-As luminiscenc diode leži između 900—1000 nm (nanometara) širine pojasa cca 60 nm. Zraka je praktički monohromatska ne koherentna i povezana, pa je nužno pomoću optičkog sistema zraku zgusnuti.

Izvor svjetla emitira zrake valne dužine u blizini infraljubičastog spektra ( $\lambda = 900$  nm). Ovime je omogućena direktna modulacija. Modulacionu frekvenciju  $f_1 = 14.985\ 200$  i  $f_2 = 14.986\ 400$  MHz proizvodi termostatizirani kvarz oscilator (uz kolebanje  $1.10^{-6}$ ). U cilju određivanja dužine mjeri se fazni pomak odaslanih i primljenih valova. Oba signala se svode na nižu frekvenciju u mjenjaču, pri čemu je poznat fazni pomak. Nakon pojačanja mjeračem faze se određuje fazni kut.

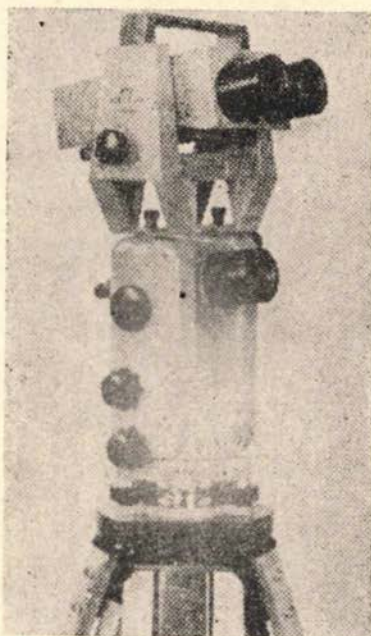
Poznavajući fazni kut  $\varphi$  i dužinu moduliranih valova  $\lambda$ , dužina se dobiva prema izrazu

$$2D = n\lambda_1 + \frac{\varphi_1}{2\pi} \cdot \lambda_1 \quad (1)$$

Da se odredi  $n$  tj. broj cijelih valova, automatskim prekopčavanjem na drugu frekvenciju vrši se mjerenje valovima  $\lambda_2$ . Elektronskim putem digitalnom metodom dobiva se meteorološki već reducirana kosa dužina na srednju vrijednost usvojenog koeficijenta loma  $n_0$ . Kod nul tačke odašlanog signala vratašca se otvaraju a kod reflektiranog zatvaraju. Dok su vratašca otvorena impulsi se prenose na brojilo. Frekvencija mu je tako podešena da daje direktno kosu dužinu čija se jednoznačnost određuje mjerilima 10 m i 1000 m. Program rada za jedno mjerenje se sastoji od 13 tačaka. Sredina se automatski računa za 1000 finih i grubih mjerenja, pa se time uklanja utjecaj kratkoperiodičnih promjena. Optika odašiljača i prijemnika smještena je koaksialno u cilindru.

### **ADISTO-S-2000**

Konstruirala je firma Askania W Berlin 1967. g. u suradnji sa francuskom

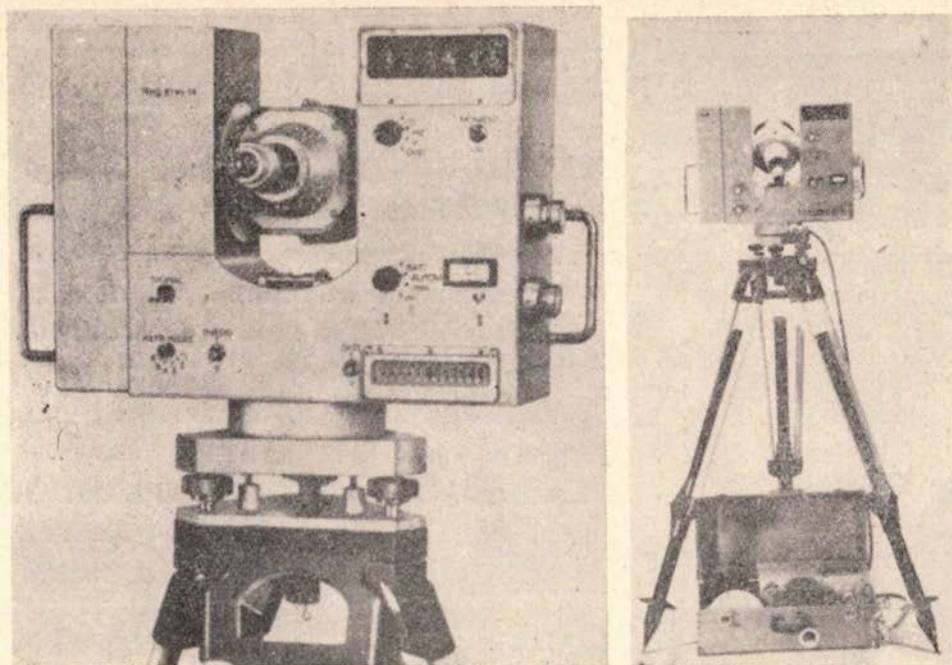


*Slika 3 — ADISTO-S-2000 na teodolitu ASKANIA*

firmom C. S. F. Saphymo. Sl. 3. Radi sa jedinicama 20 i 2000 m. Registracija frekvencija je direktno proporcionalna njenim promjenama. Koristi se u kombinaciji sa teodolitom Askania.

### **Di-10 i Di-10T**

Elektromagnetski daljinomjer za kratke dužine firme Wild detaljno je opisan u članku »Elektrooptički daljinomjer Wild Di-10 i Di-10T«. GL. 1969. br. 7-9 i 10-12 1969 g.



Slika 4 — Elektronski tahimetar Reg Elta-14

Elektronski tahimetar firme Zeiss-Oberkochen. Sl. 4. Prvi put je prikazan na Geodetskom danu 1968. g. u Stuttgartu. Mjerni dio i način mjerenja je gotovo identičan onome u SM-11. Rezultate mjerenja registrira skupno, digitalnom metodom sa 6 znamenaka. Mjerenje vrši na mm a dužinu iskazuje na cm. Elektronski uređaj za mjerenje dužine kao i za mjerenje kuteva nalaze se u lijevom i desnom dijelu nosača durbina.

Za razliku od SM-11 ovaj daljinomjer ima mogućnost, a prema datoj tabeli, modulacionu frekvenciju birati prema atmosferskim uvjetima, pa je u tom slučaju svaka računaska redukcija nepotrebna. Eventualna pogreška iznosi cca 1 cm/km. Prekapčanje sa frekvencije za fino mjerenje na frekvenciju za grubo mjerenje vrši se automatski, a sredina se dobiva kao i kod SM-11 iz 1000 faznih mjerenja. (15 MHz modulaciona frekvencija za jedinicu 10 m, 150 KHz za jedinicu 1000 m.)

Ovaj daljinomjer ima uređaj koji u momentu kada naiđe prepreka na pravcu mjerenja, automatski isključuje mjerač faze time da se prethodno izvršene serije mjerenja ne poništavaju. Kada se ponovno uspostavi kontakt između stanica automatski opet radi dalje. Ovo svojstvo ima velike prednosti kod rada na prometnim mjestima.

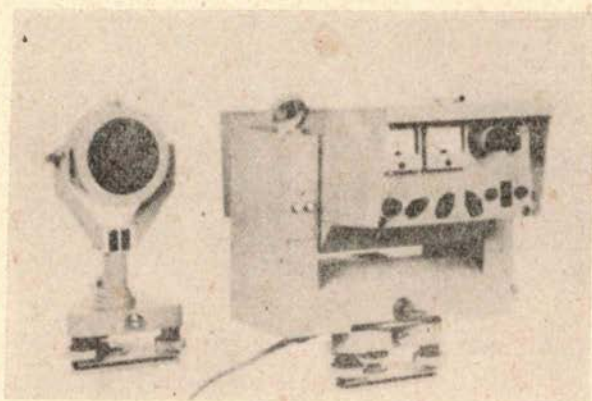
Stakleni krug sa podjelom na grade uz pomoć fotoelektričnog mikrometra očitava se na hiljadite dijelove. Visinski kutevi se automatski registriraju pomoću indexa. Ukoliko se žele mjeriti samo kutevi onda se uređaj za mjerenje dužine može isključiti.

Tahimetar je povezan jednim kablom — univerzalnom vrpcom za bušenje predviđenom za 5 do 8 kanala.

Kod normalnih uvjeta za mjerenje dužina do 500 m potrebna je 1 prizma (0.16 kg), do 1200 m 7 prizama, a do 2000 m 19 prizama (3,2 kg sa kućištem). Nakon centriranja, horizontiranja i viziranja cilja uključuje se uređaji za mjerenje kuteva i dužina. Poslije toga je instrument spreman za rad, a sve dalje operacije vrše se automatski u roku od cca 30 sec.

Kod SM-11 i Reg-Elte 14 potrebno je znati dužinu na 1 km. Znači da kod dužih strana treba dobijenoj veličini dodati 1000 m. Srednja pogreška jednog mjerenja neovisno o dužini strane jest  $\pm 1$  cm. Težina mu je sa stativom 18 kg. Izvor energije baterija 12 V.

### EOK-2000



Slika 5 — Elektrooptički daljinomjer EOK 2000

Proizvodi firma Carl Zeiss-Jena, a pojavio se u praksi također zadnje godine. Sl. 5. Ista firma je 1964. g. proizvela elektrooptički daljinomjer EOS za dužine do 25 km sa ultrazvučnim modulatorom čija je tačnost data izrazom

$$mD = \pm (0.005 \text{ m} + 2 \cdot 10^{-6} D) \quad (2)$$

Elektrooptički daljinomjer EOK-2000 radi u kombinaciji sa sekundnim ili minutnim teodolitom, a mjeri dužine u povoljnim atmosferskim prilikama do 2000 m tačnošću

$$mD = \pm (0.01 \text{ m} + 15 \cdot 10^{-6} D) \quad (3)$$

Prema podacima bez teškoće mjeri strane do 1 km ako je vidljivost cca 3 km, koja zavisi o geografskom položaju, uz određeni koeficijent extinkcije i uz  $\lambda \approx 900 \mu\text{m}$ . Da se olakša pronalaženje reflektora koji je osvijetljen (1 prizma do 500 m, 3 do 1000, 9 do 2000 m), i pojača refleksija koristi se kombinacija infracrvenih i vidljivih zraka u dva međusobno paralelna optička sistema predviđena za 4 funkcije.



Da se smanje utjecaji zraka svjetla koje dolaze od drugih izvora optički sistemi odašiljača i prijemnika su razdvojeni, biaxialni. Njihovu prednost u potpunosti se iskorištava postavljanjem klinova ispred prizama reflektora. Instrument je predviđen za prisilno centriranje i snabdjeven je optičkim viskom. Kao izvor svjetla služi Ga-As luminiscenc dioda koja emitira valove dužine 910 nm koji se vraćaju na fotočeliju (SEV). Za mjerenje koristi 3 frekvencije. Fina mjerenja vrši direktno sa 30 MHz tj. dužine do 5 m, a gruba mjerenja jedinicama 50 m i 500 m frekvencijama 30,0 odnosno 33 MHz. Ovaj daljinomjer kao i njemu svi slične konstrukcije ima unutarnju komparativnu dužinu koju mjeri prekapčanjem objektiva odašiljača i prijemnika. Ima digitalni način registracije mjerenja, a 1000 jedinica odgovara punom krugu.

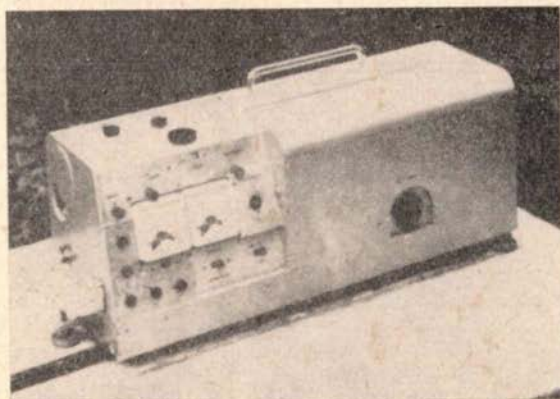
Konačni rezultat se ne dobija automatskim sumiranjem već treba naknadno sračunati dvostruku dužinu dobijenu iz finih mjerenja na 3 frekvencije, slično kao i kod tellurometra. Kao izvor energije koristi se 12 V baterija. Težina sa stativom je cca 18 kg.

### Mecometer

Proizvodi firma Hilger-& Wats London prema zamisli konstruktora K. D. Froome-a i Bradsele-a. Kao izvor svjetla koristi sinhronizirane impulse ( $\lambda = 50$  cm) ksenonom napunjene lampe, a kao modulator KDP (Kalium-Dihydrogen-Phosphat) kristal (sa cca 500 MHz), koji se nalazi u električnom polju šupljeg rezonatora.

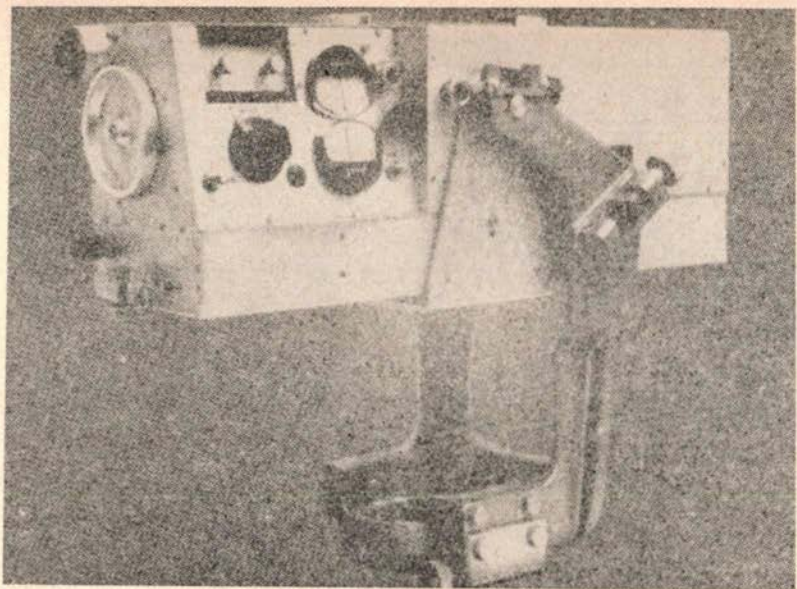
Mecometer I imao je izgled sličan teodolitu. Tačnost mu je bila relativno mala, a radio je sa 4 valne dužine.

Mecometer II izradili su isti konstruktori, ali za mjerenje dužina do 3 km sa tačnošću do nekoliko desetina milimetra. Sl. 6. 1967. g predstavljen



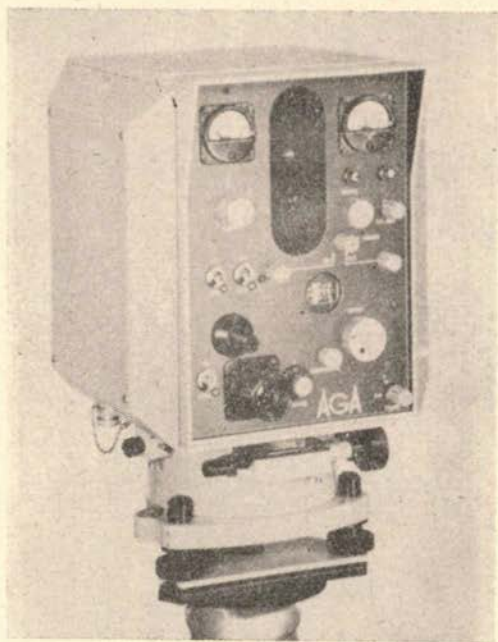
Slika 6 — Mekometer II

je u Cambrigu Mecometer III, koji se razlikuje od prethodnih svojim vanjskim izgledom a mjeri dužine do 3 km uz tačnost  $\pm 0.1$  mm/km. Rezultati se registriraju digitalnom metodom. Sl. 7.



*Slika 7 — Mekometer III*

**Geodimeter 7 T**

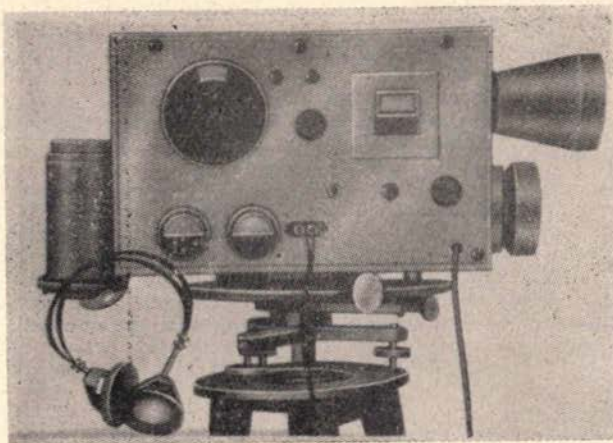


*Slika 8 — Geodimeter 7 T*

Proizvodi ga firma AGA. Sl. 8. Prvi put je prikazan na izložbi u Losani prilikom IX kongresa za fotogrametriju 1968. g. Podešen je za mjerenje dužina do 500 m tačnošću  $\pm 10$  mm uz mogućnost mjerenja horizontalnih i vertikalnih kuteva sa tačnošću  $5''-10''$ . Prema tome predstavlja model elektronskog tahymetra. Isti optički sistem služi za mjerenje kuteva i dužina. Potpuno je tranzistoriziran (težina 11 kg). Koristi dvije frekvencije, a udaljenost se određuje indirektnim mjerenjem pomaka baze između emitiranog i reflektiranog signala. Dužina se čita direktno u metrima na skali brojila. Konstruiran je po sličnim principima kao i drugi geodimetri.

## EM

Elektrooptički daljinomjer konstrukcije instituta za primjenjenu geodeziju u Frankfurtu n/M, proizvela je firma Askania-Werke Berlin, za mjerenje dužina od 200—2000 m. Proizvedena su dva modela kao prototipovi.



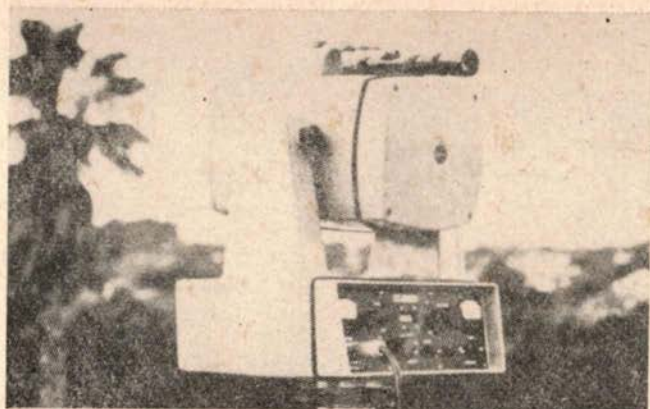
Slika 9 — Elektrooptički daljinomjer EM<sub>c</sub>.

Model EM<sub>c</sub> slika 9., i u godini 1959. model EM<sub>e</sub>. Svjetlosnu zraku modulira pomoću Kerrove čelije, a kao demodulator koristi sekundni fotoelektrični multiplikator. Radi uz promjenu frekvencije, pa nije potrebno poznavanje približne vrijednosti dužine koja se mjeri. Za tačno određivanje frekvencije služi termostatski reguliran Kvarc oscilator od 50 KHz. Optički sistemi odašiljača i prijemnika su zrcalne leće tipa Cassegrain. Oscilator proizvodi titraje na frekvencijama 2,00; 2,05; 2,10; 2,15 i 2,20 MHz. Pomoću pojačala i slušalica može se izvršiti kalibriranje skale generatora. Koristeći istosmjerni i izmjenični napon mijenja se vrijeme odašiljanja zrake svjetla. Čitanje se vrši na skali indikatora. Dužina se dobiva pomoću izraza:

$$s = n \frac{\lambda}{4} + K \quad (4)$$

K je konstanta instrumenta koja se određuje mjerenjem na poznatim dužinama.

Težina mu je 18 kg.



Slika 10 — Tellurometar — Model MA-100

U ovom slučaju je interesantno da je firma Tellurometar (U. K.) Ltd. koja sa velikim uspjehom proizvodi mikrovalne daljinomjere modela MRA-2, 3, 4, 101, 301 i 4 za mjerenje velikih udaljenosti, konstruirala i proizvela elektrooptički daljinomjer za kraće dužine.

Iz slike je vidljivo da se njegov vanjski izgled bitno razlikuje od svih dosadašnjih konstrukcija i ima u principu oblik teodolita. Upotreba pasivnog reflektora koji ne treba posluge, uski snop svjetlosnih zraka od 15" neosjetljivost na prisutnost metala, veća tačnost u određivanju brzine signala,  $1-10^{-6}$ , identičnost električnog i geometrijskog centra instrumenta, nepromjenjivost optičke nule, mogućnost primjene direktnog načina modulacije, manja potrošnja električne energije, što omogućava inkohherentna elektromagnetska radijacija Ga-As luminiscenc diode u blizini infracrvenog dijela spektra (vidljivi dio spektra 0.4—0.7 mikrona) čija je momentalna snaga emisije svjetla proporcionalna snazi struje, prednosti su ovog daljinomjera pred ranijim konstrukcijama telurometra.

Centar nul-indikatora spojen je sa faznim detektorom a kazaljka se postavlja u položaj nule uvođenjem poznatog promjenljivog faznog pomaka, pomoću rotacije elektromehaničkog resolvera. Puni fazni obrt kod modulacione frekvencije 75 MHz odgovara putu signala dužine 4 m odnosno za put jednog smjera 2 m, a na resolveru jedinici 2 mm. Pomak faze koji odgovara razlici odaslanog signala vraćenog kroz optiku prijemnika na fotočeliju, gdje se pretvara u pojačane električne signale, očituje se na troznamenkastom brojilu koje je mehanički učvršćeno na resolveru, do 1 tisućinke pune rotacije. Mjerenje faze se vrši na frekvenciji od 10 KHz jednom više, a drugi put manje, od frekvencije 15 MHz. Odbijanjem tih dvaju rezultata dobija se fino čitanje na 1 mm.

Neodređenost mjerene dužine rješava se na isti način kao i kod ranijih konstrukcija tellurometara sa primjenom 4 frekvencije (čitanja se smanjuju u deseticama). Ovime se znatno smanjuju pogreške čitanja. Pošto je teško odrediti pomak električnog centra koji može nastati upotrebom to i ovaj

daljinomjer ima unutarnju komparativnu jedinicu u formi svjetlosne petlje, pomoću koje se može stalno regulirati nul-indikator. Reflektirana zraka pada na ogledalo 120 mm promjera koaksialnog optičkog sistema (objektiv 850 mm) i ide do fotočelije.

Rad glavnog oscilatora regulira kvarz kristal koji održava stalnu temperaturu od  $75^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Utjecaj promjena kristala uslijed starenja (na 1 godinu nekoliko milionitina) manji je od tačnosti podataka za računanje koeficijenta loma.

Pogreške u mjerenju dužine mogu nastati uslijed excentriciteta prizama u kućištu reflektora ( $\pm 0.0$  do 1 mm), usljed pogreške skale kao i usljed promjena koje zavise o dužini mjerene strane, a uklanjaju se unutarnjim sistemom mjerenja. Pogreške se reduciraju ukoliko se izvrši veći broj mjerenja. Kontrolu mjerenja i povećanje tačnosti postiže se određivanjem dužine do reflektora kojega se jednom postavlja prije za cca 0.50 m, a zatim za istu dužinu iza tačke koja označava kraj mjerenja strane. Tačnost se povećava do cca 1 mm a iz sredine kao rezultata mjerenja odstranjen je utjecaj niza pogrešaka.

Za dužinu od 10 m do 1 km potreban je reflektor sa 1 prizmom, a do 3 km sa 9 prizama.

Mjeri dužine do 2 km sa tačnošću  $\pm 1.5$  mm. Težina mu je 14 kg, a koristi za izvor energije baterije 12 V.

#### LITERATURA:

- 1 — H. Leitz und R. Bornefeld: Der elektro-optische Entfernungsmesser Zeiss-SM-11  
Z.f.V. 1968/1.
- 2 — H. Leitz: Zwei elektronische tachymeter von Zeiss  
A.V.N. 1969/2
- 3 — V. Petković: Brzina svjetlosti u mjerenju dužina elektronskim daljinomjerima.  
G.L. 1969/3.
- 4 — V. Petković: Elektrooptički daljinomjer Wild Di-10 i Di-10 T  
G.L. 7-9 i 10-12/1969
- 5 — H. Richter und H. Wendt: Das neue elektrooptische Streckenmessgerät EOK 2000 aus Yena  
A.V.N. 1962/2
- 6 — G. Strasser: Der Infrarot-Distanzmesser Wild Distomat Di-10  
A.V.N. 2/1969.
- 7 — Tellurometer (U.K.) Ltd: The tellurometer Model MA-100 Electrooptical Distance Measuring Instrument.  
A.V.N. 1969/2
- 8 — A. V. Kondraškov: Elektrooptičeskie daljnometri. (u prevodu na njemačkom od F. Deumlich i R. Koitzsch)  
VEB. Berlin 1961 g.
- 9 — V. Z. Pašenkov: Radioelektronika v markšeidersko-geodezičeskih rabotah (radio i svetodaljnometri)  
»Nedra« Moskva 1968 g.
- 10 — H. Draheim: Neue elektronische und elektrooptische Entfernungsmessgerate MRA 4, PEM 2, EOS, ST/62.  
A.V.N. 1965/8
- 11 — Prospekti firme: AGA, Zeiss i Tellurometer