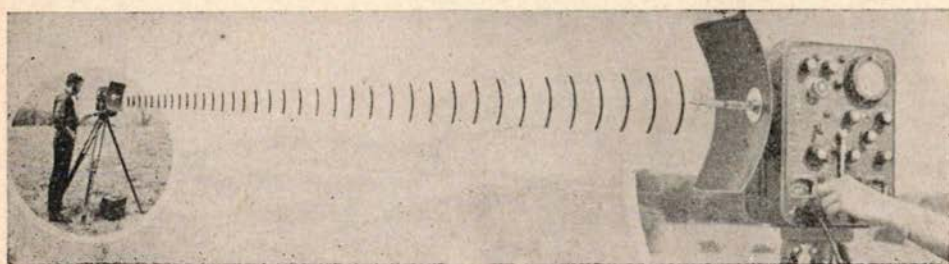


MILUTIN S. STEFANOVIĆ, pukovnik

TELUROMETAR — NOVI PRECIZNI INSTRUMENT ZA MERENJE RASTOJANJA

Telurometar je elektronski daljinomerni instrument koji bazira na principu radara i konstruisan je za precizno merenje rastojanja od 160 m pa do 40—50 km. Pomoću njega vrši se merenje intervala vremena, koji je potreban jednom emitovanom radio impulsu da iz jedne tačke merene duži pređe put do druge, i da se opet vrati nazad u polaznu tačku. Mada je ovaj interval veoma kratak i izražava se delićima sekunde, ipak savremeni elektronski uređaji omogućavaju njegovo merenje sa vrlo velikom tačnošću. Ukoliko je poznata brzina rasprostiranja radiotalasa, može se odrediti rastojanje između krajnjih tačaka merene duži.

Telurometar je konstruisan u Nacionalnoj istraživačkoj laboratoriji za telekomunikacije (National Telecommunications Research Laboratory), u Južnoafričkoj Uniji a instrument je usavršio T. L. Wadley, koji je 1957 godine u časopisu Empire Survey Review dao prikaz ovoga instrumenta. Instrument spada među najpreciznije pribore za merenje rastojanja i u njega se polažu velike nade stručnih krugova. Jednostavan je za rukovanje, bez specijalnog poznavanja radio tehnike, lak je za prenos i može da se primeni u svim normalnim meteorološkim i geografskim uslovima. Proces merenja je vrlo prost i ne zahteva mnogo vremena; merenje jednog rastojanja može se izvesti za 30—40 minuta.



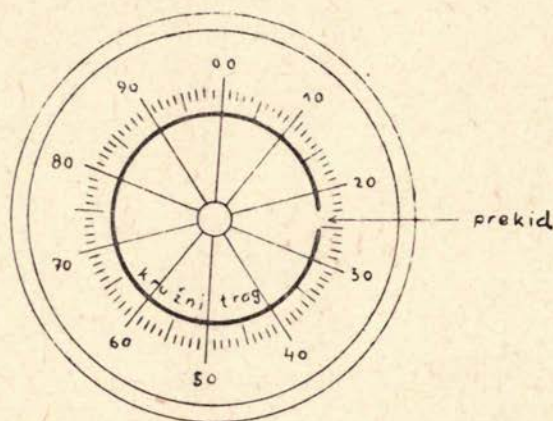
Sl. 1

Pribor se sastoji od dva instrumenta, od kojih se jedan postavlja na tačku sa koje se meri — glavnu stanicu (Master station), a drugi na krajnju tačku merene duži — pomoćnu stanicu (Remote station). Na glavnoj stanici obično se nalaze 2 stručnjaka — operator i zapisničar — a na po-

moćnoj jedan operator. U cilju dogovora operatori moraju biti u međusobnoj radio vezi, preko frekventnog nosača, koristeći isti kanal koji služi za merenje. Kod oba instrumenta kao antena služi parabolično ogledalo, koje sa instrumentom čini jednu cjelinu.

Princip merenja sastoji se u sledećem. Obe stanice emituju kontinuirane radiotalase frekvencije oko 3 000 megaherca (MHz), talasne dužine oko 10 cm. Ovo su takozvani noseći talasi. U isto vreme svaka stanica prima kontinuirane signale sa druge stanice.

Noseći talasi se moduliraju po frekvenciji na talase od oko 10 MHz, talasne dužine oko 30 m, koji služe kao merni talasi i mogu biti predstavljeni u vidu uobičajene sinusoidalne krive. U isto vreme emituju se impulsi — merni signali — koji proizvode male prekide kod ove krive. Kružni hod sinusoidnog talasa i hod impulsa isti su i prema tome mogu biti sinhronizovani.



Sl. 2

Kada se emitovani merni signal odbije od uređaja na drugoj tački merene duži, i vrati nazad u instrument, onda se na ekranu indikatora registruje razlika u fazi između odaslatog i povraćenog signala. Razlika u fazi, ili bolje rečeno indikacija faze, predstavlja položaj do koga je tačka prekida sinusoidalne krive došla u određenom vremenskom intervalu. Ona se registruje na indikatoru u vidu malog prekida obojenog kružnog traga, tako da je operatoru omogućeno da ovu razliku izmeri (sl. 2).

Indikator je elektronska cev, u principu slična cevi televizora. Njen zadatak je da pokaže jedan ciklus sinusoidalne krive u vidu kružnog traga, kao i položaj mernog signala — prekida krive, na ovom tragu. Ako je poznato vreme, izraženo u delovima sekunde, potrebno da merni signal pređe put duž celog kruga, i ako je dato neko sredstvo za tačno određivanje proporcionalnog dela kruga (indikacije faze), koji je ovaj signal stvarno prešao, to možemo sračunati dužinu vremena koje odgovara indikaciji faze za svaki konkretan slučaj merenja.

Kod frekvencije od 10 MHz kretanje mernog signala duž celog kruga, događa se za vreme od 1 desetomilijontog dela sekunde. U ovom periodu vremena signal, koji se kreće brzinom od oko 30 000 km/sek, prelazi u jednom pravcu put od oko 15 m. Skala indikatora podeljena je na 100 delova, tako da svaka podela predstavlja vremenski interval od 1 milijarditog dela sekunde, što odgovara pređenom putu dužine 15 cm. Pored toga se na skali mogu ceniti polovine podeoka, što odgovara tačnosti očitavanja od 7,5 cm.

Kao što se vidi frekvencija mernog talasa od 10 MHz, koja se označava slovom A, omogućava merenje rastojanja samo u uskom okviru od 15 m, pa usled toga mora postojati neodređenost u pogledu izmernog rastojanja. Ova neodređenost se otklanja mogućnošću emitovanja mernih talasa i na drugim frekvencijama B, C i D, veličine 9,99, 9,90 i 9,00 MHz, tako da imamo:

Frekvencija A	10 MHz	što odgovara rastojanju od	15 m
Frekvencija A—D	1 MHz = 1 000 KHz	što odgovara rastojanju od	150 m
Frekvencija A—C	0,1 MHz = 100 KHz	što odgovara rastojanju od	1500 m
Frekvencija A—B	0,01 MHz = 10 KHz	što odgovara rastojanju od	15000 m

Svaka sledeća frekvencija je deseti deo prethodne. Usled toga vremenski interval potreban za jedan ceo ciklus u jednoj frekvenciji, mora biti deset puta veći od onog predviđenog za prethodni, a pređeno rastojanje je deset puta duže.

Kao što se vidi pri upotrebi dopunskih frekvencija B, C i D neodređenost merenog rastojanja je razrešena u domenu od 15 km, pa je prema tome neophodno potrebno mereno rastojanje unapred poznavati sa tačnošću od 15 km. Konstantnost frekvencije odaslatog talasa kontroliše se pomoću kvarcnog oscilatora, koji je kalibriran za temperature između 15°—40° C. Za temperature od 0°—15° C može se kristal zagrevati, da bi se doveo na kalibriranu temperaturu.

Merenje sa telurometrom može se vršiti u svako doba dana i noći pa i pri nepovoljnim vremenskim okolnostima t. j. pri magli, dimu, pa čak i pri slaboj kiši ili snegu. Merenje je jedino onemogućeno pri jačoj kiši. Najbolji rezultati merenja mogu se postići na rastojanjima veličine 20—30 km. Pri merenju rastojanja većih od 50 km dolazi do velikog uticaja reljefa zemljišta. Pored toga, kod ovih rastojanja određivanje temperature i vlažnosti vazduha samo na krajevima merene duži nedovoljno je, jer izmerene veličine ne mogu dati dovoljno podataka koji karakterišu meteorološke uslove duž cele linije merenja. Merenja do 80 km mogu se vršiti samo pri naročito povoljnim terenskim i meteorološkim uslovima. Povećanje tačnosti postiže se višestrukim ponavljanjem merenja, na koji način se vrši eliminisanje spoljnih uticaja (atmosferskih promena i refleksija). Najpovoljnije je vršiti merenja iznad talasastog i vegetacijom pokrivenog zemljišta.

Kao izvor energije upotrebljava se laki akumulator. Pored barometra - aneroida, koji služi za merenje vazdušnog pritiska, kao i visinskih razlika krajnjih tačaka merene duži, postoji još i psihrometar za merenje temperature i vlažnosti vazduha.

Usled toga što se ultrakratki talasi prostiru pravoliniski krajne tačke merene duži moraju se dogledati. Prepreke kao što su drveće, telegrafski stubovi i žbunje ne utiču na merenje telurometrom, ukoliko se ne nalaze neposredno ispred instrumenta. Mere se kose dužine koje, ne uzimajući u obzir kratke i strme vizure, mogu dovoljno tačno da se redukuju na horizont, pomoću visinskih razlika dobijenih pokazanjem barometra-aneroida.

Sam instrument je težak oko 12 kgr, a ceo probor na glavnoj stanici oko 45 kgr. Instrument ne zahteva nikakvo jako stabilno postolje, tako da se može postaviti i na obične skele, koje moraju biti samo toliko stabilne koliko je neophodno potrebno za rad operatora. Inače, može se postaviti na odgovarajući stativ na zemlji, ukoliko je obezbeđeno dogledanje krajnjih tačaka.

Izmereni vremenski interval popravljiva se pomoću meteoroloških podataka, pri čemu se svodi na vakuum. Kada se ovaj interval pomnoži sa brzinom rasprostiranja radio talasa i podeli sa dva (pošto je radio talas prešao dvostruki put između krajnjih tačaka merene duži), dobija se izmereno koso rastojanje.

Kod telurometra su uočeni i izvesni nedostaci. Pri radu sa ultra kratkim talasima u tačku prijema od udaljenog predmeta dopiru dva talasa i to direktni, i reflektovani od površine zemljišta, koje leži ispod linije merenja. Ova dva talasa prelaze različite puteve. Pored toga, na reflektovani talas imaju uticaja i električna svojstva zemljišta. Za isključenje uticaja reflektovanog talasa merenje se vrši pomoću serije nosećih talasa sa malo izmenjenim frekvencijama, pa se uzima srednja vrednost. Prema tome, oblik reljefa i električna svojstva zemljišta koje leži ispod linije merenja, znatno utiču na tačnost merenja.

Još jedan nedostatak merenja telurometrom izražava se u velikoj zavisnosti brzine rasprostiranja radiotalasa od vlažnosti vazduha, što se više može pripisati osobinama samih talasa, nego kvalitetu instrumenta.

Telurometar je po svojoj konstrukciji sličan geodimetru. Osnovna razlika je samo u tome što geodimeter koristi svetlosne talase, a telurometar ultrakratke elektromagnetne talase. Brzina rasprostiranja elektromagnetskih talasa visoke frekvencije u većoj meri zavisi od vazdušnog pritiska nego što je to slučaj kod svetlosnih talasa. Usled toga, instrumenti za merenje rastojanja koji upotrebljavaju modulirane svetlosne talase, dakle instrumenti tipa geodimetra, daju veću tačnost nego instrumenti koji upotrebljavaju radiotalase. S druge strane, veliki nedostatak geodimetra u odnosu na telurometar je u tome što se merenja mogu vršiti samo noću i po čistom vremenu.

Tačnost merenja izražava se verovatnom greškom koja je ravna $5 \text{ cm} \pm \frac{3 \text{ s}}{1\,000\,000}$ gde je s dužina izmerenog rastojanja. Konstantna vred-

nost greške u iznosu 5 cm pretežno je uslovljena greškama instrumenta, a promenljiva veličina $\frac{3 s}{1\ 000\ 000}$ meteorološkim uslovima.

Veličina očekivane verovatne greške za razna rastojanja prema gore navedenoj formuli, iznosi:

Za rastojanje od	200 m	5,0 cm
„ „	1 000 m	5,3 cm
„ „	10 000 m	8,0 cm
„ „	25 000 m	12,5 cm
„ „	30 000 m	14,0 cm
„ „	40 000 m	17,0 cm

Prema tome, na velikim rastojanjima može se očekivati tačnost triangulacije 1. reda.

Pojava telurometra izazvala je veliki interes u svetu i već se uveliko radi na ispitivanju njegovih kvaliteta gotovo kod svih tehnički razvijenih zemalja: u Engleskoj, SAD, SSSR, Francuskoj i dr. Posle jednog niza izvršenih praktičnih merenja mogu se izvesti izvesni zaključci u pogledu tačnosti instrumenta i dometa merenja.

U aprilu 1957 godine je u Engleskoj Ordnance Survey [2] izvršio 10 probnih merenja na stranama postojeće triangulacije i dobio sledeće rezultate:

Približna dužina strane u km	Razlika telurometar — triangulacija u cm
11,3	0,0
25,8	— 6,6
25,6	+ 2,4
48,8	— 3,0
24,4	— 2,4
16,2	+ 3,6
49,7	— 5,9
19,6	+ 3,7
73,4	+ 31,9
63,4	+ 10,3

Za brzinu rasprostiranja radiotalasa uzeta je vrednost 299 792,8 km/sek.

U SSSR-u je CNIIGAIK u septembru 1959 godine započeo ispitivanja ovoga instrumenta koja su do sada u pogledu merenja strana postojeće triangulacije, dala sledeća rezultate [3]:

Naziv strane	Dužina strane		$D_0 - D_T$	$\frac{D_0 - D_T}{D}$
	dobijene iz triangulacije D_0	merene telurometrom D_T		
Hrapki—Golovino izlazna strana 1 reda	16 995,473	16 995,475	+ 2	1:8 500 000
Hrapki—Novožili, 1 red	22 303,75	22 303,694	— 56	1: 400 000
Hrapki—Krutec, 2 red	13 510,48	13 510,501	+ 21	1: 640 000
Hrapki—Černogolovka, 1 red	28 769,44	28 769,533	+ 93	1: 310 000

Kao što se iz tablice vidi razlike $D_0 - D_T$ ne prelaze veličine srednjih kvadratnih grešaka dobijenih kod triangulacije. Pošto su merenja vršena u šumskim reonima to se iz navedenih rezultata može ustanoviti da je tačnost instrumenta takva da se isti može upotrebiti za merenje strana triangulacije 1. reda u pošumljenim područjima.

Dosadašnja merenja telurometrom, kao i ostalim preciznim elektronskim uređajima pokazala su da je vrednost brzine rasprostiranja elektromagnetskih talasa u vakuumu $299\,792,0 \pm 2$ km/sek, koju je odredila Međunarodna unija za naučnu radiotelegrafiju (International Union of Scientific Radiotelegraphy), sa velikom verovatnoćom mala. Zato je predložena nova vrednost koja iznosi: $299\,792,5 \pm 4$ km/sek, koju je preporučila i Međunarodna geodetska i geofizička unija.

Glavno polje primene telurometra je u geodeziji. Njegovom upotrebom isključuje se dosadašnje dugotrajno i skupo merenje osnovica, a s tim u vezi i osnovičkih mreža, kao nepotrebno. Pored toga s njim se može lako i jednostavno izvoditi trilateracija, koja može da posluži kao osnova topografskog i hidrografskeg premera i da zameni sadašnju triangulaciju.

Telurometar se može korisno upotrebiti u preciznoj poligonometriji, u fotogrametriji za kontrolu razmere kod fotogrametriskog premera, kao i za ostale veoma raznovrsne inženjerske radove, kod kojih se zahteva poznavanje i merenje tačnih rastojanja.

Najzad, telurometar se može upotrebiti i za vojne svrhe, za razvijanje geodetske osnove neophodne za topografsku pripremu gađanja u artiljeriji, kao i za topografsku podršku gađanja dirigovanim projektilima.

Cena jednog kompletnog pribora za merenje iznosi oko 30 000 švajcarskih franaka.

L I T E R A T U R A :

- [1] T. L. Wadley: The Tellurometer Sistem of Distance Measurement, Empire Survey Review, Vol. XIV, Nr. 105 and 106, 1957 godine.
- [2] E. Roemelt: Das Tellurometer, Allgemeine Vermessungs Nachrichten Nr. 7, 1957 godine.
- [3] A. A. Genike, A. P. Ševelev: Telluometr i rezultati ego issledovanja v CNIIGAIK. Geodezija i kartografija 1, 1960 godine.
- [4] Floyd Hough: The Tellurometer Some Uses and Advantages. Surveying and Mapping Nr. 3, 1957 godine.