

Dr. Erwin Gigas,

Direktor des Institutes für angewandte Geodäsie Frankfurt/M

## Elektronsko mjerenje dužina\*

U geodeziji zapažamo na polju mjerenja dužina u posljednjim godinama jedan revolucionarni razvoj. Izgleda da će stare metode mjerenja, koje su vezane na tlo i time toliko ovisne o njegovoj zaraštenosti i neravnosti, naskoro moći biti zamjenjene, i da će se izgraditi jedan novi razvoj, koji je već u optičkom mjerenju daljina kao svom početku mnogo obećavao.

Izgleda, da se vraćamo iskonskom načinu mjerenja *Zemlje*, naime mjerenje daljina umjesto kutova, te da ćemo *triangulacione metode*, koje prevladavaju od početka 17. stoljeća zamijeniti *trilateracijom*, koja je mnogo manje ovisna o vremenskim okolnostima i udaljenostima.

Nadalje, otvaraju se sasvim nove mogućnosti u *preciznom poligonskom mjerenju*, gdje je daljnji razvoj uvijek kočila poteškoća točnog mjerenja velikih udaljenosti. Ako je ta poteškoća svladana, onda ništa više ne će spriječavati, da se već *triangulacija trećeg reda zamijeni preciznim poligonima*, i da se fiksne točke ne stavljaju više na udaljene vrhunce brda, već da ih imamo na raspolaganju uz ceste, željeznice i vodotoke, koje linije poligonski vlakovi redovito slijede.

Kod elektronskog mjerenja dužina stoje nam u geodeziji na raspolaganju uglavnom tri metode, na koje se treba osvrnuti:

a) *radarsko mjerenje*, poznato danas i pod imenom »Shoran« ili »Hiran« za vrlo duge strane trokuta do cca 600 km dužine.

b) *Geodimeter*, jedan švedski pronalazak za mjerenje dužina i strana trokuta I. reda do cca 40 km dužine.

c) *EM<sub>c</sub>* — instrument za mjerenje poligonih strana od nekoliko metara do 3—4 km.

## RADARSKO MJERENJE

(RADAR je kratica od *Radio Detection And Ranging* = pronalaženje i izmjera sa radarskim valovima).

Taj postupak počiva na jednostavnoj ideji, da se sa početne točke dužine koju treba mjeriti odašilje impuls, da se taj na kraju te dužine reflektira i ponovo hvata na početnoj točki, te da se izmjeri vrijeme koje je taj električki impuls trebao da prevoli tu dužinu tamo i natrag.

Brzina tog impulsa, koji je nošen elektromagnetskim valovima frekvencije 230 odnosno 250 odnosno 300 kHz, je međutim vrlo velika, okruglo 300 000 km na sat.

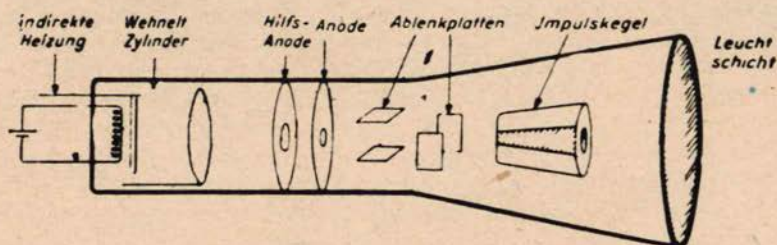
Da bi prevalio dužinu od 150 km tamo i natrag, treba impuls samo 1/1000 sek, i ako se za tu dužinu traži točnost od samo  $\mp 15$  m, to mora biti vrijeme izmjereno već sa točnosti od  $\mp 1/10^7$  sek.

\* Predavanje održano 9. XII. 1953. u okviru I. Kongresa geod. inženjera i geometara FNRJ u Zagrebu. Preveo Ing. Franjo Braum, sveuč. docent.



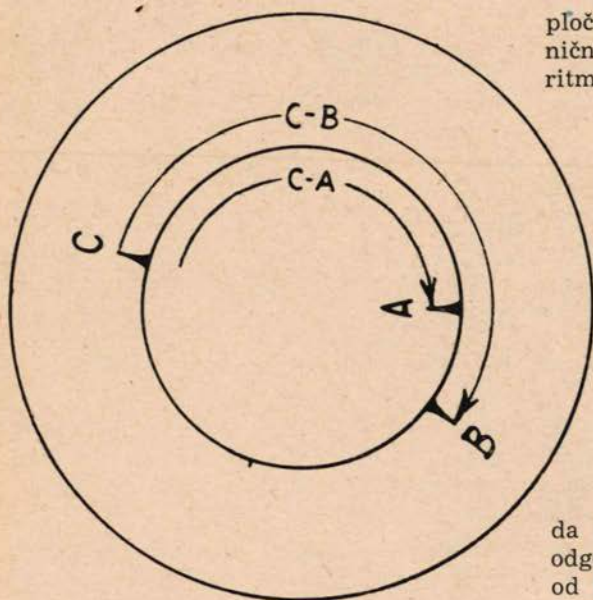
Mogućnost za to pruža *Braunova cijev*, koja predstavlja dušu aparature.

Sl. 1 pokazuje takovu *Braunovu cijev*. Jedna nit se zagrije i emitira elektrone (lijevo). Ovi elektroni koji bez reda lutaju oko bivaju usmjereni i ubrzani djelovanjem pomoćnih anoda nabijenih negativnim naponom. *Wechne-lov cilindar* prouzrokuje prvo usmjeravanje, koje se prelazom kroz pomoćnu



Sl. 1. Braunova cijev

anodu providenu otvorom dalje poboljšava, tako da *elektronski mlaz* — poput optičkog mlaza usmjerenog lećnim sistemom udara kao fini mlaz u *svjetlosni ekran* i tamo izaziva oštru točku.



Sl. 2. Daljinski impulсни šiljci na svjetlosnom ekranu Braunove cijevi

stožac. Taj prihvaća impuls u momentu njegovog odašiljanja i izaziva šiljkasti odstup (C u sl. 2) elektronskog mlaza. Slično djelovanje prouzrokuje i impuls koji se vraća.

Smještajem kondenzatorskih ploča ili kalema nabijeni izmjeničnim naponom može se taj mlaz ritmički skretati, te odgovarajućim raspoređenjem ploča izazvati kruženje mlaza. Frekvencija izmjeničnog napona određivati će kutnu brzinu rotirajućeg mlaza, pa će na pr. kod frekvencije od 931 Hz mlaz izvršiti puni okret u vremenu, u kojem impuls prevali dužinu od 100 eng. milja tamo i natrag. Kod frekvencije od okruglo 1500 Hz puni bi okret odgovarao vremenu koji impuls treba da prevali 100 km; kod 15 kHz odgovarao bi puni okret dužini od 10 km, kod 150 kHz dužini od 1 km.

Braunova cijev prikazana na sl. 1 pokazuje još jedan impulсни



Kako se odašiljanje impulsa ponavlja svake  $1/200$  sek, to se šiljak odašiljanog kao i vraćenog impulsa pričinja uslijed tromosti našeg vida kao stalni šiljak, te su razmaci između odašiljanog impulsa C i eho-impulsa A marke za očitavanje na našem razmjerniku, kojeg pruža svjetlosni krug elektronskog mlaza. Sl. 2 prikazuje utisak sa svjetlosnog ekrana. Na njoj se nalazi istovremeno i eho-šiljak i neke druge dužine C—B, jer se općenito kod te metode od neke točke C, koja leži približno u sredini mjerene dužine A—B, mjeri na oba kraja A i B



Sl. 3. Antena zemljišnog stajališta. Visina cca 17 m

Prije nego opišemo faktički mjerni postupak, treba nešto reći o provedbi mjerenja.

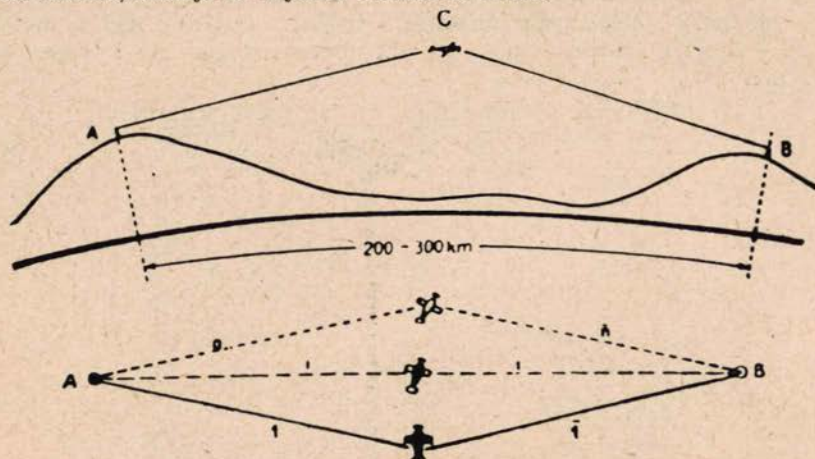
Mjerenju trokutne mreže prethodi rekognosciranje zemljišta. Za trokutne točke odabiru se, kao što je običaj i kod klasične triangulacije, visoko položene zemljišne točke. Razmak dviju točaka neka po mogućnosti ne bude manji od 200 km. Točke se stabiliziraju, a njihov položaj odredi astronomski na točnost od 1—2 km. Visina se odredi barometrijski. Kada je mreža rekognoscirana, prva se stajališta provide antenama (sl. 3)

Istovremeno se na krajevima mjerene dužine instaliraju električni instrumenti, koji imaju zadaću da primame impulse sa valom-nosiocem od 230 kHz za C—A, odnosno 250 kHz za C—B pojačaju prije vraćanja, koje, u svrhu razli-



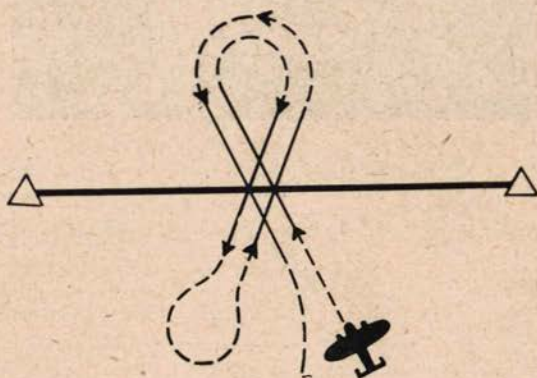
kovanja od slanja tamo, uslijedi na valu-nosiocu od 300 kHz. Echo-impuls šalje se natrag na nešto drugačijoj frekvenciji, da bi se na mjernoj stanici moglo lučiti odašiljanji impuls C od eho-impulsa A odnosno B.

Kako postupak pretpostavlja optičku vidljivost između početka i kraja mjerene dužine, stavlja se mjerna stanica u avion.



Sl. 4. Avion nadlijeće prugu A—B, te se od aerostanice C mjere dijelovi CA i CB

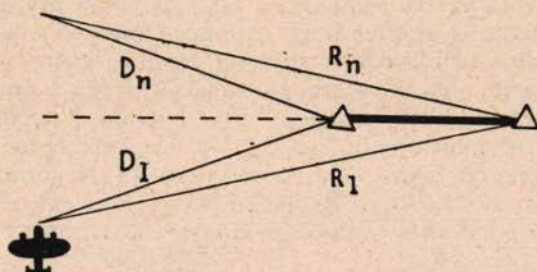
Zemljišne stanice upravljaju pomoću radiosignala avion približno u sredini dužine AB. Opservator počinje mjerenje dužine već nešto prije, nego što je avion došao na pravac dužine, te produžuje mjerenje i nakon prelaza preko pravca. Kinematografski snimljeni rezultati pružaju, grafički naneseni, parabolu, čije tjeme predstavlja traženu kosu minimalnu sumu udaljenosti  $D = CA + CB$ .



Sl. 5.

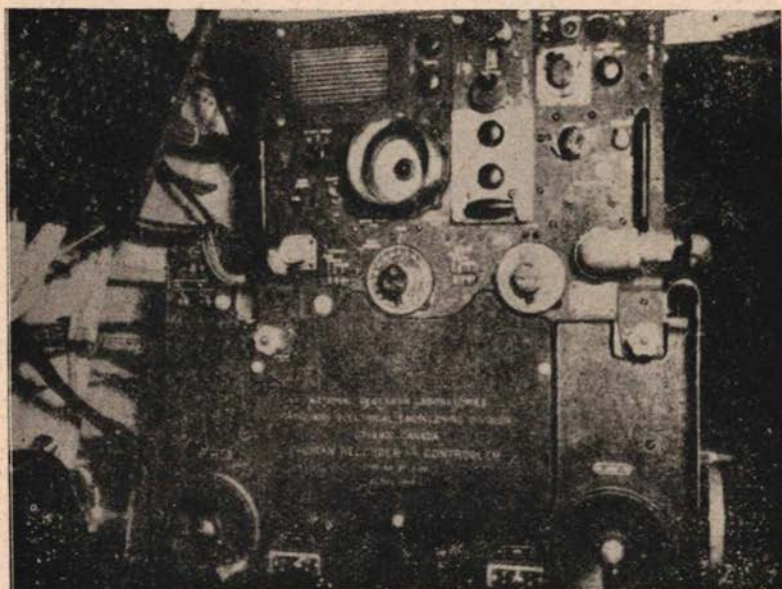
Avion okrene i nadlijeće ponovno dužinu, pri čem se pokazalo kao praktično nadlijetanje u osmici sa 4 neovisna mjerenja (sl. 5). Općenito te se osmice ponavljaju 16 puta, čime dobivamo ukupno 32 neovisna mjerenja.

Ako je iznimno neka dužina kraća od 200 km, nadlijetanje se vrši izvan dužine, te se mjeri diferencija  $CB-CA$ , koja onda daje traženu udaljenost  $AB$  (sl. 6).



Sl. 6.

Sada se vraćamo na faktičnu mjernu operaciju. Pošto se avion približio sredini mjerene dužine, započinje opservator na mjernom instrumentu u avionu (sl. 7) odašiljanjem impulsa. Na Braunovoj cijevi pokazuju se kod najmanje okretajne frekvencije elektronskog mlaza ( $1500 H_z$  što odgovara dužini od



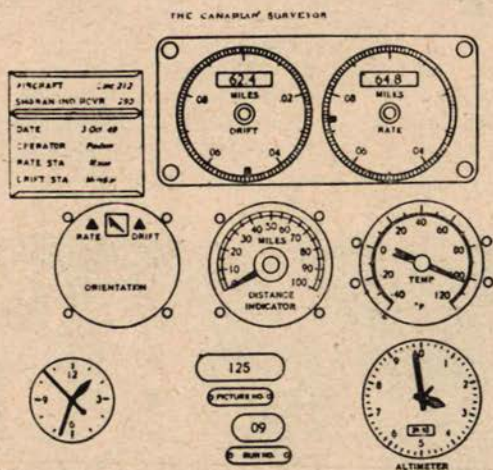
Sl. 7.

100 km) spomenuti šiljci. Sada opservator koincidira šiljke  $B$  i  $A$  okretanjem dvaju dugmeta. Pokret dugmeta djeluje na dva brojila za udaljenosti  $CA$  i  $CB$ , u kojima se okrenu pune stotice km i njeni dijelovi. Sada se prespoji na sljedeću višu frekvenciju (na pr.  $15 kH_z$  za okret elektronskog mlaza). Šiljci će se



opet pojaviti, što je potrebno jer desetice kilometara i njezini dijelovi nisu kod prvog mjerenja mogli biti dovoljno oštro uhvaćeni. Opservator uspostavlja ponovno koincidenciju okretanjem dugmeta, i uvrći time desetice kilometara i njene dijelove u brojila. To se ponavlja još jedamputa prespajanjem na slijeđuću višu frekvenciju, te se time uvrće jedinice i dijelovi kilometara u brojila. Kako se avion stalno približava vertikalnoj ravnini dužine, to će šiljci stalno nastojati da se razidu, pa će opservator morati stalno popravljati dugmeta.

Avion ima brzinu od 400—500 m/sek, to znači da će se njegova kosa udaljenost od na pr. 100 km mijenjati kojih 2—3 m na sekundu, pa će opservator moći komotno stalno održavati koincidenciju šiljaka. Kako opservator u nekoliko sekundi ne može izvršiti očitavanje, to jedan kinematografski instrument za registraciju snima brojila svake 3 sekunde. Započinje se kojih 40—50 se-



Airborne Recorder Dials

Picture Number	Altitude	Time	R Rate	D Dist.	Drift Dist.	R + D	y
125	12,980	13-33-53	64,874	62,450	127,324	064	
126	12,985	-56	842	475	317	057	
127	12,975	-59	807	503	310	050	

(R + D) — base value = y  
base value = 127,300

Sl. 8.

kundi prije nadlijetanja pravca, a isto toliko nastavlja se opservacija nakon nadlijetanja. Opservator ne treba ništa drugo raditi nego stalno paziti da šiljci stalno koincidiraju; registracija uslijeduje automatski.

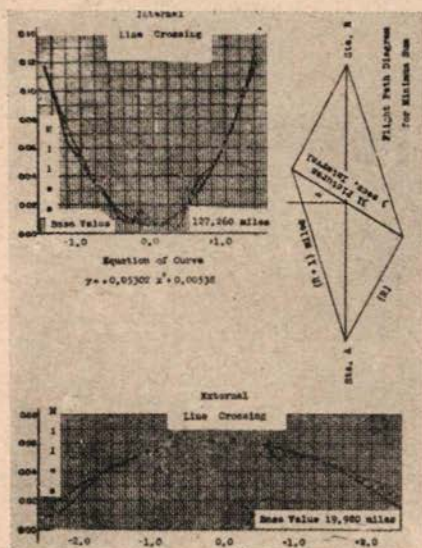
Sl. 8 pokazuje kinematografski registrirani snimak. Gore se preslikaju oba brojila, na kojima se mogu očitati udaljenosti CA = 62,450 milja i CB = 64,874 milja. Osim toga preslikava se (altimetar) podatak visine lijeta: 12 980 stopa, (najmanja kazaljka pokazuje 10 000-ice stopa, srednja kazaljka 1000-ice stopa, velika kazaljka 100-ice i 10-ice stopa, a jedinice stopa se procjenjuju). Također se preslikava vrijeme = 13<sup>h</sup> 33<sup>m</sup> 53<sup>s</sup> i temperatura = 102<sup>o</sup> Fahrenheit. Daljinski indikator daje kontrolu o točnosti izvršene koincidencije šiljaka. Kazaljka smjera lijeta (Orientation) pokazuje u kojem se smjeru preletio pravac. Nadalje



filmska vrpca pokazuje broj snimka, broj lijeta, te podatak o imenu krajnih stacija mjerne dužine, zatim datum, ime opservatora, ime aviona i broj instrumenta.

Slijedeća slika 9 prikazuje rezultat od 31 snimka nanesen na mm-papiru. Parabola izjednačenja ima jednadžbu:  $y = 0,05302 x^2 + 0,00538$ , i daje za kosu udaljenost A-C-B = 127,260 milja.

Ako je uslijed prekratke dužine pruga A—B bila prelijetavana izvana, tako da dužinu A—B dobijemo kao diferenciju, onda za parabolu imamo doljnju liniju na slici 9.

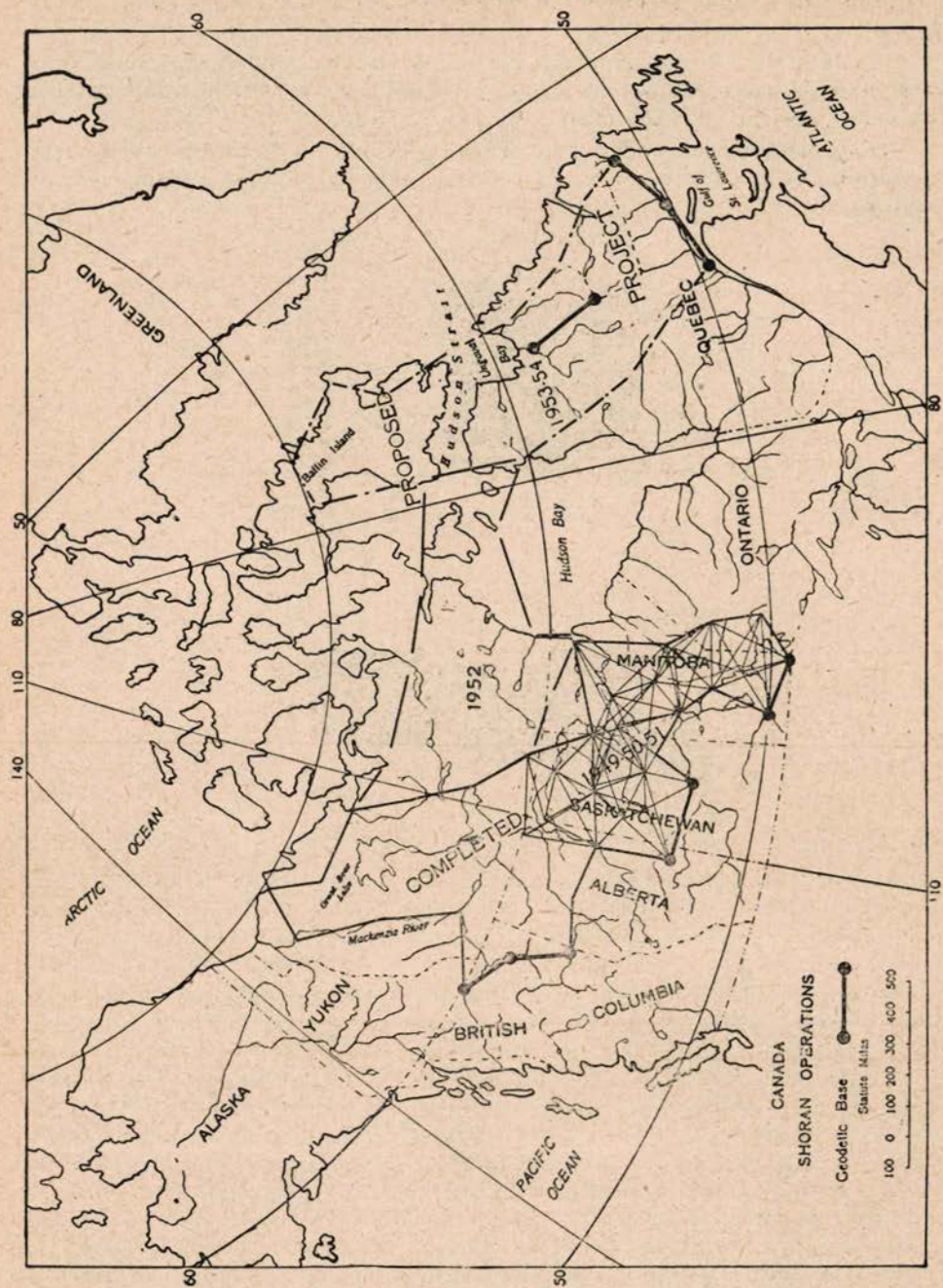


Sl. 9.

Shoran-postupak bio je objelodanjen 1938 od Stuarda W. Seely-a. Godine 1942. mogli su biti izvedeni prvi pokusi, a 1944. bila je aparatura već sposobna za terensku primjenu. Potrebno je da aparatura bude baždarena na poznatim dužinama, jer impuls treba stanovito vrijeme, da prođe kroz emisioni i prihvatni aparat, a pretrpi i na zemljišnoj stanici na kojoj se prije vraćanja pojačava stanovito zakašnjenje. Računsko određivanje ove korekcije ne bi imalo nikada onu točnost koju daje baždarenje na poznatoj dužini. Ime SHORAN je kratica za »Short Range Aerial Navigation« i znači aeronavigacija malenog dosega. Uvjerljiv dokaz upotrebljivosti postupka dan je Shoran-triangulacijom Kanade, gdje je u nekoliko godina potpuno triangulirano područje veličine Evrope.

Sl. 10 prikazuje Shoran-mrežu Kanade. U dijelu koji je izmjereno od 1949. do 1951. reproducirana je mreža u svojim detaljima. Ta se slika potpuno razlikuje od slika mreža klasičnih triangulacija, jer se u svrhu povećanja točnosti i postizavanja prekobrojnih podataka mjeri svaka moguća veza bez obzira na formu trokutova. Dok je točnost Shoran-mjerenja na početku još iznosila





Sl. 10.



1 : 15 000, to se točnost kod Hiran-postupka, do kojega je dovelo usavršavanje u USA, povisila već na 1 : 300 000. Time su svi uvjeti, koji se danas postavljaju na modernu zemaljsku izmjeru, ispunjeni sa metodom trilateracije.\*

## POSTUPAK MODULACIJE VISOKOFREKVENTNIH SVJETLOSNIH VALOVA

Ideja da se svjetlosni valovi (od cca  $0,6 \mu$  valne duljine) moduliraju, nije nova. Nemodulirani svjetlosni val je prefino mjerilo za mjerenje velikih daljina. Ti se valovi koriste samo kao nosilac i superponira im se znatno veća valna duljina od više nego 10 m. Uzmimo na pr. frekvenciju od cca  $8,3 \text{ MHz}$ , to rjnoj odgovara modulirani val od cca 36 m. Kako se kod svjetlosnih valova valna brda i dolovi jednako ispoljuju, to će svakih 18 m nastupiti potpuna tama (čvorovi) a istotako, za 9 m pomaknuto, svakih 18 m maksimalna svjetlost. Modulirani val odgovara dakle jednom razmjerniku čije skalne crtice odgovaraju jedinici od 18 m.

Kao i kod vodnog vala stanje se na jednom određenom mjestu mijenja neprekidno, kod  $8 \text{ MHz}$  dakle 16 000 000 puta u svakoj sekundi. Želi li se tu metodu primijeniti za mjerenje daljina, to se mjerenje svjetlosnog intenziteta mora bezuvjetno na oba kraja mjerene dužine izvršiti istovremeno. Ako tada na početku i kraju nađemo jednake intenzitete svjetla, to je time dokazano, da je dužina jednaka višekratniku od 18 m. Ako je intenzitet na obim krajevima različit, to ćemo jedan od krajeva morati pomicati za najviše 9 m u smjeru dužine na jednu ili drugu stranu, da bismo postigli jednakost intenziteta na oba kraja.

Budući da je vrlo komplicirano uspoređivati intenzitete na dvima vrlo razmaknutim točkama, to se svjetlo na kraju mjerene dužine reflektira pomoću ravnog zrcala, te se usporedba intenziteta vrši na početku mjerene dužine,

Praktična primjena ovog postupka postavlja nas pred zadatak da riješimo dva osnovna problema:

a) modulaciju svjetlosnih valova

b) komparaciju intenziteta odaslanog i vraćenog svjetla

Prvi zadatak riješen je već prije 20 godina, kada su *Mittelstädt* i kasnije *Müttel* u Münchenu svjetlo visokofrekventno modulirali, da bi odredili brzinu svjetla. Oni su za to upotrebili *Kerr-čeliju*.

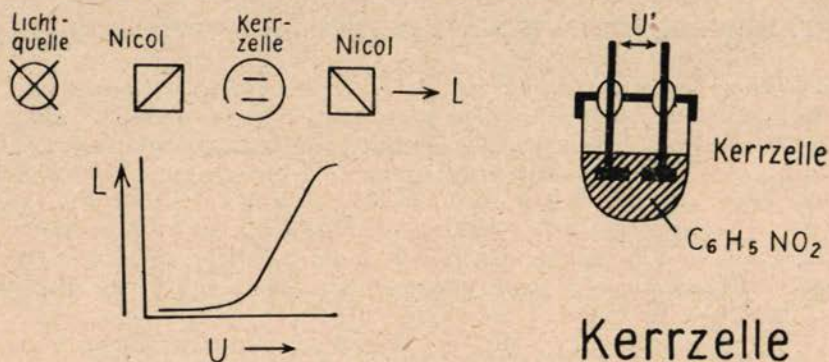
*Kerr-čelija* je malena staklena posuda (sl. 11) napunjena očišćenim *Nitrobenzolom* ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ ). U tekućinu uronjene su dvije elektrode u vrlo malom razmaku (manje od 2 mm), na koje je priključen visokofrekventni izmjenični napon. Djelovanje tog napona na polarizirano svjetlo, koje se vodi između elektroda, sastoji se u zaokretanju polarizacije. Svjetlo (sl. 11) koje dolazi od izvora svjetla i koje se usmjeruje pomoću jednog optičkog sistema, koji nije prikazan, pada na jedan *Nicol*, koji svjetlo polarizira. Nakon toga svjetlo prolazi kroz *Kerr-čeliju* i pada na drugi za  $90^\circ$  zakrenuti *Nicol*, koji gasi svjetlo. Priključenjem izmjeničnog napona ravnina se polarizacije zakreće, i time dje-

\* Literatura: J. E. R. Ross, Shoran Triangulation in Canada. Bulletin Géod. 1952, br. 24, str. 207—242.

Isti i L. C. Card u časopisu The Canadian Surveyor, u godinama 1950—1952 u različitim člancima.

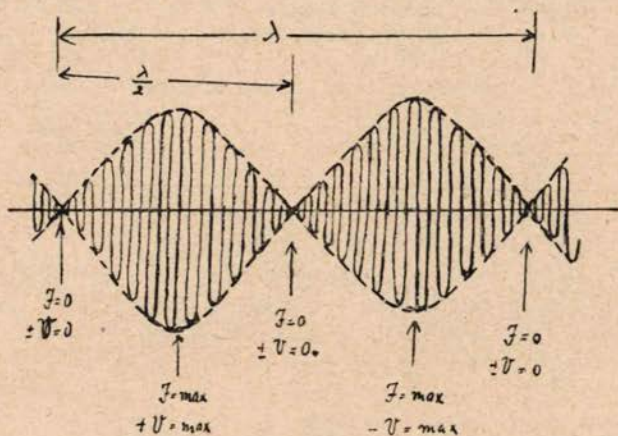


lovanje drugog *Nicola* manje ili više, već prema naponu, kompenzira. Proizvodi se dakle svjetlosni val određen frekvencijom izmjeničnog napona. Karakteristika (*Kennlinie*) takove *Kerr-ćelije* je također prikazana na sl. 11. Apscisa predstavlja napon a ordinata svjetlosni intenzitet.



Sl. 11.

Nakon prolaza kroz drugi *Nicol* mjerenom će dužinom teći modulirani val, kao što je shematski prikazano na sl. 12.



Sl. 12.

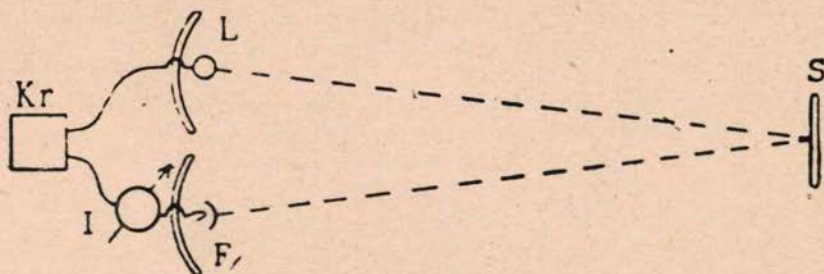
Sada treba riješiti drugo pitanje, kako da uspoređujemo svojetlosne intenzitete odašiljanog i vraćenog svjetla.

Kako je već spomenuto na početku, instrumentat za mjerenje ćemo smjestiti na početku dužine. Na kraju postavljeno je ravno zrcalo *S* (sl. 13), koje reflektira svjetlo. Sl. 13 prikazuje shematski šuplje zrcalo na početku, koje hvata vraćeno svjetlo, i odvodi ga fotoćeliji.

Time je princip komparacije intenziteta već naznačen. Uspoređivanje se vrši elektronskim putem, time da se vraćeno svjetlo u fotoćeliji pretvara u



električnu struju, koja se pojačana milijun puta u umnožavaču sekundarnih elektrona može upotrijebiti za mjerenje razlike faza. Ima međutim različitih načina, da se na pokazivaču  $I$  (indikatoru) pokaže jednakost ili nejednakost faza. Time dolazimo do dva rješenja, i to:

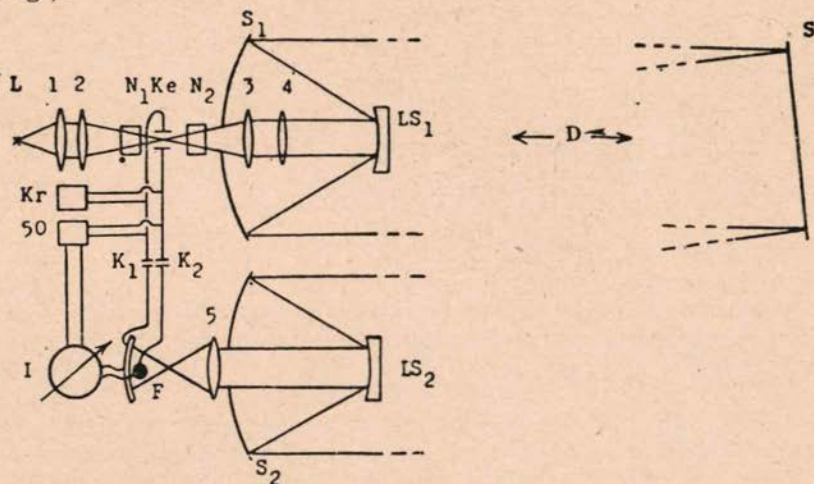


Sl. 13.

a) Bergstrandovo rješenje ostvareno u Geodimetru

b) rješenje Instituta za primjenjenu geodeziju ostvareno u  $EM_c$ -instrumentu

Zasluga je švedskog geodeta Bergstranda, da je u 40-tim godinama prihvatio ideju Mittelstäda i Hüttela, i iskoristio je za mjerenje duljina. 1948. izvještava o tome Bergstrand (Djelatnost Baltičke geodeske komisije u godinama 1944.—1947. str. 101: Measurement of Distances by Frequency Light Signaling\*).



Sl. 14.

Na sl. 14 prikazana je shema Berstrandovog instrumenta. Svjetiljka  $L$  odašilje svjetlo usmjereno lećama 1 i 2 kroz Nicol  $N_1$  Kerr-čeliju  $Ke$  i Nicol

\* Daljnje objelodanjene radnje su:

Bergstrand: A Determination of the Velocity of Lyght, Arkiv för Fysik, Bd. 2, Nr. 15, 1950.  
Isti. A check Determination of the Velocity of Lyght. Arkiv för Fysik, Bd. 3, Nr. 26, 1951.

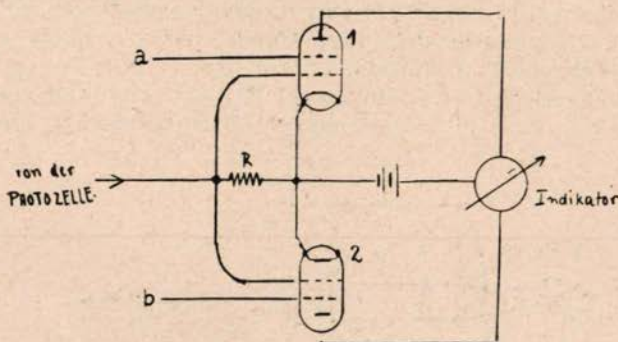


$N_2$ , kroz leće 3 i 4, i preko zrcala  $LS_1$  na šuplje zrcalo  $S_1$  postavljeno na početak mjerene dužine. Odatle svjetlo ide dužinom  $D$ , na čijem kraju zrcalo  $S_2$  vraća dolazeći svjetlosni snop. Zrcaljeno svjetlo vraća se po dužini  $D$  natrag, biva uhvaćeno šupljim zrcalom  $S_2$ , te se preko šupljeg zrcala  $LS_2$  i leće 5 dovodi u fotočeliju  $F$ .

Fotočeliju upravlja kristalni oscilator, koji regulira i napetost Kerr-čelije, t. j. fotočelija prihvaća svjetlo samo u ritmu izmjeničnog napona koji vlada u Kerr-čeliji.

Begstrand upravlja Kerr-čelijom u ravnom dijelu karakteristike koji se uspinje (između 6000 i 7000 Volti). Da bi dobio oštri definirani podatak na pokazivaču on superponira visokofrekventni napon od  $8,33 \text{ MHz}$  sa amplitudom od 1200 Volta niskofrekventnom naponu od  $50 \text{ Hz}$  i amplitude 6200 Volti. Na taj način on dobije konstantni preostali napon, koji 100 puta u sekundi mjenja svoj predznak. Kondenzatori  $K_1$  i  $K_2$  sprečavaju, da niskofrekventni napon utiče na umnožavač sekundarnih elektrona dok za visokofrekventne struje kondenzatori  $K_1$  i  $K_2$  ne predstavljaju nikakove zapreke.

Na sl. 14 izmjenični napon od  $50 \text{ Hz}$  djeluje stoga i na pokazivač  $I$ . To se postizava rasporedom prikazanim na sl. 15.



Sl. 15.

Napon sa  $50 \text{ Hz}$  utječe tako na rešetke  $A$  i  $B$  obih cijevi, da  $a$  posjeduje maksimalni pozitivni napon kada  $b$  posjeduje maksimalni negativni napon. Za vrijeme pozitivnog dijela izmjeničnog napona sa  $50 \text{ Hz}$  ima na pr.  $a$  pozitivni napon, te će rešetka cijevi 1 pustiti proći elektrone i struju da dođe do indikatora  $I$ . Istovremeno je cijev 2 blokirana uslijed negativnog napona rešetke, t. j. kroz cijev 2 ne može teći struja do indikatora. Za vrijeme druge poluperiode uloge su obih cijevi izmjenjene, pa struja teče kroz cijev 2, dok je cijev 1 blokirana. Pokazivač  $I$  je jedan vrlo osjetljiv ali inertan galvanometar. Kako se struje za vrijeme obih poluperioda niskofrekventnog izmjeničnog napona dovode indikatoru u suprotnim smjerovima, to će on stoga pokazivati razliku obih struja.

Mi želimo sada pokušati, da sam postupak mjerenja učinimo razumljivijim.

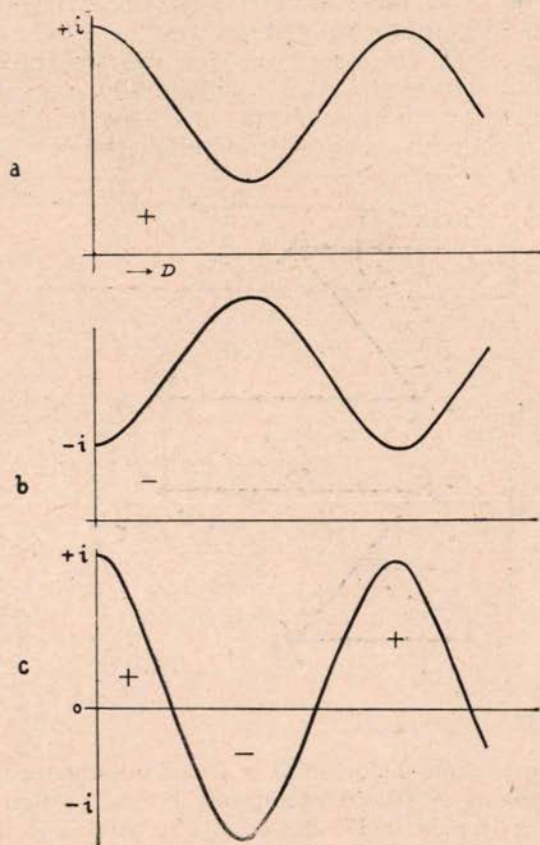
Intenzitet  $I$  svjetla koje prolazi Kerr-čelijom imat će — u suglasnosti sa sinusoidnim oblikom izmjeničnog napona — također sinusoidni oblik:

$$I = I_0 \sin^2 k \cdot V^2$$



gdje  $V$  znači diferenciju potencijala između ploča Kerr-čelija a  $k$  konstantu. Maksimumi svjetlosnog intenziteta su međutim obzirom na oblik sinusoide slabo definirani, tako da ne možemo predvidjeti da bi mjerenja bila izvršena sa krajnjom točnošću.

Zbog toga Begstrand superponira visokofrekventni napon ( $f = 8,33 \text{ MHz}$ , amplituda 1200 Volta) jednom konstantnom niskofrekventnom izmjeničnom naponu od  $50 \text{ Hz}$  i amplitude 5000 Volti. Time on postizava da se karakteristika Kerr-čelije upravlja u linearnom dijelu, i da se oštrina očitovanja povećava na isti način kao kod istovremenog odašiljanja dvaju valnih vlakova (a i b na sl. 16), koji se za  $\pi$  razlikuju u fazi, te njihova diferencija pokazuje dobro izražene nulte prolaze, koje možemo oštro mjeriti.



Sl. 16.

Mjerni će instrumenat pokazivati nulu, kada će određena dvostruka dužina biti duga 9 m, 27 m, 45 m, 63 m, 81 m, 99 m i t. d.

Fotočelija upravlja se samo s visokom frekvencijom, jer oba 3 pF-kondenzatora (sl. 18) i visokofrekventne prigušnice sprečavaju, da niskofrekventni naponi od  $50 \text{ Hz}$  dospiju do fotočelije. S druge strane tvore otpori  $1 \cdot 0 \text{ M}\Omega$ ,

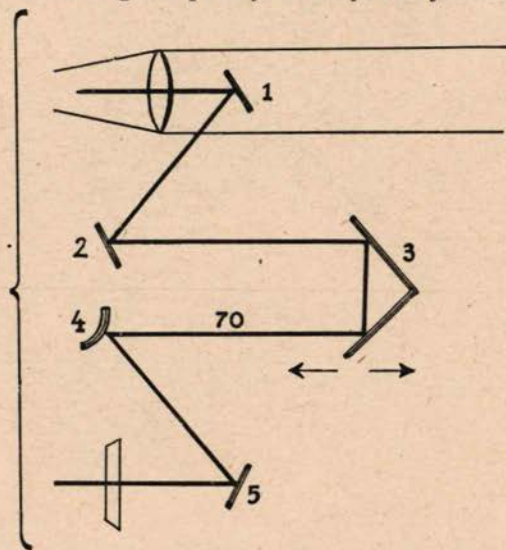


kondenzator  $2 \text{ pF}$  i anodni kapacitet fotoćelije most, koji sprečava da visokofrekventni naponi dospiju u cijev pojačala. Pomoću sklopke 1 može se promijeniti faza dovoda visokofrekventnog napona.

Već prema odnosu poklapanja faza upravljačkog napona i vraćanog svjetla imat ćemo više ili manje jake istosmjerne impulse napona sa  $50 \text{ Hz}$  u otporu od  $70 \text{ M}\Omega$ . Ovi impulsi imaju osim toga različite jakosti, već prema tome da li reflektirano svjetlo biva odašiljano za vrijeme pozitivne ili negativne poluvarijacije naravno protivne faze.

Bergstrand je u navedenim radnjama matematski dokazao, da galvanometar  $I$  može samo onda pokazivati struju  $O$ , ako je ispunjen uvjet da je dvostruka udaljenosti  $2D$  cijeli višekratnik od  $\lambda/2$  ili  $D$  cijeli višekratnik od  $\lambda/4 = \sim 9 \text{ m}$ .

Samo ćemo rijetko na takav slučaj u praksi naići. Moglo bi se naravski zrcalo  $S_3$  pomicati i mjerena dužina skraćivati ili produživati, dok indikator ne bi ukazivao struju  $O$ . To je međutim komplicirano. Stoga je Bergstrand uključio jedan zaobilazak svjetla (sl. 17), koji priključivanjem zrcala i prizmi omogućuje produženje svjetlosne zrake za cca  $2 \times 70 \text{ cm}$ , i konačno uključivanjem pomične prizme 3 omogućio promjenu duljine svjetlosnog puta za dijelove



Sl. 17.

od  $70 \text{ cm}$ . Prema tome ćemo u slučaju da je struja u indikatoru različita od nule stepeničasto uključivati svjetlosni zaobilazak, i time postignuti u indikatoru struju nula. Na svjetlosnom zaobilasku pročita se ostatak  $R$ , koji pridodamo k  $N \cdot \lambda/4$  ili od njega oduzmemo, da bismo dobili točnu vrijednost za  $D$ . Cijeli višekratnik  $N$  je dakako nepoznat. Kako je Bergstrand u početku namjeravao da određuje približno poznate dužine (poznate na cca  $5 \text{ m}$ ), to je on vrijednost  $N$  određivao iz te približne udaljenosti, kao što je ona bila na pr. određena tringulacijom. Ostatak predstavlja korekciju, te se na taj način može uštedjeti na broju baza u mreži I. reda, koje smo inače prisiljeni porazmjestiti u razmacima od cca  $200 \text{ km}$ .







Shema konstrukcije aparature prikazana je na sl. 18

Okolnost da na ovaj način mogu biti određivane samo približno poznate dužine, bitno ograničuje primjenu instrumenta, tako da je Bergstrand na poticaj pisca ugradio još jedan drugi kristalni oscilator i time omogućio još jedno drugo mjerenje. Iz razlike ostataka koje dobijemo kod dviju različitih frekvencija može se odrediti nepoznanica  $N$ , te nije više potrebno poznavati približnu vrijednost dužine.

Za geodetska mjerenja kod zahtjeva točnosti od 1 : 100 000 možemo zanemariti određivanje temperature, vlage i pritiska zraka, koji utječu na brzinu svjetla. Želi li se postići viša točnost, onda je potrebno odrediti te vrijednosti. To je Bergstrand učinio određivši nove vrijednosti za brzinu svjetla. Tabela na sl. 19 dokazuje visoku točnost, koju posjeduje ta metoda.

Year	Observer	Length m	Vel. in vacuo	Method used
1849	FIZEAU . . . . .	9 000	315 300 km/sec	Toothed wheel.
1862	FOUCAULT . . . . .	20	298 000 ± 500	Rotating mirror.
1874	CORNU . . . . .	23 000	299 990 ± 200	Toothed wheel.
1879	MICHELSON . . . . .	700	910 ± 50	Rotating mirrors.
1882	NEWCOMB . . . . .	4 000	860 ± 30	" "
1902	PERROTIN . . . . .	46 000	901 ± 84	Toothed wheel.
1906	ROSA a. DORSAY . . . . .	—	781 ± 10	Ratio of e. s. u. to e. m. u
1924	MICHELSON . . . . .	35 000	802 ± 30	Rotating mirrors.
1926	MICHELSON . . . . .	35 000	796 ± 4	" "
1929	MITTELSTAEDT . . . . .	250	778 ± 20	Kerr cell, Phototube.
1932-1933	(MICHELSON, PEASE, PEARSON)	15 000	774 ± 11	Rot. mirr. in vacuo.
1937	ANDERSON . . . . .	170	771 ± 14	Kerr cell, Phototube.
1940	HÜTTEL . . . . .	80	768 ± 10	" " "
1941	ANDERSON . . . . .	170	776 ± 14	" " "
1941	BIRGE . . . . .	—	773 ± 3	Statistically.
1947	ESSEN . . . . .	—	793 ± 9	Short wave resonance.
1948	BERGSTRAND . . . . .	9 000	796 ± 2	Kerr cell, Phototube.

Corr by BIRGE 1934. Sl. 19.

Prije nego napustimo Bergstrandov instrument, navest ćemo još neke podatke.

Instrument je težak okruglo 220 funti (cca 110 kg), generator za proizvodnju izmjenične struje daje 300 Watti, napona 120 ili 240 Volti, motor od 1,25 HP kod 3000 okretaja na minutu teži 60 funti (cca 30 kg) i ravno zrcalo 46 funti (cca 23 kg). Ako se instrument upotrebi na trigonometričkim signalima, mora se ravno zrcalo  $S_2$  iz sl. 14 zamjeniti skupom od cca 20—30 triplet-zrcala. Praktična mjerenja u USA dala su točnost od 1 : 500 00 do 1 : 1 000 000.

Za izobrazbu u rukovanju instrumentom dovoljno je kratko vrijeme. Jedina mana je znatna veličina i velika težina. Ove mane kao i neke druge nekomotnosti nastojalo se izbjeći kod  $EM_c$ -instrumenta Instituta za primjenjenu geodeziju.

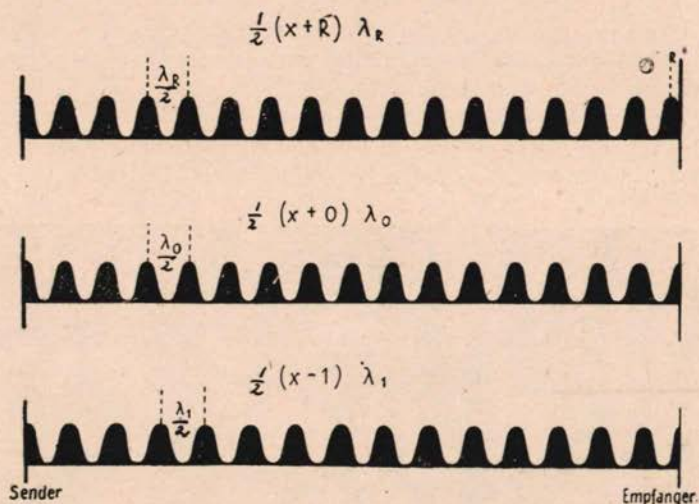


EM<sub>c</sub>-INSTRUMENT INSTITUTA ZA PRIMJENJENU GEODEZIJU,  
FRANKFURT/M

Namjera Instituta bila je da izradi lagani udobno prenosivi instrument, koji ne pretpostavlja približno poznavanje udaljenosti, i kojim se toliko jednostavno rukuje, da može poput teodolita biti upotrebljen na uobičajenim teodolitnim stativima za određivanje duljina u preciznim poligonskim vlakovima.

Modulacija svjetla postizava se kao obično pomoću Kerr-ćelija. Upotreba svjetlosnog zaobilaska napuštena je, a umjesto toga može se visoka frekvencija varirati u granicama od 20 do 21 MHz.

Na sl. 20 prikazana je osnovna ideja promjene frekvencije.



Entfernungsbestimmung

$$4 \cdot E = (x+0) \cdot \lambda_0 = (x-n) \lambda_R$$

Sl. 20.

Sl. 20 pokazuje u gornjem redu shematsku predodžbu sinusoidnih svjetlosnih impulsa, koji odgovaraju nekoj valnoj duljini  $\lambda$ . Valni će vlak u sredini reda udariti na neprikazano ravno zrcalo, i svjetlo će se reflektirati. Ovaj reflektirani valni vlak preklapljen je na desno, te prvi red predstavlja dvostruku dužinu  $2E$ . Dužina općenito ne će predstavljati cijeli višekratnik valne duljine  $\lambda_{R/2}$ , tako da će kod komparacije odašiljanog i reflektiranog svjetla nastupiti fazna diferencija, koja neka odgovara dužini  $R$ . Sada se poveća valna duljina  $\lambda_R$  na  $\lambda_0$  tako da ostatak  $R$  nestane, t. j. da nastupi jednakost faza. Mi dobijemo time sliku u drugom redu, gdje je

$$2E = \frac{x \cdot \lambda_0}{2}$$

i  $x$  cijeli broj.



Ako sada povećavamo  $\lambda$ , to će se opet pojaviti razlika u fazi sve dok  $\lambda$  ne poprimi vrijednost  $\lambda_1$ , tako da je sada

$$2E = (x - 1) \frac{1}{2} \lambda_1$$

Područje varijacije dozvoljava daljnje promjene, te se tako dobije

$$2E = (x - 2) \frac{1}{2} \lambda_2$$

.....

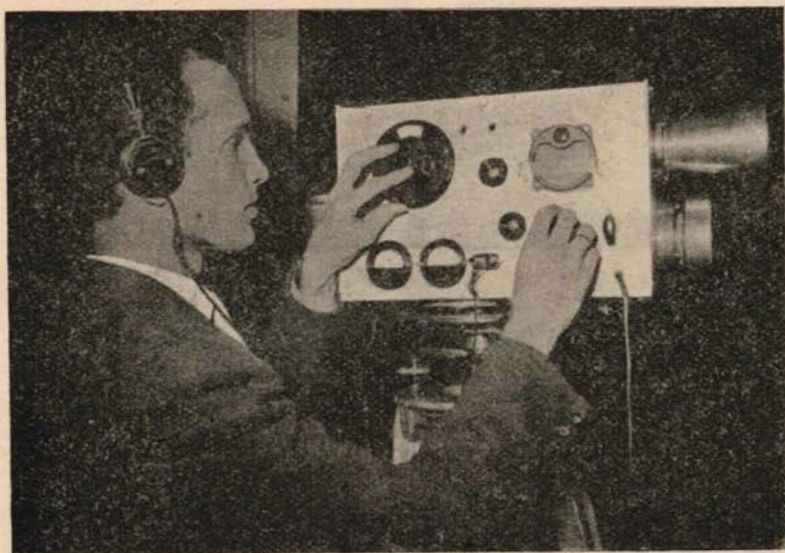
$$2E = (x - n) \frac{1}{2} \lambda_n$$

Dvije jednadžbe su dovoljne da se eliminiira  $x$  i odredi  $E$ . Ostale jednadžbe omogućuju mnoga prekomjerna određivanja.

$$E = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{2(\lambda_1 - \lambda_0)} = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{\lambda_0 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_0)} \text{ itd.}$$

Daljna bitna razlika, koja prije svega dovodi do redukcije težine i do znatnog smanjivanja dimenzija instrumenta, sastoji se u zamjeni šupljeg zrcala sa jednostavnom lećnom optikom.

Slika 21 i 22 prikazuju instrument još u njegovoj voluminoznoj laboratorijskoj izvedbi. Donji objektiv ( $0_1$ ) služi za odašiljano svjetlo, a gornji ( $0_2$ ) za hvatanje reflektiranog svjetla, koje je prešlo dužinu  $E$  tamo i natrag. Crni



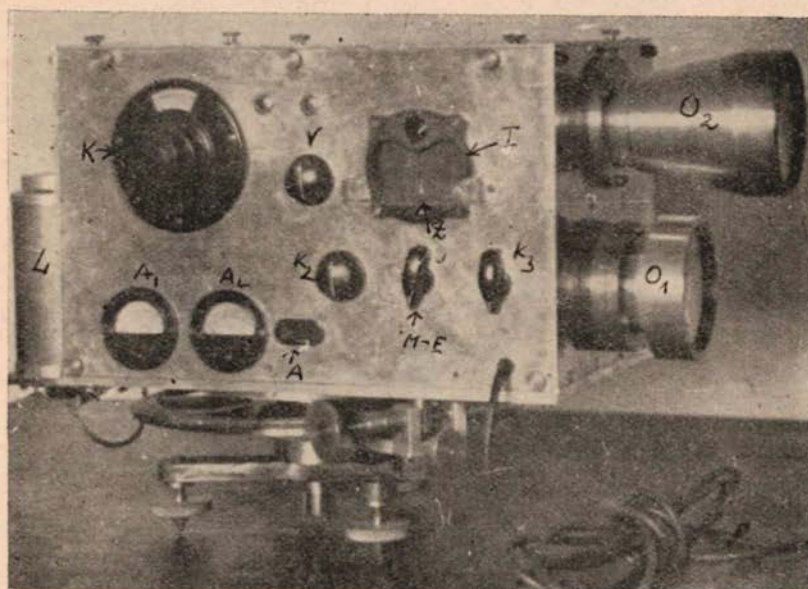
Sl. 21.

kondenzator ( $K$ ) lijevo gore služi za promjenu frekvencije. Indikator desno gore dozvoljava opservaciju razlike u fazi, odn. jednakosti u fazi kada kazaljka ( $Z$ ) stoji na nuli. Dugme za uključivanje služi za prespajanje instrumenta na baždarenje odn. mjerenje. Potrebna promjena frekvencije mora biti baždarena komparacijom sa titrajima jednog oscilatora sa kvarcom, što se vrši pomoću slušalice, kako je upravo prikazano na sl. 21. Kod postave na baždarenje čuje



se u slušalici zvižduk, — poput zviždanja reakcije u radiu — koji posve naglo utihne kada titrajni krug mjernog oscilatora (kondensator  $K$ ) bude doveden u titranje na 40., odn. 41 ili 42. nadvalu ugrađenog oscilatora iz kvarca neosjetljivog na temperaturu. Na taj se način oštro baždare tri točke skale kondenzatora  $K$ .

Na sl. 22 možemo još raspoznati kućište živine svjetiljke sa visokim pritiskom ( $L$ ). Cijelokupni instrument leži na normalnom teodolitnom tronogu, i može biti stavljen na svaki stativ uobičajene velične. Ostala dugmeta  $K_2$  i  $K_3$  služe za uključivanje struje, a dugme  $V$  za reguliranje nulpostave. Oba pokazivača  $A_1$  i  $A_2$  dozvoljavaju kontrolu jakosti i napetosti struje, a  $A$  je priključak za slušalicu.



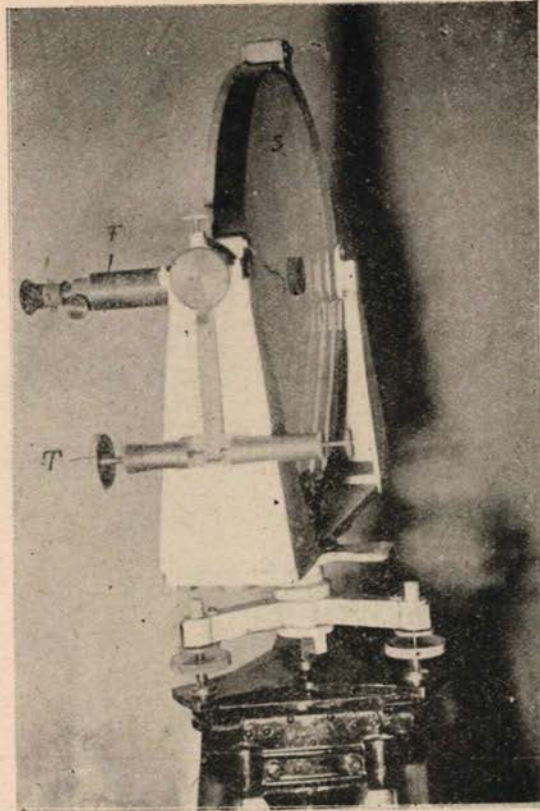
Sl. 22.

Sl. 23 prikazuje nam i ravno zrcalo  $S$ , koje se pomoću tangentskog vijka  $T$  može postaviti okomito na vizurni pravac. U tu svrhu pomoćnik promatra kroz durbin  $F$  ciljnu svjetiljku na instrumentu.

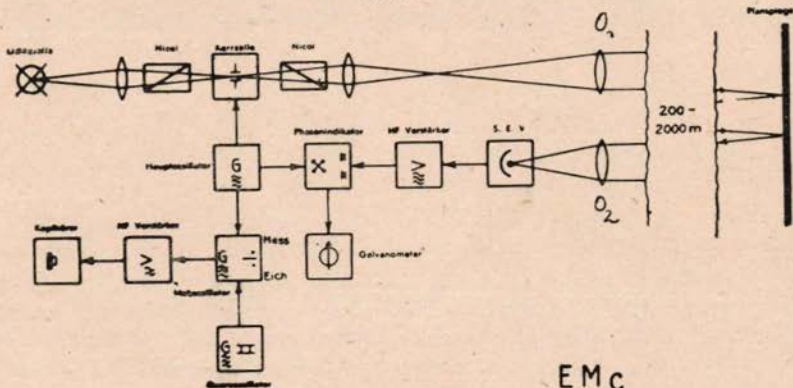
Instrument se baždari neposredno prije i poslije svakog mjerenja. Dvostruko baždarenje i mjerenje teško da zahtjeva više od 5 minuta vremena.

Grada instrumenta proizlazi iz sl. 24. Modulacija se svjetla postizava kao i kod Bergstrandovog instrumenta. Modulirano svjetlo ostavlja instrument kroz objektiv  $0_1$ . Svjetlo reflektirano od ravnog zrcala, koje se nalazi na kraju dužine hvata se objektivom  $0_2$  i dovodi fotočeliji i umnožavaču sekundarnih elektrona. Nakon što prođe visokofrekventno pojačalo fotostruja odilazi do faznog indikatora. Taj je kao i Kerr-čelija upravljana od glavnog oscilatora, čija frekvencija leži između 20 i 21  $MHz$ . Frekvencija se kontrolira baždarenjem





Sl. 23.



Sl. 24.

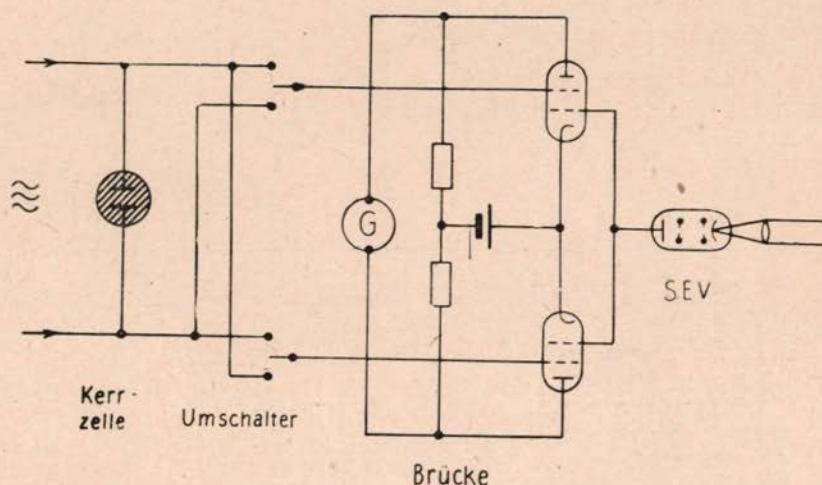


sa srednjom pogreškom od  $\pm 1 \times 10^{-7}$ . Fazni indikator upravlja galvanometar I, koji u 0-položaju pokazuje jednakost odašiljanog i reflektiranog svjetla.

Glavni je oscilator dobiven peterostrukim povećanjem mjernog oscilatora (4,0 MHz do 4,2 MHz). Njegova frekvencija određuje se baždarenjem sa sigurnošću na  $\pm 1 \times 10^{-7}$ .

Kod baždarenja povezuje se mjerni oscilator preko niskofrekventnog pojačala sa slušalicom. Frekvencija mjernog oscilatora dobiva se nakon 40., 41. i 42. strukog umnažanja od oscilatora, čija je konstantnost karakterizirana maksimalnom pogreškom od  $\pm 5 \times 10^{-8}$ .

Pojedini konstruktivni elementi ovog EM<sub>c</sub>-instrumenata ne predstavljaju ništa naročito. Interesantan je jedino fazni indikator odn. most za mjerenje pomaka faze, koji je prikazan na slici, 25.



## Phasensmessbrücke

Sl. 25.

Svjetlom prouzrokovana struja, koja se od umnožavača sekundarnih elektrona vodi izmjenično — već prema faznoj promjeni visoke frekvencije — preko jedne od obih cijevi, dovodi se i ovdje pomoću jedne elektronske preklopke galvanometru G za pokazivanje, dok se početne visoke frekvencije dovede istovremeno i suprotno. Galvanometar će prema tome pokazivati razliku u fazi između reflektiranog i emitiranog svjetla.

Sretnom idejom mog suradnika Nottarpa ta je teška zadaća riješena na elegantan način time, da Kerr-čelija nije upravljana kod okruglo 6000—7000 Volti kao kod Bergstranda, već kod bitno niže napetosti. Time se postizava (usporedi sl. 26), da se od visokofrekventnog titraja od cca 20 MHz, cca polovica odreže, te samo u razmacima do 40 MHz nastaju impulsi od cca 80 MHz, koji upravljaju s jedne strane Kerr-čeliju, a s druge strane fotočeliju odn. umnožavač sekundarnih elektrona.

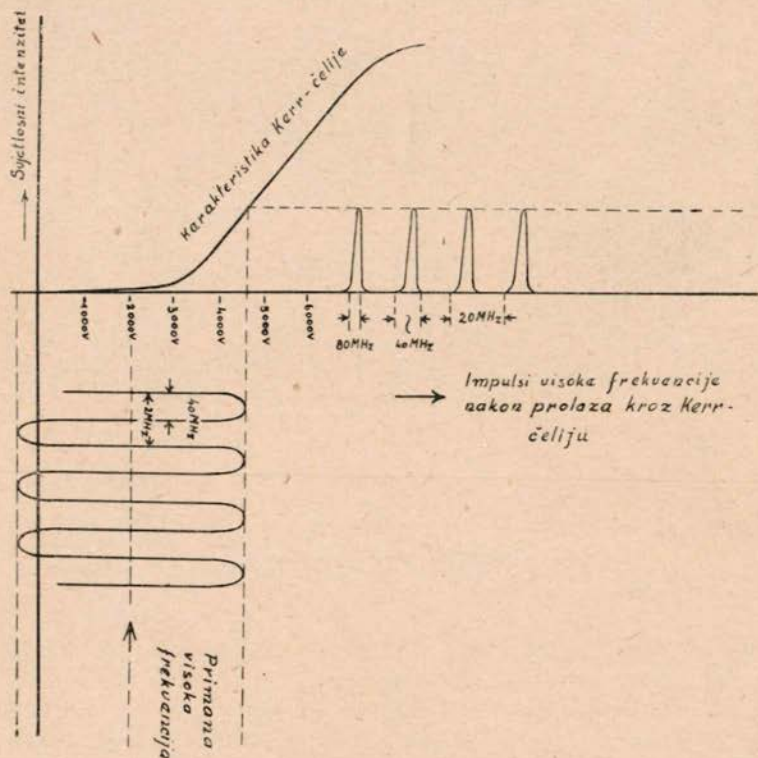
Sada treba reflektirati impuls cca 80 MHz vremena dok prođe kroz pojačalo.



Kod jednakosti u fazi — i to samo kod stroge jednakosti — reflektirani će impuls ispuniti umnožavač, koji je otvoren u trajanju od 40 MHz. Kod nejednakosti jača struja od oscilatora ne će biti u mostu za mjerenje pomaka faze izjednačena od struje dobivene iz svjetla. Galvanometar pokazat će stanoviti otklon.

Kod jednakosti faze galvanometar će naprotiv pokazivati nulu. Da bi se isključila pogreška nultočke, predviđeno je na faznom indikatoru prespajanje.

Instrument je dosada mogao biti pokusno ispitan na kraćim udaljenostima. Čim će vremenske okolnosti dozvoliti bit će ispitan u pogledu mogućnosti terenske primjene i dosega. Dosada se pokazalo, da se očekivana točnost od  $\pm 2$  cm može lako održavati.



Sl. 26.

Na koncu neka mi bude dozvoljeno nekoliko primjedaba, koje neka karakteriziraju značenje ovih novih metoda.

Ako se sumira rad geodeta čitavog svijeta za vrijeme zadnjih 100 godina, dolazi se do nezadovoljavajućeg rezultata, da se jedva 20% čvrste zemljine površine manje ili više dobro i gusto premjerilo. K tome dolazi da 4/5 zemlje u obliku vodene površine nije uopće pristupačno geodetu, tako da triangulacije kontinenta još nisu međusobno povezane. Tamo gdje bi veza bila lakše moguća zatvara se put sa vojničkim ogradama.

Kako se unatoč tomu mogu savladati zapreke, ubrzati i uspješnije izvesti mjerenja, to je pitanje koje danas pokreće geodete čitavog svijeta.

Ubrzanje geodetskih radova na kontinentima omogućeno je danas pomoću mnogih modernih instrumenata. Čelični signali daju se podići 20 do 30 puta brže nego li prije drveni signali. Teodoliti sa fotografskom registracijom skraćuju vrijeme opservacije na terenu za tri do pet puta.

Električno oko omogućuje gotovo beziznimno dnevnu opservaciju i skraćuje vrijeme za opservaciju I. reda na 1/10 do 1/20. Danas uobičajeno skraćivanje strana trokuta I. reda donosi doduše povećanje efekta, jer se time poboljšava vidljivost, što je međutim uvjetovano znatnim povećanjem računanja. To se računanje može pak lagano i udobno svladati novim elektronskim strojevima.

Električno određivanje daljina omogućuje nam brzo i egzaktno mjerenje daljina. Zemaljske triangulacije velikih prostranstava mogu biti izvedene u tako kratkom vremenu, da se to prije nije moglo ni zamisliti.

Blagotvorno djelovanje fotogrametrije i mogućnost za ubranu topografsku izmjeru ne trebam niti spomenuti. Fotogrametrija je danas opće priznata.

Da se premoste mora i povežu kontinenti imamo danas na raspolaganju nove metode, od kojih bi samo spomenuto:

*tringulaciju sa visokim lebdećim ciljevima  
metode zamračivanja sunca i  
metoda pokrivanja zvijezda.*

*Sistematska mjerenja sile teže na vodi i kopnu omogućuju određivanje apsolutnih odklona težišnice na zemaljskim centralnim točkama, a hidrostatski nivelman omogućuje prenos visina na 30 km i više.*

Time raste nada da u dogledno vrijeme dođemo do potpune slike *Zemljine površine*, do karata bez bijelih prostora, do apsolutnog koordinatnog sistema, koji je jedini preduvjet za bezopasnu navigaciju na vodi i u zraku.

Na taj način je geodezija ponovno postala internacionalna znanost, koja gradi most prijateljstva između naroda i divovskim koracima smjera cilju, koji predstavlja slobodan, sretan i miran svijet.

## ELEKTRONISCHE ENTFERNUNGSMESSUNG

*Vortrag gehalten am 8. XII. 1953. am I. Kongress der geodätischen Ingenieure und Techniker Jugoslaviens, in welchem die elektronische Entfernungsmessung u. zw. die Radarmessung, die Messung mit dem Geodimeter von Bergstand und die dem  $E_{mc}$ -Gerät des Institutes für angewandte Geodäsie, Frankfurt behandelt wurde.*