

## Bergstrand-ova metoda mjerenja udaljenosti

U posljednje vrijeme razvili su se mnogi novi načini direktnog mjerenja dužina, koji se po upotrebljenom sredstvu razlikuju od dosadanih načina mjerenja. Kod tih novijih metoda upotrebljeno sredstvo su elektromagnetski valovi ili kao vidljivo svjetlo ili električki titraji. Na izvjesnim sektorima djelatnosti, neke su metode tako usavršene, da su pružile točnost veću od svih dosadanih načina, pa ih već geodezija obilato koristi. Ovamo dolaze sve djelatnosti, koje koriste interferenciju svjetla. To su razmjerno malene, ograničene veličine: paralelnosti ploha staklenih plan-ploča, klinova i slično koje se kod geodetskih instrumenata u novije doba mnogo primjenjuju.

Ovdje želim dati prikaz nastojanja, da se istim sredstvima izmjere veće udaljenosti, rezultate koji su tu postignuti i značenje toga u geodeziji.

Prva nastojanja povezana su sa određivanjem jedinice dužine. 1875. god. je konačno uređeno pitanje mjera internacionalnim sistemom mjera, kojem je sistemu pristupila većina država, uvođenjem metra i kilograma. Tom prilikom napravljeno je 30 normalnih mjera od 1 m, koje su bile porazdijeljene raznim državama. No kao što je potreba jedinstva mjera neobično važna, da bi svi radovi bili dati u istim jedinicama, i u istim metrima, potrebno je ne samo normalne mjere pojedinih država češće međusobno sravnjivati nego i podesiti normalne mjere, da budu nepromjenjive od vanjskih uticaja i da ne budu podložne eventualnim promjenama u vremenu. U tom smislu vršeni su razni pokušaji tako na pr. nastojanja da se za jedinicu dužine uzme dužina sekundnog njihala, ali nisu pružila zadovoljavajuću točnost.

Američki fizičar Michelson izveo je još 1893. g. određivanje dužine metra posredstvom dužine vala svjetlosti: *Travaux et memoires du Bureau international des Poids et Mesures Tome XI. Paris 1895 3. 1-237.* Tu je direktno odredio dužinu 0,39m/m. Ovu je dužinu podvostručio do 0,781 m/m i t. d. do 100 m/m. Napokon je posljednju prenio 10 puta dok nije dobio dužinu od 1 m, koju je onda mogao sravniti sa metrom prototipom. Točnost ove metode ovisi o oštroti crte spektra, koja se usvoji za ovu svrhu. Poslije ovog rata je ova metoda u tom smislu usavršena radovima Amerikanaca i Nijemaca, te izgleda, da će u najskorije vrijeme pojedini geodetski instituti u inozemstvu dužinu metra davati u valovima određene linije spektra.

Spomenutu već interferenciju, kao i Michelsonov način prenašanja koristi finski geodet Väisälä izradom interferencionog komparatora: *Die Anwendung der Lichtinterferenz zu Längenmessungen auf grösseren Distenzen, Veröff. d. Finn. Geod. Inst. Nr.: 2. Helsinki 1923.*

*Anwendung der Lichtinterferenz bei Basismessungen Veröff. d. Finn. Geod. Inst. Nr. 14 Helsinki 1930.*

Ova nam je metoda praktički dala najbolji komparator, te se danas dužinske mjere: metri, invarne žice od 24 m, 48 i 50 met pa do 100 met u većim geodetskim institutima sravnjuju ovom metodom.

Väsälän način primjene iako vrlo točan nije svestran. On se kako rekosmo zasniva u mjerenju vrlo malih intervala i prenašanja. To zahtijeva naročito povoljno mjesto, vrijeme, koje može podnijeti samo komparacija.

Glavni cilj moga puta u Švedsku bio je: upoznati se sa novim načinom mjerenja daljina, koji se je posljednjih godina razvio u Švedskoj, a temelji se na principu mjerenja brzine svjetla. Obzirom na točnost iznijetih rezultata na kongresu geodetske i fizičke unije u Oslu 1948. g. u stručnim geodetskim krugovima kod nas, nastao je velik interes za ovu metodu mjerenja smatrajući, da bi ova metoda mogla uvelike reducirati primjenu indirektnog mjerenja duljina putem triangulacije, koja je u geodeziji već od Snelliusa (1617) osnovni način određivanja stalnih točaka.

Već prije posljednjeg svjetskog rata, kao i za vrijeme samog rata razvijale su pojedine armije razne instrumente za mjerenje dužina potrebnih naročito u navigacione svrhe. Pošto su tu objekti pomični, morala su i mjerenja biti izvršena vrlo brzo, a naročita točnost nije bila tu potrebna. Za te svrhe razvile su se razne metode mjerenja dužina električnim putem, koje su postavljenim potrebama u potpunosti odgovorile.

Geodezija nastoji iskoristiti stečena iskustva na ovom području i usavršiti pojedine načine da postigne i njoj potrebnu točnost.

O postignutim točnostima na raznim stranama još neznamo mnogo je tu postoje razne vijesti u kojima varira točnost od  $\pm 30$  m do  $\pm 3$  m. No ako se osigura točnost  $\pm 3 - \pm 2$  m, a osnovne točke uzmu na velikim međusobnim udaljenostima na pr. 200—300 km, dobivamo već relativnu točnost: 1:70.000—1:100.000. To bi već svakako bila zadovoljavajuća točnost, jer najbolje triangulacije daju točnost 1:100.000.

U gornjem smislu u Americi razvio se je način mjerenja dužina kojega obično nazivamo radar. Bit ove metode sastoji se u slijedećem: Sa stanice šalju se visoko-frekventni električni impulsi koji se odbijaju sa cilja. Impulse jeke prima početna stanica. Vrijeme odaslanog impulsa i njegove jeke registrira se na Braunovoj cijevi. Najnoviji rezultati američkih mjerenja bili su pod gornjim uvjetima za geodetske svrhe već prihvatljivi.

Ovaj način mjerenja primijenili su Amerikanci u Kanadi 1948. sa priličnim uspjehom. (J. L. Rannie: The Geodetic Survey of Canada. Empire Review 1949. oct.)

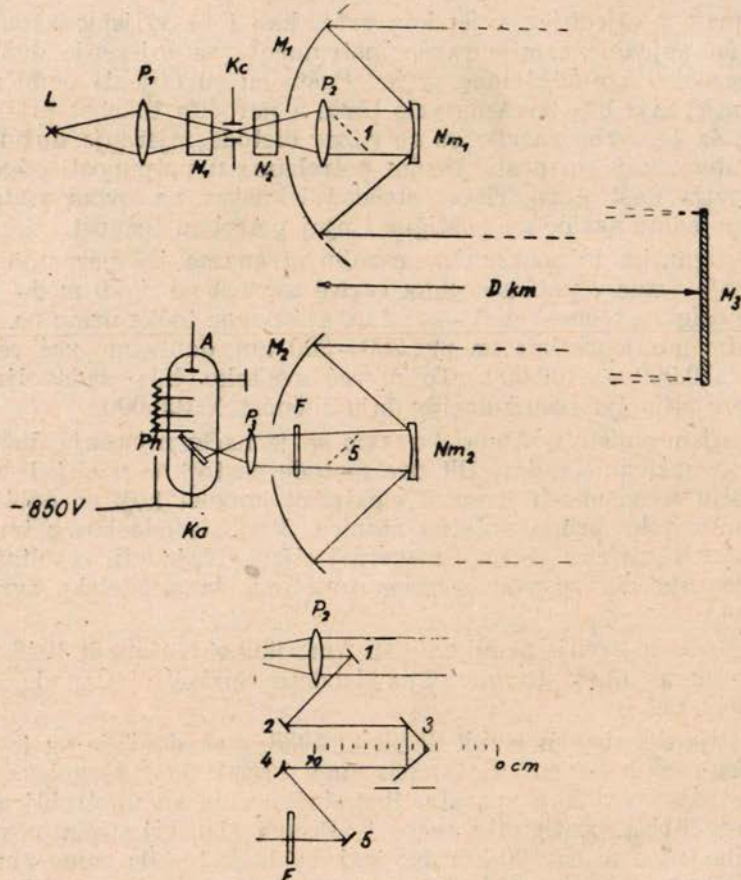
Izvjestija Akademije Nauk SSSR iz 1938. god. donijele su izvještaje o radovima ruskih naučnika Mandelstaina, Papalexia i Ščegoleva. Tu se ne vidi ustrojstvo samog aparata. Spominje se da su upotrebljeni radio valovi i registrira postignuta točnost. Prema tim vijestima postignuta točnost bila je 0,7 m na 100 km. No izgleda da je to bila samo unutarnja točnost a da su se u stvari dužine mjerene radio valovima razlikovale od istih dužina dobivenih geodetskim putem i desetak metara.

Bergstrand je u Švedskoj 1941. g. na Nobelovu institutu za fiziku počeo vršiti prve pokušaje određivanja dužine. Umjesto radarskih impulsa uzima impulse svjetla smatrajući, da je za točno određivanje dužine svjetlo podesnije od radarskih valova zbog manjeg rasipanja i savijanja. Ti su pokusi nastavljeni potporom Švedskog državnog savjeta za tehnička istraživanja a 1947. imala su svoj konac u stvaranju aparata za mjerenje dužina. Rezultati su toliko pokazali da su Geodetski institut i Gasaccumulator d. d. (AGA) preuzeli zajedničko snalažanje troškova za stvaranje novog, tehnički savršenijeg osjetljivijeg i jačeg aparata. S novim aparatom vršeni su dalje pokusi u jeseni 1948. god. pa 1949. i 1950. g.

Bergstrandov način osniva se na Fizeau-ovoj metodi određivanja brzine svjetla. Za svrhe određivanja dužina je točno poznavanje brzine svjetla neobično važno, jer pri poznatoj brzini obrnut Fizeauov metod određuje dužine.

### Opis aparata

Slika 1 prikazuje glavne dijelove aparata. Leća  $P_1$  proicira zrake



Sl. 1

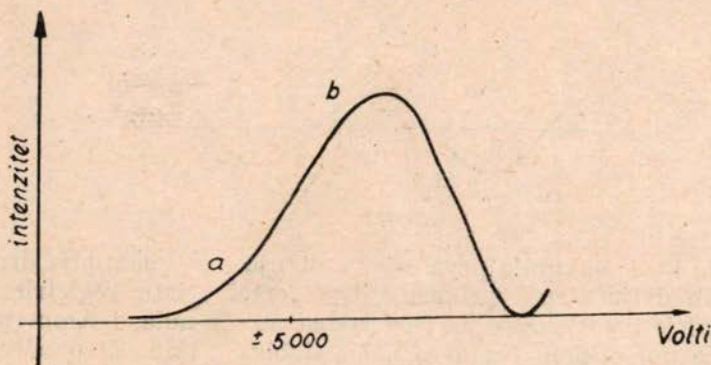
malog izvora svjetla L (30 W) između ploča kerove ćelije K<sub>c</sub> S obje strane ker-ćelije nalaze se Nikolove prizme N<sub>1</sub> i N<sub>2</sub>. Na izlazu iz ker-ćelije intenzitet svjetla ovisi o napetosti između ploča po jednadžbi:

$$I = I_0 \sin^2 K V^2 \quad (1)$$

gdje je  $I_0$  i K konstanta a V razlika napetosti.

Pravilnom promjenom napetosti intenzitet svjetla dobiva pravilne impulse svjetla. Zrake svjetla leća P<sub>2</sub> čini paralelnim, a plankokavna leća N<sub>m1</sub> (posrebrena sa svoje poledine) prenaša zrake na sferno ogledalo M<sub>1</sub> a ovo ga proicira na udaljeno područje gdje je postavljeno ravno zrcalo M<sub>2</sub>. Sa ravnog ogledala reflektira se svjetlo natrag, od čega jedan dio pada na sferno ogledalo M<sub>2</sub>, pa preko slične prenosne optike, kao kod odašiljanja, biva skupljeno da ulazi u foto-ćeliju, gdje će fotoni svjetla biti pretvoreni u struju elektrona.

Aparat se stavlja u pogon motorom snage 400 W, koji daje izmjeničnu struju 220 Volti (50 perioda sec) pa se tako za pogon mogu koristiti eventualno i blizi električni vodovi. Struja 220 Volti transformira se na 5.000 V, a pomoću 50 neonskih lampi dobiva se izjednačena napetost (sa eliminiranim sinus vrhovima) tako da grafikon napetosti dobiva pravokutni oblik  $\square\square\square\square$  a napetost mijenja predznak 100 puta u sekundi. Ovoj napetosti dodaje se napetost amplitude 2000 Volti oscilacijom kvarovog kristala frekvencije  $8.33 \cdot 10^6$  i dovodi na ploča Ker-ćelije. Predstavivši formulu (1) grafikonom dobivamo krivulju intenziteta u ovisnosti napetosti (sl. 2).

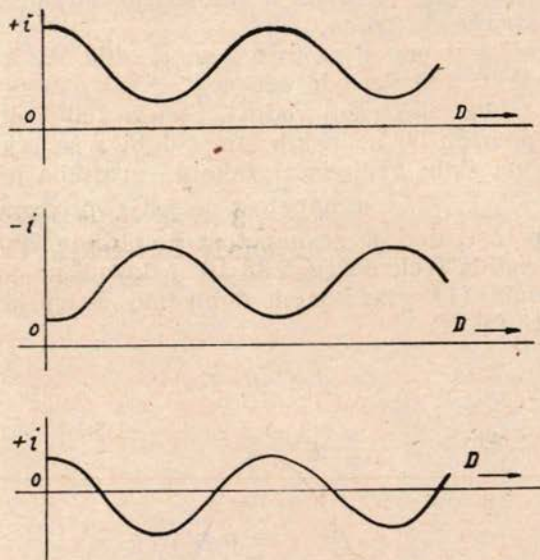


Sl. 2

Pošto je krivulja intenziteta na području  $5.000 \pm 2.000$  V prilično prava linija, to će krivulja intenziteta svjetla točno slijediti krivulju visokofrekventne napetosti (sinusna krivulja), a intenzitet svjetla u donjoj točki bit će neznatan. Intenzitet svjetla možemo predočiti sinusoidnom krivuljom, koja zbog 50 ciklične oscilacije ( $\pm 5.000$  V) 100 puta u sekundi mijenja fazu.

Fotoni svjetla pretvaraju se u foto ćeliji u jaču i slabiju struju elektrona. Na anodu fotoćelije dolazi isti visokofrekventni napon kao i na ker-ćeliju oslobođen 50 ciklične oscilacije. Elektroni će prelaziti na anodu samo za vrijeme pozitivnih napona anode. Zbog toga što intenzitet

svjetla 100 puta u sekundi mijenja fazu, proizvedeni su jači i slabiji udarci struje. Kad se nađu zajedno maksimum intenziteta svjetla i maksimum napetosti, ti će udarci biti najjači. Pomoću dvije elektronske cijevi prenose se ovako nastale struje na Amper-metar istosmjerne struje. Na mrežici elektronki dovodi se 50 ciklična napetost, tako da kad je na prvoj pozitivna napetost na drugoj je negativna i obratno. Prema tome svaka cijev radi 50 puta u sekundi. Dok radi prva cijev druga je zbog visoke negativne napetosti blokirana i obratno. Mikroampermetar utopljen je u ulje, da ne djeluje na promjene manje od 10 sekundi. Stalnoj udaljenosti ravnog ogledala odgovara konstantna jačina struje. Jačina struje mijenja se sa promjenom udaljenosti. To prikazuju priloženi grafikoni (sl. 3).



Sl. 3

Struju  $i_{50+}$  sakuplja prva cijev a struju  $i_{50-}$  sakuplja druga cijev. Razliku tih dviju struja prikazuje treći crtež i istu registrira Ampermetar. Kad je  $i_{50+} = -i_{50-}$ , biti će jakost struje nula, i Ampermetar pokazivati će nul otklon. Na ovaj način dobiva i vrlo oštro određenu nul točku. Ampermetar pokazivati će dalje nul otklon i za svaku promjenu (povećanje ili smanjenje) postave ravnog ogledala u dužini od 9 metara. To se i matematski izvodi na slijedeći način: Uslijed visoke frekvencije promjene u napetosti između ploča Ker-ćelije biti će

$$V = a \sin \omega t \quad (2)$$

gdje je  $a$  amplituda  $\omega = 2\pi n$ ,  $n$  je frekvencija a  $t$  vrijeme.

Intenziteti svjetla slijedit će visoku frekventnu napetost:

$$I_{50+} = C_1 + C_2 \sin \omega (t - t) \quad (3a)$$

$$I_{50-} = C_1 + C_2 \sin [\omega (t - t) + \pi] \quad (3b)$$

gdje indeks  $50+$  ili  $50-$  označuje, da li je svjetlo pošlo sa pozitivnog ili negativnog polucikla  $50$ -to cikličke oscilacije.  $C_1$  je konstanta,  $C_2$  neka

amplituda varijacije.  $\pi$  dolazi zbog promjene faze.  $t_1$  je vrijeme potrebno za transformaciju promjene napetosti u varijacije svjetla pred prizmom  $N_2$ .

Vrijeme, koje treba prevaliti svjetlo do udaljenosti  $D$  i natrag je  $2 D/c$  (zapravo od točke dokle je računato  $t_1$ ) i neka je  $t_2$  vrijeme prolaza fotoelektrona od katode do anode. Jakost struje koja odgovara svakom poluciklu bit će:

$$i_{50}^+ = \frac{1}{2} n \int_{t_0 + \frac{1}{2n}}^{t_3 + \frac{1}{2n}} [A + B \sin \omega (t - t_1 - t_2 - 2 D/c)] dt \quad (4a)$$

$$i_{50}^- = \frac{1}{2} n \int_{t_0}^{t_3 + \frac{1}{2n}} \{A + B \sin [\omega (t + t_1 - t_2 - 2 D/c) + \pi]\} dt \quad (4b)$$

gdje  $A$  i  $B$  odgovaraju  $C_1$  i  $C_2$  jednadžbi 3.  $t_3$  je vrijeme prenosa visokofrekventne napetosti od ker-ćelije do anode foto-ćelije. Vrijeme jednog titraja je  $1/n$ . Struja prolazi na anodu samo za vrijeme pozitivnih poluperioda, pa je vrijeme privlačenja jednog vala svjetla (impulsa) jednako  $1/2 n$ . Integrali se množe sa  $n/2$  protegnuvši ga tako na vrijeme od jedne sekunde. Integriravši jednadžbe 4 i praveći diferenciju dobivamo:

$$i = i_{50}^+ - i_{50}^- = \frac{B}{\pi} \cos \omega (t_3 - t_1 - t_2 - 2 D/c) \quad (5)$$

jakost struje će biti nula pod uvjetom da je

$$\omega (t_3 - t_1 - t_2 - 2 D/c) = \pi/2 + N\pi$$

gdje je  $N$  cijeli broj. Dalje pošto je  $c = n\lambda$  slijedi:

$$D = \frac{n}{2} (t_3 - t_1 - t_2) \lambda + \frac{2N-1}{8} \lambda$$

Ili pošto je prvi član konstantan

$$D = K + \frac{2N-1}{8} \lambda$$

$D$  su udaljenosti do ravnog zrcala. U slučaju razlike između dvaju  $D$ ,  $K$  će biti izlučen pa dobivamo:

$$D_N = N \frac{\lambda}{4}$$

Broj  $N$  se daje odrediti iz približnih grubljih drugih metoda mjerenja. Znajući točno  $E_N$  može se odrediti  $\lambda$ , a znajući i točno frekvenciju  $n$  (približno  $8,332 \times 10^6$ ) dobiva po formuli  $c = n\lambda$  brzinu svjetla.

Praktički se mjerenja dužina provode ovako. Pomoćno blisko ogledalce pomiče se naprijed i natrag po posebno građiranoj motki pred samim aparatom dok se ne dobije 0 otklon struje. Udaljeno ogledalo očito ne će biti postavljeno točno na udaljenosti od prvog na  $N\frac{\lambda}{4}$  već nigdje blizu. Zato se konstantna frekvencija zamjenjuje s malim ( $<0.1\%$ ) ustanovljivim promjenama, dok se ne postigne nul otklon.

Ovakovo jednokratno očitavanje sadrži u sebi i malu sistematsku pogrešku, što razni dijelovi slike svjetla u ravnom zrcalu imaju razne faze, a koje ovise od toga s koga je dijela između ker-ploča svjetlo pošlo u prostor. Ova je pogreška posebno ispitivana i uklanja se mijenjanjem polova visoke napetosti na anodi i na rešetkama cijevi posebnim pomicaljkama (šalterima). U takva četiri čitanja eliminirana je ova pogreška.

Mjerenja izvršena 1949. g. daju za brzinu svjetla u vacuumu

$$c = 299\,793,1 \pm 0,25 \text{ km/sec.}$$

Potpuno se isti rezultat dobije, kad se uzmu u obzir sva dosada ovim geodimetrom izvršena mjerenja na raznim bazama.

Usporedba sa nekim rezultatima.

Važniji rezultati posljednjih dvadesetak godina drugim metodama jesu:

Michelson (1926)	$c = 299\,798 \pm 4 \text{ km/sec.}$
Mittelstaedt (1929)	$299\,778 \pm 20 \text{ km/sec.}$
Birge (1941)	$299\,776 \pm 3 \text{ km/sec.}$
Essen (1947)	$299\,793 \pm 9 \text{ km/sec.}$
Aslakson (1949)	$299\,792 \pm 2 \text{ km/sec.}$

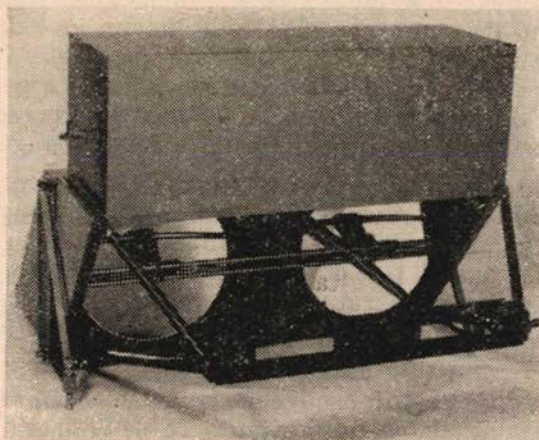
Sa posljednjim rezultatima slaže se veoma dobro Bergstrandov rezultat samo mu je točnost daleko veća. Mimo toga aparat je podešen, da se može praktički koristiti u obratnome smislu t. j. poznavajući brzinu svjetla može određivati dužine.

Aparat je do sada ispitivan do dužina 30 km. Kod udaljenosti većih od 30 km bit će slabija primjena konstruiranog aparata zbog odveć velikog dubitka svijetla. Tako na pr. jedne od sedam noći mjerenja bio je zrak potpuno miran i mjerenja se nisu mogla vršiti, jer se svjetlo često gubilo. Svakako uslijed većeg djelovanja refrakcije (polaganog plivanja zračnih slojeva). Točnost mjerenja najviše ovisi o upotrebljenoj frekvenciji. Kontrolu frekvencije vršio je svake noći slanjem signala preko posebne antene radio stanici u Enköpingu. Tako je upotrebljenu frekvenciju znao točno na  $\pm 2 \times 10^{-7}$  ujedno je dužim ispitivanjem mogao kontrolirati eventualne promjene frekvencije u vremenu.

Na temelju prošlo i ovogodišnjih Bergstrandovih mjerenja i ispitivanja firma AGA upravo je dovršila izradu novog aparata. Pojedini dijelovi u novom aparatu su kvalitetniji, pa je tako uspjelo težinu cjelokupnog aparata od 140 kg reducirati na 65 kg. Osim toga u novom aparatu uvedena je jedna značajna promjena: uvedena su dva kristala. Za vrijeme mjerenja frekvencija je konstantna, pa je tako pružena veća sigurnost u nepromjenjivosti frekvencije kristala. Nadalje dobivamo dvostruke rezul-

tate jednim i drugim kristalom, čime se svakako povećava točnost mjerenja. Kod novog aparata nije potrebno prethodno približno poznavanje mjerene dužine, jer se ona (t. j. broj N) može odrediti iz razlike jednog i drugog mjerenja. Sl. 4 prikazuje pogled sprijeda na novi aparat.

Kod ovih mjerenja igraju promjene refrakcionog indeksa zraka sa promjenama temperature tlaka i vlage veliku ulogu. Za refrakcioni indeks suhog zraka pri 0° C i 760 mm Hg a upotrebljene dužine vala 5.600 Å uzima  $\mu_0 = 1.000\ 3039 \pm 0,000\ 000\ 2$



Promjenu refrakcionog indeksa obzirom na promjene tlaka p, temperature t°, vlage e (u mm Hg) dobiva obzirom na Kohlrauschovu formulu

$$\mu_L = 1 + \frac{\mu_0 - 1}{1 + \alpha t} \times \frac{p}{760} - \frac{0,000\ 000\ 55 e}{1 + \alpha t}$$

sračunavajući parcijalne derivacije  $\mu$  po t, p i e. Varijacija obzirom na promjenu tlaka iznosi manje od  $10^{-9}$  za 1 mm Hg.

Najveći utjecaj dolazi od promjene temperature, koji iznosi pri 0° C :  $d\mu/dt = -1,11 \times 10^{-6}$  ili pri 10° C  $d\mu/dt = -1,04 \times 10^{-6}$ . Temperaturu mjeri na obim krajevima i na raznim visinama (2 i 4 m), pa prema dobivenom temperaturnom gradientu i profilu tla procjenjuje srednju temperaturu na tragu svjetla. Do godine misle izbjeći ovo procjenjivanje mjereći temperaturu pomoću nekoliko posebnih balona uzduž traga svjetla.

Do sada postignuta točnost Bergstrandovim geodimetrom iznosi 1:1.000.000. Ta točnost daleko premašuje točnost trigonometrijskog načina određivanja dužina a ravna je točnosti mjerenja bazisa invarnim žicama. Trigonometrijski način određivanja stalnih točaka temelji se, da se negdje na ravnom i prikladnom potezu direktno izmjeri neka dužina — bazis, koja se dužina u praksi kreće između cca 4—8 km. Posebnom tzv. bazisnom mrežom izmjerivši kutove određujemo osnovnu stranu tri-



angulacije potrebne dužine (30—50 km). Kod tog prenosa već se je točnost znatno smanjila i iznosi maksimum 1:150.000 do 1:200.000. Na tako određenu osnovnu stranu nadovezuje se mreža trokutova suvisla ili u obliku lanaca približno istih veličina strana. Radi kontrole pa i povećanja točnosti osnovne strane triangulacije daju na međusobnim udaljenostima od cca 300 km.

Ovim načinom mjerenja dužina namjeravaju u Švedskoj riješiti problem postavljanja osnovnih točaka na sjevernim i zapadnim dijelovima Švedske kao i produženje osnovne mreže kroz Norvešku. To su brdoviti i pošumljeni predjeli u kojima je uopće nemoguće naći podjednog prostora za direktno mjerenje osnovice Jäderinovim ili kakvim drugim bazisnim priborom niti pravilno razvijanje bazisne mreže. Upotrebom Bergstrandovog aparata je taj problem riješen, a osim toga izmjera dužina osnovnih strana bit će brža ekonomičnija i točnija. Prvenstveno se aparat misli primijeniti na određivanje osnovnih strana triangulacije.

Amerikanci i Rusi nastojali su već prije ovog rata zamijeniti prvoklasne lance trokutova u ravnim predjelima velikim poligonima u kojima su dužine mjerili invarnim žicama. No tu su metodu Amerikanci za osnovnu mrežu napustili i teritorij pokrili prvoklasnim lancima trokutova. Pojavom pak ovog aparata date su veće mogućnosti korišćenja precizne poligonometrije, pa će sigurno prva daljna ispitivanja krenuti u tom smislu.

U zemljama gdje postoji osnovna triangulaciona mreža, triangulacija prvog reda pa eventualno i drugog moći će se sada za razne praktične svrhe premjera uspješnije primijeniti poligonometrija. Tu dolaze u obzir mnogo kraći poligoni dužine 10—30 km a strane poligona 2—5 km. Za ovu svrhu razvit će se vjerojatno izrada na istom principu ali manjih instrumenata.

Upotreba Bergstrandovog geodimetra može se bez daljnjeg uspješno primijeniti kod gradusnih mjerenja — određivanja dužina lukova meridijana i paralela. Umjesto trokutnih lanaca postavljenih uzduž meridijana mogu se sad postavljati ispruženi precizni poligoni. Zbog jednostavnijeg rada postoji mogućnost mjerenja mnogo većih lukova nego što je to bio slučaj do sada načinom trokutnih lanaca, a osim toga ti će se lukovi određivati mnogo točnije i neusporedivo brže. Kod svladavanja većih prepreka, kao na pr. preko Sredozemnog mora, moći će se za svrhe gradusnih mjerenja ovaj metod kombinirati sa radarskim metodom. Do sada su dimenzije i oblik zemlje određivali iz lukova izmjerenih na relativno malom području.

Postoji dalje mogućnost, da se zadrži trokutna mreža u kojoj se ne će mjeriti više kutovi nego strane trokutova. Kod toga potrebna je svakako prethodno i specijalna matematska obrada: točno prenošenje izmjerenih veličina na uslovljeni elipsoid, točnost kao i potrebu sračunavanja kutova, novi načini izjednačenja i sl. Kod ovoga moramo napomenuti, da u trokutu u kojemu su izmjerene sve tri strane nema suvišnih mjerenja. Pa ni u trokutnom lancu, nanizavajući trokut na trokut nema suvišnih mjerenja. Istom jedan centralni sistem trokutova daje jedno suvišno mje-

renje. Za ovu svrhu izgleda da će biti najbolje formiranje trokutnog lanca u vidu četverokuta sa obje dijagonale, a suvisla mreža uvijek je sastavljena od više centralnih sistema. Kod ovakvih mreža imat ćemo vrlo mali broj suvišnih mjerenja ili kontrola. I ako možda izgleda, da zbog velike točnosti, koju bi dao Bergstrandov geodimetar, u dobivanju dužina strana izjednačenje u svrhu povećanja točnosti nema više one važnosti, ne možemo se bez daljnjeg odreći češćih i nezavisnih kontrola mjerenja.

Kod dosadanjeg načina određivanja osnovnih točaka putem triangulacije uzimamo uvijek i velik broj prekobrojnih mjerenja, što osim kontrola ima za cilj povećati točnost. Ova prekobrojna mjerenja nužno dovode do izjednačenja. U velikim mrežama je broj jednadžbi u cilju izjednačenja tako velik, da je to i danas u geodeziji jedan najveći problem. Primjenivši pak u trokutnoj mreži direktno mjerenje dužina, pa formirajući centralne sisteme broj suvišnih mjerenja biti će vrlo malen. Kako nam kod Bergstrandovog geodimetra nije više cilj povećati točnost, i ako smatramo, da je u jednom centralnom sistemu za kontrolu dovoljno jedno nezavisno prekobrojno mjerenje, takva prekobrojna mjerenja nužno će dovesti i ovdje do izjednačenja, ali zbog malog broja jednadžbi biti će riješen jedan od najvećih geodetskih problema: izjednačenje velikih mreža.

---

Prof. Dr. Ing. Nikola Čubranić

#### LA MÉTHODE BERGSTRAND POUR MESURER LES DISTANCES

*La traite décrit la nouvelle méthode pour mesurer les grandes distances fondée sur les impulsions lumineux. Suit la description de l'appareil »Géodimètre« de Bergstrand, produit de l'usine Suedoise A. G. A. a l'aide duquel une precision de 1 : 1 000 000 sur 30 km a été effectuée.*