

# TELUROMETARSKA MJERENJA U S. F. R. JUGOSLAVIJI\* (1962-1964)

V. JOVANOVIĆ, dipl. inž. i S. IVLJANIN, dipl. inž. — Beograd

## UVOD

U toku 1962. godine prvi put su u našoj zemlji za merenje dužina primenjeni elektronski daljinomeri - telurometar (model MRA 2). Radovi su na početku imali više eksperimentalan karakter sa ciljem da se ovlada tehnikom merenja, ispituju uslovi i uticaj raznih spoljnih faktora pod kojima se meri i utvrde metode i postupci za realizaciju merenja različitog ranga tačnosti za raznovrsne potrebe geodetske prakse.

Na ovim osnovama pristupljeno je sledećih godina (1963—1964) obimnijim i intenzivnijim merenjima u vezi sa mnogobrojnim potrebama primera uopšte, kao i posebnim zadacima iz oblasti tzv. osnovnih radova i sl. U ovom prikazu daće se kratak pregled izvršenih radova sa osvrtom na stečena iskustva i analizom postignute tačnosti.

## A. — MERENJE OSNOVICA I OSNOVIČKIH MREŽA

U našoj osnovnoj triangulaciji postoji neophodan broj osnovica i osnovičkih mreža kojima se u potpunosti obezbeđuju potrebne kontrole u smislu očuvanja razmere na celom njenom prostanstvu. Sve osnovice merene su invarnim žicama po već ustaljenim standardima koji važe za radove I reda. No, kako su ova merenja realizovana u toku veoma dugog perioda (1904 do 1959) prirodno je da je ovo imalo svoj odraz na postignute rezultate s obzirom na razvoj i usavršavanje primenjenih metoda kao i na promene kriterija koji se postavljaju u pogledu tačnosti. Ovo se naročito odnosi na osnovičke mreže, među kojima tzv. „stare mreže” po svojim geometrijskim oblicima i po tačnosti uglovnih merenja zaostaju u priličnoj meri iza onih ostvarenih nakon II svetskog rata.

Očigledno je da nam je prisustvo elektronskih daljinomera (telurometar MRA 2) pružilo zgodnu priliku da izvršimo kontrolna merenja nekih strana osnovičkih mreža i da istovremeno na osnovu ovih merenja, a naročito merenjem osnovica, posebno onih novijeg datuma, izvedemo zaključke o postignutoj tačnosti merenih rezultata i mogućnostima njihove daljne upotrebe.

1. Radovi na terenu: Polazeći od ovako postavljenog cilja sastavili smo program merenja tako da se njime predviđalo merenje svake osnovice i najmanje šest strana osnovičke mreže, koje formiraju tzv. geodetski četvorougao, čime je stvorena mogućnost za izravnjanje merenih veličina. Kako su osnovičke mreže vrlo često imale jako složen oblik ovako organizovanim merenjima nije se

\* Ovaj članak je u posebnoj svesci štampan na francuskom jeziku i podeljen učesnicima »V međunarodnog kursa za geodetsko merenje dužina« održanom u Cirihu u vremenu od 31. marta do 10. aprila 1965. godine.



mogao ostvariti direktan prelaz osnovica - izlazna strana, već je geodetski četvorougao kao izvadak iz osnovičke mreže predstavljao za sebe organsku celinu, a u njemu je jedna od strana obavezno bila izlazna strana tj. strana mreže trouglova I reda.

Sve dužine, po ovako postavljenom programu, izmerene su u šest serija i to tako da jednu seriju čini merenje napred i merenje nazad (tj. uz izmenu funkcija glavne i pomoćne stanice); a svako merenje sadrži 24 ponavljanja tzv. „fina čitanja“ na sukcesivnim nosećim frekvencijama. U okviru jednog merenja (pravo ili nazad) korišćeno je celo područje noseće frekvencije i to tako da se obično počinjalo od položaja označenog na rezonatoru sa 100, idući napred sa korakom koji je iznosio 50 podeoka do 12-tog ponavljanja, a zatim počev od čitanja 900 (kod 13-tog ponavljanja) unazad istim korakom od 24-tog ponavljanja.

Da bi se isključila eventualna sistematičnost u delovanju meteoroloških faktora na rezultate, nastojalo se da se merenje svake dužine realizuje u najmanje 2-3 različita dana\*. Iz istih razloga vremenski interval između dve serije iznosio je najmanje 4 časa jer se smatralo da je to vremenski minimum u okviru koga dolazi do promene spoljnih uslova merenja. Između merenja pravo i nazad pravljeno je kraći prekid od 20—30 minuta radi predaha i priprema za sledeće merenje.

U svim slučajevima između krajnjih tačaka merene strane postojala je direktna vidljivost. Kod toga treba napomenuti da su na krajnjim tačkama skoro svake osnovice podizane drvene ili metalne piramide sa kojih su vršena opažanja a visine su im varirale između 6 i 14 metara. Pri merenju strana osnovičkih mreža nije postojala potreba za posebno izdizanje telurometra s obzirom da terenske prilike to nisu zahtevale. U ovom slučaju mereno je sa betonskih stubova ili stativa tako da je visina telurometra iznosila 1,5 do 2,5, a izuzetno i do 8 metara.

Meteorološki podaci brižljivo su registrovani pre početka, u sredini i na kraju svakog merenja napred odnosno nazad i to tako da su čitanja na instrumentima vršena do na desete delove najmanje podele.

Svi terenski podaci unošeni su u nešto izmenjen formular u odnosu na onaj koji je preporučila fabrika u uputstvu za rukovanje. Na svakoj stanici izvođene su sve računске operacije uključujući i crtanje grafikona odstupanja »fina čitanja« od njihove srednje vrednosti. Prilikom merenja na svakoj stanici vršeno je ocenjivanje kvaliteta samih čitanja sračunavanjem razlika između srednje vrednosti i svakog pojedinog čitanja. Merenja čija je razlika bila veća od 4 μm sek nisu uzeta u obzir. Na taj način još na samom terenu sračunato je vreme prostiranja elektromagnetskih talasa između krajnjih tačaka merenih strana.

Kontrola frekvencije modulacionog signala u telurometru vršena je na kvarč časovnom uređaju. Iako su dobijeni rezultati potpuno zadovoljavajući, treba istaći, da u promenama kontrolisanih frekvencija koje su, za sada male po veličini postoji izvesna sistematičnost i pokazuju tendenciju porasta, te su u vezi sa ovim preduzete mere da se razrađi postupak za uvođenje eventualnih korekcija u rezultate merenja. Uporedo sa ovim na početku i završetku terenskih radova izvršeno je baždarenje meteoroloških instrumenata: psihrometra i aneroida.

2. Obrada rezultata merenja. — Na osnovu liste baždarenja unete su u terenske zapisnike popravke suvog i vlažnog termometra kao i barometra, posle čega su sračunate njihove srednje vrednosti i na osnovu ovih iz standardnih tablica sračunat pritisak vodene pare.

Računanje odstojanja sa svim potrebnim redukcijama vršeno je na elektronskoj računskoj mašini tipa Zuse, pri čemu je za računanje indeksa refrakcije korišćena formula Essen-Froome, koju je preporučila Međunarodna geodetska Unija [1]:

$$(n-1)10^6 = \frac{103,49}{273+t} (p-e) + \frac{82,26}{273+t} \left(1 + \frac{5748}{273+t}\right) e$$

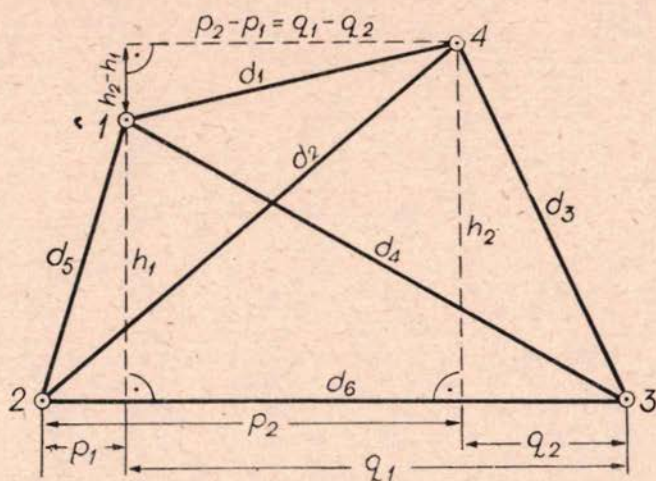
Izravnjanje osnovičkih mreža odnosno geodetskih četvorouglova izvršeno je na principu uslovnih merenja tzv. linijskom metodom, kod koje se kako se iz sl. 1 vidi dobija uslovna jednačina u obliku:

\* Neke dužine su u cilju ispitivanja merene i noću.



$$A_1 v_1 + A_2 v_2 + A_3 v_3 + A_4 v_4 + A_5 v_5 + A_6 v_6 + W = 0$$

gde su (prema slici 1):



Sl. 1

$$A_1 = -1$$

$$A_2 = -\frac{d_2}{d_{1r} \cdot d_6} \left[ \left( \frac{h_1}{h_2} - 1 \right) q_2 - (p_2 - p_1) \right]$$

$$A_3 = -\frac{d_3}{d_{1r} \cdot d_6} \left[ \left( \frac{h_1}{h_2} - 1 \right) p_2 + (p_2 - p_1) \right]$$

$$A_4 = -\frac{d_4}{d_{1r} \cdot d_6} \left[ \left( \frac{h_2}{h_1} - 1 \right) p_1 - (p_2 - p_1) \right]$$

$$A_5 = -\frac{d_5}{d_{1r} \cdot d_6} \left[ \left( \frac{h_2}{h_1} - 1 \right) q_1 + (p_2 - p_1) \right]$$

$$A_6 = +\frac{1}{d_{1r} \cdot d_6} \left[ \left( \frac{h_2}{h_1} - 1 \right) p_1 q_1 + \left( \frac{h_1}{h_2} - 1 \right) p_2 q_2 - (p_2 - p_1)^2 \right]$$

$$W = d_{1r} \cdot d_1 = \sqrt{(p_2 - p_1)^2 + (h_2 - h_1)^2} - d_1$$

S obzirom na nerešeno pitanje težina pri izravanju trilateracije korišćene su radi ispitivanja, za pet osnovičkih mreža, sledeće težine:

$$p_1 = 1,$$

$$p_2 = \frac{10}{D_{(km)}},$$

$$p_3 = \frac{100}{D_{(km)}^2},$$

$$p_4 = \frac{100}{56 + 0,2 D_{(km)}^2},$$

$$p_5 = \frac{0,632 \cdot 05}{\frac{1}{2} (0,50 + 0,03 D_{(km)})^2}$$

pri čemu su težine  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  i  $p_4$  već ranije korišćene od strane drugih autora [2], dok je težina  $p_5$  izvedena polazeći od toga da se za verovatnu grešku merenja sa telurometrom uzima vrednost definisana izrazom

$$\sigma = \pm (0,05 + 3 \cdot D \cdot 10^{-6})$$

### 3. Pregled postignutih rezultata

a) Osnovice: U tabeli I date su razlike  $\Delta$  između dužina pojedinih geodetskih osnovica dobijenih na osnovu telurometarskih merenja ( $D_T$ ) i merenja sa invarnim žicama ( $D_0$ ), kao i odgovarajuće relativne greške  $\left(\frac{\Delta}{D_T}\right)$ . Isto tako nave-

dene su godine merenja i dužine osnovica u km. Na kraju da bi se stekla opšta slika o terenskim uslovima pod kojima su izvedena merenja, uneti su podužni profili za svaku merenu stranu, uzimajući pri tome pogodnu razmeru za horizontalnu odnosno vertikalnu predstavu.

Razlike  $\Delta$ , koje u ovom slučaju karakterišu tačnost telurometarskih rezultata, po apsolutnim vrednostima su veličine takvog reda, da sem jednog izuzetka daju relativne greške koje su znatno manje od 1:100 000. (Nešto slabiji rezultat koji se odnosi na osnovicu 1 mogao bi se objasniti nepovoljnošću terenskih uslova pošto je snop emitovanih talasa po celoj dužini vizurne linije išao iznad razređenog drvoreda uz samu asfaltnu cestu sa svim njenim pratećim objektima i uređajima (elektrovodi i sl.), a sem toga stanje beleza bilo je takvo da je u izvesnom smislu postojala sumnja u pogledu indentičnosti centara sa onima iz 1904 godine). Uz isključenje ove osnovice i one na rednom broju 4 koja za sebe čini ekstrem u drugom smislu, dobija se jedna tačnost koja u srednjem iznosi 1:200 000, pri čemu se mora imati u vidu da se ona odnosi na dužine u rasponu od 5–10 km. Smatramo da je ova vrednost sasvim realna i da se može lako postići, naročito ako se ima u vidu da su u našem slučaju merene osnovice bile relativno kratke (oko 5,5 km) i da je s druge strane tačnost telurometra za dužine od 5–10 km koja izlazi na osnovu naših podataka, praktično ista.

Pored toga mora se imati u vidu da u našem slučaju konfiguracija terena u većini slučajeva nije bila osobito naklonjena telurometarskim merenjima. Kod nekih osnovica (3 i 6) postojale su smetnje izazvane veštačkim objektima, ili su vizure najvećim delom išle iznad terena delimično zasađenog poljoprivrednim kulturama (osnovice 4 i 8) ili pak iznad skoro ogolelih površina (7 i 2).

Tabela I

Osnovica	Datum merenja		Razlike			Relativna greška $\frac{\Delta}{D_T}$	Uzdužni profili osnovica sa visinom vizure u sredini linije
	Telurometrom	žicama	$\Delta = D_T - D_0$		u m		
			+	-			
1	juni 1962.	1904	6	0,078	—	1: 72 000	
2	okt. 1962.	1952	9	0,065	—	1:140 000	
3	juli 1963.	1922	6	—	0,034	1:176 000	
4	avg. 1963.	1922	5	0,001	—	1:379 000	
5	avg. 1963.	1924	6	—	0,025	1:223 000	
6	juni 1964.	1904	5	0,043	—	1:117 000	
7	juni 1964.	1904	5	0,036	—	1:129 000	
8	okt. 1964.	1959	9	0,022	—	1:410 000	



Isto tako mora se naglasiti da kod navedenih merenja nije vršena selekcija najpovoljnijih meteoroloških uslova pod kojima bi se isključivo trebalo da vrše za tzv. merenja visoke tačnosti [3].

Karakteristično je da kod razlika  $\Delta$  postoji izvesna sistematičnost koja se ogleda u tome što su telurometerske dužine skoro po pravilu veće od dužina dobijenih iz merenja sa invarnim žicama. Ovakva situacija upućuje nas praktično na potrebu za utvrđivanjem tzv. konstante instrumenta odnosno za njegovu etalonazu.

b) Osnovičke mreže: Rezultati izravnjanja jedne od mreža trilateracije prikazani su u tabeli II. (Geodetski četvorougao koji je u ovom slučaju predmet interpretacije pripada osnovičkoj mreži 3 iz tabele I).

$D_T$ km	$p_1 = 1$				$p_2 = 10/D^2$ (km)				$p_3 = 100/D^2$ (km)					
	$v$ mm	$\frac{v}{D_T}$	$\frac{m}{D_T}$	$\frac{D_T - D_0}{m \cdot mm}$	$v$ mm	$\frac{v}{D_T}$	$\frac{m}{D_T}$	$\frac{D_T - D_0}{m \cdot mm}$	$v$ mm	$\frac{v}{D_T}$	$\frac{m}{D_T}$	$\frac{D_T - D_0}{m \cdot mm}$		
$D_1 = 21$	+ 10	1: 2 030 000	1:1 000 000	+109	+ 8	1: 2 660 000	± 16	1:1 310 000	+107	+ 5	1: 3 900 000	± 13	1:1 580 000	+104
$D_2 = 39$	- 11	1: 3 500 000	1:2 150 000	- 76	- 16	1: 2 430 000	± 22	1:1 790 000	+ 71	- 21	1: 1 890 000	± 26	1:1 580 000	+ 66
$D_3 = 21$	+ 1	1:14 200 000	1:1 140 000	+166	+ 1	1:19 800 000	± 15	1:1 350 000	+166	+ 1	1:27 280 000	± 13	1:1 580 000	+166
$D_4 = 18$	- 2	1: 7 990 000	1:1 000 000	-216	- 2	1:11 900 000	± 15	1:1 230 000	+216	- 1	1:19 860 000	± 11	1:1 580 000	+217
$D_5 = 18$	+ 9	1: 1 970 000	1:1 070 000	+ 12	+ 6	1: 2 880 000	± 15	1:1 240 000	+ 9	+ 4	1: 4 710 000	± 12	1:1 580 000	+ 7
$D_6 = 29$	+ 2	1:13 780 000	1:1 590 000	- 73	+ 2	1:12 940 000	± 19	1:1 540 000	- 73	- 2	1:13 610 000	± 18	1:1 560 000	- 73
$\frac{[D]}{n} = 24$	[v] = + 9 [vv] = 311 $m_0 = \pm 18$ mm [pvv] = 311				[v] = - 1 [vv] = 365 $m_0 = \pm 11$ mm [pvv] = 121				[v] = - 10 [vv] = 488 $m_0 = \pm 6$ mm [pvv] = 40					

$p_4 = 100/6 + 0,2 D^2$ (km)				$p_5 = 0,63205 \frac{2}{3} (0,50 + 0,03 D_{km})^2$					
$v$ mm	$\frac{v}{D_T}$	$\frac{m}{D_T}$	$\frac{D_T - D_0}{m \cdot mm}$	$v$ mm	$\frac{v}{D_T}$	$\frac{m}{D_T}$	$\frac{D_T - D_0}{m \cdot mm}$		
+ 7	1: 3 250 000	+ 14	1:1 430 000	+105	+ 7	1: 2 920 000	± 15	1:1 368 000	+ 106
- 18	1: 2 140 000	± 23	1:1 690 000	+ 69	- 17	1: 2 260 000	± 22	1:1 730 000	+ 70
+ 1	1:22 090 000	± 14	1:1 430 000	+166	+ 1	1:20 380 000	± 15	1:1 370 000	+ 166
- 1	1:14 410 000	± 13	1:1 350 000	+217	- 1	1:13 170 000	± 14	1:1 280 000	+ 217
+ 5	1: 3 480 000	+ 14	1:1 360 000	+ 8	+ 6	1: 3 180 000	± 14	1:1 300 000	+ 9
+ 2	1:13 650 000	± 18	1:1 590 000	- 73	+ 2	1:13 320 000	± 18	1:1 570 000	- 73
[v] = - 4 [vv] = 404 $m_0 = \pm 12$ mm [pvv] = 149				[v] = - 2 [vv] = 380 $m_0 = \pm 7$ mm [pvv] = 51					

Tabela II

U tabeli II navedene su, idući po korišćenim težinama, vrednosti popravaka iz izravnjanja ( $v$ ) za svaku stranu, njihove srednje greške ( $m$ ), odgovarajuće relativne greške  $\left(\frac{v}{D}\right)$  i  $\left(\frac{m}{D}\right)$  kao i razlike izravnatih (telurometerskih) dužina u odnosu na vrednosti iz osnovičkih mreža ( $\Delta = D_T - D_0$ ). Sem toga za svaku težinu daju se sume  $[v]$ ,  $[vv]$  odnosno  $[pvv]$  i na kraju odgovarajuće srednje greške jedinice težine ( $m_0$ ).



Kako zapažamo sračunate popravke (za sve težine) po svojim apsolutnim vrednostima vrlo su male veličine (maksimalna je 21 mm), tako da su odgovarajuće relativne greške  $\left(\frac{v}{D}\right)$  izvanredno male. Ovo na svoj način govori u prilog unutarnje tačnosti telurometrijskih merenja koja je nesumnjivo visoka. Jasno je prema tome da se radi o vrlo visokom stepenu homogenosti razmere — koja se obezbeđuje telurometarskim merenjima dužina. Sličnu sliku daje i odnos  $\frac{m}{D}$ .

Sve navedene veličine uzete su iz izravnjanja geodetskog četvorougla osnovičke mreže »A«, pri čemu su popravke ( $v$ ) i srednje greške ( $m$ ) zaokružene na mm.

Razlike  $\Delta = D_T - D_0$  ne prelaze veličinu od 217 mm što odgovara strani  $D_4 \cong 18$  km. Kod ove strane relativna greška iznimno je ispod 1:100 000. Kako je terenska konfiguracija za ovu osnovičku mrežu bila prilično povoljna za merenje sa telurometrom, o čemu govore napred analizirani rezultati, razlog za ovakvu situaciju mogao bi se objasniti nesigurnošću identifikacije tačke 3 osnovičke mreže. Naime na osnovu stanja zatečenog na terenu konstatovano je da postoji oštećenje betonskog stuba — beleže, što je stvorilo sumnju u pogledu identičnosti ovoga centra sa centrom iz 1922. godine. Pri tome, izgleda da se radi o jednom radijalnom pomeranju oko tačke 2, tako da se ovo najviše odrazilo na stranama  $D_4$  ( $\Delta = +217$  mm) i  $D_3$  ( $\Delta = +166$  mm), dok je strana  $D_6$  ostala pošteđena deformacije.

Na osnovu relativnih grešaka  $\frac{\Delta}{D}$  za ostale strane ove osnovičke mreže, kao i za strane iz drugih osnovičkih mreža koje ovde ne navodimo, može se izvući jedna vrednost relativne greške koja za dužine od 20—30 km u srednjem iznosi između 1:250 000 do 1:300 000. Pri tome se mora imati u vidu da se ovde zapravo radi istovremeno i o oceni kvaliteta postojećih dužina. Mora se naime poći od toga da su u ovom slučaju »date« vrednosti opterećene svojim pogreškama, koje kada se radi o računanju  $\Delta$  nisu zanemarljive veličine, kao što je to na primjer bio slučaj kod upoređivanja telurometarskih vrednosti sa dužinama merenim invarnim žicama.

Za dužine u rasponu 10—20 km nismo mogli da steknemo određeni kriterij u pogledu postignute tačnosti pošto se nije raspolagalo sa dovoljnim brojem merenja. Na osnovu raspoloživih podataka smatramo da se i u ovom području može ostvariti tačnost na nivou prethodno izloženih rezultata.

Kod radova na ovoj osnovičkoj mreži vršeni su pokušaji u vezi sa izborom najpovoljnijih meteoroloških uslova. Međutim pokazalo se da je kod dužina preko 20 km zadovoljenje zahteva u ovom smislu u našim uslovima, skopčano sa velikim gubitkom vremena i skoro neizvodljivo.

Karakteristično je da su i ovde razlike  $\Delta$ , sem jednog izuzetka, istog predznaka, odnosno i ovde se kao i kod osnovica oseća prisustvo izvesne sistematičnosti koja je posledica toga što su telurometarske vrednosti u najvećem broju slučajeva veće od onih iz osnovičkih mreža.

c) Problem težina: Kada je reč o tačnosti kod telurometra i uopšte radiodaljinomera priroda samog mernog postupka navodi nas a priori na zaključak o postojanju jedne manje ili više direktne zavisnosti između tačnosti i veličine merenog odstojanja. Kod toga dovoljno je da se zadržimo na pitanju određivanja indeksa refrakcije pa da nam ovakav zaključak bude u punoj meri opravdan i logičan. U ovom slučaju koristimo naime, jedan manje ili više interpolacioni postupak\* koji nas dovodi utoliko bliže cilju (daje utoliko tačnije rezultate) ukoliko je mereno rastojanje kraće, odnosno u krajnjoj liniji što je pitanje elektromagnetskog snopa manje izložena lokalnim uticajima.

\* Na osnovu meteoroloških podataka registriranih na krajevima merenog odstojanja formira se srednja vrednost za koju se predpostavlja da reprezentuje u srednjem stanju duž cele putanje radio-snopa i na osnovu nje se računa potreban indeks refrakcije.



Tabela III

	P <sub>1</sub>				P <sub>2</sub>				P <sub>3</sub>				P <sub>4</sub>				P <sub>5</sub>																	
	v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>		v <sub>mm</sub>		m <sub>0</sub>			
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		
A	10	11	18	311	8	16	11	121	5	21	6	40	7	18	12	149	7	17	7	51														
B	38	36	65	4229	57	43	36	1323	67	42	18	329	62	41	37	1350	60	42	22	502														
C	84	69	145	21077	113	47	91	8322	142	42	20	412	125	41	104	10731	119	44	61	3758														
D	44	36	88	7650	52	26	48	2350	60	24	0	0	57	24	53	2772	55	25	31	969														
E	15	13	28	792	18	11	16	257	19	12	9	77	18	11	20	395	18	11	10	106														

Popravke (v) i srednje greške jedinica težine (m<sub>0</sub>) date su u milimetrima.

A						B						C					
$S_{km}$	$v_1$	$\Delta v_{p2}$	$\Delta v_{p3}$	$\Delta v_{p4}$	$\Delta v_{p5}$	$S_{km}$	$v_1$	$\Delta v_{p2}$	$\Delta v_{p3}$	$\Delta v_{p4}$	$\Delta v_{p5}$	$S_{km}$	$v_1$	$\Delta v_{p2}$	$\Delta v_{p3}$	$\Delta v_{p4}$	$\Delta v_{p5}$
21	+10	+2	+5	+4	+3	9	-36	-26	-34	-28	-27	20	-39	-8	-15	-11	-9
39	-11	+5	+9	+7	+6	47	+38	-18	-28	-23	-21	34	+84	-29	-57	-41	-35
21	+1	+0	+1	+1	+0	25	-8	-2	-4	-3	-3	18	-69	-21	-38	-27	-24
18	-2	-1	-1	-1	-1	25	+9	+2	+5	+4	+3	25	+55	+2	+7	+5	+3
18	+9	+3	+5	+4	+4	38	-36	+8	+6	+5	+6	28	-38	+3	-3	+2	+3
29	+2	+0	+0	+0	+0	44	-3	+1	+2	+0	+1	20	-58	-12	-24	-17	-15
D																	
E																	
32	-26	-1	-2	-2	-1	30	-5	+0	-1	+0	+0						
38	+43	-8	-15	-12	-10	37	+15	-3	-5	-4	-4						
28	-30	-4	-8	-7	-6	29	-13	-1	-2	-2	-1						
38	+44	-8	-16	-13	-11	37	+13	-3	-5	-4	-3						
27	-32	-6	-11	-9	-8	34	-10	+1	+1	+1	+1						
23	-36	-11	-19	-15	-13	13	-11	-6	-6	-9	-7						

Vrednosti za  $v_1$  i  $\Delta v_{pi}$ , u ovoj tabeli, date su u milimetrima.



Dakle, prirodno je očekivati da će se na dužinama koje se razlikuju po veličini ostvariti i različita tačnost merenja. Prema tome nastaje potreba da se u proces izravnjanja uključe odgovarajuće težine kako bi se obuzdali štetni uticaji pogrešaka merenja i izravnjanjem odredile popravke koje bi bile najverovatnije s obzirom na prirodu merenja.

Da bi se stekao izvestan sud u ovom smislu provedeno je izravnjanje pet osnovičkih mreža primenom već spomenutih težina. Rezultati izravnjanja za jednu od osnovičkih mreža prikazani su u navedenoj tabeli II a slični rezultati postignuti su i za ostale osnovičke mreže. Pregled postignutih rezultata izravnjanja za pet osnovičkih mreža daje se u tabeli III u kojoj se, za svaku osnovičku mrežu, navode ekstremne vrednosti popravaka ( $v$ ), srednje greške jedinice težine ( $m_0$ ) i sume proizvoda težina i kvadrata popravaka [pvv].

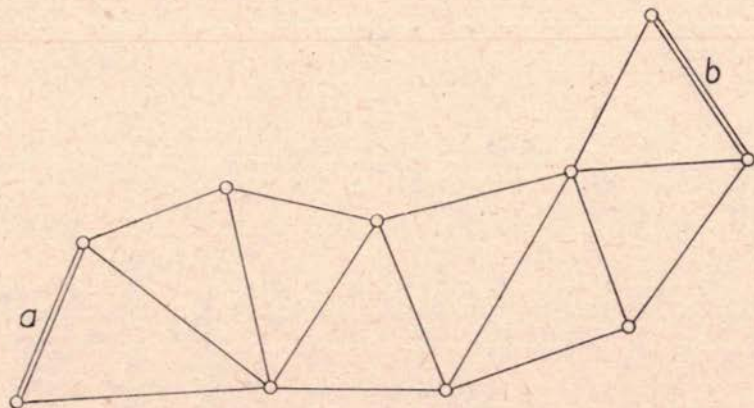
Ako se uzme za merilo da je najpovoljnija težina za izravnjanje ona kod koje je [pvv] najmanja, onda je na osnovu ove pretpostavke to težina  $p_1$  jer je za nju kod svih osnovica [pvv] izrazito manja od raspoređenih vrednosti [pvv] za druge težine. Međutim ostaje pitanje u kojoj je meri ovaj kriterij opravdan ako se ima u vidu pored ostalog i to da iz rezultata merenja nije uklonjen onaj deo pogrešaka koji je posledica očigledno postojećih sistematskih izvora.

S druge strane malo detaljnijim razmatranjem vrednosti popravaka (tabela II) zapazićemo da su popravke jedne iste strane određene iz izravnjanja po raznim težinama istog predznaka i istovremeno po apsolutnoj vrednosti međusobno vrlo bliske.

Da bi se uočila razlika između popravaka dobijenih iz izravnjanja u zavisnosti od korišćenih težina za svaku osnovičku mrežu izvršeno je njihovo svodenje na težinu  $p_1$ . Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli IV gde je  $v_1$  — popravka dobivena iz izravnjanja za težinu  $p_1$ , a  $\Delta v_{p_1}$  — razlika između popravke  $v_1$  i popravke za odgovarajuću težinu  $v_{p_i}$  tj.:

$$\Delta v_{p_1} = v_1 - v_{p_i}$$

Očigledno je da su sve razlike male veličine — najveća od njih iznosi 57 mm — pa prema tome bez obzira na prihvaćenu težinu, ne dolaze praktično do izražaja. Ovo nas navodi na pretpostavku da se izravnjanje može uprostiti primenom težine  $p = 1$  čime je i broj računskih operacija smanjen.



Sl. 2

d) Veze izlaznih strana osnovičkih mreža: Sve izlazne strane osnovičkih mreža koje su merene telurometrom i u okviru odgovarajućih geodetskih četvorouglova izravnate sa težinom  $p_1$  povezane su međusobno preko lanaca trouglova I reda (slika 2) u kojima je greška zatvaranja bila uvek manja od 3".



Kod toga je za svaki pojedini lanac veze sračunat, polazeći od jedne izlazne strane ka drugoj, slobodan član tzv. osnovičke uslovne jednačine ( $\Delta \log b$ ) i na osnovu ovoga relativna razlika »date strane«:

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta \log b}{M \cdot 10^8}$$

Ovako sračunate relativne razlike navedene su u tabeli V, a uporedo sa njima date su i odgovarajuće vrednosti za iste lance sračunate na osnovu identičnih uglova, no sa veličinama za »a« i »b« iz već postojećih osnovičkih mreža.

Iz podataka u tabeli V uočava se da svi lanci sa telurometarskim vrednostima za »a« i »b« zadovoljavaju zahteve tačnosti triangulacije I reda: sve relativne razlike strana kreću se od 1:101 000 do 1:724 000 tj. manje su od usvojenih graničnih vrednosti što nije slučaj sa odgovarajućim razlikama iz osnovičkih mreža. Isto tako očigledno je da telurometarska merenja, skoro u svim slučajevima, daju znatno manje relativne razlike odnosno da su rezultati telurometarskih merenja daleko homogeniji u smislu jedinstvenosti razmere.

Tabela V

Red. broj	L a n a c	Dužina lanca u km	Broj tro-uglova u lancu	Relativne razlike	
				iz teluromet merenja	iz osnovičke mreže
1.	E - D	176	10	1:205 000	1: 44 000
2.	E - C	128	6	1:115 000	1: 58 000
3.	C - D	102	8	1:166 000	1: 29 000
4.	D - B	128	9	1:101 000	1:175 000
5.	C - A	117	8	1:374 000	1: 40 000
6.	D - A	132	8	1:724 000	1:146 000
7.	A - B	107	5	1:158 000	1:470 000

## B — RADOVI NA PRECIŽNOJ POLIGONOMETRIJI

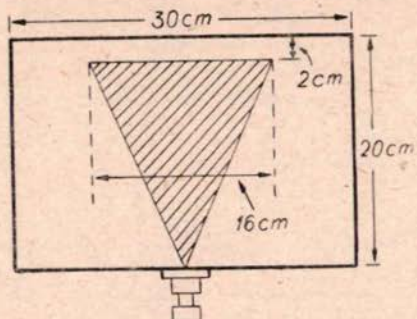
U toku septembra 1964 godine telurometrom su izmerene dužine strana za 13 poligona precizne poligonometrije kao zamene triangulaciji IV reda (sa dužinom strana od 1—4 km). Merenja su obavljena pod relativno teškim terenskim uslovima i u izrazito šumskom području, na kome su prethodno izvršene potrebne pripreme: neophodna prosecanja, obeležavanja itd. Kod opažanja instrumenti su postavljeni na stative; u toku merenja nije došlo ni do kakvih smetnji a vizura je zbog velikih visinskih razlika redovno išla visoko iznad terena, koji je dobrim delom bio pokriven šumom.

Svaka dužina izmerena je u jednoj seriji pravo i nazad sa 12 ponavljanja »finih čitanja«, koristeći kao i ranije puni opseg nosećih frekvencija. Kod toga su angažovana tri telurometra sa sukcesivnom promenom stanice — na preskok, čime su radovi znatno ubrzani.

\* Smatramo da ovaj termin u ovom slučaju bolje odgovara od uobičajenog izraza: relativna »greška« date strane.



Merenje veznih i prelomnih uglova vršeno je teodolitom Zeiss T-2 po girusnoj metodi (u tri girusa). Pri merenju vizirano je na metalne markice dimenzija prema slici 3, čijom je konstrukcijom bila obezbeđena mogućnost njihovog postavljanja u vertikalni položaj nad centrom tačke i zamenjivanje sa instrumentima a da se



Sl. 3

centrisanje ne poremeti. Na ovaj način uz primenu tzv. trostativnog sistema, slično kao kod merenja dužina, sveden je na minimum uticaj pogrešaka lošeg centrisanja i znatno skraćeno vreme potrebno za opažanja.

Iako je obim izvršenih merenja relativno mali da bi mogao da bude bezrezervna osnova za izvođenje definitivnih zaključaka, ipak se na osnovu postignutih rezultata može konstatovati da su vrednosti za tačke precizne poligonometrije dobijene telurometarskim merenjima u svemu na nivou podataka koji se ostvaruju primenom klasičnih metoda. U izvesnom smislu ove poslednje u pogledu kvaliteta čak su i nadmašene. U vezi sa ovim navešćemo sledeće: nekoliko tačaka pored toga što su određene na principu poligonometrije, svojim položajem u mreži mogle su da se sračunaju i na način koji u potpunosti odgovara uobičajenim klasičnim postupcima — kombinovanim presecanjem. Rezultati jedne i druge obrade za ovu svrhu neovisno merenih podataka, dali su za pozicije tačaka vrednosti koje su se razlikovale za nekoliko santimetara, dakle za veličine praktično zanemarljive. Osim toga niz poligonih tačaka korišćen je kod daljih radova kao osnova za proglašavanje mreže novim tačkama — trigonometrijskim metodama. Primenjivane su dakle poligonometrija i triangulacija a da pri tome nisu pri prelazu iz jednog postupka u drugi nastupile nikakve poteškoće u smislu zadovoljenja pravilničkih odredbi za odgovarajući red triangulacije.

Na kraju, da bi se imala opšta slika o izvršenim merenjima i dobijenim rezultatima u tabeli VI navedeni su najkarakterističniji podaci koji najbolje ilustruju postignutu tačnost po pojedinim poligonima.

### C. — MERENJA NA JADRANSKOM MORU

Potrebe topografskog premera zahtevale su da se u državnom koordinatnom sistemu odrede pozicije za više tačaka na nekim ostrvima Jadranskog mora, jako udaljenim od kopna. U ovu svrhu upotrebljen je telurometar iako se već unapred polazilo sa pretpostavkom da će se kod merenja pojaviti smetnje, pošto su vizurne linije u najvećoj svojoj dužini prolazile relativno blizu reflektujuće vodene površine. Maksimalna nadmorska visina stanica sa kojih je mereno bila je naime oko 600 m dok je minimalna iznosila 103 m. Izmereno je ukupno 10 dužina od 1 do 80 km i kako se iz tabele VII zapaža, najveći broj dužina bio je u rasponu od 30 do 80 km.

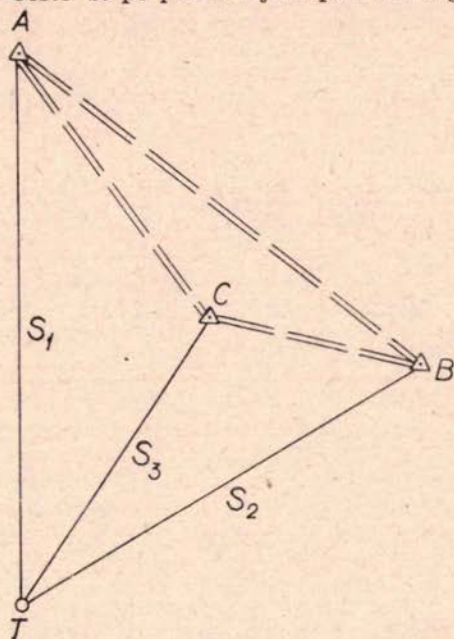
Položaji tačaka određivani su lučnim presekom, a za bazu je korišćena vrednost dužina između poznatih tačaka (takođe na ostrvima) u postojećem koordinatnom sistemu. Da bi se kod toga imala kontrola rada, redovno su merene dužine u odnosu na tri već poznate trigonometrijske tačke (slika 4), čime je istovremeno stvorena mogućnost za izravnjanje merenih veličina.



Broj vlaka	Broj strana u vlatu	Dužina vlaka (L) u m.	Dužina između krajnjih tačaka (D) u m.	$f_0$ u sek. odstupanje	Dozvoljeno uglovanje u sek.	$f_d$ u m.	$l$ u m.	$y_m$ u m.	$\frac{f_d}{L}$	$\frac{l}{D}$	$\frac{y_m}{D}$
1.	4	6 407	6 160	- 9	30	0,38	0,06	0,37	1:16 900	1:25 2000	1:17 200
2.	5	9 058	8 963	+ 7	30	0,36	0,36	0,07	1:24 900	1:25 200	1:121 000
3.	2	4 516	4 443	+ 3	20	0,08	0,00	0,08	1:56 000	1:220 000	1:22 200
4.	2	5 354	5 235	- 5	20	0,32	0,28	0,17	1:16 400	1:18 800	1:31 200
5.	3	6 530	6 211	+ 2	25	0,27	0,27	0,01	1:24 300	1:23 200	1:62L 000
6.	3	5 750	5 315	- 1	25	0,10	0,11	0,07	1:56 000	1:50 000	1:70 900
7.	4	5 277	5 146	+ 6	30	0,08	0,05	0,06	1:64 000	1:99 000	1:80 400
8.	2	3 591	3 558	- 4	20	0,13	0,11	0,06	1:29 300	1:31 800	1:59 300
9.	2	5 060	5 025	+ 2	20	0,18	0,07	0,17	1:27 900	1:72 800	1:29 600
10.	2	3 944	3 941	+ 3	20	0,13	0,03	0,13	1:32 900	1:119 400	1:30 300
11.	2	3 424	2 799	+11	20	0,12	0,09	0,09	1:27 600	1:31 400	1:31 400
12.	2	3 334	2 722	- 7	20	0,21	0,03	0,21	1:15 700	1:97 200	1:13 000
13.	5	11 046	10 498	+ 1	30	0,27	0,26	0,08	1:40 300	1:40 000	1:129 600
gde su:									Sredina		
$f_0$ - uglovanje odstupanje vlaka,									1:33 200		
$f$ - ukupno linearno odstupanje,									1:72 000		
$l$ - podužno odstupanje krajnje tačke vlaka,									1:97 200		
$y_m$ - poprečno odstupanje krajnje tačke vlaka.									1:40 000		
									1:129 600		
									1:97 000		



Na merenjima su uzela učešća tri indentična instrumenta (telurometar model MRA 2) tako da je u toku dana bilo moguće meriti po tri linije sa vremenskim razmakom od najmanje 4 časa. Kako se i očekivalo uslovi uspešnog merenja retko su kada bili slični onima na kopnu; u različite dane su se pogoršavali i menjali neočekivano raznoliko, no ipak redovno pre podne - između 8 i 10 časova - uslovi za merenja bili su najbolji. Rana jutarnja kao i kasnija dnevna i večernja merenja bila su izrazito slaba. Često se po podne nije uopšte ni moglo meriti, kako zbog



Sl. 4

slabog signala tako i zbog njegove neodređenosti na indikatorskom krugu. Zanimljivo je da je i vetar ispoljio vanredno jak uticaj na stabilitet mernog signala, tako da je ponekad onemogućavao merenje, bez obzira što je signal inače bio dovoljno jak. Osim ovih ograničenja, još veće poteškoće predstavljao je izbor noseće frekvencije. Skoro redovno nije bilo moguće da se merenja izvode na celom opsegu pa se čak i za istu liniju, u različito vreme, raspon korišćenih frekvencija sužavao manje ili više i iznosio nekoliko glavnih podela rezonatora.

Tabela VII

S u km	Relativna greška
1,0	1 : 30 000
1,5	1 : 13 000
5,5	1 : 141 000
25,0	1 : 147 000
28,5	1 : 89 000
47,0	1 : 615 000
64,0	1 : 307 000
64,5	1 : 248 000
71,0	1 : 234 000
79,0	1 : 98 000

U tabeli VII navedene su vrednosti merenih dužina u km kao i odgovarajuće relativne greške, prema srednjim greškama aritmetičkih sredina iz pojedinih merenja. Kako se zapaža optimalni rezultati postignuti su na dužini od 47,0 km pa ih



i u buduće treba očekivati kod ove dužine, odnosno 50 km u srednjem. Smanjivanjem dužine povećale su se i greške i relativne vrednosti neslaganja merenja pravo obratno, ali samo do granice koja je bliska i još uvek iznad uobičajene granične tačnosti triangulacije IV reda. Na većim daljinama ove su se takođe povećavale, ali se isto može pripisati snazi primljenog signala. (Na dužinama većim od 60 km signal je veoma brzo slabio uporedo sa smanjivanjem mogućnosti za merenje, a odnos AVC/REG padao je ispod 0,4).

Izvršena računanja koordinata tačaka putem lučnih preseka sa osloncem na tačke viših redova u ravni Gaus-Krigerove projekcije vode istim zaključcima i u potpunosti opravdavaju primenu teluometra za određivanje koordinata tačaka razbacanog ostrvlja gde su klasični načini gotovo nemoćni odnosno neostvarivi.

Tabela VIII

Strana	Dužina u km	Popravke $v$ u m	$\frac{v}{S}$	Popravke koordin. u m	Srednje greške (m) u m
$S_1$	71	0,089	1:806 000	$dy = - 0,079$	$m_y = \pm 1,15$
$S_2$	64	0,128	1:498 000		
$S_3$	47	0,190	1:246 000	$dx = - 0,106$	$m_x = \pm 0,70$

Pri ovim računanjima za težinu merene strane uzimane su konstantne vrednosti  $p = 1$  bez obzira na dužinu strane, što se pored neodređenosti u pogledu težina opravdava donekle i činjenicom da su dužine manje ili više ujednačene i da su merene pod vrlo sličnim okolnostima i u doba najjačeg stabiliteta atmosfere na moru (mesec avgust).

Rezultati izravnjanja koordinata za jednu tačku, putem lučnih preseka sa ukupno tri dužine i osloncem na tri trigonometrijske tačke viših redova, daju se u tabeli VIII.

Kako se vidi unutarnja tačnost je vrlo visoka. Za greške koordinata međutim dobijene su prilično visoke vrednosti čemu je između ostalog razlog i to što su one rezultat ne samo grešaka u merenju dužina već i u njihovom rasporedu i u takozvanim pozicijskim pogreškama datih tačaka. U svakom slučaju očigledno je da su ovako dobivene vrednosti u potpunosti odgovorile potrebama radi kojih su i vršena merenja.