

KOMPARATIVNA MJERENJA AGA GEODIMETROM MODEL 6 I WILD DISTOMATOM DI10 NA ZAGREBAČKOM BAZISU

Eduard KRIZAJ — Zagreb

Ovaj je napis rezultat trajnije suradnje između Katedre za višu geodeziju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Zavoda za fotogrametriju iz Zagreba. Shrvna suradnje bila je, da se stručnjaci Zavoda za fotogrametriju upoznaju s karakteristikama AGA geodimetra model 6 i njegovom upotrebom u praksi. Program suradnje realiziran je tokom 1971. god. u dvije etape. U prvoj etapi ostvareno je teoretsko upoznavanje osobina elektrooptičkih daljinomjera općenito i dosadašnjim dostignućima svjetske proizvodnje na tom polju. U drugoj je etapi ostvareno praktično upoznavanje osobina AGA geodimetra model 6 i rukovanja njime u neposrednom postupku mjerenja. Suradnja visokoškolskih ustanova i proizvodnih organizacija u ovakovom obliku je svakako pozitivna, pa čak i neophodna u današnje vrijeme, jer omogućava praćenje razvoja i dostignuća s područja geodetske nauke i primjenu tih dostignuća u praksi.

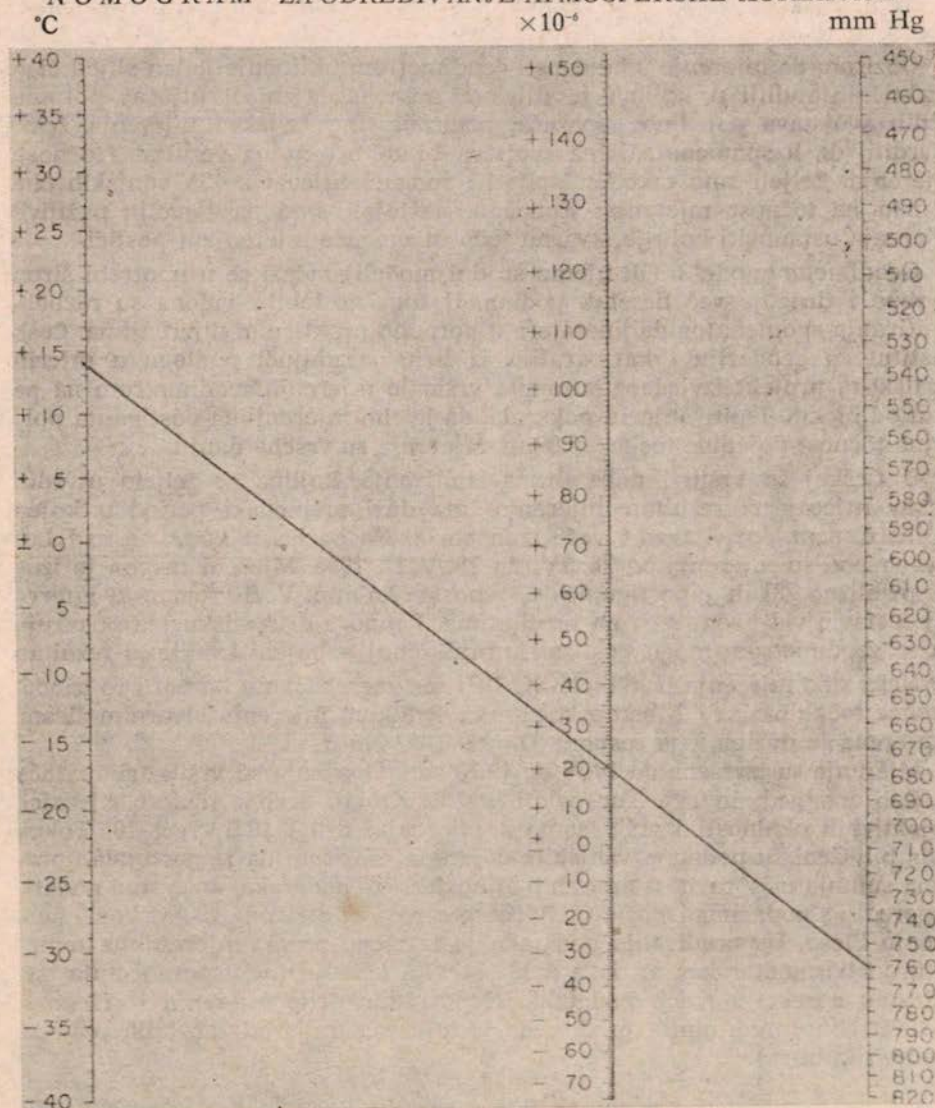
O elektrooptičkim daljinomjerima švedske tvrtke AGA, već je pisano u našoj stručnoj štampi. I geodimeter model 6 radi na poznatom principu mjerenja udaljenosti primjenom elektromagnetskih valova. Kod njega kao val nosač modulirane mjerne frekvencije služi svjetlosni snop iz vidljivog dijela spektra. Sastoji se iz osnovne mjerne jedinice i refleksionog sistema specijalno brušenih prizama, koje imaju pasivnu zadaću vraćanja primljenog svjetlosnog snopa mjerne jedinice natrag k njoj.

Na temelju određenog faznog pomaka odaslanog i primljenog signala u usporedbi s ugrađenom, poznatom unutarnjom jedinicom, te mjerenjem na tri određene frekvencije s pripadajućim poznatim dužinskim jedinicama, moguće je izmjeriti udaljenost između geodimetra i refleksionog sistema s točnošću $10 \text{ mm} \pm 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$. Fazni pomak mjeri se kompenzacionom ili nul-metodom. Pri tome se na naročitom mikroampermetru pomoću posebnog uređaja očita vrijednost spomenutog pomaka, koju baždarnim tablicama pretvaramo u metre. Svaku mjerenu udaljenost potrebno je grubo poznavati na 2 km. Na točnost mjerenja utječu mnogi faktori. Na neke od njih možemo utjecati direktno sami pri mjerenju, no neki su izvan domašaja našeg direktnog utjecaja. Da bi se postigla željena točnost, moramo prilikom mjerenja voditi računa o meteorološkim uvjetima (mjeriti barometarski pritisak do na $\pm 3 \text{ mm Hg}$ i mjeriti temperaturu zraka do na $\pm 1^\circ\text{C}$) čiji znatan utjecaj na mjerenu dužinu možemo otkloniti uvođenjem atmosferske korekcije u rezultate mjerenja. Iznos ove korekcije određujemo pomoću jednostavnog nomograma. Utjecaj pojedinih elemenata u ukupnom iznosu pogreške pojedinog mjerenja vidljiv je iz slijedeće tabele:

Adresa autora: Eduard Križaj, dipl. inž. — Zagreb, Zavod za fotogrametriju, Borongajska 11

	srednja pogreška	proporcionalna pogreška
1) čitanje	$\pm 0,2$	$10^{-6} \cdot D$
2) baždarenje (usporivač)	$\pm 0,7$	
3) konstanta geodimetra	$\pm 0,3$	
4a) ekscentricitet geodimetra	$\pm 0,1$	
4b) ekscentricitet reflektora	$\pm 0,1$	
5a) stalnost frekvencije prema nominalnoj vrijednosti		1
5b) promjena frekvencije obzirom na dozrijevanje kvarckristala		1
6) meteorološki podaci		1
ukupna srednja pogreška	$\pm 0,8 \text{ cm}$	$\pm 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$

NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE ATMOSFERSKE KOREKCIJE



Upotreba nomograma uočljiva je iz primjera:

za temperaturu $+14^{\circ}$ i barometarski pritisak 760 mmHg na srednjoj skali očitamo $+20$; za dužinu 1500 m onda imamo $+20 \times 0,0015 = +0,030$ m.

Postoje razrađene metode mjerenja, kojima je moguće izbjeći utjecaj pojedinih elemenata u ukupnom iznosu srednje pogreške mjerenja. Ove se metode primjenjuju prilikom mjerenja za različite specijalne svrhe (na pr. praćenje malih pomaka stalnih točaka na naročitim objektima).

Geodimetrom je moguće mjeriti udaljenosti u rasponu od 15 m do 25 km. To ovisi — jednim dijelom — o izboru izvora mjernog svijetla (na raspolaganju nam stoje normalna žarulja i visokotlačna živina žarulja), izboru doba mjerenja (dan ili noć), broju upotrebljenih elementarnih prizama u refleksionom sistemu i — drugim dijelom — o atmosferskim uvjetima u trenutku mjereja. Maksimalni mjerni domet moguće je postići mjerenjem noću uz upotrebu visokotlačne živine žarulje.

Obzirom da mjerenje udaljenosti geodimetrom uključuje jedan slijed čisto praktičnih radnji u kojima je dijelom nemoguće izbjeći utjecaj potpuno ličnih svojstava pojedinog opažača, poduzeli smo izvjesna mjerenja želeći utvrditi, da li spomenuta lična svojstva bitno utječu na rezultat (točnost) mjerenja. Željeli smo također ispitati i mogući utjecaj nekih vanjskih čimbenika na točnost mjerenja. Konačno, nastojali smo na temelju pažljivih mjerenja ustanoviti koju je stvarnu točnost moguće mjerenjem postići.

Geodimetar model 6 (ili njemu srodni modeli) nalazi se u upotrebi širom Evrope i drugdje već desetak godina. U tom razdoblju vršena su različita ispitivanja spomenutog daljinomjera u potpuno praktičnim mjerenjima. Češki Institut za geodeziju i kartografiju iz Brna izrađujući podlogu u mjerilu 1 : 1000 za projekt izvjesnog autoputa vršio je mjerenja geodimetrom na potezu od 23 km. Ispitivanja su pokazala, da je tim mjerenjima postignuta položajna točnost pojedine točke $\pm 0,09$ m. Mjerenja su vršena danju.

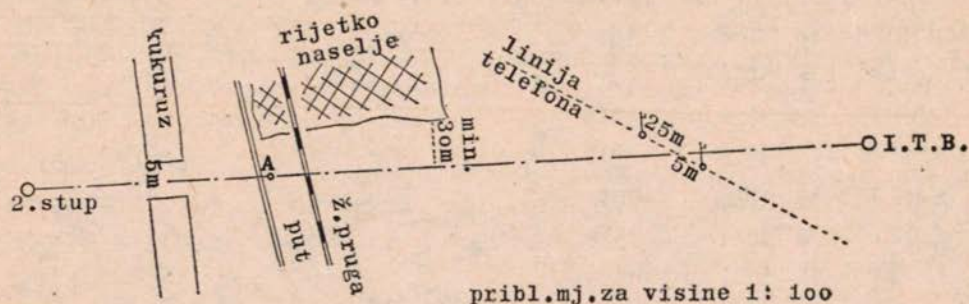
U Češkoj su vršili i neka druga ispitivanja, kojima se željelo utvrditi, kakav utjecaj na rezultate mjerenja ima duži vremenski period u kojem je instrument doživljavao i veće transporte. Na bazi su u Lomnici nad Luznici vršena su mjerenja od 28. IV. do 25. VIII. 1966. Mjereni raspon je iznosio približno 781 m, a postignuta je točnost $\pm 2,6$ mm. Veći vremenski interval nije ostavio vidljivog traga na rezultatima. I mnoga druga iskustva pokazuju, da se geodimetrom mogu postizati u praktičnoj primjeni kvalitetni rezultati.

Naša smo mjerenja izvršili 26. X. 1971. na zagrebačkom bazi su i to između istočne točke bazisa i 2. betonskog stupa. Prilikom mjerenja invarnim žicama izmjerena je dužina toga raspona $D_0 = 2280,892\ 948$ m.

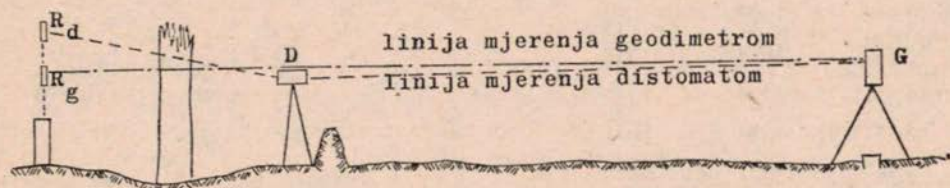
Mjerenja su izvršena od 10.30 do 19.20 sati. Opažanja su vršila tri opažača: R. Bali aps. ged., ing. K. Turković i ing. E. Križaj. Prvi je opažatelj stjecajem objektivnih okolnosti izvršio samo 2 mjerenja, drugi 10 i treći 10. Tokom rada bilježeni su podaci o vanjskim uvjetima. Obzirom da je postojala opravdana sumnja u ispravnost mjerenih atmosferskih podataka, naše smo podatke usporedili s podacima ispostave Hidrometeorološkog zavoda Hrvatske na aerodromu Pleso. Uspoređivanje podataka je izvršeno prema mjerenjima temperature i barometarskog pritiska u 13 sati. Na temelju tog uspoređivanja izvršili smo korekciju naših podataka. Neposredno prije mjerenja izvršene su sve potrebne predradnje (pročišćena je mjerena linija od zaostalih poljoprivrednih kultura).

Na priloženim je skicama predočena mjerena linija u tlocrtu a također i njezin uzdužni profil obzirom na postojeće objekte na terenu.

približno mjerilo 1:1 000



pribl. mj. za visine 1:100



približno mjerilo 1:1 000

približno mjerilo 1:1500

R_d = reflektor distomata
R_g = reflektor geodimetra

D = stajalište distomata
G = stajalište geodimetra

Slijed mjerenja izvršenih geodimetrom model 6 br. 6784 iznijet je u tabelarnom prikazu. U pauzi mjerenja geodimetrom između 14,45 i 16,30 sati isti je raspon na bazisu izmjeren i distomatom DI 10 br. 51.566. Kako je mjerenje distomatom neovisno o ličnim svojstvima pojedinog opažača, a utjecaj atmosferske korekcije na mjerene podatke je vrlo malen, nije vršen niz mjerenja. Iz spomenutih razloga ponavljamo li mjerenja, dobivat ćemo uvijek iste vrijednosti mjerene dužine.

Distomatom nije bilo moguće odjednom izmjeriti dužinu spomenutog raspona, jer ona prelazi maksimalni mjerni domet distomata. U tu je svrhu distomat postavljen teodolitom na pravac mjerene dužine, pa je ona izmjerena u dva dijela. Distomat je postavljen tako, da jedan dio bude koliko je moguće veći, a da se pri tom dužina može još uvijek nedvojbeno izmjeriti, pazeci samo na smirivanje brojčanika u ekranu a neosvrćući se na podatak indikacionog instrumenta o intenzitetu primljenog signala. Željeli smo tim utvrditi, da li je još uvijek sačuvana točnost mjerenja distomatom DI 10 (± 1 cm neovisno o dužini) ako se mjeri preko maksimalnog mjernog domea koji daje proizvođač.

PREGLED IZVRŠENIH MJERENJA AGA GEODIMETROM MODEL 6 br. 6784
 datum: 26. X. 1971. podaci ispostave HmZH Pleso u 13 sati
 t=16°C p=763,6 mm Hg=1018 mb

red. br. sat	°C	p/mb	Δp	p/mb	mjerena dužina o p a ž a č i				
					I.	II.	III.	d	w
1. 10.30	+16	1026	-7	1019	2280,926				
2. 11.00	+16	1026	-7	1019	sumaglica, vjetroviito	,897		+0,00 075	-0,00 405
3. 11.15	+16	1026	-7	1019		,906		-0,00 825	-0,01 305
4. 11.50	+16	1025	-7	1018		,892		+0,00 575	+0,00 095
5. 12.00	+16	1025	-7	1018		,895		+0,00 275	-0,00 205
6. 12.15	+16	1025	-7	1018		,906		-0,00 825	-0,01 305
7. 12.45	+16	1025	-7	1018		,899		-0,00 125	-0,00 605
8. 12.55	+16	1025	-7	1018		,889		+0,00 875	+0,00 395
9. 13.10	+16	1025	-7	1018		,894		+0,00 375	-0,00 105
10. 13.30	+16	1024	-7	1017		,905		-0,00 725	-0,01 205
11. 14.00	+16	1024	-7	1017		,905		-0,00 725	-0,01 205
12. 14.45	+16	1025	-7	1018	sumrak, vjetar	,891		+0,00 675	+0,00 195
13. 16.30	+14	1024	-7	1017		,904		-0,00 625	-0,01 105
14. 16.45	+14	1024	-7	1017		,898		-0,00 025	-0,00 505
15. 17.00	+14	1024	-7	1017		,891		+0,00 675	+0,00 195
16. 17.15	+14	1024	-7	1017		,889		+0,00 875	+0,00 395
17. 17.30	+14	1024	-7	1017		,900		-0,00 225	-0,00 705
18. 17.40	+13,5	1025	-7	1018		,898		-0,00 025	-0,00 505
19. 17.50	+13	1026	-7	1019		noć, vjetroviito	,896		+0,00 175
20. 18.05	+13	1026	-7	1019	,905			-0,00 725	-0,01 205
21. 18.25	+12	1027	-7	1020	,869				
22. 19.00	+10	1027	-7	1020	,895			+0,00 275	-0,00 205
ARITMETIČKA SREDINA					=	2280,89775		+0,04 850	+0,01 275
D _o					=	2280,89295		-0,04 850	-0,10 875
								± ,0	-0,09 600

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}} = \pm 0,00 585 \text{ m} \quad \frac{m_d}{D} = \frac{1}{390 000}$$

$$M_d = \pm \frac{m_d}{\sqrt{n}} = \pm 0,00 131 \text{ m} \quad \frac{M_d}{D} = \frac{1}{1 740 000}$$

Mjerenja navedena pod brojem 1. i 21. u obradi podataka nisu uzeta u obzir, jer odskaku znatno od ostalih. Opravdanost ovoga vidljiva je iz toga,

što ova mjerenja odstupaju od vrijednosti aritmetičke sredine za iznos veći od trostruke srednje pogreške (maksimalna pogreška). Objašnjenje ovoj pojavi moramo tražiti u nepravilnom radu dvotaktnog motora, koji pogoni generator istosmjernog napona potrebnog za rad geodimetra. Primijećeno je u toku rada, da spomenuti motor ne radi uvijek ravnomjerno. Znatn pad napona u toku mjerenja, pogotovo ako ga se ne uoči, nedvojbeno mora utjecati na rezultat mjerenja. Mi smo svjesno na terenu vršili opažanja samo s najnužnijim kontrolama podataka, dok je potpuna obrada mjerenja izvršena naknadno.

Sva ostala uočljiva odstupanja pojedinih mjerenja možemo pripisati jedino rukovanju usporedivačem u mjernom procesu. Kako je već ranije spomenuto mjerenje faznog pomaka vrši se kompenzacionom metodom. U praktičnom mjerenju postupak se svodi na to, da se dugmetom usporedivača poništi otklon kazaljke miliampermetra, to jest, da se kazaljka dovede na nulu okretanjem spomenutog dugmeta koje je u vezi s brojčanikom na kojem onda očitamo brojčanu vrijednost faznog pomaka. Pročitano vrijednost na brojčaniku usporedivača pretvaramo pomoću baždarnih tablica u metre.

Poništavanje otklona kazaljke miliampermetra je dosta osjetljiv posao i treba ga obaviti s velikom pažnjom. Pri tome uvježbanost igra znatnu ulogu, no ne toliko da neizvježban opažatelj ne bi pažljivim mjerenjem mogao postići dobar rezultat. Ovo zaključujemo iz naših iskustava. Iz rezultata naših mjerenja vidljivo je da je postignuta razmjerno visoka unutarnja točnost mjerenja, koja i u najnepovoljnijim slučajevima ne prelazi 50% vrijednosti srednje pogreške mjerenja prema podacima proizvođača.

U pogledu izvršenih mjerenja navedeni su najprije podaci o vremenu mjerenja, zatim meteorološki podaci pri mjerenju, nadalje podaci o vidljivosti tokom mjerenja, te u koje je doba mjerenje vršeno (dan—sumrak—noć). Slijed rezultata mjerenja razlučen je obzirom na opažanje, koji su mjerenja vršili. Na temelju razlika pojedinih mjerenja od aritmetičke sredine izračunata je srednja pogreška svakog pojedinog mjerenja, srednja pogreška aritmetičke sredine i konačno relativne pogreške iz kojih se može steći slika o točnosti rezultata postignutih mjerenjem.

U posljednjem stupcu (w) navedena su odstupanja pojedinih mjerenja obzirom na veličinu izmjerene udaljenosti prilikom mjerenja zagrebačkog bazisa. Razlike, koje bi mogle potjecati odatle, što mjerenja nisu vršena na istoj nadmorskoj visini, tj. na istoj udaljenosti od nivoplohe mora, zanemarene su, jer bi se njihov utjecaj mogao ispoljiti tek u desetinkama milimetra. Ne raspoložemo podacima o postignutoj točnosti pri mjerenju dijela bazisa invarnim žicama, no uzmemo li, da je rezultat toga mjerenja obzirom na ona mjerenja koja smo mi izvršili praktički apsolutno točan, onda se vrijednosti odstupanja w mogu smatrati pravim pogreškama svakog pojedinog mjerenja. Usporedimo li ove vrijednosti s iznosom za srednju pogrešku pojedinog mjerenja $m_0 = \pm(10 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-4} D) = \pm 14,56 \text{ mm}$ koju daje proizvođač, uočićemo, da se sve vrijednosti nalaze unutar granica $\pm 14,56 \text{ mm}$.

Zanimljivo je promotriti rezultate mjerenja pojedinih opažača neovisno. Iz ovoga su izuzeti rezultati mjerenja prvog opažača, jer je on izvršio samo dva mjerenja.

opaž a č II.			opaž a č III.		
red. br.		d	red. br.		d
2.	2280,897	-0,00 067	3.	2280,960	-0,00 640
5.	,895	±0,00 133	6.	,906	-0,00 640
7.	,899	-0,00 267	8.	,889	+0,01 060
9.	,894	+0,00 233	10.	,905	-0,00 540
12.	,891	+0,00 533	11.	,905	-0,00 540
13.	,904	-0,00 767	14.	,898	+0,00 160
15.	,891	+0,00 533	16.	,889	+0,01 060
17.	,900	-0,00 367	18.	,898	+0,00 160
19.	,896	+0,00 033	20.	,905	-0,00 540
21.	(,869)	—	22.	,895	+0,00 460
Arit. sred. 2280,89633		+0,01 465	2280,89960		+0,02 900
		-0,01 468			-0,02 900
		— 3			± 0
m_d II. = ±0,00 424 m			m_d III. = ±0,00 683 m		
M_d II. = ±0,00 141 m			M_d III. = ±0,00 216 m		

Kao i u pregledu sveukupnih mjerenja, tako se i ovdje redaju odstupanja mjerenih vrijednosti od aritmetičke sredine s naizmjeničnim predznacima. Broj pozitivnih i negativnih odstupanja je jednak, što je u skladu s pojavom slučajnih pogrešaka. Moguće je uočiti, da je unutrašnja točnost mjerenja koja je vršio drugi opaž a č za izvjestan postotak veća od točnosti mjerenja trećeg opažača. Promotrivši sada vrijednosti w (razlike pojedinih mjerenja od onog izmjenog bazisnim priborom) mora se uočiti činjenica, da se javlja mnogo veći broj negativnih nego pozitivnih vrijednosti (pet pozitivnih — petnaest negativnih).

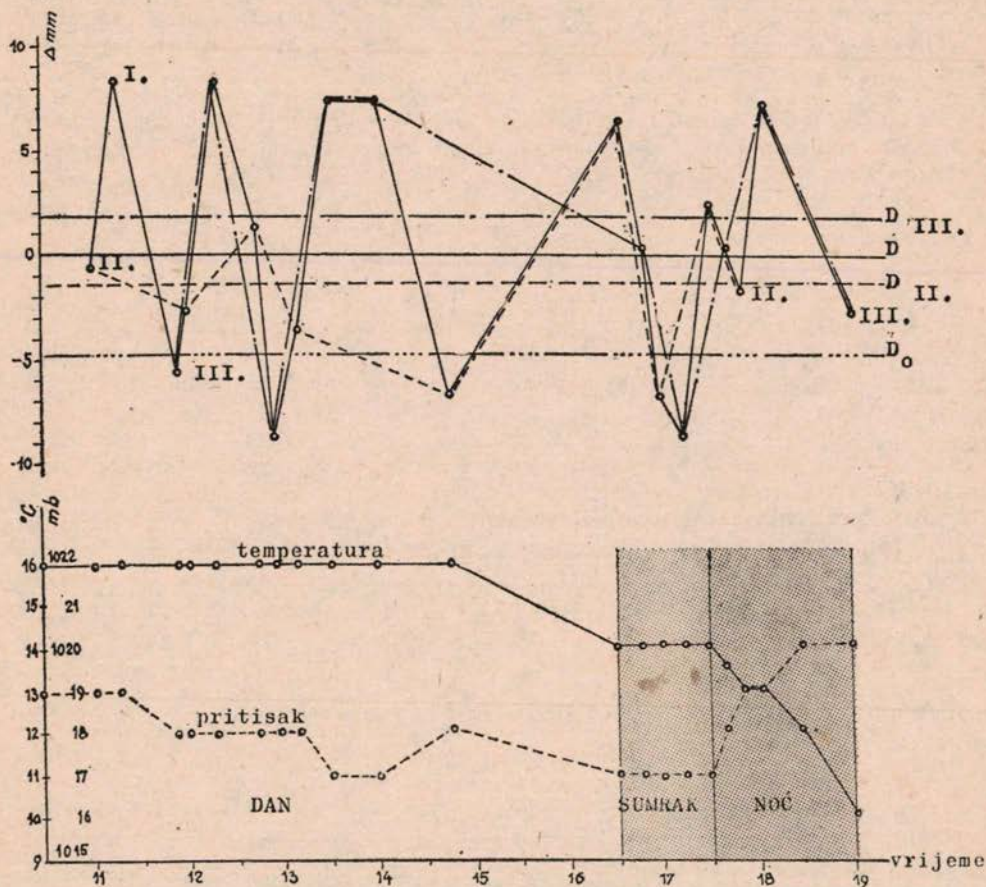
Ova pojava možda ovdje i nema naročitu važnost s praktičnog gledišta, jer se radi o razmjerno malim iznosima, no ona je svakako zanimljiva. Dijelom ju objašnjava pretpostavka, da se centriranje geodimetra na I. T. B. (istočna točka bazisa) nije izvršilo na isto mjesto odakle su započeta mjerenja bazisnim priborom. To je lako moguće, obzirom da je I. T. B. stabilizirana kamenom s uklesanim križem, te je radi dimenzija križa otežano vrlo precizno centriranje. Na stupu br. 2 to nije slučaj, jer je tamo bilo moguće centriranje izvesti na vrlo fini križić urezan u željeznoj šipki. Teško je pouzdano tvrditi, koliki dio sistematskog karaktera pogreške mjerenja uvjetuju spomenute ožalnosti, no realna je pretpostavka, da se on kreće od 1 do 2 mm.

Preostali dio uvjetovan je drugim, nepoznatim elementima, koje bi bilo moguće ustanoviti na temelju većeg broja kompleksnijih mjerenja i ispitivanja.

Zanimljivo je da rezultat mjerenja distomatom pokazuje odstupanje u istom smislu. Izmjerena dužina je veća od D_0 za približno 2 cm. Iz podataka iznijetih na kraju vidljivo je, da se postignuta točnost ne udaljuje bitno od

± 1 cm neovisno o dužini, iako je jedan od mjerenih odsječaka iznosio čak 1635 m.

Radi zorne predodžbe iznijeti su u grafičkom obliku elementarni podaci o vanjskim uvjetima pri mjerenju kao i rezultati mjerenja. Vrijednosti aritmetičke sredine iz svih mjerenja, zatim iz mjerenja drugog i trećeg opažaća označena su s D , D_{II} i D_{III} , dok je vrijednost mjerenja bazisnim priborom označena s D_0 . Iz naših mjerenja ne može se uočiti bitan utjecaj vanjskih čimbenika na rezultate mjerenja.



Naša mjerenja distomatom DI 10 izvršili smo na taj način, što smo cjelokupnu dužinu raspona između I. T. B. i stupa br. 2 mjerili u dva dijela. Pri tom smo mjerili meteorološke podatke, a također i podatke nužne za redukciju mjerenih odsječaka na horizont.

mjerena udaljenost	D_d	suma popravka	D_b
1. A—stup br. 2	645,21 m	+0,001 m	645,211 m
2. A—I. T. B.	1635,70 m	+0,005 m	1635,705 m
		I. T. B. — br. 2 =	2280,916 m
		$D_0 =$	2280,893 m
		$dD =$	-0,023 m

Prema podacima koje daje proizvođač, srednja pogreška čitavog raspona izmjenenog distomatom DI 10 trebala bi iznositi:

$$m = \pm \sqrt{m_r^2 + m_{1r}^2} = \pm \sqrt{1+1} = \pm 0,014 \text{ m}$$

ili

$$\frac{m}{D} = \frac{1}{163\,000}$$

U tabeli je dužina izmjerena distomatom označena s D_d , suma popravaka sadrži atmosfersku korekciju (za 15°C i 764 mm Hg u 15.30 sati), a definitivna dužina reducirana na korizont označena je s D_n .

Ako dužinu D_n (rezultat mjerenja bazisnim priborom) smatramo potpuno točnom, onda nam dD predstavlja stvarnu pogrešku našeg mjerenja:

$$m_d = \pm 0,023 \text{ m} \quad \text{ili} \quad \frac{m_d}{D} = \frac{1}{99\,000}$$

Najnovijim modelima distomata DI 10 mjerni je domet povećan od ranijih 1200 m na 2000 m. Ostaje ipak činjenica, da su vanjski čimbenici pri mjerenjima elektrooptičkim daljinomjerima ponekad od bitnog značenja, te da oni uvjetuju stvarni maksimalni mjerni domet u određenom vremenu i prostoru.

LITERATURA:

1. Čubranić: Teorija pogrešaka s računom izjednačenja
2. Petković: Elektromagnetski daljinomjeri za mjerenje kratkih dužina, Geodetski list 1-3/1970 Zagreb
3. Widner: Erfahrungen mit der Inbetriebnahme des Geodimeters AGA 6, AGA publication 571/007
4. Anleitung zum Geodimeter-Instrument Modell 6, publikacija firme AGA