

Ing. Mato Janković — Zagreb

Rezultati mjerenja Zeissovim priborom za točnu poligonometriju i Zeissovom invar letvom od 3 m.

(Referat, održan na plenarnom sastanku geodetske sekcije D. I. T. H-a 31. I. 1947.)

Naša terenska praksa nameće nam svakodnevno nove zadatke, koje moramo riješavati brzo i solidno. Svi naši radovi moraju u glavnom poslužiti drugim tehničkim radovima i raznim projektiranjima. Tempo današnjeg tehničkog razvitka, i potreba za brzo i svrsishodno riješavanje pojedinih problema je tolika, da je mi geodete sa dosadašnjim metodama rada teško možemo slijediti. Zato nam se nužno nameće potreba da se pojednostavne i ubrzaju terenski radovi.

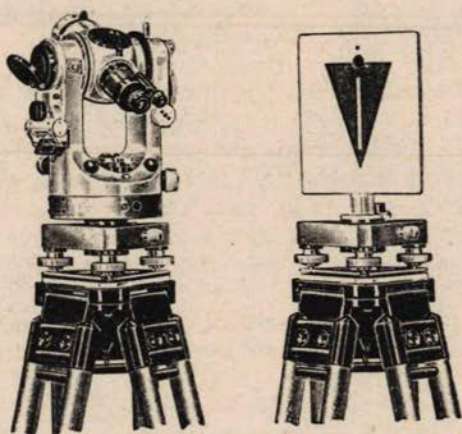
Mi raspoložemo za stanovitim tehničkim priborom, koji nam daje veliku mogućnost primjene u praksi. To je Zeissov pribor za točnu poligonometriju i »redukциони tahimetar Bosshardt-Zeiss (Redta). Nepoznavanje ovog instrumentarija donosi sobom šabloniziranje rada, i nedovoljno iskorišćenje njegovih mogućnosti. Nove instrumente, specijalno »Redtu«, ne smijemo smatrati samo udobnim sredstvom za mjerenje dužina, nego novim tehničkim pomagalicama, čija primjena u praksi mora izazvati i promjenu našeg dosadašnjeg načina projektiranja poligonske mreže, i kriterijuma točnosti za dotičnu geodetsku operaciju. Dosljedno tome dolazi do stanovite promjene i u načinu projektiranja trigonometrijske mreže, na koju se poligonska mreža priključuje. Ove dvije operacije moraju međusobno koordinirati, da se uz primjenu modernog instrumentarija donese za svaki konkretni slučaj najekonomičnije rješenje, koje će istodobno i u stručnom pogledu biti na visini.

Do sada smo u našoj geodetskoj praksi za određivanje osnovne mreže stalnih točaka primjenjivali isključivo metodu triangulacije. Pri tome su naši praktičari detaljiste zahtijevali da trigonometrijska mreža bude gusta, jer su u tom slučaju imali najbolju garanciju da će se poligonska mreža dobro slagati. Kod radova na novom premjeru mogli su se postavljati poligonski vlakovi da potpuno zadovolje matematskim uslovima t. j. da budu ispruženi, i za njih se mogla primjeniti jednostavna metoda približnog izjednačenja. Danas se mi više ne možemo zadovoljiti takovim metodama u postavljanju trigonometrijske i poligonske mreže. Uz ovaj moderni instrumentarij preskupo je postavljati gustu trigonometrijsku mrežu. Pored toga moramo terenske radove tako postaviti, da dođemo čim prije do cilja, do objekta snimanja. To ćemo postići i najbolje riješiti poligonometrijom. Zato će polig. vlakovi morati biti i dugački i iskrivljeni, a ove okolnosti će postaviti i druge zahtjeve na izravnavanje polig. mreže. Sve to zahtijeva da naše stručno znanje moramo upotpuniti u tolikoj mjeri, da za svaki slučaj nađemo najbolje rješenje i odgovarajuću metodu izjednačenja.

Kod poligonalnih mjerenja najveća pogriješka koja može nastati je u prenosu smjernog kuta, odnosno u razlici centriranja signala i instrumenta. Zato se uvijek nastojalo da poligonski vlakovi budu ispruženi i po mogućnosti jednakostrani, da bi zaključna pogriješka u poligonskom vlaklu bila isključivo posljedica linearnih ili isključivo kutnih mjerenja. U tom slučaju je izjednačenje prosto i jednostavno, jer možemo primjeniti približnu metodu izjednačenja proporcionalno dužinama strana ili proporcionalno koordinatnim razlikama.

Ako riješimo taj problem centriranja signala i instrumenta tako, da onu pogriješku svedemo na minimum ili da je potpuno isključimo, onda smo došli u priliku da možemo naše poligonske vlakove više prilagoditi svrsi, i da mogu biti mnogo duži nego što se do sada prakticiralo.

U tome se baš i sastoji suština Zeissovog pribora za točnu poligonometriju, što je pomoću tog pribora isključena pogriješka u centriranju signala i instrumenta. Ako uz taj pribor primijenimo optičko mjerenje dužina, pomoću konstantne letve (indirektno) ili pomoću promjenljive letve (direktno — Redta), dolazimo do jedne kombinacije, gdje pored točnosti u prenosu smjernog kuta postizavamo i stanovitu brzinu u određivanju položaja stalnih točaka. Iz toga možemo izvući praktični zaključak, da poligonski vlakovi mogu biti i dugački i



Sl. 1. Instrument i signalna značka

iskrivljeni. Da bi naši mjereni podaci bili izravni, t. j. da bi dobili odgovarajuće popravke, treba da bude za svaki slučaj primjenjena odgovarajuća metoda izjednačenja po metodi najmanjih kvadrata. Uzimajući u obzir oblik vlaka i veličine zaključnih pogriješaka u polig. vlaklu, moći ćemo prosuditi koja se približna metoda izjednačenja može za svaki konkretni slučaj primijeniti.

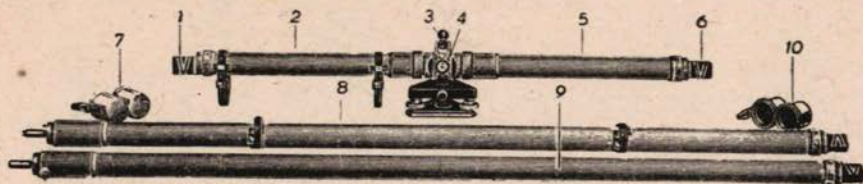
Ako je omogućena velika točnost u prenosu smjernog kuta, a popravke računamo metodom najmanjih kvadrata, dali ima onda smisla postavljati gustu trigonometrijsku mrežu? Mislim da ćemo se složiti da nema, jer će nam točnost određivanja koordinata polig. točaka, ako pri-

mjenimo još metodu učvorivanja biti ekvivalentna točnosti triangulacije nižih redova.

Ovim referatom otvaram diskusiju o primjeni metode točne poligonometrije Zeissovim priborom, pa prije nego navedem same rezultate tih mjerenja opisati ću u kratko pribor i način mjerenja.

Pribor za točnu poligonometriju sastoji se iz:

- 1.) Instrumenta Zeiss ThII. podatak 1".
- 2.) 3—5 signalnih značaka (sl. 1).
- 3.) Invarna bazisna letva dužine 3 m (sl. 2).
- 4.) Optički visak ili štap za centriranje.
- 5.) Pentagonalna prizma i
- 6.) Pet do sedam stativa.



Sl. 2. Bazisna letva 3 m. i 1 m.

Detaljnije ću opisati bazisnu invar letvu, jer je ostali instrumentarij poznat.

Zeissova invarna letva dužine 3 m sastoji se iz dva dijela, koji se spajaju pomoću naročitog zglavka. Dijelovi letve su u obliku cijevi od furnira, promjera 5 cm. Služe kao zaštitni oklop invarnom štapu, koji se nalazi unutar tog oklopa. Invarni štap je dugačak 1.5 m presjeka 5 mm. Na jednom kraju invarnog štapa je marka, na koju se vizira. Na drugom kraju izlazi invar-štap iz zaštitne cijevi u jednom cilindričnom oklopu. Kraj invar štapa vidi se ovdje u obliku dugmeta, i ako na njega pritisnemo osjetiti ćemo da se teško pomiče, jer unutra postoji jaka opruga, koja ga vraća natrag. Takova konstrukcija garantira stalnost dužine letve prilikom spajanja sa srednjim dijelom, makar koliko pritegnuli vijak kojim se pojedini dio letve spaja. Na srednjem dijelu nalazi se još libela za horizontiranje i maleni durbin za upravljanje letve okomito na viziru. Letva je teška svega 4 kg, a dužina joj je $3\text{ m} + C$. Ova konstanta »C« određuje se kompariranjem letve za stanovitu temperaturu. Naša letva nema ovog podatka, jer nemamo pribora za kompariranje. Zato će ova veličina ući u računanje polig. vlaka kao dio sistematske pogreške mjera.

Sav pribor za točnu poligonometriju ima tzv. uređaj za prisilno centriranje.

Što je to prisilno centriranje? Kod Zeissovog instrumentarija to je riješeno vrlo jednostavno. On je svim djelovima instrumentarija dao jednake tronošce, koji imaju jednake otvore. U tim otvorima mogu doći naizmjenično optički visak, značka, letva i instrument. Ako smo postavili jedan stativ i na njemu tronožac sa značkom, i ako u taj tronožac usadjemo naizmjenično signalnu značku, letvu ili instrumenat, mi ih time

prisiljavamo da zauzmu isti položaj, kakav je imao predhodni dio instrumentarija. S time je uklonjena ona pogrješka u centriranju značke (signala) i instrumenta, i omogućen točan prenos smjernog kuta.

Rad sa ovim priborom je na principu paralaktične poligonometrije; t. j. dužinu poligonske strane dobijamo indirektnim putem, mjerenjem paralaktičnog kuta na bazu konstantne ili promjenljive dužine. U prvom slučaju ta baza je invar letva od 3 m, a u drugom jedna baza proizvoljne dužine, čiju veličinu određujemo opet pomoću invarne letve i paralaktičnog kuta.

Budući da se dužina letve smatra konstantnom veličinom, to pogrješka u mjerenju dužina zavisi od pogrješke u mjerenju paralaktičnog kuta, od dužine same strane, te o načinu postavljanja baze.

Osnovna formula za računanje dužine u paralaktičnoj poligonometriji je:

$$S = \frac{B}{2} \cotg \frac{\alpha}{2}$$

gdje je »B« baza, a » α « mjereni paralaktični kut. Iz teoretskih razlaganja poznato je, da je srednja pogrješka u mjerenju dužine, uslijed pogrješke u mjerenju paralaktičnog kuta pretstavljena ovakovom formulom:

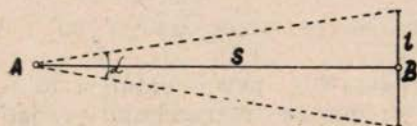
$$m_s = \frac{m_\alpha}{\rho} \frac{S^2}{B}$$

Iz formule se vidi da je srednja pogrješka direktno proporcionalna kvadratu dužine (vrlo nepovoljno), a indirektno veličini baze. Dužinu poligonske strane ne možemo mijenjati. Ona nam je u neku ruku uvjetovana prilikama terena. Zato možemo mijenjati veličinu u nazivniku tj. bazu, i postavljati je tako da traženu dužinu dobijemo sa što većom točnošću.

Od konfiguracije terena i zarašćenosti će zavisiti koliko će nam biti dugačke poligonske strane, i koji ćemo način mjerenja upotrebiti. Kod rada sa Zeissovom poligonalnim priborom imamo četiri načina postavljanja baze i to:

- 1.) bazisna letva na kraju poligonske strane.
- 2.) bazisna letva u sredini poligonske strane.
- 3.) pomoćna baza na kraju i
- 4.) pomoćna baza u sredini poligonske strane.

Prvi slučaj. Bazisna letva na kraju polig. strane



Sl. 3

$$S = \frac{l}{2} \cotg \frac{\alpha}{2}$$

$$m_s = \pm \frac{m_\alpha}{l \rho} s^2$$

gdje je l = letva, m_α srednja pogrješka paralaktičnog kuta, S = dužina polig strane. Ako u ovu formulu uvrstimo vrednosti za $l = 3$ m, $m_\alpha = 3''$

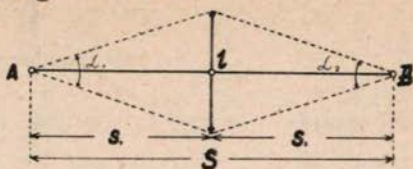
ili 1'', odnosno $\frac{m_\alpha}{\varrho} = 1 : 200000$ dobiti ćemo da je:

$$\underline{\underline{m_s = \pm 1.57 S^2}}$$

Drugi slučaj: letva u sredini poligonske strane.

$$s = \Sigma \frac{l}{2} \cotg \frac{\alpha}{2}$$

$$m_s = \frac{1}{2 \sqrt{2}} \frac{m_\alpha}{\varrho} s^2$$



Sl. 4.

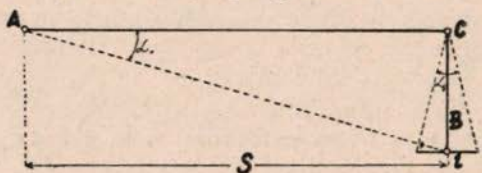
Ako zamijenimo u ovu formulu iste gornje vrijednosti dobiti ćemo uz pretpostavku da je $\alpha_1 = \alpha_2$

$$\underline{\underline{m_s = \pm 0.57 s^2}}$$

Kako vidimo srednja pogrješka je skoro trostruko manja, nego sa letvom na kraju polig. strane.

Treći slučaj: pomoćna baza na kraju poligonske strane:

$$S = B \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin \alpha}$$



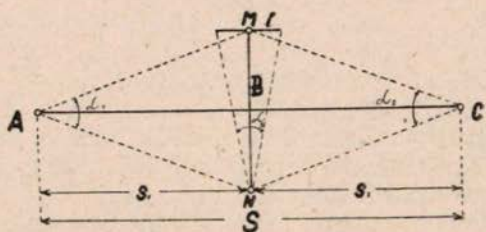
Sl. 5.

Srednja pogrješka izražena je aproksimativnom formulom, uz pretpostavku da je $\alpha_1 = \alpha_2$, odnosno $B = \sqrt{2}s$:

$$m_s = \pm \sqrt{\frac{2}{1}} s^3 \frac{m''_\alpha}{\varrho} \quad \text{odnosno} \quad \underline{\underline{m_s = \pm 0.40 S^{1.5}}}$$

Četvrti slučaj je najpovoljniji, a to je kad je pomoćna baza u sredini poligonske strane.

$$S = \Sigma \frac{B}{2} \cotg \frac{\alpha}{2}$$



Sl. 6.

Uz pretpostavku da je odnos između paralakt. kuteva

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 1 : 1 : \sqrt{2}$$

biti će srednja pogriješka dužine:

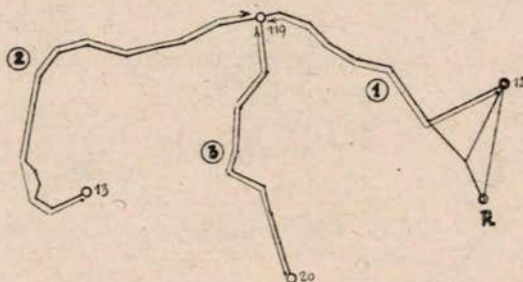
$$m_s = \pm \sqrt{\frac{1}{1\sqrt{2}}} \cdot s^{1.5} \frac{m'' \alpha}{\rho''}$$

odnosno zamjenom vrijednosti za $l i \frac{m'' \alpha}{\rho''}$

$$m_s = \pm 0.24 S^{1.5}$$

To su četiri osnovna načina postavljanja letve i pomoćne baze. Ima još jedan način, ali to je stanovita varijanta posljednjeg slučaja, kad se pomoćna baza uslijed terenskih smetnja mora postaviti nesimetrično. U napred navedenim formulama dužina poligon. strane izražena je u *hm* kao jedinici, a koeficijent uz nju u *cm*. Iz tih formula možemo stvoriti ove praktične zaključke u pogledu dužine polig. strana i načina postavljanja letve: 1. Polig. strana od 25 m—75 m bazisna letva na kraju polig. strane, 2. od 75—150 m bazisna letva u sredini; 3. od 150—300 m pomoćna baza na kraju i 4. od 300 m dalje pomoćna baza u sredini polig. strane. Veličina pomoćne baze je izražena formula $B = \sqrt{2} S$. U šumama gdje ne možemo postavljati pomoćne baze dijeli se dužina na nekoliko dijelova i tako mjeri.

U našoj prošlogodišnjoj terenskoj sezoni imali smo nekoliko slučajeva rada sa ovim priborom, a ja ću ovdje opisati tri slučaja karakteristična po obliku polig. vlakova i terenu (sl. 7).

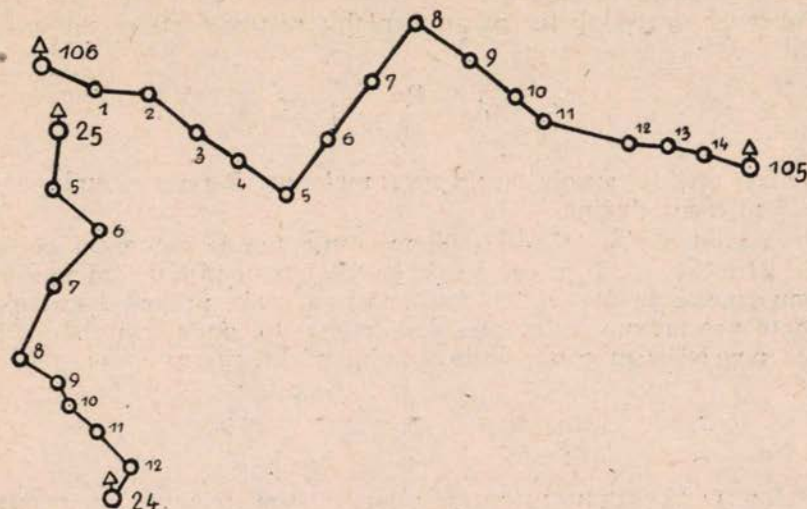


Sl. 7.

U prvom slučaju bio je brdski i šumoviti teren, a trebalo je u jednoj jaruzi odrediti čvornu točku s velikom točnošću. U drugom slučaju trebalo je dati osnovu za snimanje proširenog gradskog područja grada Zagreba, na dijelu koji nije bio obuhvaćen starom trigonometrijskom mrežom u Merkatorovoj projekciji. Razvijanje triangulacije bi skupo koštalo, a osim toga u tom dijelu bi vrlo teško bilo razvijanje detaljne triangulacije. Taj se zadatak pokušao riješiti preciznim poligonskim vla-

kom koji se oslonio na točke III. reda Savski most, Stenjevac i Grmošćicu, u dužini preko 6.5 km. Treći slučaj je riješenje geodetske osnove u Draganičkoj šumi, kako je prikazano crtežom (sl. 8).

Kod prvog slučaja, koji je prikazan na slici 7, konfiguracija terena nije dozvoljavala pravilnije postavljanje poligonskih vlakova, jer su trig. točke bile na brdu, a čvorna točka se određivala u jaruzi. Iz istih razloga nijesu mogle ni polig. strane biti duže od 300 m. Zato su se polig. strane mjerile na sva četiri napred navedena načina. Pomoćna baza iskolčavala se prizmom. Simetrija baze kontrolirala se mjerenjem oba kuta, koji zajedno čine paralaktični kut, pa se u slučaju nesimetričnog postavljanja točnije računala dužina polig. strane.



Sl. 8. (mjerilo 1 : 100.000.)

Kutevi su se mjerili u ranim jutarnjim satima i poslije podne, kad je zrak bio apsolutno miran, jedino za oblačnih i hladnih dana opserviralo se i preko cijelog dana. Za vrijeme kad se nije moglo opažati vršili su se pomoćni i pripremni radovi oko prosjecanja vizura, iskolčenja pomoćnih baza i t. d. Na radovima su bila zaposlena dva stručnjaka sa četiri radnika. Velika je poteškoća bila, što radnici nijesu bili stalni nego su se skoro svaki dan mijenjali, tako da se nijesu mogli uvježbati u najosnovnijim pomoćnim radovima, kao postavljanje stativa, iskolčenje pravca za prosjecanje vizura, centriranje i horizontiranje signalne značke i t. d. Osim toga poligonsko kamenje ukopavali su jedni radnici, a kod opažanja pomagali su drugi. Sve su to okolnosti radi kojih se efekat ovih radova ne može uzeti kao mjerilo za količinu urađenog posla za jedan radni dan. Ipak se postiglo da se prosječno opserviralo 2 km dnevno, sa 6—9 polig. točaka.

Prelomni kutevi mjerili su se u tri girusa, a paralaktični u 6 ponavljanja, čitajući na lijevu, srednju i desnu marku. Između svakog po-

navljanja pomaknuo se limbus za stanovitu malu vrijednost, ponovno naviziralo i čitalo obrnutim smjerom. Mjerali su se i vertikalni kutevi u oba položaja durbina sa sva tri konca.

Dužine poligonskih strana računale su se dvostruko računskim strojem i logaritamski.

Budući da se ovaj teren nalazi na nadmorskoj visini prosječno 730—850 m, to se morala uvesti popravka za redukciju dužina na nivo plohu. Ova popravka naravno nije velika, ona iznosi oko 1 cm na 100 m, ali ako je dužina vlaka 2—3 km onda će ta popravka iznositi 20—30 cm. Popravka za redukciju dužina na ravninu projekcije nije se u ovom slučaju uvađala. Ovdje je srednja ordinata Y_m bila oko 20 km, i prema tome linearna deformacija koordinatnog sistema nema praktičnog značenja.

Popravke za redukciju na nivo plohu računale su se po približnoj formuli

$$\delta = \frac{Hm}{R} \cdot S$$

gdje je Hm srednja apsolutna visina u metrima, R radius zemlje = 6370 km, a S mjerena dužina.

Prva kontrola za točnost ovih mjerenja bio je zatvoreni poligonski vlak od 24 točke, u dužini cca 5 km. Kutno odstupanje u tom zatvorenom poligonu iznosio je $f_{\beta} = +25^{\text{cc}}$ što iznosi za svaki prelomni kut oko 1^{cc} , ili ako to prestavimo u stupanjskoj mjeri to onda iznosi $f_{\beta} = +8'5''$. Srednja pogrješka mjerenja kuta u polig. vlaku prema tome je:

$$m = \pm \frac{f_{\beta}}{\sqrt{n}} \cong \pm 5^{\text{cc}} \cong \pm 1'' \cdot 5$$

Dužine polig. strana nijesu se mjerile istim načinom, ali primjenom raznog načina postavljanja letve i pomoćne baze u zavisnosti od dužine polig. strane, postigla se prosječno jednaka točnost u mjerenju dužine polig. strana. Srednja pogrješka m_s mjerenih strana računata je iz napred navedenih formula, i prosječna točnost sračunata iz 30 polig. strana, a izražena relativnom pogrješkom iznosi:

$$\frac{m_s}{S} = 1 : 17.000$$

Odstupanja po koordinatama u tom zatvorenom poligonu jesu $f_y = -0.032$, a $f_x = +0.189$ m. Naravno da se u zaključnim odstupanjima zatvorenog poligona ne pojavljuje sistematska pogrješka u dužini mjeraće sprave. Međutim zatvoreni poligon je dobra kontrola i garancija točnosti mjerenja. Sistematska pogrješka mjeraće sprave pojaviti će se kod priključka ovakvog poligona na triangulaciju. U tom će se slučaju ređovito zaključne pogrješke u poligonskom vlaku povećati. Uslijed čega nastaju ta povećanja? Uslijed t. zv. pogrješke mjerača, a ta se sastoji:

1. iz ravnomjerne pogrješke uslijed linearne deformacije koordinatnog sistema.

2. iz neravnomjerne pogrješke, koja nastaje pri određivanju koordinata tigonom. točaka, koje kod računanja polig. mreže moramo smatrati bezpogrješnim.

3. iz pogrješke u mjeracoj spravi, odnosno redovito iz preostalih odstupanja poslije komparacije.

4. iz mnogobrojnih mogućnosti t. zv. jednostrano djelujućih pogrješaka kod optički mjerenih dužina (djelovanje bočne i terestričke refrakcije).

Sve ove pogrješke zajedno daju t. zv. pogrješku mjerila, koju elimineramo po izravanju polig. vlaka obzirom na pogrješke u mjerenju kuteva i strana.

Pored kontrole koju daje zatvoreni polig. vlak, dobra je kontrola i t. zv. međuo r i j e n t a c i j a. Šta je to međuorijentacija? Međuorijentacija nastaje ako iz neke točke poligonskog vlaka (najbolje iz sredine) viziramo na neku trig. točku, koja leži u smjeru vlaka ili sa strane. U prvom slučaju imamo kontrolu poprečnog odstupanja, a u drugom uzdužnog odstupanja u poligonskom vlaku. Koordinate dotične točke možemo sračunati u prvoj aproksimaciji iz računanja polig. vlaka bez izravnavanja kuteva. Iz ovako dobivenih koordinata ove polig. točke i koordinata trigonometra, na kojeg smo vizirali, sračuna se smjerni kut. Sad možemo kontrolirati prenos smjernog kuta u polig. vlaku i možemo izravnati kuteve u tom vlaku. Male promjene u koordinatama dotične polig. točke po izravanju ne daju nikakove bitne promjene u smjernom kutu obzirom na udaljenu trig. točku. Kod čvornih točaka nastaje također ovaj slučaj međuorijentacije, ako sa čvorne točke vidimo neku trig. točku. U tom povoljnom slučaju imamo t. zv. priključak po smjeru na kraju polig. vlaka.

U našem slučaju izmjereni su na polig. točki 126 pravci ka trima trig. točkama. Iz približno sračunatih koordinata ove točke u polig. vlaku i viziranih trigonometara sračunati su smjerni kutovi, pa su na temelju toga orijentirani pravci sa točke 126.

Ta kontrola i postignuti rezultati vidljivi su iz tablice.

Vizura	Smjerni kutevi			Mjereni pravci			O	Orijentirani pravci			Odst. v	
	g	c	cc	g	c	cc		g	c	cc	cc	"
J.	289	90	20	0	00	00		289	90	41	- 21	- 7
T.	341	71	85	51	81	17	289.9041	341	71	58	+ 27	+ 8
G.	9	82	00	119	91	66		9	82	07	- 7	- 2

Kod postavljanja ovih vlakova bilo je zamišljeno da se izravna dvije čvorne točke. Međutim uslijed hitnosti zadatka, a i postignute visoke točnosti, izravnala se samo jedna čvorna točka \odot 119. Po izravanju čvorne točke nastale su odstupanja u poligonskim vlakovima kako je prikazano u tablici.

Vlak	[s]	L	f_y	f_x	f_l	f_q	[s]/L	f_s
1	1.977 m	1.680	+ 0.012	+ 0.030	- 0.005	+ 0.032	1.14	0.032
2	2.787	1.700	- 0.085	+ 0.018	- 0.048	- 0.072	1.60	0.102
3	2.049	1.800	+ 0.045	+ 0.043	+ 0.033	+ 0.052	1.14	0.062

Prema tome odnosi f_s prema dužini polig. vlaka [s] jesu:

za 1. vlak $f_s : [s] = 1 : 60.000$

za 2. vlak $f_s : [s] = 1 : 30.000$

za 3. vlak $f_s : [s] = 1 : 30.000$

f_l = uzdužna pogrješka u poligon. vlaku

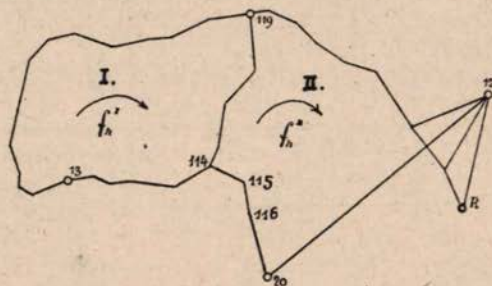
f_q = poprečna pogrješka u polig. vlaku

$[s]/L$ = mjera iskrivljena poligonskog vlaka.

za ispruženi vlak $\frac{[s]}{L} \leq 1 \cdot 1$

Iz ovih podataka možemo prosuditi kvalitet ovih radova također i točnost koju možemo postići ovim priborom. Naravno da dužine navedenih poligonskih vlakova nijesu velike, i prema tome ne možemo iz ovog slučaja stvoriti sud o uporabivosti ovog poligonalnog pribora. Ipak dužine vlakova su od prilike dužine vizura na kojima postavljamo triangulaciju IV. reda. O načinu izravnavanja ove mreže metodom najmanjih kvadrata biti će govora drugom prilikom.

Uz mjerenje horizontalnih kuteva mjerili su se i vertikalni kutevi na gornju ivicu trokuta signalne značke. Kod ovog Zeissovog pribora počešana je visina gornje ivice trokuta na signalnoj znački da bude jednaka



Sl. 9.

visini instrumenta, tako da kod naizmjeničnog postavljanja instrumenta i signalne značke na jednom istom mjestu, jedanput izmjerena visina instrumenta je ujedno i visina signala. Time je uklonjena pogrješka uslijed pogrješnog odmjeranja visine. Drugim riječima, ako nam nije potrebna visinska kota stajališta instrumenta ili signalne značke, ne trebamo niti mjeriti visinu instrumenta i signala (značke) da bi ustanovili iznos $i-l$.

Visinske razlike sračunate su u dva zatvorena poligona kako je prikazano na slici 9. U poligonu I. odstupanje je $f_h^I = -0.015$ m a u drugom $f_h^{II} = +0.010$ m. Točke 116, 115, 114, koje se nalaze na cesti, uključene su kasnije u precizni nivelmanski vlak, a naš poligonski vlak priključen je na reper preciznog nivelmana kako je naznačeno na slici 9.

Visinski podaci ovih točaka dobivenih iz preciznog nivelmana i dobiveni trigometrijskim nivelmanom naznačeni su u skrižaljci:

Veća razlika kod točke 116, vjerojatno je uslijedila uslijed slijeganja kamena, jer je ta točka ukopana na međi dvije oranice. Iz ovih podataka se vidi, da trigonometrijski nivelman sa ovim poligonalnim priborom može potpuno zadovoljiti zahtjeve tehničkog nivelmana.

Točka	Preciz. nivelman	Trig. nivelman	Razlika cm
116	798.902	798.953	- 5.1
115	806.023	806.019	+ 0.4
114	811.231	811.213	+ 1.8

Drugi slučaj bio je postavljanje preciznog poligonskog vlaka između dvije trig. točke III. reda u Zagrebu od Savskog mosta do Stenjeveca.

Za staru zagrebačku triangulaciju osim koordinata nemamo nikakvih drugih podataka, tako da ne znamo ni plan računanja niti točnost opažanja i određivanja te mreže. Postojala je stanovita sumnja u kvalitet te mreže, pa je bilo potrebno pored određivanja nekoliko točaka ispitati i kvalitet mreže.

Za potrebe regulacije Save postavljena je u 1945. god. trig. mreža III. i djelomično IV. reda, od koje je stanoviti broj točaka pao i na područje Zagreba. Ova mreža postavljena je i sračunata u Gauss-Krügerovoj projekciji. Neke točke identične su sa točkama stare zagrebačke triangulacije, a druge koje su vremenom nestale obnovljene su. Trebalo ih je zato na neki način odrediti u starom sistemu, a za snimanje proširenog dijela gradskog područja, popuniti mrežom IV. reda, da bi se novo prošireni dio mogao spojiti sa starim, koji ima planove i regulatornu osnovu.

Za te radove koristila se operativna baza, koju je svojedobno odredio geodetski odjel tehničkog fakulteta t. j. Sv. Blaž crkva i crkva na Horvaćanskoj cesti. Ova je baza određena sa točnošću od 1:100.000 što za ove svrhe potpuno zadovoljava.

Dužina operativne baze iznosi $S = 2.751.560$ m, a dužina sračunata iz koordinata krajnjih točaka u Gauss-Krügerovoj projekciji iznosi $S = 2.751.515$ m. Ova ista dužina sračunata iz koordinata u Merkatorovoj projekciji iznosi $S = 2.751.838$ m. Linearne deformacije koordinatnog sistema uzete su u oba slučaja u obzir. Prama tome razlika između mjerenih i računatih baza u oba slučaja iznosi:

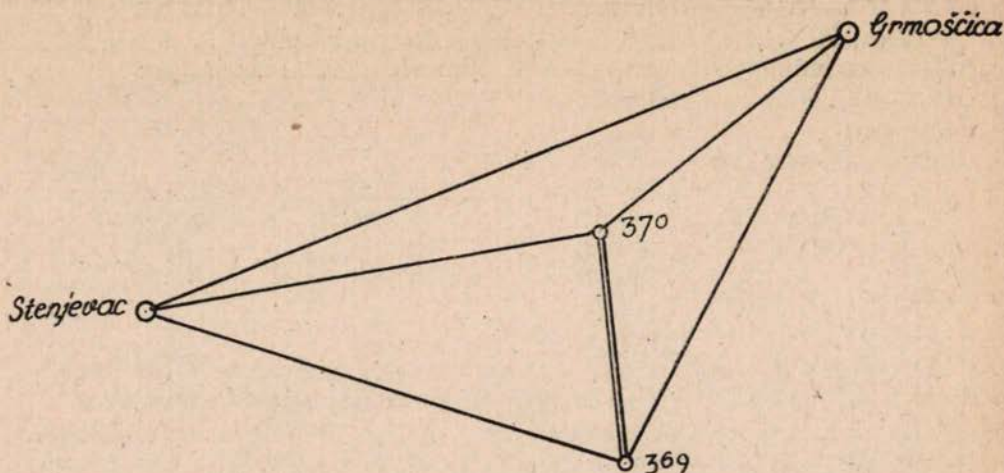
$$\text{za Gauss Krug. proj.} + 4.5 \text{ cm} \quad \frac{d_s}{S} \quad 1:60.000$$

$$\text{za Merkatorovu proj.} - 27.8 \text{ cm} \quad \text{„} \quad 1:10.000$$

Ovo već unosi stanovitu sumnju u kvalitet stare zagrebačke trig. mreže. Zato sam pristupio kontroli novo postavljene trig. mreže da bi

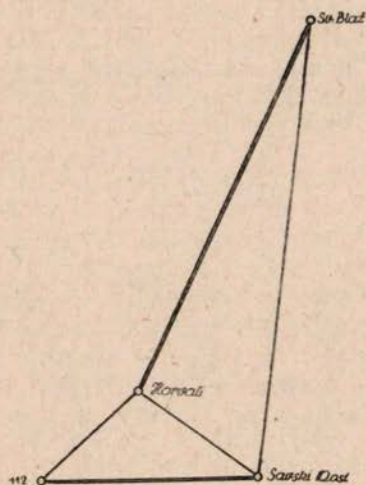
na temelju toga mogli suditi o mogućnosti rada Zeissovim poligonalnim priborom i prema tome i njegovoj primjeni.

Duž potoka Vrapče izmjerena je Zeissovim priborom i invar letvom baza u dužini od 727'686 m, pomoću koje je sračunata trig. strana S t e



Sl. 10.

njevac—Grmošćica u novoj trig. mreži. Tako dobivena dužina ove trig. strane iznosi 2.469'944 m, dok sračunata iz koordinata iznosi 2.469'932 m. Prema tome razlika je $d_s = +1.2$ cm, odnosno 1 : 200.000.



Sl. 11.

Mogli bi se stati na stanovište da ovo nije dovoljno sigurna kontrola točnosti mjerenja ovim priborom. Prije nego iznesem rezultate mjerenja preciznog poligonskog vlaka navesti ću još jedan podatak. Dužina trig. strane Savski most—Horvati, kako je na slici 11 prikazano, može se sračunati iz operative baze Horvati—Sv. Blaž i dužine poligonske strane Savski most—112, mjerene poligonalnim priborom. Iz ovog trokuta sračunata zajednička dužina iznosi 996.670, a iz drugog 996.632 m. Razlika je 3.8 cm. Napominjem da je sa svih četiriju ekscentrično opažano, a strana Savski most—112 mjerena je pomoćnim pol. vlakom sl. 12. Pored ovih rezultata mjerenja mnogo su interesantniji rezultati dobiveni u preciznom poligonskom vlaku. Taj je vlak postavljen između trig. točaka III. reda u Gauss-Krüger. proj. Savski most—

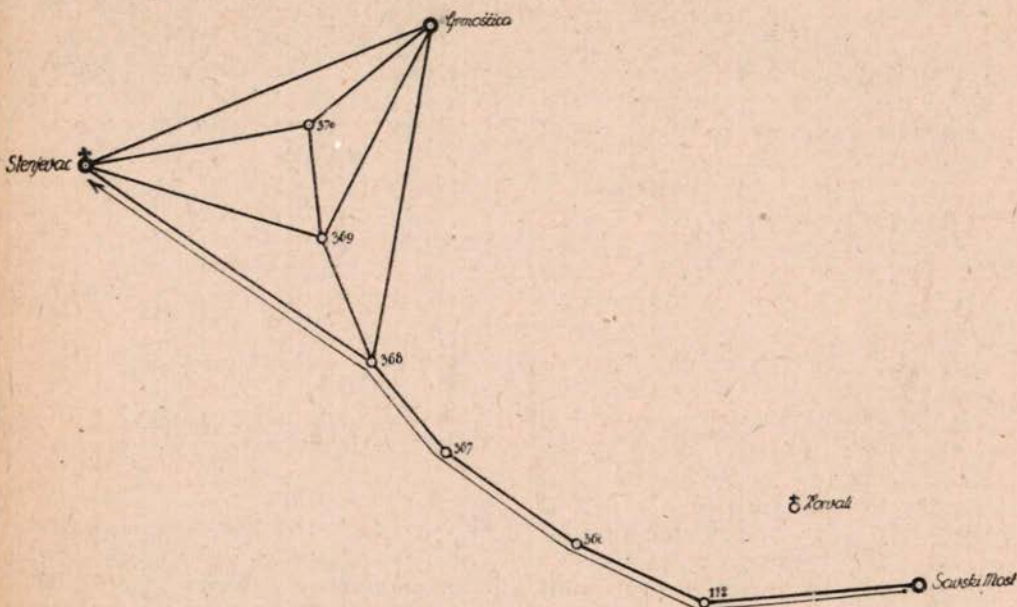
Stenjevac crkva, u dužini od 6.5 km. U tom su vlaku točke stare gradske triangulacije. Vlak ima 5 točaka sa 6 glavnih strana, čije se

dužine kreću od cca 900 m do 2.300 m. Strane su se mjerile ili odjednom, odje je to bilo moguće ili pomoćnim polig. vlakom kako je na slici prikazano.



Sl. 12 pol. strana Savski most — 112.

I kod ovih radova postignuta je ista točnost kao i u predhodnom slučaju t. j. srednja pogrješka paralaktičnog kuta $m_a = \pm 1''$, $m_s = \pm 0.24 S^{1.5}$. Da bi pogrješka mjerila kod izravnavanja polig. vlaka bila manja, izvršena je redukcija dužina polig. strana na ravninu projekcije. Srednji Y je 72 km., i prema tome linearna reformacija koordinatnog sistema ima stanovitog utjecaja.



Sl. 13 Skica prec. pol. vlak mjerilo 1 : 50.000

Za signalizaciju glavnih točaka vlaka upotrebljavali su se naročiti signali obojeni bijelo crvenom bojom, koji su na donjem kraju imali papuču sa željeznim šiljkom. U vertikalni položaj postavljao se pomoću žice, koja se zatezala na 4 strane. Signal je uvijek dolazio sa šiljkom u rupicu na centru kamena. Prednost ovih signala je bila ta, što su bili srazmjerno dosta visoki (4—6 m), a lako prenosni.

Signalne značke ovoga pribora mogu se dobro upotrebiti do udaljenosti od 500 m. Preko te udaljenosti može se opservirati samo za naročito povoljnih otmasferskih okolnosti. Kod većih udaljenosti dobro se može upotrebiti električni reflektor, koji je udešen na istom principu kao i signalna značka.

Zaključna odstupanja u ovom polig. vlaklu vidljiva su iz priložene tablice:

s	L	f_b	f_y	f_x	f_l	f_q	f_s	s/L
6.574	6.200	-7"	+0.003	-0.186	+0.091	-0.162	0.186	1:35.000

Kako se iz gornje tablice vidi, a i iz ranije navedenih podataka, postignuta je prilično visoka točnost u ovim mjerenjima, što nas može ponukati da razmislimo o mogućnostima primjene ovog pribora. Pored ovih radova izvađao je geodetski Zavod još neke radove sa ovim priborom kao postavljanje preciznih polig. vlakova kroz Draganičku šumu jedan u dužini od 11 km. a drugi u dužini od 6.5 km. U prvom je f_s bio 0.235 m, a u drugom 0.232 m. Sl. 8.

Međutim ako navedeni poligon u Zagrebu postavimo unutar starih točaka gradske mreže nastaje veliko odstupanje $f_s = 0.80m$. Ovakovo odstupanje ne može se ničim opravdati nego položajnim pogrješakama stare trig. mreže. Svakako to daje povoda da ustvrdimo, da točnost stare trig. mreže ne odgovara za današnje potrebe gradskog razvoja i da je potrebno dati Zagrebu jednu novu i modernu geodetsku osnovu. Da bi se koristili ovi podaci mjerenja za staru mrežu moraju se preračunati priključne trig. točke.

Iz ovih razlaganja, i iz rezultata radova redukcionim tahimetrom »Redta«, koje ja neću ovom prilikom iznositi, možemo doći do stanoovitih praktičnih zaključaka o metodama i organizaciji geodetskih radova primjenom novih geodetskih instrumenata.

Sa novim instrumentima mi smo u stanju da sa potpuno zadovoljavajućom točnošću postavljamo dugačke poligonske vlakove, kod kojih ako primijenimo pribor za prisilno centriranje može biti iskrivljenost velika, a da to ne prouzroči veliko poprečno odstupanje u vlaklu. Prema tome možemo taj poligonski vlak prilagoditi terenu da nam odmah posluži kao geodetska osnova daljim radovima snimanja. Praktična posljedica toga je ta, da nam u takvom slučaju nije potrebna skupa i dugotrajna detaljna triangulacija. Poligonometrija je osim toga mnogo brža. Kod povoljnih vremenskih okolnosti sa priučenim radnicima može se dnevno opservirati za 8 satno radno vrijeme 3—3.5 km prec. polig. vlaka sa dužinom strana prosječno 300 m. Današnji tehnički radovi traže hitna rješenja. Ako radimo prec. poligonometrijom mogu detaljisti dobiti neposredno na terenu približne koordinate točaka, što kod trigonometričkog rješenja nije slučaj. Pored toga uz određivanje glavnih točaka metodom učvoričavanja, prec. poligonometrijom rješavamo istodobno i postavljanje glavne poligonske mreže za snimanje detalja. Kako se iz navedenih podataka vidi ona može istodobno riješiti i pitanje tehničkog nivelmana.

Naravna stvar da radovi na poligonometriji zahtijevaju mnogo veće poznavanje teorije pogrješaka u polig. vlaklu, načine izravnavanja polig. vlakova i polig. mreže kao cjeline, te način projektiranja polig. mreže.

Sa instrumentom Redta mogu se postići vrlo dobri rezultati pogotovo ako i kod nje upotrebimo poligonalni Zeissov pribor. Ona daje na-

ročito dobre rezultate u brdskom terenu gdje su strane strme i kratke. Naravno da je kod toga uslov da osoblje, koje rukuje sa tim instrumentom mora biti dobro uvježbano.

Pored opisane letve od 3 m, kod nas postoji još Zeissova dvometarska letva. Ona je napravljena od čelika, pa se za naše prilike nije pokazala prikladna, jer brzo reagira na promjenu temperature, koja se ne može isto tako brzo ustanoviti. Vjerojatno da se kod radova u šumama, noću, i kod konstantnih temperatura, može dobro koristiti i primijeniti na isti način kao i letva od 3 m.

IZ DISKUSIJE POVODOM PREDNJEG REFERATA ING. SLAVKO CIMERMAN

U problemu precizne poligonometrije može se između ostaloga postaviti pitanje nepromjenljivosti mjerače letve uslijed promjena temperature, kao pitanje utjecajnog faktora na samu relativnu točnost mjerenja uopće.

Letve se izrađuju od invara, (indilatana). Nama poznati invar koji je upotrebljen kod Jäderinovih žica nije jedina modifikacija invara. Taj jest doduše najviše poznat i opisan, a sastav mu je 64 Fe + 36 Ni sa linearnim koeficijentom istezanja 0,000023. Međutim u tabelama može se naći razne druge legure invara sa različitim omjerima ne samo sa Fe i Ni nego i sa drugim dodacima. Kao praktično nepromjenjivi se spominju Elinvar 53% Fe, 35% Ni, 12% Cr (Guillaum) i Nivarox sa 30% Ni, 61% Fe, 7.1% W, 1% Be, 0.8% Mn, 0.1% Si, (Strauman).

(Ne ulazim u pitanje što znači praktično nepromjenljivo.)

Spominje se tkzv. Supra-Invar (63 Fe, 32 Ni, 5 Co, 0.3 Mn, sa koeficijentom 0,0000001.

Radi preglednosti evo nekoliko koeficijenata za poznate metale i legure:

Željezo čisto	0,0000125	Platina—Iridium 20%	0,0000083
Platina	0,0000090	Invar	0,0000023
Iridium	0,0000066	Supra—Invar	0,0000001—0,0000005
Platina—Iridium 10%	0,0000089		

(Podaci: Kohlrausch 1943.)

Nakon toga možemo zaključiti o istom pitanju ovako: Faktično je postignut uspjeh u stvaranju invara, da ih u primjeni mjeračkih letava možemo smatrati nepromjenljivima pod uplivom temperaturnih oscilacija, koje normalno dolaze u obzir za vrijeme mjerenja. Međutim u svakom slučaju je tim više potrebno znati, o kojem invaru se zapravo radi, i koliki mu je linearni koeficijent raztezanja. To se mora uvijek ishoditi od fabrike u vidu certifikata. Kod svake letve postojat će neka normalna temperatura (npr. 18°—20° C) za koju će se smatrati i sama dužina da je normalna. Potrebno je ipak registrirati amplitude temperature, kod nas moguće od (—5° do +30° C, to već prema sezoni u kojoj se radi. Nije mi poznato kako se temperatura okoline prenosi na samu letvu s obzirom na njezinu zaštitu, pa se preporuča o tome voditi računa. U svakom slučaju preporučam provesti pokusno registriranje temperature, račun upliva na letvu, račun koeficijenata istezanja te napokon utjecaj na točnost.