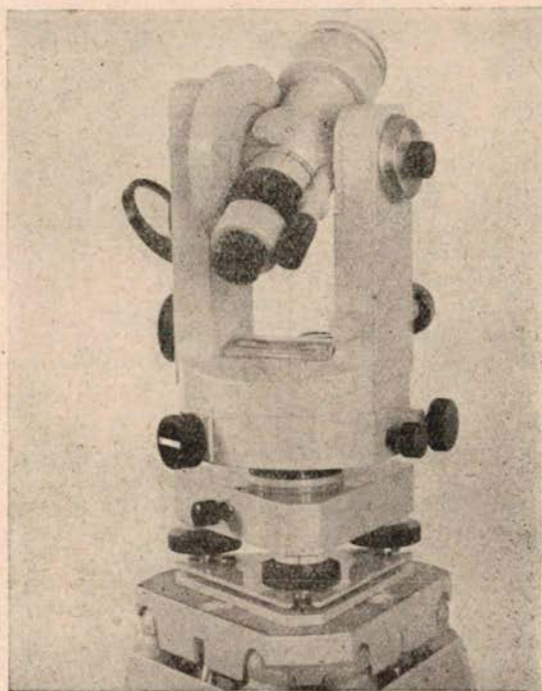


Prof. inž. M. JANKOVIĆ i Inž. ZVONIMIR NAROBÉ — Zagreb

REPETICIONI TEODOLIT Th 3 I NOVA KOMPENZACIONA BAZISNA LETVA 2 m ZEISS-OBBERKOCHEM

Firma Zeiss Oberkochen stavila je na raspolaganje instrument Th 3 i bazisnu letvu katedri za primijenjenu geodeziju A. G. G. fakulteta u Zagrebu u cilju ispitivanja. Ovaj instrument kao i poligonalni pribor,



Sl. 1 — Instrument Th 3, vanjski izgled

kojeg je Zeiss Oberkochen konstruirao zaslužuju posebnu pažnju, obzirom na niz noviteta, koji su uvedeni u instrument i bazisnu letvu, a koji omogućuju njihovu široku primjenu u geodetskoj praksi.

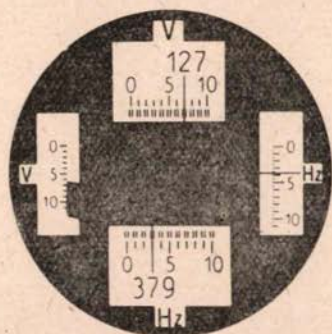
U našoj stručnoj literaturi već je govoreno nešto o ovim novim instrumentima. To je u prvom redu članak prof. dr N. Neidhardta »Nova bazisna letva« — G. L. 1959 str. 232, te ing. S. Cimerman Teodolit Th 3 (Zeiss Oberkochen) Atlas geodetskih instrumenata — Zgb 1960 str. 362. Međutim ovaj instrument sa njegovim priborom nije se još pojavio u našoj praksi.

Prof. Neidhardt je prikazao konstrukciju letve na osnovu članka D. Schellens: »Die neue 2 m — Basislatte mit Temperaturkompensation« Zeiss Werkzeitschrift br. 32 Oberkochen — Zürich 1959. Ing. Cimerman je u Atlasu dao opće tehničko konstruktivne podatke o instrumentu. Mi ćemo također ovdje ukratko prikazati instrument i letvu, da na kraju iznesemo neke podatke o kvalitetama ovog pribora na osnovu rezultata mjerenja.

*

Po svojim mogućnostima, repeticioni teodolit Th 3 spada u grupu instrumenata sa tačnošću očitavanja od oko $\pm 10'' = 3''$, a isporučuje se prema želji sa novom ili starom podjelom krugova. Prema ranijoj konstrukciji starog tipa teodolita Zeiss — Th 3 ovdje je uvedenjem mikrometra za koincidenciju povećana tačnost mjerenja, a također optičko konstruktivnim usavršavanjima proširena je njegova upotreba u geodetskoj praksi.

Za očitavanje horizontalnog ili vertikalnog kruga, dovodi se pomoću mikrometra do koincidiranja indeks na najbližu podjelu horizontalnog ili vertikalnog kruga, kako se to može vidjeti na slici 2. Kod instrumenta sa novom podjelom, na horizontalnom krugu se direktno očitavaju vrijednosti do 0,1 g, a na mikrometarskoj skali označene su vrijednosti do 0,005 g, dok se ostalo procjenjuje. Na slici 2 očitavanje horizontalnog kruga iznosi 379,337 g.

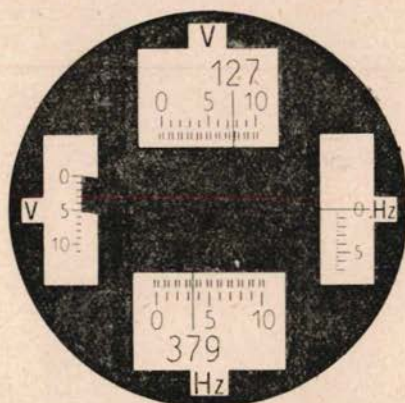


Sl. 2 Očitavanje krugova sa upotrebom mikrometra

Kod stare podjele na mikrometarskoj skali može se direktno očitati 0,5' i vrlo dobro ocijeniti deseti dijelovi ovog naznaka od 0'5 — dakle 3''. Razmak crtica je naime dosta velik pa je procjena pouzdana. Ipak, da bi se osigurala tačnost od 3'', potrebno je izvršiti nekoliko koincidencija sa mikrometarskim bubnjem.

Kod manje tačnih radova (na pr. tahimetrije), može se isključiti upotreba mikrometra. Mikrometarska skala namjesti se u nulti položaj

i mikrometarski bubanj učvrsti. Kod takvog načina očitavanja, na podjeli kruga čitaju se direktno vrijednosti do 0,1 g a procjenjuje do 0,01 g. Na slici 3 očitavanje je 379,34 g. Kod stare podjele direktno se očitavaju desetice minuta, a minute procjenjuju.



Sl. 3 Očitavanje krugova bez upotrebe mikrometra

Teodolit Th 3 posjeduje automatsko postavljanje indeksa visinske libele. Rješenje za očitavanje vertikalnog kruga vrlo je duhovito i predstavlja novost. Libela je ugrađena u nosaču durbina i pomoću sistema poluga vezana sa mikrometarskim bubnjem. Sistemom prizmi se kraj mjehura visinske libele dovodi u okular mikroskopa i služi kao indeks za očitavanje na mikrometarskoj skali. Kod koineidencije pomoću mikrometarskog bubnja libela mijenja svoj položaj, a njezin kraj putuje po mikrometarskoj skali. Na slici 2 očitavanje vertikalnog kuta iznosi 127,764 g. Kod takvog načina očitavanja vertikalnog kruga, praktički otpada mogućnost da se libela »zaboravi navrhuniti«. Osim toga libela je još više zaštićena od uticaja temperaturnih promjena. Ako se očitavanja vrše bez pomoći mikrometarskog bubnja, a gornji kraj libele ne stoji u o-položaju na skali mikrometra, dodaju se očitanjima korekture. Ove se korekture prema dole mogu očitati, a prema gore se ocijenjuju.

Pomoću zrcala dovodi se svjetlo za osvjetljenje horizontalnog i vertikalnog kruga i visinske libele. Za mjerenja gdje ne može služiti prirodno svjetlo, predviđen je dodatak za osvjetljenje pomoću obične okrugle džepne baterije. Podjela vertikalnog kruga i mikro-skala vertikalnog kruga u okularu mikroskopa vide se u zeleno-žutoj boji, da bi otpala mogućnost zamjene sa bijelim bojama horizontalnog kruga i skale.

Fokusiranje durbina i okretanje durbina oko vertikalne osovine omogućeno je pomoću dviju brzina sa omjerom 1:5, čime se i dobiva na vremenu i postiže tačnije viziranje. Durbin ima povećanje 25× sa optikom koja posjeduje t. zv. Zeissov T-antirefleksni sloj. Na ovaj način moguća je dosta visoka tačnost viziranja, koja u odnosu na tačnost očitavanja krugova nije iskorištena. Međutim, svagdje tamo gdje je po-

trebno primijeniti repeticionu metodu mjerenja horizontalnih kuteva, čija okolnost može dobro poslužiti za još veće povećanje tačnosti mjerenja. Tvornica Zeis-Oberkochen upotrebila je novi sistem uređaja za repeticiju čija konstrukcija ulijeva veliku sigurnost, tako da su uzroci pogrešaka kod repeticionog načina mjerenja, svedeni na minimum.

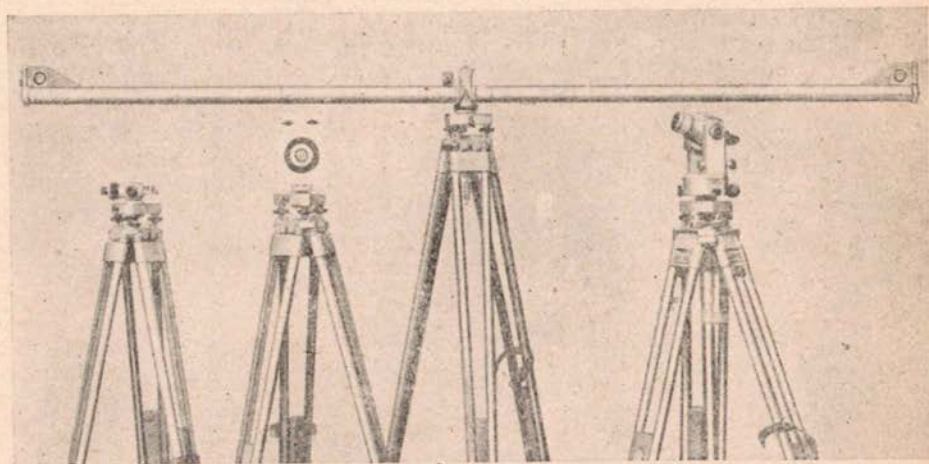
Durbin se može okrenuti oko horizontalne osovine na obje strane. Tronog instrumenta može biti predviđen sa optičkim viskom. Na teodolit se može pričvrstiti pribor za optičko mjerenje dužina pomoću dvostrukih slika (optički klin), busola, nivelaciona libela.

Iz navedenog vidi se da ovaj teodolit može poslužiti za široku primjenu u geodetskoj praksi, dakle za mjerenja koja se po tačnosti mogu svrstati od triangulacije III reda popunjavajuće mreže pa do običnog tahimetrijskog snimanja pomoću Reichenbachovih niti. Ovako širokoj primjeni naročito će pogodovati dva faktora:

1. Njegova mala težina (3,5 kg.)

2. Mogućnost očitavanja krugova na dva načina tj. sa i bez upotrebe mikrometra. Treba naime spomenuti, da se kod dosada poznatih instrumenata sa mikrometrom, za manje tačne radove mikrometar nije mogao isključiti, čime za takve radove postaje instrument neekonomičan.

Naročito veliku primjenu, repeticioni teodolit Th 3 naći će u poligonometriji. Dosadašnji način prisilnog centriranja Zeiss-a, koji se pokazao jednostavan i dobar, zadržan je i kod ovog instrumenta i njegovog



Sl. 4 Komplet pribora za preciznu poligonometriju

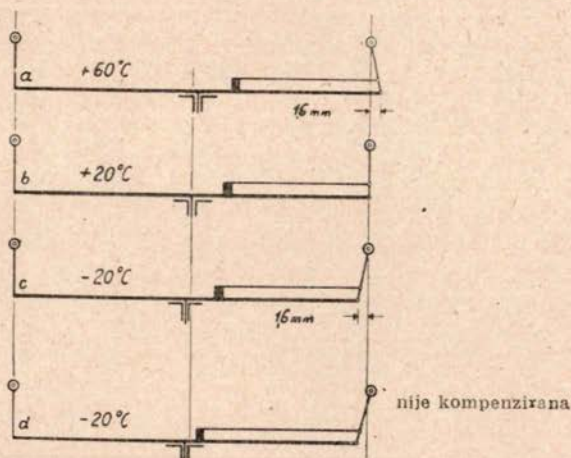
pribora za poligonometriju povećane tačnosti i preciznu poligonometriju. Značke su izvedene u obliku crno-bijelih koncentričnih krugova. Isti oblik imaju i vizurne marke na krajevima 2-metarske bazisne letve.

Ovdje ćemo se naročito osvrnuti na bazisnu letvu. Vanjski dio, izrađen je od aluminijske cijevi promjera 4 cm, a za razliku od dosadašnjih

tipova letava, sklapa se preko horizontalne osovine. Ovo ima dvije važne prednosti:

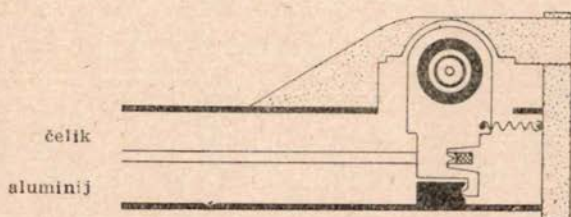
1. Krakovi letve zbog svoje vlastite težine kod rasklapanja lako zauzimaju uvijek jednaki svoj položaj. Time i uređaj za utvrđivanje krakova kod rasklapanja može biti izveden jednostavnije, a da to ne ide na uštrb tačnosti.

2. Smanjena je mogućnost pojave adicione konstante kod letve, a naročito promjena te konstante kod ponovnog sklapanja letve u toku mjerenja. Kod letava čiji se krakovi sklapaju oko vertikalne osovine moguća je pojava adicione konstante uslijed eventualne greške tvorničke obrade u spoju (kontakt) dvaju krakova.



Sl. 5

U unutrašnjosti aluminijske cijevi nalazi se čelična žica za koju su vezane vizurne marke na krajevima letve. Oklop od aluminijske cijevi i čelične žice, kao materijali sa različitim koeficijentom temperaturnog rastezanja, iskorišteni su za izvedbu kompenzacionog uređaja koji garantira jednaku udaljenost krajeva vizurnih maraka kod promjene temperature. Princip kompenzacije šematski je prikazan na slici 5. Kompenzacija je



Sl. 6

izvedena samo na desnom kraku letve, ali uzimajući u obzir rastezanje u oba kraka. Detaljniji oblik veze desne marke vidi se iz slike 6.

Uređaj dakle garantira uvijek jednaku udaljenost vizurnih maraka. Da bi se razmak tih maraka mogao regulirati, postoji na lijevom kraku letve posebni regulator, pomoću kojeg se eventualna pogreška razmaka ispravlja.

Za horizontiranje letve služi ugrađena dozna libela, a za usmjerenje letve okomito na vizuru nišan, pomoću kojeg se i od strane opservatora može okomitost kontrolirati. Moguće je i na sredinu letve staviti istu vizurnu marku kao na krajevima (za mjerenje kuteva). Letva je obojena bijelo i s prednje strane nosi decimetarsku podjelu zbog mogućnosti grube procjene daljine Reichenbachovim nitima.

*

Ispitivanje ovog pribora za poligonalna mjerenja bilo je zamišljeno tako, da se njegove kvalitete provjere na mjerenju neposredno na terenu. Fakultet još nema takovih laboratorijskih uređaja, komparatora, pomoću kojeg bi se mogao kontrolirati kompenzacioni uređaj, čije pravilno funkcioniranje je za ovu letvu veoma važno. Vjerojatno nije niti bila intencija posudioca, da se kod nas takova ispitivanja obave, jer zato u Zapadnoj Njemačkoj postoje daleko bolje mogućnosti. Mi smo zato željeli da program naših ispitivanja bude usmjeren na to da se ispituju kvalitete novog Zeiss-Oberkochen instrumenta i letve za praktičke terenske potrebe, obzirom na naše granice tolerancije u poligonalnim mjeranjima. Nažalost program naših ispitivanja nije se mogao iz objektivnih razloga u potpunosti obaviti.*

Paralaktičko mjerenje dužina bazisnom letvom ima u našoj geodetskoj praksi veoma veliku primjenu, kod čega se u nekim slučajevima postavljaju visoki zahtjevi tačnosti. To je naročito u gradskoj poligonometrijskoj mreži gdje se, prema novim instrukcijama, propisuje isključivo ova metoda mjerenja dužina. U inženjerskoj praksi za potrebe projektiranja i iskolčenja, paralaktička poligonometrija, u našim teškim terenima, omogućuje najekonomičnije rješenje kod postavljanja geodetske osnove uz zadovoljavajuću tačnost. Tačnost optičkog mjerenja dužina bazisnom letvom izražena je teoretskom formulom u kojoj dolazi do izražaja samo tačnost mjerenja kuteva [1], [4]. Međutim paralaktičko mjerenje dužina opterećeno je nizom sistematskih pogrešaka, koje su uglavnom vezane na letvu. Te su pogreške slijedeće:

1. uslijed neokomitog postavljanja letve na vizuru
2. uslijed neokomitog položaja letve
3. u dužini bazisne letve

* Firma Zeiss-Oberkochen posudila je pribor na 6 mjeseci i otpremila ga u februaru 1960. Isporučen je fakultetu u aprilu 1960. Uslijed toga nastao je nesporazum što se rok vraćanja nije smatrao od dana isporuke fakultetu, nego od dana uvoza u Jugoslaviju. Naše carinske vlasti su ovaj pribor zadržale skoro dva mjeseca o čemu mi nismo bili obavješteni. Uslijed toga su propala dva mjeseca za vrijeme ferija, za koje se predvidjelo da će se obaviti terenska mjerenja. Na zahtjev njemačkih carinskih vlasti uvozna firma je zatražila hitan povraćaj instrumenta i pribora.

¹ Janković: Razmatranje o djelovanju sistematskih pogrešaka kod optičkog mjerenja dužina teodolitom i bazisnom letvom. G. L. 1958.

4. u ekscentričnom položaju letve, uslijed grešaka mehaničke obrade osovine
5. »adiciona konstanta«, koja nastaje uslijed toga što marke na krajevima letve nisu u istoj vertikalnoj ravnini s vertikalnom osovinom letve, oko koje se ona okreće.

Prve dvije pogreške uklanjaju se pomoćnim uređajima; kolimatorom, pomoću kojeg se letva postavlja u okomiti položaj i doznom libelom, pomoću koje se letva horizontira. Sistematska pogreška u mjerenoj dužini bit će svakako ovsina o tačnosti koju omogućuju ovi uređaji. Uzmemo li u obzir da će se greška okomitog postavljanja letve i njenog horizontiranja doznom libelom kretati u granicama 1:10 000, to će one ipak izazvati stanovite sistematske pogreške koje će se odraziti na tačnost mjerenja velikih dužina (cijelog poligonskog vlaka). Ove pogreške nismo u stanju odrediti niti ih ukloniti iz rezultata mjerenja. One ovise također i o uvježbanosti i savjesnosti pomoćnog osoblja zaduženog za rukovanje letvom.

Ostale pogreške (3—5) su daleko opasnije i o njima je potrebno voditi računa u procesu mjerenja ako se želi da se realna tačnost mjerenja što više približi teoretskoj koja je data općom formulom:

$$m_d^2 = \pm d^2 \left[\left(\frac{m \alpha_1}{\alpha_1} \right)^2 + \left(\frac{m \alpha_2}{\alpha_2} \right)^2 \right]$$

Dužina bazisne letve određena je konstruktivnim putem u tvornici sa tolerancijom od $\pm 0,1$ mm. Time su sa ovom tolerancijom namještene marke na krajevima letve, pa se smatra da je dužina letve konstantna — 2 m. Međutim tvornice općenito ne daju certifikat o vjerojatnoj dužini letve određenoj sa izvjesnom pogreškom. Za precizna mjerenja je svakako potrebno znati pravu dužinu letve, jer već promjena u dužini letve od 0,1 mm uz tačnost mjerenja paralaktičkog kuta $m\alpha = \pm 0,5''$ na dužini od $d = 50$ m smanjuje tačnost mjerenja za 30%.² Zato geodetski instituti izgrađuju posebne komparatore za ispitivanje dužine bazisnih letava. Takav se komparator izgrađuje u Geodetskom zavodu A. G. G. fakulteta u Zagrebu.

Za potrebe ispitivanja dužine bazisne letve preporučena je, u nedostatku laboratorijskog komparatora, metoda opisana u spomenutom članku.³

Laboratorijska komparacija je neophodno potrebna za svaku letvu. Poznavajući leguru iz koje je izrađena letva i koeficijent temperaturnog rastezanja, može se odrediti i korektura dužine obzirom na promjenu temperature. To svakako komplicira proces mjerenja na terenu i daje jedan osjetljivi izvor pogrešaka. Firma Zeiss-Oberkochen je zato konstruirala letvu sa opisanim kompenzacionim uređajem. Dužina letve je određena pri temperaturi od 20°C. Za promjenu temperature od $\pm 40^\circ$ istežanje odnosno stežanje aluminijske cijevi je u granicama $\pm 1,6$ mm. Za praktičare bi bilo interesantno kolika je pogreška ovog kompenza-

² Janković: idem str. 205.

³ Janković: idem str. 208.

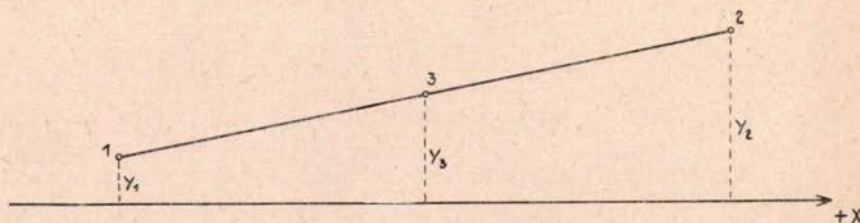
cionog uređaja za male promjene temperature. Schellens u spomenutom članku navodi da je kompenzacija tako podešena da srednja pogreška u dužini letve (između maraka na krajevima letve) ne će preći granicu od $\pm 0,1$ mm za različitu temperaturu. Dalje navodi da se pomoću ovog kompenzacionog uređaja može dužina letve održavati konstantnom. Dužina letve može se regulirati pomoću jednog šarafa na lijevoj strani letve, tako da udaljenost maraka prema tome bude $2000,0 \pm 0,1$ mm.

Eventualnu grešku od 0,1 mm u kompenzacionom uređaju upravo i analizira prof. Neidhardt u spomenutom članku s obzirom na stroge propise u tačnosti pralok. mjerenja dužina kod nas. Međutim to je inače tolerancija postavljanja marki na krajevima letve, koju daju skoro sve firme koje izrađuju bazisne letve. U tome se uglavnom i sastoji kritika pretjeranih zahtjeva naših instrukcija u pogledu tačnosti mjerenja paralaktičkih kuteva. Za te zahtjeve potrebno je izvršiti komparaciju letve i poznavati njenu dužinu do na 0,05 mm.

Kod mjerenja paralaktičkih kuteva veoma važnu ulogu ima način na koji su obilježeni krajevi letve tj. kakve su marke. Postoje razni tipovi maraka u obliku trokuta ili romba dopunjenog sa crticama ili koncentričnim krugovima. Marke letve Zeiss-Oberkochen su samo u obliku koncentričnih krugova. Ispitivanja su pokazala da je ovaj način signalizacije veoma podesan i siguran za precizna mjerenja, pa se u novije vrijeme sve više koristi za izradu signalnih značaka. Kasnije ćemo se još osvrnuti na ovaj oblik signalnih maraka na letvi, obzirom na tačnost mjerenja kratkih udaljenosti.

Pogreške navedene pod 4 i 5 mogu se razmatrati zajednički jer u stvari rezultat njihovog ukupnog djelovanja daje »adicionu konstantu« letve. U ranije spomenutom članku prikazano je ispitivanje letve i određivanje adicione konstante indirektnim putem. Kod ove letve primijenjena je metoda neposrednog određivanja adicione konstante koju je predložio Ing. Narobe.

Ta se metoda zasniva na određivanju koordinata središnje tačke na liniji ako su poznate koordinate krajnjih tačaka. Rotiramo li liniju 1—2 oko tačke 3 i izmjerimo ordinate krajnjih tačaka to će se u svakom položaju rotirane linije dobiti ista ordinata za tačku 3.

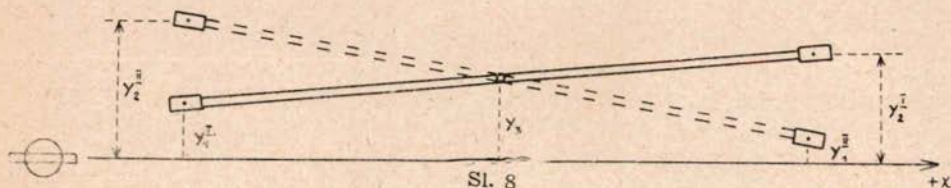


Sl. 7

$$y_3 = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

Na ovoj osnovi će se ispitivanje adicione konstante letve provesti na slijedeći način:

Postavimo letvu i instrument na međusobnoj kratkoj udaljenosti 4—6 m. Letva se postavi približno u smjeru instrumenta. Durbin se usmjeri u pravcu letve na udaljenosti 2—3 cm i u tom se položaju učvrsti alhidada. Sada se na jednu i drugu marku na letvi lagano prisloni razmjernik i pomoću instrumenta na razmjerniku očitaju ordinate y_I . Letva se zatim okrene u drugi položaj i opet očitaju ordinate y_{II} , (Sl. 8). Ako je letva potpuno ispružena onda će biti:

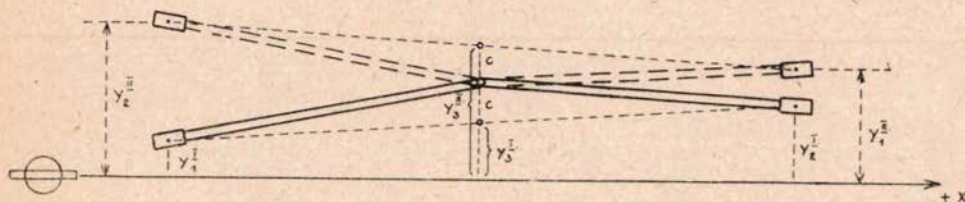


Sl. 8

$$\frac{y_1^I + y_2^I}{2} = \frac{y_1^{II} + y_2^{II}}{2} \quad \text{odnosno} \quad y_3^I = y_3^{II}$$

Ako signalne značke na krajevima ne leže u istoj vertikalnoj ravnini sa centrom rotacije onda se na ovaj način ne će dobiti ordinate centra rotacije nego ordinate središnjih tačaka na liniji između signalnih značaka u jednom i drugom položaju letve (sl. 9) i tada će biti općenito:

$$y_3^I \text{ nije jednako } y_3^{II}$$



Sl. 9

Budući da vizura, koja u ovom slučaju obilježava X-osu prolazi veoma blizu letve, to se može smatrati da će razmjernik biti okomit na ovu vizuru i da su to ordinate ovih tačaka. U tom slučaju razlika između ordinata središnjih tačaka biti će dvostruka vrijednost adicione konstante tj. $y_{II,3} - y_{I,3} = 2c$. Ako je vrijednost $y_{II,3} > y_{I,3}$, konstanta je pozitivna dakle osovina rotacije nalazi se iza vertikalne ravnine koja prolazi kroz značke na letvi. Kod namještanja razmjernika na marke u II položaju letve (vizura iza maraka) potrebno je voditi računa o debljini pločice na kojoj se nalazi marka, ili namještat 0 — razmjernika uvijek na mjernu plohu značke što je kod ove letve moguće.

Kod letava druge konstrukcije (Wild, Zeiss-Jena itd) kod kojih se razmjernik ne bi mogao postaviti u oba položaja letve na istu plohu, kao i u prvom slučaju, može se razmjernik postaviti na suprotnu plohu marke. U ovom slučaju trebalo bi drugom čitanju dodati debljinu odgovarajuće

marke, koja bi se precizno mogla izmjeriti mikrometarskim mjerilom (šublerom).

Poteškoća kod ovakovog mjerenja je u tome, što se mora veoma oprezno prislanjati mjerilo na plohu markice, da se letva ne bi pomakla.

Na ovom principu mogao bi se svakako konstruirati uređaj, pomoću kojeg bi se mehaničkim putem moglo precizno izmjeriti ove veličine za određivanje adicione konstante.

Mjerenje adicione konstante na letvi Zeiss-Oberkochen vršeno je tri puta. Evo rezultata dvaju mjerenja:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & y_1^I = 18,4 \text{ mm} & y_1^{II} &= 11,0 \text{ mm} \\
 & y_2^I = 14,6 \text{ ,,} & y_2^{II} &= 22,0 \text{ ,,} \\
 y_3^I &= \frac{y_1^I + y_2^I}{2} = 16,50 \text{ mm} & y_3^{II} &= \frac{y_1^{II} + y_2^{II}}{2} = 16,50 \text{ mm} \\
 & 2c = y_3^{II} - y_3^I = 0 ; & c &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad & y_1^I = 9,5 \text{ mm} & y_1^{II} &= 6,7 \text{ mm} \\
 & y_2^I = 10,6 \text{ ,,} & y_2^{II} &= 13,6 \text{ ,,} \\
 y_3^I &= \frac{y_1^I + y_2^I}{2} = 10,05 \text{ mm} & y_3^{II} &= \frac{y_1^{II} + y_2^{II}}{2} = 10,15 \text{ mm} \\
 & 2c = y_3^{II} - y_3^I = +0,10 \text{ mm} ; & c &= +0,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Prema tome je adicione konstante letve bila praktički nula.

Zamišljeno je bilo da se ispitivanje provede na poljskom komparatoru ispred zgrade fakulteta. Dužina komparatora je 137 m. Na krajevima su betonski stupovi sa označenim centrom, koji služi za mjerenje ove dužine invarskim žicama. Na liniji je stabilizirano, betonskim stupovima sa mjednim klinovima u razini zemlje, čitav niz tačaka na različitim udaljenostima. Zamišljeno je da ovakav komparator posluži za ispitivanje optičkih daljinomjera i komparaciju čeličnih vrpca. Dužina čitavog komparatora mjerena je invarnim žicama a razmaci između tačaka na linji invarnom vrpcom. Međutim na mnogim glavama klinova postojalo je više oznaka, tako da se nije znalo sigurno koje su prave. Možda je to nastalo i oštećenjem, jer se komparator nalazi u blizini sportskog igrališta. Na taj način mogla su se koristiti pouzdano upoređivanja mjerenjem cijele dužine i nekih manjih dužina, gdje su se stativi mogli centrirati sa većom pouzdanošću.

Mjerenje na kratkim udaljenostima imalo je svrhu da se ispita dali letva sadrži u sebi pogrešku u dužini letve i adicione konstantu.

Druga mjerenja bila su zamišljena na velikom triangulacionom bazisu u blizini Zagreba u dužini od 8,3 km, koji je i ranije služio za ispitivanje mjerenih dužina.⁴ Ova se mjerenja, iz razloga koje smo ranije naveli, nažalost nisu obavila.

⁴ Janković: Osvrt na primjenu paralaktičkog mjerenja dužina bazisnom letvom G. L. — br. 10—12 1961.

Međutim i ova mjerenja, i ako nisu obimna, dala su veoma interesantne rezultate, na osnovu kojih se može suditi o kvalitetama teodolita Th 3 i nove kompenzacione bazisne letve Zeiss-Oberkochen.

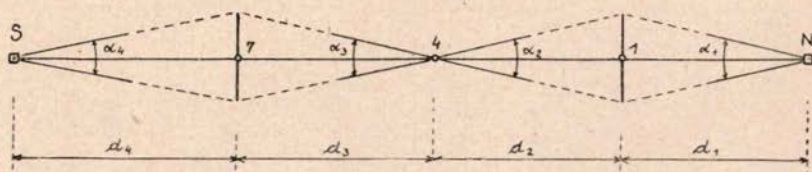
Opazanja su obavila tri opservatora u raznim danima pa ćemo rezultate mjerenja navesti u njihovim konačnim iznosima: mm

I mjerenje: Tabela 1 — opservator Janković

30. V 1960. $t = + 17^{\circ}\text{C}$ instr. Zeiss Oberk. Th 3 No 11331
letva: Zeiss Oberk.

Dužina od-do	Paralakt. kut α	Dužina D^1 paral.	Dužina D komparator	$\Delta = D - D^1$ mm	D^1	D	$\frac{\Delta}{D - D^1}$
N - 1	$3^{\circ} - 34' - 57,0''$	31,9760	31,9775	+ 1,5	31,9760	31,9775	+ 1,5
1 - 4	$3 - 49 - 02, 0$	30,0084	30,0115	+ 3,1	30,0084	30,0115	+ 3,1
4 - 7	$3 - 21 - 09, 0$	34,0021	33,9924	- 9,7	75,4064	75,4035	- 2,9
7 - S	$2 - 46 - 01, 5$	41,4043	41,4114	+ 7,1			
		137,3908	137,3928	+ 2,0			

Sl. 10



Analiziramo li rezultate u prvoj tabeli vidi se, da se rezultati zadnje dvije dužine znatno razlikuju od prve dvije. Međutim predznaci odmah ukazuju na mogućnost pogrešnog centriranja stativa na tački 7.

Najpouzdanije su prva dužina i ukupna dužina komparatora gdje je postignuta tačnost mjerene dužine $\Delta/D = 1 : 68\ 000$.

Paralaktički kutevi su mjereni u 8 ponavljanja tj. 4 repeticije u jednom smjeru a 4 u suprotnom. Radi smanjenja sistemske pogreške u pomicanju limbusa alhidada se u prvom položaju durbina okretala stalno u smjeru kazaljke na satu, a u drugom položaju durbina stalno u obratnom smjeru satne kazaljke. Tačnost mjerenja kuta repeticionom metodom bit će data slijedećom formulom:

$$m_{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{2}{n} \left(a^2 + \frac{b^2}{n} \right)}$$

gdje je n — broj ponavljanja, a — pogreška viziranja, b — pogreška čitanja. Uzevši u obzir optičke kvalitete ovog instrumenta i preciznost repeticionog uređaja možemo smatrati da je $a = \pm 1''$ a $b = \pm 3''$. Za naš slučaj $n = 8$ dobivamo:

$$m_{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{2}{8} \left(1 + \frac{9}{8} \right)} \quad m_{\alpha} = \pm 0,7 \text{ odnosno } m_{\alpha} = 1''$$

Teoretska tačnost mjerenja dužina za ovu metodu data je formulom u relativnom obliku:

$$\frac{m_D}{D} = \frac{D}{l\sqrt{n^3}} \cdot \frac{m_\alpha}{\epsilon}$$

za $D = 137\text{ m}$; $l = 2\text{ m}$; $m_\alpha = 1''$ i $n = 4$

$$\frac{m_D}{D} = \frac{137}{2} \cdot \frac{1}{206265} \cdot \frac{1}{\sqrt{4^3}}; \quad \frac{m_D}{D} = 1:24000$$

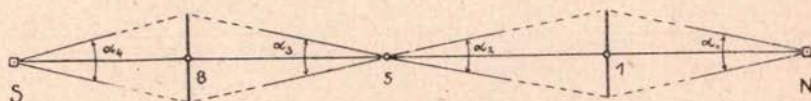
Prema tome za ovaj slučaj realna tačnost je veća od teoretske.

II mjerenje: Tabela 2, opservator Janković

1. VI 1960. $t = +18^\circ\text{C}$ do $+20^\circ\text{C}$

mm

Dužina od - do	Paralakt. kut α	Dužina D' paral.	Dužina D kompar.	$\Delta = D - D'$	D'	D	$\Delta = D - D'$
N - 1	$3^\circ - 34' - 57''_0$	31,9742	31,9775	+ 3,3	105,4147	105,4153	+ 0,6
1 - 2	2 - 55 - 51,0	40,0004	40,0099	+ 9,5			
5 - 8	3 - 10 - 50,2	36,0182	36,0036	- 15,0			
8 - S	3 - 53 - 48,4	29,3954	29,4015	+ 6,1			
		137,3889	137,3928	+ 3,9			1 : 35000



Sl. 11

I u ovom slučaju kao i na slijedećem stativi na tačkama 5 i 8 centrirani su na krivim mjestima.

III mjerenje: Tabela 3, opservator Narobe

1. VI 1960. Mjerena je ista dužina kao i kod II mjerenja

Dužina od - do	Paralagt. kut α	Dužina D' paral.	Dužina D komparator	$\Delta = D - D'$ □ mm	D'	D	$\Delta = D - D'$
N - 1	$3^\circ - 54' - 55''_5$	31,9798	31,9775	- 2,3	105,4236	105,4153	- 8,3
1 - 5	2 - 51 - 47,2	40,0151	40,0099	- 5,2			
5 - 8	3 - 10 - 51,7	36,0139	36,0039	- 10,0			
8 - S	3 - 53 - 48,7	29,3946	29,4015	+ 6,9			
		137,4034	137,3928	- 10,6			1 : 13000

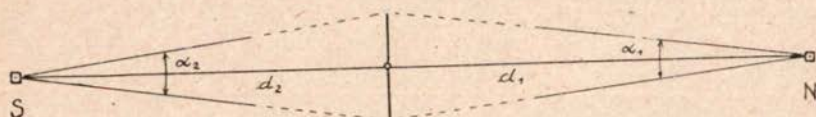
IV mjerjenje: opservator Narobe 13. VII 1960 $t = + 29^{\circ}\text{C}$

Mjerena je dužina komparatora diobom dužine na dva dijela

$$\alpha_1 = 1^{\circ} 35' 28,7'' \quad d_1 = 72,0064 \quad \Delta = -4,3$$

$$\alpha_2 = 1^{\circ} 45' 08,2'' \quad d_2 = 65,3907$$

$$D' = d_1 + d_2 = 137,3971 \quad D = 137,3928 \quad \Delta/D = 1:32\,000$$

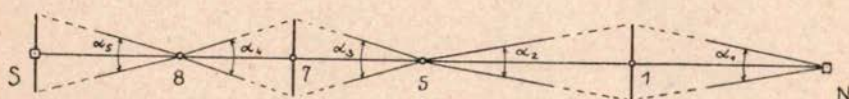


Sl. 12

V mjerjenje: Tabela 4, opservator Lovrić

13. VII 1960. $t = + 26^{\circ}\text{C}$ instr. T 010 Zeiss-Jena letva Zeiss-Oberk.

Dužina od-do	Paralakt. kut α	Dužina D' parl.	Dužina D komparator	$\Delta = D - D'$ mm	$\frac{\Delta}{D}$	$\frac{mD}{D}$
N - 1	$3^{\circ} - 34' - 55,8''$	31,3791	31,9775	- 1,6	1: 20 000	1: 6 600
1 - 5	$2 - 51 - 47,8$	40 0126	40 0099	- 2,7	1: 15 000	1: 5 300
5 - 7	$4 - 46 - 23,5$	23,9931	23,9940	+ 0,9	1: 27 000	1: 9 200
7 - 8	$9 - 31 - 02,3$	12,0122	12,0099	- 2,3	1: 5 000	1: 18 000
8 - S	$3 - 53 - 46,0$	29,4004	29,4015	+ 1,1	1: 25 000	1: 7 300
		137,3974	137,3928	- - 4,6	1: 30 000	1: 14 000



Sl. 13

VI mjerjenje: Tabela 5, opservatori Narobe i Lovrić

Mjerjenje kratkih dužina instrumentima Th 3 i T 010

Dužina od-do	Paralakt. kut \sphericalangle T-010	Paralakt. kut Th-3	D'' T-010	D' Th-3	D komparator	$\Delta = D - D''$ mm	$\Delta = D - D'$ mm
5 - 1	$2^{\circ} - 51' - 47,6''$	$2^{\circ} - 51' - 47,2''$	40,0134	40,0146	40,0099	- 3,5	- 5,0
N - 1	$3 - 34 - 55,8$	$3 - 34 - 57,0$	31,9791	31,9762	31,9775	- 1,6	+ 1,3
7 - 9	$4 - 46 - 11,4$	$4 - 46 - 10,5$	24,0104	24,0115	24,0133	+ 2,9	+ 1,8
9 - S	$6 - 34 - 47,3$	$6 - 34 - 47,3$	17,3966	17,3966	17,3981	+ 1,5	+ 1,5

Iz ovih mjerenja, i ako nisu bila mnogobrojna, mogu se izvući neki zaključci.

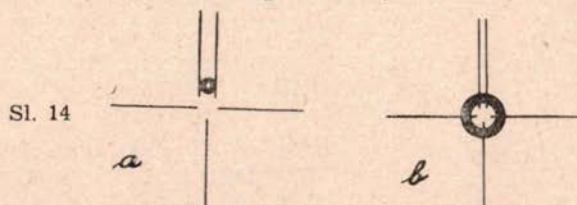
U prvom redu instrument Th 3 je repeticioni teodolit s mogućom procjenom od 0',05 koji je u ovim mjerenjima, u usporedbi sa sekundnim teodolitom T 010 dao veoma dobre rezultate.

Komparator na kojem su se ova ispitivanja vršila mjeren je invarnim žicama s tačnošću od 1:1040000, tako da se može smatrati pouzdanim za ova upoređivanja. Tačnost mjerenja dužina invarnom vrpcom između pojedinih tačaka na komparatu bila je 1:35 000.

Mjerenja cijele dužine obavila su 3 opservatora 6 puta u tri razna dana. Kolebanje temperature iznosilo je od + 17°C kod prvog mjerenja pa do + 29°C kod četvrtog. Analizirajući rezultate mjerenja cijele dužine komparatora može se uočiti da je u 5 slučajeva realna tačnost, tj. odnos prave pogreške i dužine, veća od teoretske, dok je u jednom slučaju ona manja. Kod toga se kolebanje u tačnosti uopće nemože pripisati utjecaju promjene temperature, jer je ono takovo da je moglo nastati i kao posljedica slučajnih grešaka mjerenja paralaktičkih kuteva.

Upoređujući rezultate mjerenja paralaktičkih kuteva sa oba instrumenta, i rezultate mjerenih dužina, može se zaključiti da se repeticioni teodolit Th 3 može koristiti za ovaj način mjerenja dužina u paralaktičkoj poligonometriji. Njegove optičke kvalitete omogućuju veoma precizno viziranje i na većim udaljenostima kako pokazuju rezultati IV mjerenja, a mjerenje repeticionom metodom je pouzdano. Manja teoretska tačnost u ovim slučajevima je vjerojatno nastala uslijed toga što u formulu za srednju pogrešku paralaktičkog kuta ulaze dvije veličine (srednja pogreška viziranja »a« i srednja pogreška čitanja »b«), koje se ne mogu pouzdano ocijeniti. Vjerojatno da je uslijed spomenutih optičko mehaničkih kvaliteta instrumenta tačnost mjerenja kuteva repeticionom metodom veća.

Preciznost u viziranju svakako omogućuju markice na krajevima letve u obliku koncentričnih krugova. Analiziramo li tačnost mjerenja kratkih dužina vidi se da je ona manja nego dužih i kreće se prosječno u granicama 1:10 000. Kod mjerenja na markice u obliku koncentričnih krugova vizira se tako da se vanjski rub kružnice dovede između paralelnih niti gornjeg dijela nitnog križa. (Slika 14a). Ovakvo viziranje je



pouzđano dokle god se ono može ostvariti. Međutim kod kratkih dužina ove crtice ne mogu obuhvatiti vanjski rub kružnice, nego padaju unutar bijelog polja kružnice (Slika 14b). U ovakvom slučaju teško je ocijeniti pravilan položaj tj. sredinu kružnice. Vizirati bi sada trebalo donjom jednostrukom niti i to vizirajući na oba ruba kružnice. Svakako da to znatno usporava proces mjerenja.

Ovo je primjedba obzirom na tačnost paralaktičkog mjerenja dužina koje se mjere pomoćnim bazama. Nedostatak bi se lako mogao ukloniti, ako bi krajevi letve bili obilježeni jednom crticom u sredini kružnice. To bi omogućilo veću sigurnost kod mjerenja kratkih dužina, a ovako fiksirana dužina mogla bi se lakše i određenije komparirati na dvometarskom komparatoru, gdje se koriste mikroskopi za komparaciju.

Konačno može se reći da ovaj novi pribor za paralaktičku poligonometriju fy Zeiss-Oberkochen omogućava široku primjenu za razne potrebe geodetskog mjerenja bilo za topografske svrhe ili za potrebe projektiranja i iskolčenja objekata na terenu.

LITERATURA

- [1] Neidhardt: Nova bazisna letva, Geod. List 1959.
- [2] Cimerman: Atlas geodetskih instrumenata — Zagreb 1960.
- [3] D. Schellens: Die neue 2 m - Basislatte mit Temperatur-kompensation — Zeiss Werkzeitschrift No. 32. Oberkochen — Zürich, 1959.
- [4] Janković: Razmatranje o djelovanju sistematskih pogrešaka kod optičkog mjerenja dužina teodolitom i bazisnom letvom — Geod. list 1958.
- [5] Janković: Osvrt na primjenu paralaktičkog mjerenja dužina bazisnom letvom — G. L. br. 10—12 1961.
- [6] Oldenstädt: Die Streckenmessung mit Repetitions-theodolit und 2 m - Basislatte und ihre Anwendung bei der Polygonierung. Institut für Geod. und Photogr. Technische Hochschule — Hannover 1960.

REPETITIONSTHEODOLIT Th 3 UND DIE NEUE KOMPENSATIONSBASISLATTE CARL ZEISS, OBERKOCHEN

Die Verfasser geben zuerst eine kurze Beschreibung des Theodolits Th 3 und stellen dessen technische Eigenschaften dar. Der Theodolit wurde samt der Ausrüstung dem Lehrstuhl für Angewandte Geodäsie der AGG-Fakultät Zagreb zur Verfügung gestellt. Das komplette Program konnte wegen der Zollschwierigkeiten nicht durchgeführt werden.

In der Vermessungspraxis in Jugoslawien findet die parallaktische Streckenmessung Anwendung in allen geodätischen Arbeiten, wo in der Polygonometrie eine höhere Genauigkeit (Stadtvermessung) verlangt wird, oder wo es notwendig ist für topographische Zwecke oder Absteckungen unter Sicherstellung einer befriedigenden Genauigkeiten möglichst bald geodätische Unterlagen zu schaffen.

Es werden unter Hinweis auf die Literatur [1]...[6] der Einfluss der systematischen Fehler und die Genauigkeit der parallaktischen Messung kurz dargestellt, um die der Kompensationsbasislatte eigene Vorteile hervorzuheben. Als die wichtigsten systematischen Fehler sind der Längenfehler der Latte und ihre sogen. Additionskonstante anzusehen.

Nach den angeführten Literaturangaben ist die Lattenlänge mit einer Genauigkeit von 0,1 mm bestimmt. Für genaue Messungen, die in unserer Praxis verlängert werden (Stadtvermessung), ist ein Sekundentheodolit wie auch eine auf 0,5 mm genaue Lattenlängenangabe notwendig. Bei der Anwendung dieser Kompensationslatte wäre interessant, die Zuverlässigkeit dieser Einrichtung zu kennen. Der Literatur nach überschreitet der Lattenlängenfehler infolge Temperaturänderung auch nicht den Betrag von 0,1 mm.

Die AGG-Fakultät Zagreb verfügt noch nicht über Einrichtung für die Fehlerprüfung solcher Ausrüstungen, so dass die Untersuchung nur auf einem mit den Invardrähten gemessenen Feldkomparator erfolgte, wobei auch der Sekundentheodolit T 010 benützt wurde.

Die Additionskonstante wurde nach der Methode von Dipl. Ing. Narobe bestimmt, die auf der Ermittlung der Koordinaten des Mittelpunktes einer Strecke beruht, von welcher die Koordinaten der Endpunkte bekannt sind (Abb. 7, 8 und 9). Als x-Achse diente die feste Ziellinie des Instrumentes, während die Ordinaten der Endmarken einer ungefähr in die Visurrichtung angelegten Latte mit einem Masstab gemessen wurden, der leicht auf die Endmarken der Latte in ihrer beiden Lagen angelehnt wird. Der Unterschied zwischen der Mittelordinaten in beiden Lagen

ergibt die doppelte Additionskonstante. In diesem Wert ist die Grösse enthalten, die durch die Dimension (Dicke) der Marke gegeben ist. Sie kann aber mit einer Schublehre ausgemessen und aus der Bestimmung ausgeschaltet werden. Auf diesem Prinzip könnte man einen Komparator für mechanische Messung der Additionskonstante konstruieren. Für die Latte von Carl Zeiss, Oberkochen wurden 3 Messungen ausgeführt, in denen keine Additionskonstante festgestellt werden konnte — nur in einem Fall ergab sich ein Betrag von 0,05 mm.

Die Strecken am Komparator sind durch parallaktische Netze, wie auf Abb. 10—13 dargestellt, bestimmt worden. Es sind 6 Messungen mit 3 Beobachtern ausgeführt. Die Messergebnisse sind in den Tabellen 1—5 untergebracht, ausgenommen die IV Messung, die nach Abb. 12 angeführt ist. Die Temperaturen schwankten zwischen 17°C bei der ersten Messung und 29°C bei der vierten Messung.

Der Komparator ist an den Enden durch die Betonpfeiler stabilisiert, in denen die Bolzen für die Messung mit Invardrähten eingesetzt sind. Zwischenstandpunkte sind mit Betonpfeilern, die bis zur Bodenhöhe reichen, stabilisiert. Sie dienen für den Vergleich von Stahldrähten. Auf einigen Punkten waren die Zentrumbezeichnungen unklar, was die Zentriergenauigkeit, und damit auch die Identität, der gemessenen Strecken beeinträchtigte. Das ist aus der (in den Tabellen angegebenen) Abweichungen $\Delta = D - D'$ ersichtlich.

In der Tabelle V sind die Messergebnisse untergebracht, die mit der Kompensationslatte und dem Sekundentheodolit T 010 gewonnen wurden, während in der Tabelle VI der Vergleich der gemessenen parallaktischen Winkel mit Th 3 und Th 010 gegeben ist.

Am Ende heben die Verfasser die Eigenschaften des Th 3 und der Basislatte hervor. I. a. sind die Elemente, die in der Formel für den mittleren Fehler der Winkelmessung mit Repetition vorkommen, nicht präzise bestimmbar. Deshalb gibt diese Formel kein zuverlässiges Urteil über die erzielbare Genauigkeit. Theoretisch sollte durch vergrösserte Anzahl der Repetition die Methode genauer werden als die Girussatzmethode. Inzwischen liegt der wichtigste Fehler, d. h. das Mitschleppen des Lymbus, in der Repetitionseinrichtung selbst. Wie die Messergebnisse aufweisen scheint bei diesem Instrument die Schwierigkeit gut gemeistert zu sein.

Analyse der Messergebnisse führt zu folgenden Schlüssen:

a) die Messung der ganzen Komparatorlänge in allen Messkombinationen ergab befriedigende Ergebnisse; die relative Genauigkeit variierte zwischen 1:13000 und 1:60000, im Durchschnitt 1:30000.

b) Die relative Genauigkeit ist kleiner bei der Messung kurzer Strecken.

c) Bei diesen Messungen beeinflussten die Temperaturschwankungen die Messgenauigkeit nicht. Die unterschiedliche Genauigkeit in der Messung iderischer Strecken entstanden wahrscheinlich als Folge zufälliger Messfehler und persönliche Fehler der Beobachter.

Die Verfasser heben auch die optischen Qualitäten hervor, die auch bei längeren Strecken eine sehr genaue Zielung ermöglichen. Das ist nicht im Einklang mit der Ablesegenauigkeit und mit der Genauigkeit in der Halbierung des Zielkreises bei kurzen Strecken, bei welchen die Koinzidenz der konzentrischen Kreise und des Fadendoppelstriches unsicherer wird.

Das ist für unsere Verhältnisse von Bedeutung, da wir bei den Strecken, die über 400 m hinausgehen, Hilfsbasis einschalten, die bis 20 m reichen. Die Verfasser sind der Ansicht, dass dieser Mangel durch das Anbringen eines vertikalen Striches in der Mitte des weissen Zielkreises zu beheben wäre. Das würde auch die Lattenkomparierung erleichtern, die, im Mangel eines 2 m — Komparator erfolgen muss.

Die Verfasser kommen zum Schluss, dass Th 3 alle Qualitäten eines universellen Repetitionstheodolits für eine breite Verwendung in der Vermessungstätigkeit innehat. Diese, wenn auch nicht zahlreiche, Messungen geben eine Einsicht in die Qualität der Latte und des Instrumentes und über ihre Auswirkung in der parallaktischen Streckenmessung. Das befähigt die Ausrüstung für viele Vermessungsarbeiten im Ingenieurwesen und in der Topographie, wie auch für die Passpunktbestimmung in der Luftbildphotogrammetrie.

Der andere Teil des Messprogramms, der mit dieser Ausrüstung am 8,3 km langen Triangulierungsbasis durchgeführt werden sollte, kam aus angeführten Gründen nicht zur Ausführung.