

ISPITIVANJE NIVELMANSKIH LIBELA KOD NIVELIRA TIPA WILD N 3

Ing. LJUBODRAG NIKOLIĆ — SZF Beograd*

Nivelirima tipa Wild N 3 izvode se kod nas terenski radovi na nivelmanu visoke tačnosti već više godina no ideja o ispitivanju tih instrumenata javila se u Saveznom zavodu za fotogrametriju, izvođaču tih radova, tek potrebom određivanja normalnog repera pri čemu se, razumljivo, mora postići najveća moguća tačnost.

Prva faza ispitivanja ovih instrumenata sastojala se iz ispitivanja kvaliteta libela za koje se smatralo da mogu biti jedan od glavnih izvora grešaka koje nastaju usled nesavršenosti instrumenata.

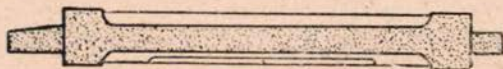
Ispitivanje libela obuhvata, na prvom mestu, određivanje njihove osetljivosti kao i greške krivine pojedinih delova libeline cevi i kvalitet brušenja unutrašnjih površina libele.

Ispitivane su libele svih osam nivelira Wild N 3 kojima raspolaže Savezni zavod za fotogrametriju a kojima su za poslednjih deset godina vršeni terenski radovi na nivelmanu visoke tačnosti.

Ispitivanja su izvršena u prostorijama beogradske Astronomske opservatorije od koje je ovim radovima pružena puna podrška.

OPIS LIBELE I PRIBORA ZA ISPITIVANJE

Libela nivelira Wild N 3 je cevasta libela čija je staklena cev, dužine 110 mm a prečnika 13 mm, učvršćena u metalni ram, kako je prikazano na slici 1, koji služi za njeno postavljanje u sam instrument.



Sl. 1

Cev je izrađena od blago neprozirnog stakla takvog da je vidljivost mehura sasvim dovoljna. Vrhunjenje se utvrđuje koincidencijom likova krajeva mehura koji se, pomoću poznatog sistema prizama, dovode u vidno polje okulara tog sistema. Ovim se udvostručuje osetljivost libele. Oko sredine cevi nalazi se ugraviran kratić koji pretstavlja sredinu libeline krivine.

* SZF = Savezni zavod za Fotogrametriju. Beograd, Gepratova 14.

Libela nema rezervoar pa se mehur ne može po želji produživati ili skraćivati. Dužina mehura je prilično velika i iznosi oko $\frac{3}{4}$ dužine cevi a na svim ispitivanim libelama je približno ista. Na libelinoj cevi nema podele na parsove što je svakako njen nedostatak, jer se ne može znati na kome se delu libeline cevi nalaze krajevi mehura pri vrhunjenju. Položaj sredine mehura ostaje isto tako nepoznat.

Libele ne nose svoje brojeve pa su registrovane prema serijskim brojevima nivelira na kojima se nalaze. Niveliri, čije su libele ispitivane, nose brojeve: 18 511, 18 540, 18 547, 18 567, 18 570, 18 578, 18 586, i 31 697 iz čega se vidi da su svi iste serije izuzev posljednjeg koji je noviji. Ne može se zaključiti da red proizvodnje libela odgovara redu proizvodnje nivelira.

Za ispitivanje libele potrebno je, kao što je poznato, da njena cev bude podeljena na parsove, koji kod novijih libela iznose 2 mm a kod starijih 2,26 mm. Kako ispitivane libele tu podelu nemaju, šef mehaničke radionice Astronomske opservatorije Lj. Paunović napravio je, od preciznog providnog lenjira firme Aristo, potrebnu skalu koja se lako prislanjala na cev libele pri čemu je paralaksa bila potpuno otklonjena. Ta skala, koja je podeljena na dvomilimetarske parsove numerisane od 1 — 44, upotrebljena je pri ispitivanju svih osam libela. Skala sa parsovima nameštena je uvek tako da pars 22,5 bude na krstiću koji ozračava sredinu krivine libeline cevi. Izuzetno je kod libela br. 18 540 i 18 567 krstić ležao na parsu 21,5. Tačno nameštanje krstića na poluparsove bilo je moguće jer je lenjir imao milimetarsku podelu. Upoređenjem podele preciznim invarskim lenjirom br. 810, kojim raspolaže Savezni zavod za fotogrametriju, nađeno je da je ona naneta sa greškom od 0,01 mm na temperaturi od 15°C, što znači da greška određivanja vrednosti parsa zbog greške podele skale iznosi 0"05 što je sasvim zanemarljivo.

Ispitivanje je izvršeno na egzaminatoru tipa Bamberg br. 50 231 kod koga vrednost najmanje podele na dobošu iznosi 1" a vrednost celog obrta doboša 120".

Za ispitivanje je korišćen severni stub u podrumu centralne zgrade Astronomske opservatorije. Temperatura se za vreme čitavog ispitivanja kretala od 13,4°C do 16,0°C. Tokom ispitivanja jedne libele temperaturne promene su se kretale u okviru od 1°C.

METODA ISPITIVANJA

Ispitivanje svih osam libela izvršeno je po metodi ruskog astronoma i geodeta A. S. Vasiljeva objavljenoj 1925. godine. Način za obradu podataka, koji je ovdje upotrebljen, dopunio je kasnije prof. F. N. Krasovski. Ova metoda je izabrana između ostalih jer je već primenjivana na ispitivanju senkundnih libela za univerzalni teodolit Wild T 4 u Saveznoj geodetskoj upravi.

Način ispitivanja i obrade podataka biće samo ukratko izloženi jer su već poznati iz geodetske i astronomske literature.

Iz veličina δ računa se srednja kvadratska greška položaja mehura odn. krivine po formuli

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{N-U}}$$

gde su N = broj jednačina; U = broj nepoznatih.

Kako greške δ pa prema tome i srednja kv. greška μ sadrže u sebi i greške čitanja na krajevima mehura to je potrebno, iz odstupanja dužine mehura od njegove srednje vrednosti, sračunati srednju kvadratsku grešku čitanja na jednom mehurovom kraju po formuli

$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{[V^2]}{2K(S-i)}}$$

a iz nje i srednja kvadratska greška položaja mehura

$$\mu_n = \pm \frac{\mu_0}{\sqrt{2}}$$

gde su:

V = odstupanje mehura od njegove srednje vrednosti. Računa se za svaki položaj i svako ponavljanje posebno.

k = broj položaja.

s = broj određivanja dužine mehura u svakom ponavljanju.

i = broj ponavljanja.

Po A. S. Vasiljevu greške krivine trebalo bi računati po formuli

$$\mu_2 = \pm \sqrt{\mu^2 - \mu_1^2}$$

O ovome ne postoji saglasnost kod ostalih autora. Greške μ_1 su znatno manje od grešaka μ pa se može uzeti da je praktično

$$\mu_2 = \mu$$

Na tabeli I, 1 date su vrednosti μ , μ_1 i μ_2 za sve ispitane libele.

Kvalitet libele karakterišu i veličine P , Z i δ' koje se dobijaju rešenjem listema jednačina (6).

Veličina P predstavlja uticaj nedovoljnog glačanja unutrašnjih površina libeline cevi kao i uticaj lepljivosti tečnosti za zidove cevi. Posledica ovih nedostataka je usporeno i neravnomerno kretanje mehura pri malim promenama nagiba libele.

Veličina Z je funkcija vremena i pretstavlja spoljne uticaje na libelu tokom njenog ispitivanja. Svakako je najveći uticaj temperaturnih promena nastalih usled zračenja opažaća ili svetlosnog izvora naročito ako libelina cev nije izolovana specijalnom oblogom. Uticaji vibracije stuba, deformacije pojedinih delova egzaminatora i popuštanje zavrtnjeva svakako su znatno manji.

Tabela I, 1

БРОЈ НИВЕЛИРА	M_1''	M_2''	M_3''
18 511	0,93	0,18	0,95
18 540	0,91	0,22	0,94
18 547	0,56	0,16	0,58
18 567	0,27	0,09	0,29
18 570	0,24	0,06	0,25
18 578	0,26	0,08	0,27
18 586	0,36	0,12	0,38
31 697	2,40	0,28	2,42

Veličine μ , μ_1 i μ_2 za sve ispitane libele.

Tabela II, 2

БРОЈ НИВЕЛИРА	P_1	P_2	Z_1	Z_2	M_0''
18 511	-0,29	-0,22	0,00	-0,02	0,28
18 540	-0,29	-0,17	+0,01	0,00	0,44
18 547	-0,03	-0,09	+0,03	-0,01	1,06
18 567	-0,11	-0,21	0,00	+0,03	0,58
18 570	-0,08	-0,36	+0,02	+0,03	0,48
18 578	-0,08	-0,16	+0,01	+0,01	0,23
18 586	-0,06	-0,06	+0,01	-0,01	0,25
31 697	-0,02	-0,06	+0,01	-0,02	0,36

Veličine P_1 , P_2 , Z_1 , Z_2 i μ_0 za sve ispitane libele.

Iz veličina δ' koje predstavljaju greške usled nedovoljne uglačanosti unutrašnjih površina libeline cevi i lepljivosti tečnosti za cev, računa se srednja kvadratska greška μ_0'' po formuli

$$\mu_0'' = \pm \sqrt{\frac{[\delta'^2]}{N-U}}$$

Greška μ_0'' karakteriše ravnomernost glačanja unutrašnjih površina libeline cevi. Iz tabele II,2 mogu se videti vrednosti P_1 , P_2 , Z_2 , Z_1 i

$$P_1, P_2, Z_1, Z_2, \text{ i } \mu_0''$$

za svih osam libela.

Osetljivost libele izražava se veličinom τ koja predstavlja uglovnu vrednost jednog parsu. Osetljivost se označava i poluprečnikom krivine libeline cevi R . Poznato je da veličine τ i R proizilaze jedna iz druge a) povezane su relacijom

$$R = \frac{P_{mm}}{\tau''} q''$$

Treba istaći da razni autori različito tumače pojam osetljivosti libele. Tako se u knjizi »Nivelman« od ing. A. Kostića i ing. N. Svečnikova navodi da osetljivost libele zavisi od poluprečnika krivine cevi, tečnosti kojom se puni, dužine mehura, obrade unutrašnjih površina i vrste stakla. I pored svega toga ipak se poluprečnik krivine smatra merilom osetljivosti libele.

Vrednost za τ dobija se iz jednačine

$$\tau = \frac{2q}{y}$$

gde je $q = \beta_k - \beta_{k-1}$ tj. vrednost ugla za koji se pomera libela na ispitivaču između dva uzastopna čitanja na dobošu.

Posmatrajući vrednosti τ na osam ispitanih libela vidi se da se one međusobno znatno razlikuju i da razlika između maksimalne i minimalne vrednosti iznosi 4''11 što predstavlja oko 40% prosečne vrednosti za ispitane libele $\tau_p = 10''86$ ili od vrednosti date u prospektu $\tau_0 = 10''00$.

Greška određivanja veličine τ određuje se po formuli

$$\mu_\tau = \frac{\tau}{y} m_y$$

gde je m_y greška veličine Y a dobija se

$$m_y = \frac{\mu}{\sqrt{P_y}}$$

P_y je težina veličine Y . To je član B koji se pojavljuje kao koeficijent uz Y pri rešavanju normalnih jednačina a funkcija je broja pomeranja mehura u jednoj seriji. Vrednosti za veličine τ , μ_τ , m_y date su u tabeli III,3.

Tabela III, 3

БРОЈ НИВЕЛИРА	δ	
	ЗА КРЕТАЊЕ НАПРЕД	МЕХУРА НАЗАД
18 511	- 0.02	- 0.04
18 540	+ 0.05	- 0.04
18 547	0.00	- 0.11
18 567	- 0.05	+ 0.06
18 570	- 0.03	- 0.02
18 578	- 0.01	+ 0.01
18 586	+ 0.04	+ 0.03
31 697	+ 0.01	+ 0.04

Veličine τ , μ i m za sve ispitane libele.

Tabela IV, 4

БРОЈ НИВЕЛИРА	τ''	μ_τ	m
18 511	9.36	0.54	0.12
18 540	10.70	0.80	0.14
18 547	11.33	0.54	0.09
18 567	9.87	0.20	0.20
18 570	10.14	0.18	0.04
18 578	11.18	0.17	0.03
18 586	10.82	0.29	0.05
31 697	13.47	2.08	0.28

Veličine δ' za kretanje mehura napred i nazad a za položaj mehura pri vrhunjenju.

Što se tiče dužine mehura, od koje isto tako zavisi osetljivost libele, mišljenja raznih autora se uglavnom slažu. Radna dužina mehura tre-

balo bi da je između jedne polovine i tri četvrtine dužine skale. Sa povećanjem dužine mehura, kao što je poznato, povećava se i osetljivost libele.

Na temperaturi ispitivanja libela, 13,6 — 15,4°C, dužine mehura su bile oko $\frac{3}{4}$ dužine skale što predstavlja maksimalno iskorišćenu dužinu mehura u cilju povećanja osetljivosti. Kod ovih libela moguće je koristiti nešto duži mehur, jer se pri nivelanju, libelom ne meri nikakav nagib već samo dovodi alhidadna osovina u vertikalni položaj, što znači da pri radu nema nikakvog kretanja mehura već je potrebno samo njegovo vrhunjenje.

Nepostojanje rezervoara na libeli onemogućava da se radi uvek pri istoj dužini mehura sa kojom je izvršeno ispitivanje, niti da se može izvršiti ispitivanje libele sa raznim dužinama mehura pri istoj temperaturi. Posebnim ispitivanjem je utvrđeno da se dužina mehura menja za oko 0,33 parsu pri promeni temperature od 1°C. Ispitivanje je izvršeno u temperaturnom okviru od 12°C, između 12 i 24°C.

UTICAJ GREŠAKA LIBELE NA NIVELMAN VISOKE TAČNOSTI

Ispitivanjem nivelmanskih libela kod nivelira Wild N 3, nažalost, vrlo malo može da doprinese poboljšanju nivelmana visoke tačnosti. Uzrok ovom je na samoj libeli. Nedostatak skale sa parsovima, ugravirane na libelnoj cevi i rezervoara za tečnost, pomoću koga se postiže željena dužina mehura, potpuno onemogućuju uvođenje bilo kakvih popravki za, ispitivanjem, nađene greške. Najviše što se moglo dobiti je utvrđivanje postojanja grešaka na libelama pa prema tome i uticaj koje one mogu da vrše na rezultate nivelmana.

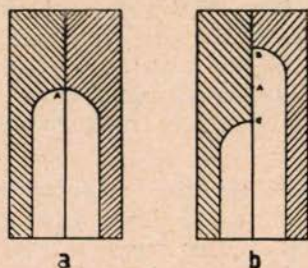
Lako je uvideti da sve greške libela nivelira nemaju uticaja na rezultate nivelmana. Neke se poništavaju metodom merenja a neke uopšte ne utiču na određivanje visinskih razlika. Zbog toga treba izdvojiti i posebno razmatrati osobine i greške libela koje mogu izazvati greške u čitanju na letvi a da se pri tom ne mogu poništiti metodom merenja, a to su:

- a — Osetljivost libele
- b — Brzina umirivanja mehura
- c — Greške brušenja unutrašnjih površina libeline cevi

a — Osetljivost libele, čije je merilo veličina τ , ima direktnog uticaja na tačnost određivanja visinskih razlika. Optičkim sistemom čija je konstrukcija jednostavna i poznata, utvrđuje se vrhunjenje mehura. U vidnom polju okulara tog sistema vide se likovi oba kraja mehura. Pri vrhunjenju, likovi krajeva mehura se potpuno poklapaju u jednoj tački A (slika 3 a).

Ukoliko se mehur kreće iz položaja vrhunjenja, krajevi njegovih likova, u vidnom polju okulara optičkog sistema, razilaze se kako je prikazano na slici 3 b.

Nedovoljno tačna koincidencija rajeve mehura izaziva nehorizontálnost vizure odnosno grešku čitanja na letvi. Ako se označi sa d rastojanje između likova krajeva mehura jasno je da je tada $d/2$ odstupanje

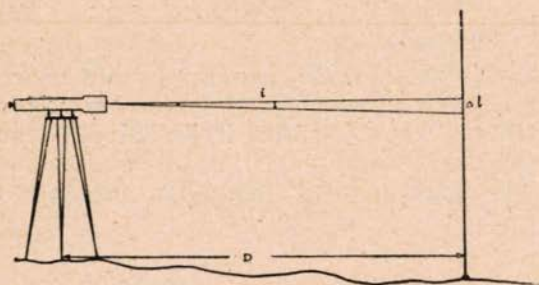


Sl. 3

mehura od položaja vrhunjenja. Kako se zna da pomeranje mehura za jedan pars, odnosno 2 mm, menja nagib libele za τ'' iz proporcije se dobija ugao i za koji se nagne vizura usled odstupanja mehura od položaja vrhunjenja za $d/2$.

$$i = \frac{\tau}{4} d$$

Greška čitanja na letvi Δl usled nagiba vizure za ugao i biće, kako se vidi na slici 4



$$\Delta l = \frac{D \cdot i}{\rho''} \quad (8)$$

$$\Delta l = \frac{D \cdot d \cdot \tau}{4 \rho''}$$

Sl. 4

Iz jednačine (8) se vidi da će greška čitanja, na letvi za grešku koincidencije $d = 0,2$ mm i maksimalnu dužinu vizure $D = 50$ m biti za nivelir No 18 511 $\Delta l = 0,113$ mm.

Iz ovoga treba zaključiti da se pri koincidenciji krajeva mehura mora voditi računa da je greška koincidencije što manja i da ne prelazi 0,1 mm.

b — Brzina umirivanja mehura. Vreme koje je potrebno za potpuno umirenje mehura takođe je važno znati jer ono može da bude izvor grešaka u nivelmanu. Pri ispitivanju libela je zapaženo da

se mehur umiri potpuno tek posle jedne minute pa su zbog toga čitanja vršena posle pauze od dve minute. Osim toga, kao što je već rečeno, ispitivalo se na stabilnom stubu i u prostoriji izolovanoj od spoljnih uticaja i promene temperature. Isto tako je primećeno da mehur posle prividnog umirenja vrši pokrete čak i za 0,3 parsa do potpunog umirenja a takva greška u nagibu vizure izazvala bi, kod nivelira br. 18 511, grešku od 0,680 mm. u čitanju na letvi, na maksimalnoj dužini vizure od 50 m. Jasno je da se kod jedne visinske razlike može dogoditi dvostruko veća greška ako se mehur dovodi na vrhunjenje elevacionim zavrtnjem za svaku letvu iz suprotnog pravca.

Iz izloženog se vidi da se pri nivelanju mora voditi računa o vremenu potrebnom za potpuno umirenje mehura. No kako se, usled drugih negativnih uticaja na tačnost nivelanja, kao što su popuštanje stativa i papuča, uticaj promene temperature, uticaj refrakcije i dr., teži za što bržem očitavanju skale prednje i zadnje letve, posebnim ispitivanjem bi trebalo da se utvrdi najracionalnije vreme potrebno za umirenje mehura a da se pri tom ne rizikuje mogućnost pojave drugih grešaka.

c — Greške brušenja unutrašnjih površina libeline cevi dovodi do neravnomernog kretanja mehura pri malim promenama nagiba libele. Na mestima gde su te greške nešto veće dolazi do zaustavljanja i naglih skokova u kretanju mehura što izaziva grešku dovođenja vizure u horizontalan položaj. Kao što je već rečeno, veličine P predstavljaju uticaj nedovoljnog glačanja unutrašnjih površina libeline cevi a veličine δ' greške položaja mehura usled greške glačanja cevi na pojedinim mestima sredine mehura.

Ako se posmatra tabela IV,4, gde su date veličine δ' za kretanje mehura napred i nazad a za položaj mehura približan položaju koji zauzima pri vrhunjenju, može se videti da se veličine δ kreću do 0,11 $\tau/2$ za nivelir br. 18 547, što izaziva grešku nagiba od 0"62 ili grešku u čitanju na letvi od 0,15 mm što nije zanemarljivo.

Greške u čitanju na letvi nastale usled nesavršene izrade libele, prema napred izloženom, kreću se u granicama od nekoliko desetina milimetara a greške toga reda veličina su vrlo velike za nivelman visoke tačnosti.

ZAKLJUČAK

Iz rezultata ispitivanja libela na nivelirima Vild N 3 jasno se vidi da se usled nesavršenosti njihove izrade moraju javiti greške u nivelmanu koje nisu dovoljno male da bi se mogle odbaciti. Jedan deo tih radova može se otkloniti pažljivim i savesnim radom izvršioca terenskih radova prema datom uputstvu, prilikom čije izrade se moralo voditi računa i o libeli. Jedan deo grešaka, međutim, ne može se nikako otkloniti se za njih može uvesti popravka u rezultate merenja. Uzrok ovome je, kako je već rečeno, nepostojanje skale sa parsovima na libelinoj cevi i rezervoara za tečnost kojim se reguliše dužina mehura.

Ispitivanju nivelmanskih libela i mogućnosti otklanjanja usled njihovih nedostataka nastalih grešaka iz rezultata merenja uvođenjem popravki, nije se poklanjala veća pažnja u geodetskoj literaturi kod nas a i u drugim zemljama. Iz tih razloga se za nivelmanske libele ne mogu naći nikakve unapred date granice u kojima bi trebalo da se nalaze pojedine veličine dobijene ispitivanjem. Za astronomske libele date su u SSSR-u, za ispitivanje po metodi A. S. Vasiljeva, granice za veličine μ , μ_1 , P i Z.

Obzirom na razliku u konstrukciji i upotrebi libela kod astronomskih instrumenata i nivelira, svakako da metoda A. S. Vasiljeva nije najpovoljnija za libele ove vrste. Potrebno je naći novu metodu specifičnu za nivelmanske libele čije bi težište bilo na ispitivanju onih grešaka koje imaju uticaj na rezultate niveliranja. Isto tako bi bilo potrebno odrediti granice u kojima bi se smele kretati veličine pojedinih grešaka. Tek onda bi se za ispitivanu libelu sa sigurnošću moglo reći da li ona u potpunosti odgovara svojoj nameni. Za libele kod kojih bi veličine pojedinih grešaka bile izvan utvrđenih okvira, svakako bi bilo celishodnije zahtevati njihovu zamenu nego uvoditi popravke u rezultate merenja.

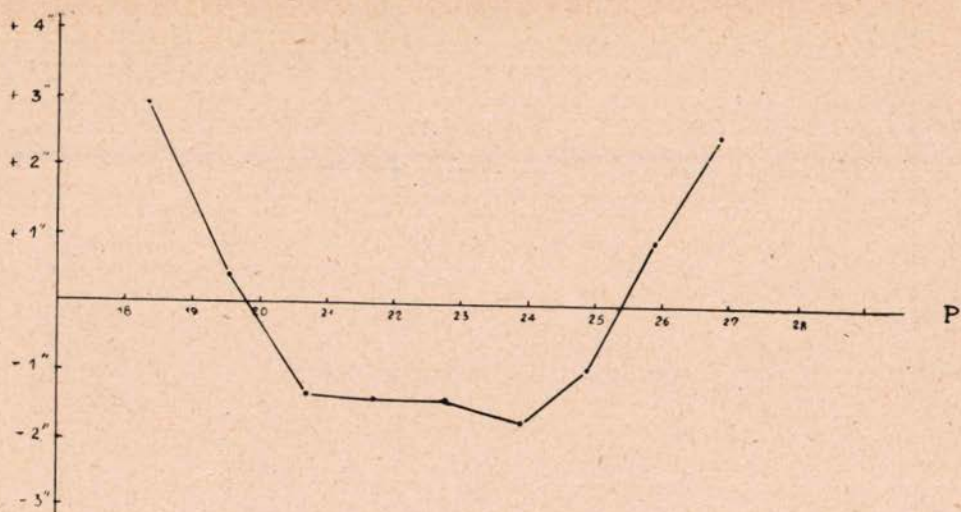
Na kraju treba istaći da ispitivanje nivelmanskih libela treba vršiti ne skidajući ih sa instrumenta. Ovo se može postići zahvaljujući okolnosti da konstrukcija nivelira i njegova relativno mala težina dozvoljavaju da mogu biti postavljeni na egzaminator. Ovim se postiže da libela pričvršćena za nivelir i usled toga izložena izvesnim naprezanjima kojih nema kad je slobodna, bude ispitivana u uslovima rada što je jedan od veoma važnih faktora svih ispitivanja.

Ispitivanje nivelmanskih libela je prva faza u ispitivanju nivelira Vild N 3. Ispitivanjem i ostalih njihovih delova, na prvom mestu plan-paralelnih ploča sa mikrometrom, svakako će doprineti povećanju tačnosti radova na nivelmanu visoke tačnosti kod nas.

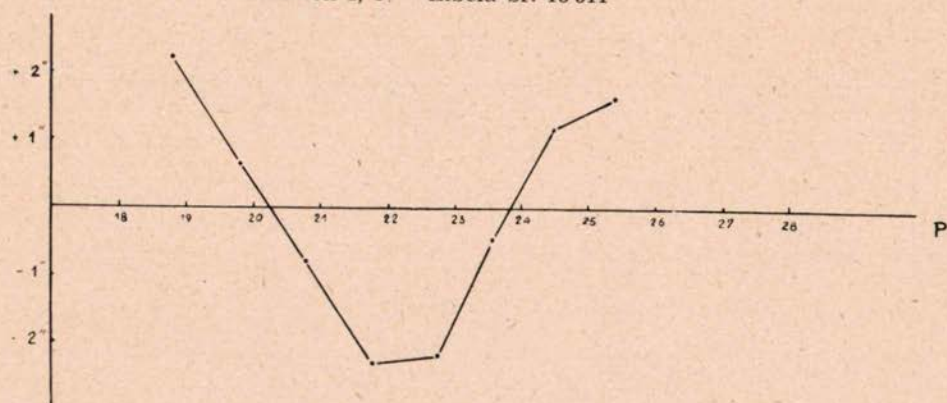
LITERATURA

- (1) P. N. Dolgov: Opređenje vremena passaznim instrumentom v meridiane, Moskva 1952 god.
- (2) Instrukcija po triangulaciji 1, 2, 3 i 4 klasov, Moskva 1957.
- (3) Instrukcija po niveliranju 1, 2, 3 i 4 klasov, Moskva 1957.
- (4) F. N. Krasovskij: Izbranie sočinenija, tom III Moskva 1955.
- (5) Ing. A. Kostić, Ing. N. Svečnikov: Nivelman Beograd 1936.
- (6) Radišić Pano: Diplomski rad, Beograd 1957.
- (7) Deunlich-Seyfert: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, Berlin 1957.
- (8) S. V. Eliseev: Geodezičeskie instrumenti i pribori, Moskva 1959. god.

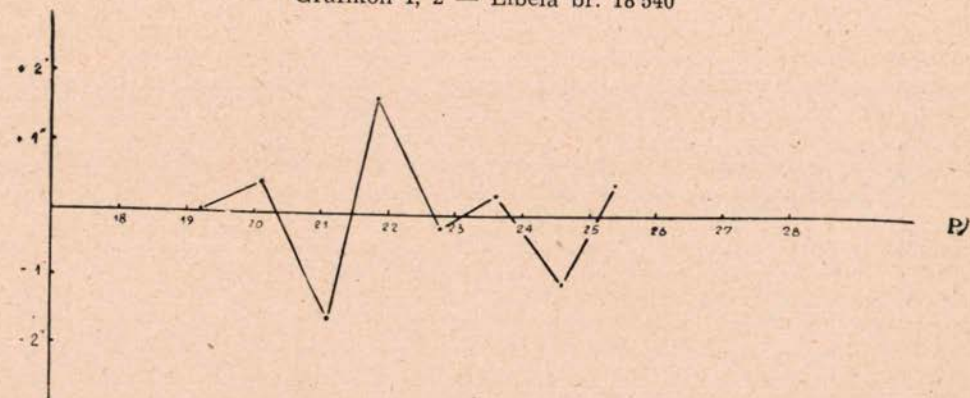
GRAFIKONI ZA KRIVE GREŠAKA δ



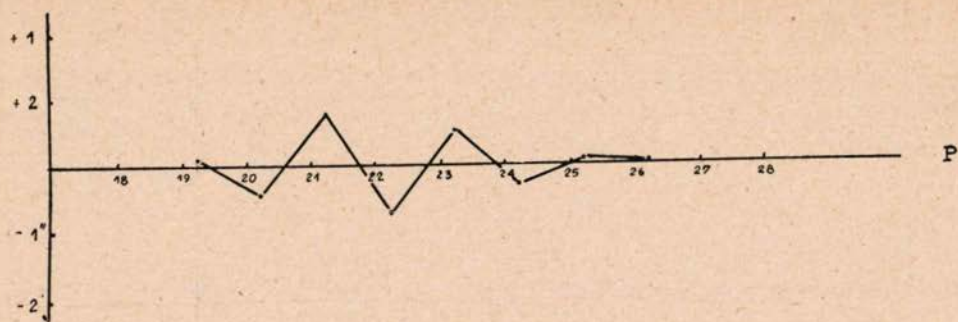
Grafikon I, 1 — Libela br. 18511



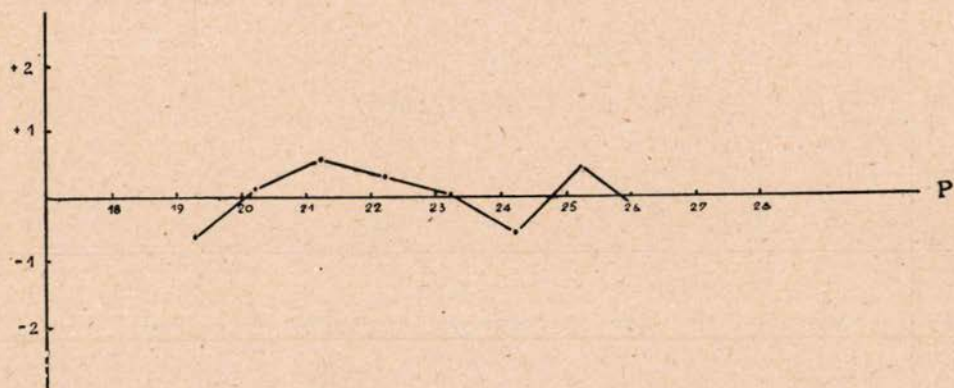
Grafikon I, 2 — Libela br. 18540



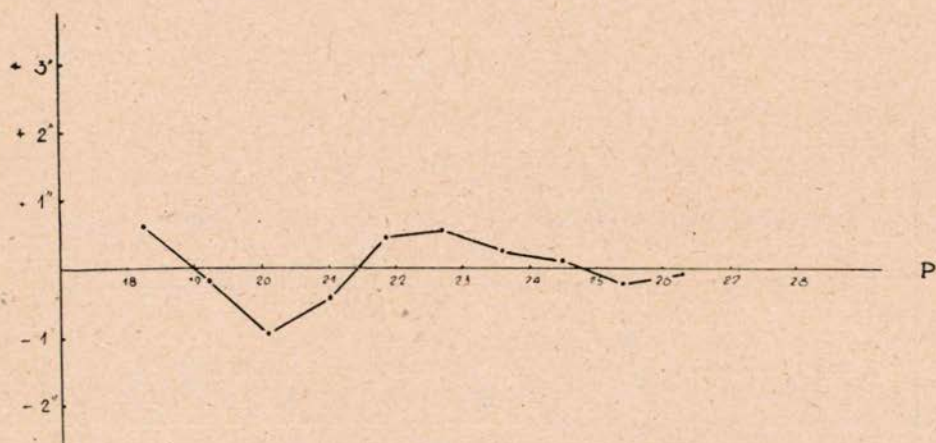
Grafikon I, 3 — Libela br. 18547



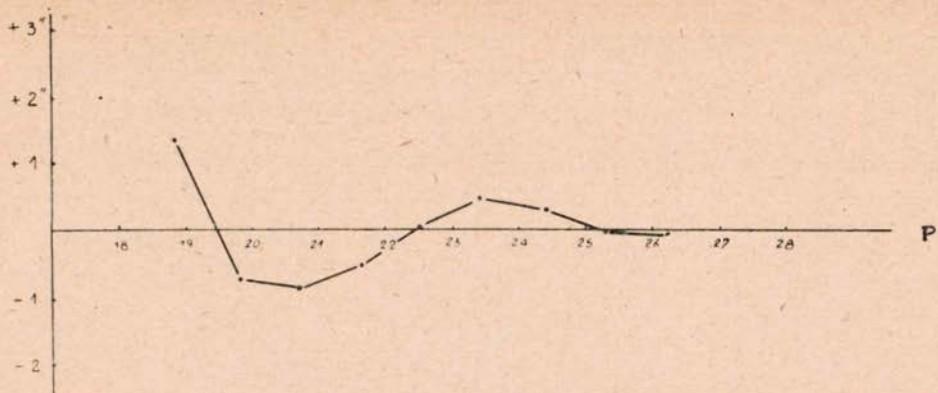
Grafikon I, 4 — Libela br. 18 567



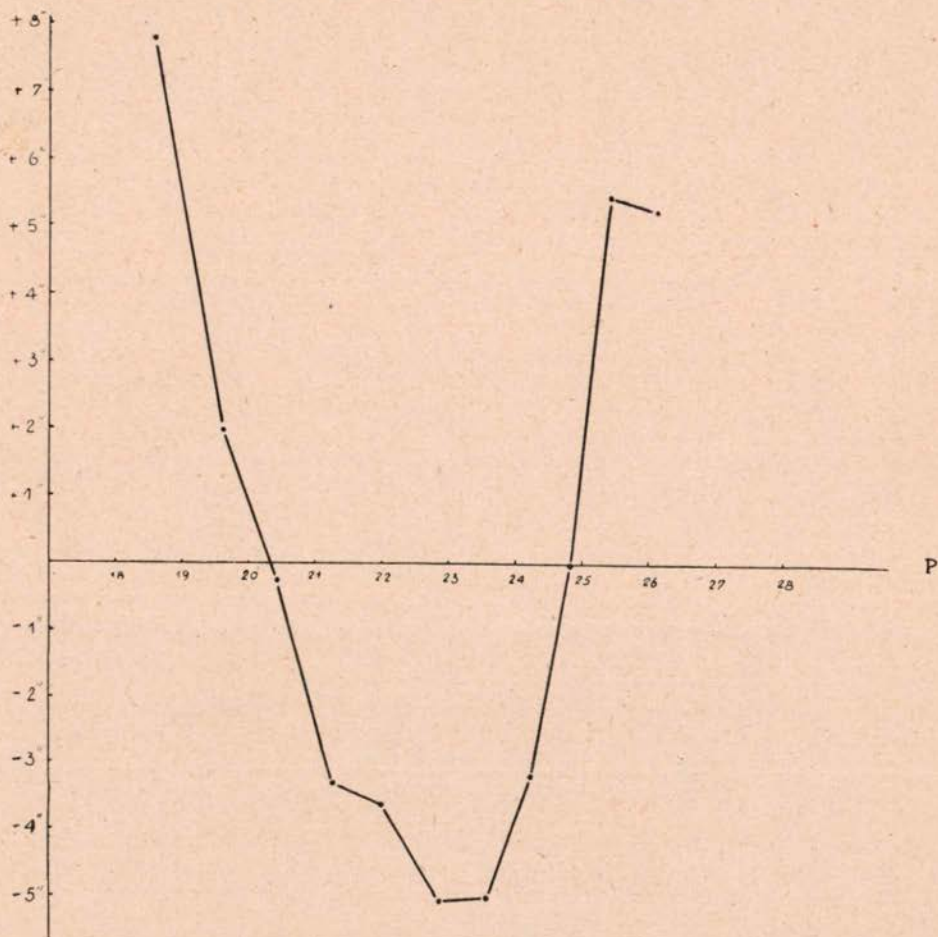
Grafikon I, 5 — Libela br. 18 570



Grafikon I, 6 — Libela br. 18 578



Grafikon I, 7 — Libela br. 18 586



Grafikon I, 8 — Libela br. 31 697

