

ISPITIVANJE PRECIZNIH INVARSKIH NIVELMANSKIH LETAVA PRIMENOM LASERSKOG INTERFEROMETARSKOG SISTEMA

Vladimir VASILJEV, Vida ŽIVKOVIĆ — Beograd

1. UVOD

Preduslov za tačno merenje u geodeziji je dobro definisana i tačno određena mera. Pri određivanju visinskih razlika, u geodeziji se koriste precizne invarske nivelmanske letve. Da bi letva mogla da reprodukuje tačnu meru, potrebno je odrediti i ispitati greške podele letve.

Ispitivanja su pokazala da dosadašnji »klasični« načini ispitivanja nisu dali potrebnu tačnost, a zahtevali su veliki napor i utrošak vremena.

Razvoj interferencijskih metoda ispitivanja mera sa crtama omogućio je povećanje tačnosti ispitivanja i automatizaciju procesa merenja. Laseri, kao izvori monohromatskog, koherentnog i dobro kolimisanog svetlosnog zraka, danas se najčešće primenjuju pri interferometarskim merenjima dužine. Potpuno automatizovan uređaj za ispitivanje preciznih invarskih nivelmanskih letava sastojao bi se od laserskog interferometra i fotoelektričnog mikroskopa za pozicioniranje.

U ovom radu korišćen je jedan poluautomatski sistem koji se sastoji od interferometarskog sistema H. P. 5526A i optičkog mikroskopa merne mašine Zeiss. Subjektivna greška operatora, na taj način, nije se mogla u potpunosti eliminisati pri pozicioniranju.

Takođe je ovim sistemom izvršeno ispitivanje merne mašine Zeiss, kojom se inače vrši kalibracija letava. Nađene su greške radnog etalona dužine ove mašine + 3,8, + 0,4 i -0,6 μm respektivno za prvi, drugi i treći metar mašine. Greške su određene sa mernom nesigurnošću $\pm 3,3\mu\text{m}$.

2. UTICAJ GREŠKE PODELE NA VISINSKU RAZLIKU

Usvojimo sledeću modelsku jednačinu:

$$L_i = l_i + l_i \cdot x + \varepsilon$$

* Adresa autora: Dipl. inž. Vladimir Vasiljev, Građevinski fakultet, Institut za geodeziju, 11000 Beograd, Bulevar revolucije 73/I; mr Vida Živković, dipl. fiz., Savezni zavod za mere i dragocene metale, Mike Alasa br. 14, Beograd.

gde su:

L_i — istinita vrednost odsečka na letvi

l_i — nominalna vrednost odsečka

x — srednja sistematska greška podele letve («srednji metar»)

ε_i — slučajna greška podele letve.

Tada za visinsku razliku imamo:

$$\begin{aligned}\Delta h &= L_z - L_p = l_z + l_z \cdot x + \varepsilon_z - l_p - l_p \cdot x\varepsilon_p = \\ &= l_z - l_p + (l_z - l_p) \cdot x + (\varepsilon_z - \varepsilon_p),\end{aligned}$$

a ako označimo:

$$\Delta h' = l_z - l_p$$

dobijamo:

$$\Delta h = \Delta h' + \Delta h' \cdot x + (\varepsilon_z - \varepsilon_p)$$

Usvojimo sledeće oznake:

x_A — srednja sistematska greška podele zadnje letve na neparnim stanicama, (letva A)

x_B — srednja sistematska greška podele zadnje letve na parnim stanicama, (letva B)

Ako je

$$x = \frac{x_A + x_B}{2}; \quad \Delta x = \frac{x_A - x_B}{2}$$

tada je

$$x_A = x + \Delta x; \quad x_B = x - \Delta x$$

Visinske razlike na neparnim stanicama biće:

$$\Delta h_N = \Delta h'_N + \Delta h' \cdot x + (l_z + l_p)_N \Delta x + \varepsilon_z - \varepsilon_p$$

Na parnim stanicama biće:

$$\Delta h_p = \Delta h'_p + \Delta h' \cdot x - (l_z + l_p)_p \Delta x + \varepsilon_z - \varepsilon_p$$

Ukupna visinska razlika između repera je:

$$\Delta H = \Delta H' + \Delta H' \cdot x + \{(l_z + l_p)_N - (l_z + l_p)_p\} \Delta x + [\varepsilon_z] + [\varepsilon_p]$$

Član

$$A = \{(l_z + l_p)_N - (l_z + l_p)_p\}$$

za bilo koju vrstu terena uzima vrednost najviše nekoliko metara. Ako je $\Delta x < 30 \mu\text{m}$ tada je $A \cdot \Delta x$ manje od nekoliko stotih delova milimetra što je zanemarljivo.

Zbog svog slučajnog karaktera, članovi $[\epsilon_z] - [\epsilon_p]$ u sumi merenja ostaju relativno mali, te se mogu zanemariti.

Tako dobijamo formulu po kojoj popravljamo merene visinske razlike za uticaj »srednjeg metra«.

$$\Delta H = \Delta H' + \Delta H' \cdot x$$

gde je:

$$x = \frac{x_A + x_B}{2}$$

3. FAKTORI KOJI UTIČU NA VREDNOST »SREDNJEG METRA« PODELE LETVE x

Na veličinu x utiču sledeći faktori:

- izduživanje invarskih pantljika usled starenja
- temperatura
- promena sile zatezanja
- nepravilan položaj invarske pantljike.

Usled nestabilne molekularne strukture, a pod stalnom silom zatezanja, invarska pantljika se izdužuje. Na početku više, kasnije nešto manje to istežanje može iznositi i do 20 μm po metru pantljike godišnje.

Povećanjem temperature dolazi do izduživanja invarske trake. To izduživanje iznosi 1 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$. Takođe, sama sila zatezanja, koju reprodukuje opruga, se menja promenom temperature. Znači, uticaj temperature bi morao da se zbirno obračuna.

Tokom vremena se menjaju i elastična svojstva opruge za zatezanje invarske pantljike. Tako se menja i sila zatezanja. Ova sila bi trebalo da bude 200 N. Međutim, po izlasku letve iz fabrike, ova se sila kasnije nikad ne kontroliše kao ni mehanizam za prenos ove sile.

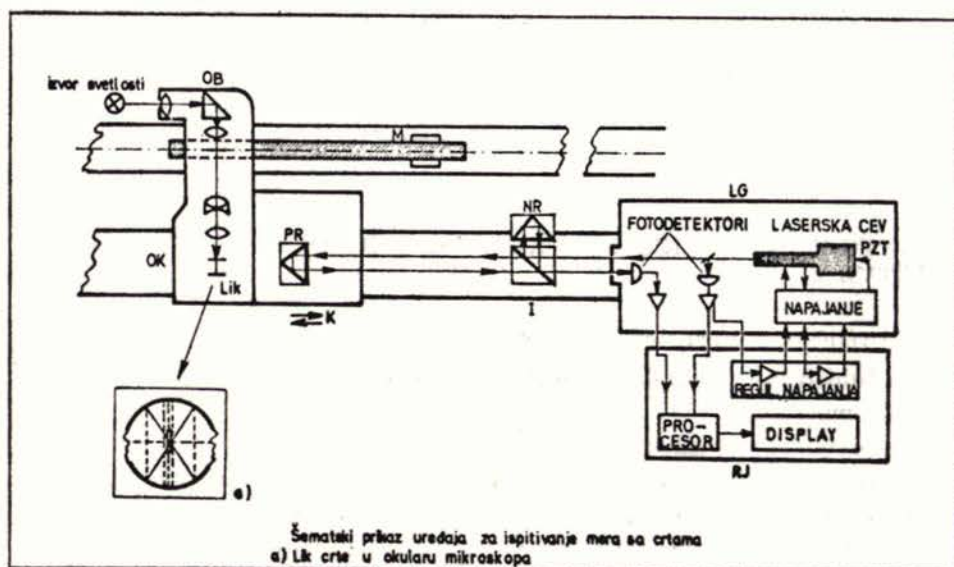
Usled nepravilnog položaja invarske trake u letvi, dolazi do promene vrednosti veličine x. Jedina prava vrednost za x je kada letva stoji vertikalno. Pri ispitivanju, iz objektivnih razloga, letva je postavljena horizontalno. Ovaj nedostatak se znatno može smanjiti uzimanjem podataka o ugibu pantljike. Pri ispitivanju je takođe vršeno rotiranje letve za 180° pri čitanju u smeru nazad. Time su bila obezbeđena dva položaja ovešavanja trake letve.

Usled starenja i istežanja invara, kao i zbog promene sile zatezanja pantljike, neophodno je vršiti komparisanje letava bar jedanput godišnje. Iz ovih ispitivanja može se pratiti promena vrednosti X-a. Kod izvesnih radova gde je vrednost x-a od velikog značaja, treba vršiti komparisanje i pre i posle terenskih radova. Ukoliko dođe do pada ili nekog drugog mehaničkog oštećenja letve, pre nastavka rada takođe je neophodno izvršiti ispitivanje.

4. ISPITIVANJE LETAVA POMOĆU LASERSKOG INTERFEROMETRA

4.1 Uređaj za ispitivanje

Uređaj koji se koristio za ispitivanje preciznih invarskih nivelmanskih letava, zasnovan je na principu primene laserskog interferometarskog sistema prikazanog na sl. 1.



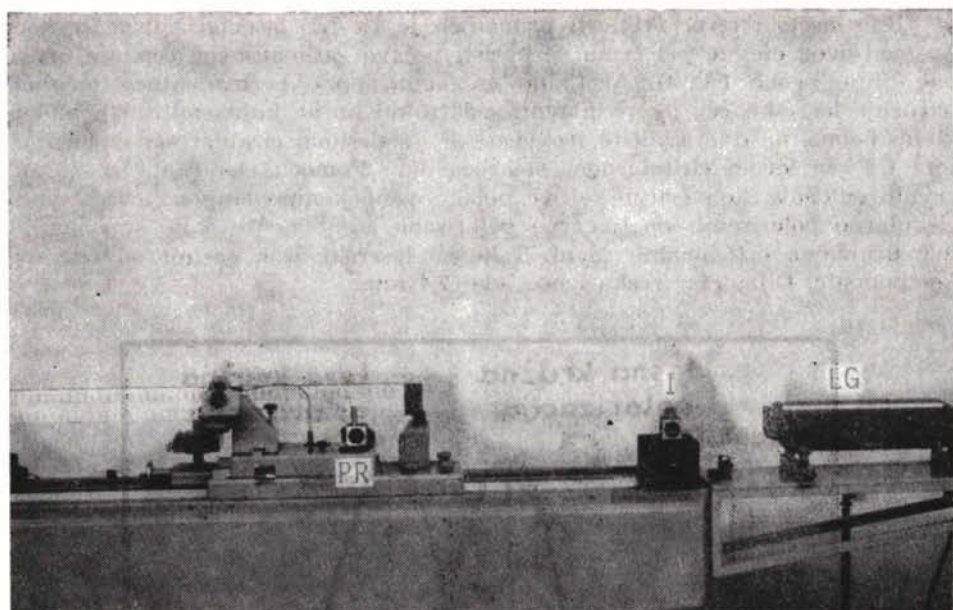
Slika 1.

Glavni delovi uređaja su:

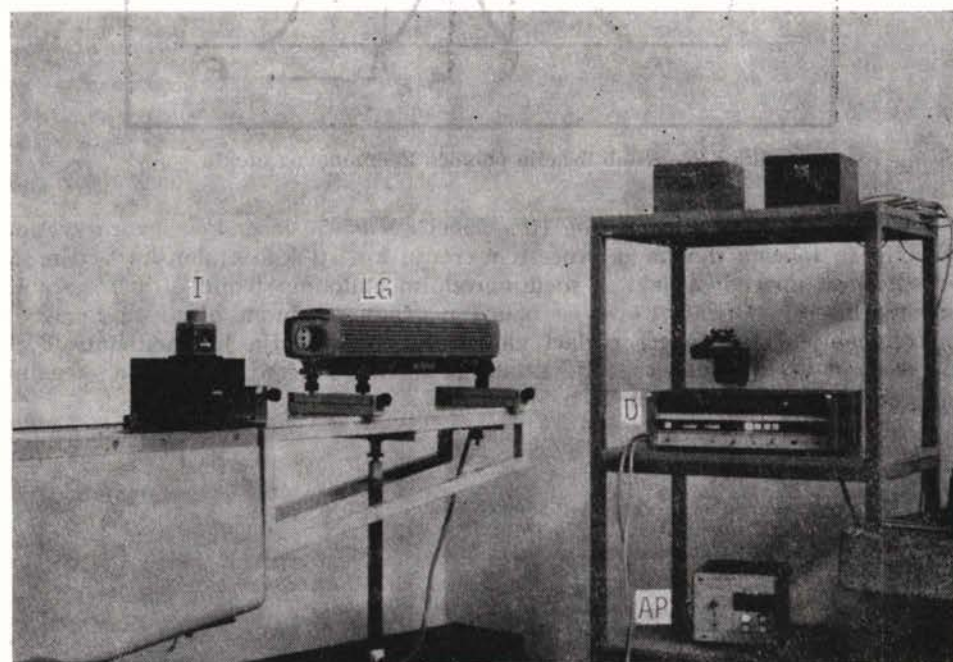
- sistem za postavljanje ispitivane nivelmanske letve
- sistem za pozicioniranje
- sistem za merenje.

Postavljanje letve se vrši pomoću stolova merne mašine Zeiss koji imaju mogućnost finog horizontalnog i vertikalnog podešavanja. Tako se može zadovoljiti uslov da podela letve bude paralelna vodicama pokretnih kolica merne mašine. Pozicioniranje na određenu crtu se ostvaruje pomoću optičkog mikroskopa koji se nalazi na pokretnim kolicima merne mašine (sl. 2).

Sistem za merenje je HP-5526A laserski interferometarski sistem kod koga je retroreflektor PR, postavljen na pokretnim kolicima, u čvrstoj vezi sa sistemom za poziciranje tako da prati njegovo pomeranje. Interferometar I, fiksiran je za osnovicu mašine ispred laserskog izvora svetlosti LG koji se nalazi na posebnoj štelujućem postolju pored merne mašine. Sistem HP 5526A takođe ima sonde za prikupljanje svih potrebnih parametara (temperatura, vlažnost i pritisak vazduha, kao i temperatura ispitivane invarske trake letve) za određivanje indeksa prelamanja vazduha i korekciju za istežanje invarske trake usled temperature. Ovi podaci se uzimaju za sve vreme ispitivanja, i vrši se automatska korekcija (sl. 3).

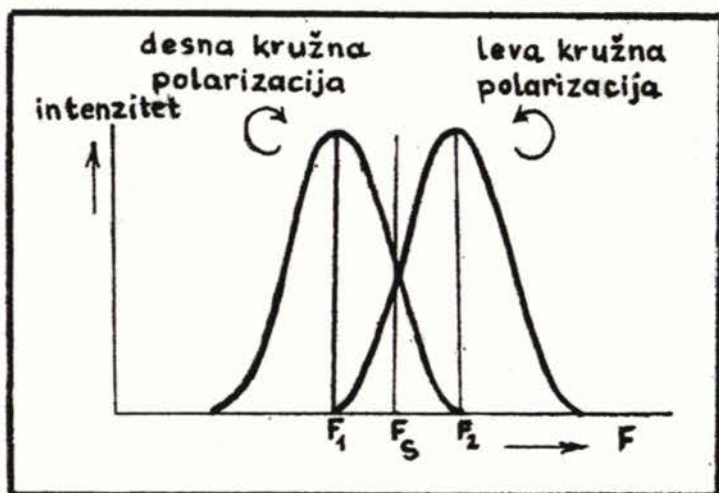


Slika 2. — Pokretna kolica merne mašine sa optičkim mikroskopom i retroreflektorom; interferometar; izvor laserskog zraka.



Slika 3. — Interferometar I; izvor laserskog zraka LG; jedinica za automatsko prikupljanje neophodnih podataka za korekciju AP; računarska jedinica sa displejom D.

Kao laserski izvor svetlosti primenjen je He-NE laser stabilisan pomoću Zeeman-ovog efekta, pri čemu se koristi pojava Zeeman-ovog cepanja emisi-
one linije neona (sl. 4). Aksijalno magnetno polje permanentnog magneta
okružuje lasersku cev i cepa glavnu spektralnu liniju, koju emituju pobuđeni
atomi neona, na dve različite frekvence F_1 -sa desnom cirkularnom polarizaci-
jom i F_2 -sa levom cirkularnom polarizacijom. Pomoću elemenata $\lambda/4$ i $\lambda/2$,
ravnih ogledala, konvertuju se ove polarizovane komponente sa levo i desno
cirkularno polarisanih na linearно polarisane komponente, koje se nalaze u
dve uzajamno ortogonalne ravni. Tako se laserski zrak sastoji od ove dve
komponente. Dijametar zraka iznosi oko 7,4 mm.



Slika 4. — Stabilizacija pomoću Zeemanovog efekta

Karakteristike upotrebljenog HP—5500C, N°95050 laserskog izvora svetlo-
sti, čija se talasna dužina u procesu merenja koristi kao etalonska vrednost,
određene su upoređivanjem sa međunarodnim etalonom jedinice dužine-stabi-
lisanim laserom BIPM 2 koji se nalazi u Međunarodnom birou za tegove i
mere. Dobijeni su sledeći podaci za razliku frekvencija komponenata F_1 i
 F_2 , srednju vrednost frekvencije i talasne dužine zračenja lasera sa mernim
nesigurnostima datim u tabeli 1.

Tabela 1

Podaci za HP 5500 C	N°95050'
$\Delta F = F_1 - F_2 = 1,6 \text{ MHz}$	$s = 0,32 \text{ MHz}$
$F_s = \frac{F_1 + F_2}{2} = 473 \ 612 \ 221,3 \text{ MHz}$	$s = 0,23 \text{ MHz}$
$\lambda_s = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 632 \ 991 \ 389,4 \text{ fm}$	$s = 0,31 \text{ fm}$

Interferometar za linearna merenja je Michelson-ovog tipa, a pokretni i nepokretni retroreflektor su »cube corner« — prizme koje obezbeđuju paralelnost upadnog i odbijenog svetlosnog zraka duž putanje na kojoj se vrši merenje.

Pomeranje retroreflektora adekvatno je pomeranju sistema za pozicioniranje od jedne do druge crte podele letve. Na taj način se meri rastojanje između tih crta, odnosno ispituje podela letve.

4.2 Postupak ispitivanja

Ispitivane su četiri precizne nivelmanske letve nazivnih dužina od 3000 mm. Ispitivana je podela na ukupnoj dužini, a sa intervalima od po 100 mm. Letve su merene u horizontalnom položaju. Svaka letva merena je četiri puta (prva podela napred, prva podela nazad, druga podela napred, druga podela nazad).

Pre početka rada bila je uključena klimatizacija laboratorije. Tako je letva bila temperirana na temperaturi od oko 20°C. Zatim je klima uređaj bio isključivan. Na taj način smanjena je neželjena turbulencija vazduha kao i vibracije u laboratoriji za vreme merenja.

Neophodno je bilo ispuniti sledeće uslove:

- paralelnost vodica po kojoj se kreće mikroskop se podelom letve,
- paralelnost vodica sa upadnim-odbijenim zrakom.

Prvi uslov je ostvarivan na taj način što su prvo oba kraja podele letve bivala dovođena na daljinu jasnog vida, a zatim je letva pomoću štelujućih nosača bila pomerana gore-dole tako da na oba kraja podele letve lik crta podele pada na isto mesto u vidnom polju mikroskopa.

Drugi uslov je ostvaren na taj način što je vršeno pomeranje retroreflektora, laserske glave i interferometra dok laserski zrak nije padao uvek na isto mesto, prvo na retroreflektoru, a zatim na pomičnoj maski laserske glave, pri kretanju kolica duž vodica po celoj dužini merne mašine. Na indikatoru displej-jedinice, ukoliko je postignuto ispravno postavljanje optike, kazaljka indikatora nalazi se u zelenom polju.

4.3 Korekcija merenih vrednosti

Pri ispitivanju, dobijene izmerene vrednosti moraju se korigovati zbog uticaja promene uslova sredine u kojoj se vrše merenja, kao i zbog odstupanja temperature same letve od 20°C (temperature za koju je definisana nazivna vrednost podele).

Pri merenju su sve korekcije za gore navedene uticaje izvršene automatski pomoću HP 5510A automatskog kompenzatora koji pripada HP 5526A laserskom interferometarskom sistemu.

Korekcija za uticaj sredine u kojoj se vrši merenje, vrši se na taj način što se na osnovu neprestanog merenja pritiska, temperature i vlažnosti vazduha vrši automatsko izračunavanje indeksa prelamanja, a zatim koriguje vrednost talasne dužine u vakuumu na stvarnu vrednost koja zavisi od uslova sredine. Kako je vrednost talasne dužine osnovna vrednost koju upoređujemo sa ispitivanom dužinom, onda tačnost merenja zavisi neposredno od

tačnosti sa kojom nam je poznata korigovana vrednost λ . Na tačnost korigovane vrednosti λ utiče nesigurnost sa kojom procenjujemo indeks prelamanja sredine.

Korekcija talasne dužine svetlosti lasera vrši se automatski u HP 5510A pomoću Edlen-ove disperzione formule sa nesigurnošću od 10^{-6} ukoliko su zadovoljeni uslovi da se tokom merenja temperatura, pritisak i vlažnost kontrolišu i održavaju u granicama $\pm 1^\circ\text{C}$, ± 100 Pa i $\pm 10\%$ respektivno.

$$N = 1 + (0,383\ 639\ 1\ 10^{-6}P) \cdot \frac{1 + 10^{-6}P(0,817 - 0,0133T)}{1 + 0,0036610 \cdot T} - 3,033 \cdot 10^{-3} R e^{0,057\ 627 \cdot T}$$

P — pritisak u mmHg, T — temperatura u $^\circ\text{C}$, R — relativna vlažnost u $\%$.

Automatski se koriguje i vrednost promene dužine zbog linearnog istezanja invarske trake letve. Koeficijent linearnog istezanja invara ubacuje se kao konstanta u HP 5510A.

5. OBRADA REZULTATA MERENJA

Usvojimo sledeći funkcionalno-stohastički model

$$l_i = a + L_i + L_i x + \varepsilon_i^I + \varepsilon_i^I + \varepsilon_i^O$$

gde su:

$$v_i = \hat{a} + L_i \hat{x} + (L_i - l_i)$$

l_i — izmerena vrednost

a — konstantni pomak letve

L_i — nominalna vrednost odsečka na letvi

x — popravka za »srednji metar« letve

ε_i^I — ukupna greška nanošenja podele na letvu

ε_i^I — ukupna greška merenja interferometrijskim sistemom

ε_i^O — ukupna greška pozicioniranja vezana za operatora i optički sistem

Na ukupnu grešku merenja laserskim interferometarskim sistemom utiču sledeći faktori:

- određenost indeksa prelamanja vazduha,
- promena »mrtvog puta«,*
- nepodešenost optičkih elemenata laserskog sistema.

Ova greška merenja, za uslove u kojima je vršeno ispitivanje letava, iznosi $5 \cdot 10^{-7}$ odnosno $0,5 \mu\text{m/m}$ te se može smatrati zanemarljivom u odnosu na ostale izvore grešaka merenja.

Radi ocenjivanja nepoznatih a i x prelazimo na jednačine popravaka koje imaju sledeći oblik:

$$v_i = \hat{a} + L_i \hat{x} + (L_i - l_i)$$

Na osnovu date jednačine popravaka, po metodi najmanjih kvadrata MNK određene su vrednosti ocena za nepoznate a i x i popravke v_i (prilog 1) za četiri serije merenja podele: prva podela napred, prva podela nazad, druga podela napred i druga podela nazad. Date su i srednja vrednost metra \bar{x} kao i njegova srednja greška $m_{\bar{x}}$.

Popravke v_i zbog učinjene pretpostavke u modelu jednačine popravaka, nisu posledica jedino slučajnih grešaka merenja, već i slučajnih grešaka nanošenja podele letve. Iz grafika u prilogu 2 vidi se sličnost rezultata pri merenju jedne podele napred-nazad što potvrđuje napred izneto.

Izvršeno je ispitivanje dva para letava i može se reći da sve letve pokazuju sličnu periodičnost vrednosti grešaka nanošenja crtica podele letve, što je verovatno posledica korišćenja istog postupka kod nanošenja podele letava u fabrici Wild.

6. ZAKLJUČAK

Možemo istaći sledeće prednosti metode ispitivanja preciznih invarskih letava, koja je razrađena u ovom radu, u odnosu na klasične metode:

- veća tačnost i stabilnost etalona
- povećanje efikasnosti merenja
- povećanje stabilnosti celokupnog sistema pri merenju
- eliminisanje greške očitavanja podele.

Talasna dužina svetlosti, koju emituje stabilisani laser, kao etalonska vrednost, poznata je sa daleko manjom nesigurnošću nego što je to slučaj kod »materijalizovanih mera«. Sama vrednost λ , takođe je stabilnija tokom vremena.

Povećanje efikasnosti merenja sastoji se u većoj udobnosti i znatnom smanjenju utroška vremena pri merenju. Na primer, vreme ukupnog ispitivanja podele jedne letve zahteva oko 10 časova, kada se ispitivanje vrši pomoću merne mašine, dok se uz korišćenje laserskog interferometrijskog sistema to vreme svodi na svega 1,5—2 časa.

Smanjivanjem vremena trajanja procesa merenja, postiže se veća stabilnost uslova koji mogu uticati na tačnost merenja, što direktno utiče na stabilnost celokupnog sistema merenja, odnosno doprinosi većoj tačnosti ispitivanja.

Pri ispitivanju, izmerene vrednosti se očitavaju digitalno na displeju laserskog uređaja čime su subjektivne greške očitavanja podele eliminisane.

* »Mrtvi put« — rastojanje interferometar-retroreflektor na početku merenja.

I dalje je ostala primarna greška pozicioniranja vizuelnim načinom sa svojim slučajnim i sistematskim delom koja je subjektivnog karaktera. Ona je ta koja za sada i ograničava tačnost merenja. Ocena standarda jednog pozicioniranja kod dva opažača, na mernoj mašini Zeiss, iznosi za prvog 3,5 μm , a za drugog 4,6 μm .

Uvođenjem preciznog fotoelektričnog mikroskopa, eliminisao bi se lični uticaj opažača na merenje. Time bi se dobilo i na tačnosti merenja. Ispitivanja bi se izvodilo potpuno automatizovano, mnogo brže i efikasnije, što bi se odrazilo i na troškove ispitivanja. To bi doprinelo i mogućnosti ispitivanja daleko većeg broja letava nego što je to do sada bio slučaj. Bilo bi moguće poznavati položaj svake crte podele što je od značaja kod radova najviše zahtevane tačnosti.

Potrebno je naglasiti da je neophodna redovna kontrola mehanizma za zatezanje invarske trake u letvi. U slučaju da ovaj mehanizam ne zateže traku predviđenom silom od 200 N, to je dominantna greška i pri nivelanju i pri ispitivanju letve.

Na kraju, ali ne i na posletku, autori se zahvaljuju dipl. inž. Dragoljubu Brankoviću za pomoć tokom rada koji je iniciran od strane profesora Vladete Milovanovića.

LITERATURA:

- [1] Baldwin, R. R., G. B. Gordon, A. F. Rude: Remote Laser Interferometry, Hewlet-Packard Journal 23, br. 4. 1971.
- [2] London, F. H.: Laser Interferometer, Instr. and Control Systems, 1964, 87—89.
- [3] Miladinović, M.: Prilog objektivnoj oceni tačnosti geometrijskih nivelmana: preciznog i visoke tačnosti, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd 1984.
- [4] Mrkić, R.: Nove mogućnosti ispitivanja preciznih letava, Zbornik Instituta za geodeziju Građevinskog fakulteta u Beogradu, No 18, str. 35, 1979.
- [5] Witte, B. V.: The calibration of levelling rods using a laser interferometer, NAD Symposium Ottawa 1980, 867—822.
- [6] Živković, V.: Primena laserskog interferometarskog sistema za ispitivanje mera sa crtama i graničnim površinama, Automatika 1985, 1—2, 79.

SAŽETAK

Izvršeno je ispitivanje para invarskih nivelmanskih letava uređajem koji se sastojao od laserskog interferometra H. P. 5526A i merne klupe mehaničkog komparatora. Sanke mehaničkog komparatora su nosile vizualni mikroskop i reflektorsku prizmu. Merenje temperature je izvedeno kalibrovanim termometrima. Rezultati merenja laserskim interferometrom i temperature su računati automatski sistemom H. P. 5526 A. Zaključuje se da se sistemom može postići tačnost određivanja grešaka crta od 5 μm . Takođe je izvršena kalibracija merne mašine Zeiss laserskim interferometrom H. P. 5526 A.

ABSTRACT

The length of a precise leveling rod interval is determined with a laser comparator consisting of a bench and the laser interferometer system H. P. 5526 A, which measures the shift of a carriage along horizontal steel rails. The carriage is connected to a microscope for the visual setting of a graduation line, and a prism for the return signal of the laser interferometer. The influence of the atmosphere, especially of the temperature must be taken into account. The changes of the temperature are detected by calibrated thermistors. The results of the laser and temperature measurements are automatically computed by the H. P. 5526 A L. I. system.

If visual adjustment errors are considered together with all other errors, an accuracy of approximately $5 \mu\text{m}$ can be achieved. Also the Zeiss measuring machine was tested by L. I. system.

Priljeno: 1986—05—27

prilog 1

Ispitivanje nivelmanskih letvi WILD 5436 A

Institucija: INSTITUT ZA GEODEZIJU GRADEVINSKOG FAKULTETA — Beograd

Laboratorija: SAVEZNI ZAVOD ZA MERE I DRAGOCENE METALE

Datum komparacije: 27. 05. 1985.

Uređaj za komparisanje: Laserski interferometar H. P.

Popravka metra i letve i srednja kvadratna greška

 $X = 33.5 \mu\text{m/m}$ $m_x = 2.1 \mu\text{m/m}$

X ₁ μm/m	m _{x1} μm/m	Prva podela nazad		Druga podela napred		Druga podela nazad		m _{x4} μm/m
		X ₂ μm/m	m _{x2} μm/m	X ₃ μm/m	m _{x3} μm/m	X ₄ μm/m	m _{x4} μm/m	
36.4	1.7	26.6	2.0	30.4	2.5	40.5	2.1	
	V ₁	V ₂	$\frac{V_1 + V_2}{2}$	V ₃	V ₄	V ₄ - V ₃	$\frac{V_3 + V_4}{2}$	$\frac{V}{4}$
	V ₂ - V ₁							
10	1.4	5.9	3.6	310	-4.5	-3.5	-2.7	0.4
20	0.2	3.6	1.9	320	-5.1	1.6	-5.9	-0.2
30	-1.9	5.6	1.8	330	-1.3	-2.1	-0.2	0.8
40	2.7	1.8	2.2	340	-1.6	-9.4	3.1	2.6
50	-0.5	7.4	3.4	350	-5.7	-13.3	0.9	2.2
60	10.1	15.1	13.1	360	10.9	6.4	7.7	10.4
70	0.9	-12.6	-5.8	370	-2.9	7.8	-6.8	-6.3
80	10.5	-0.3	5.1	380	-7.8	-4.8	-10.2	-2.5
90	2.5	-15.2	-6.3	390	-3.4	12.7	-9.7	-8.0
100	6.4	-0.6	2.9	400	-6.1	10.1	-11.6	-4.3
110	-11.3	-17.9	-14.6	410	-8.0	10.0	-13.0	-13.8
120	1.4	-19.2	8.9	420	0.0	7.5	-3.7	-6.3
130	-9.5	-14.0	-11.7	430	9.7	7.6	5.9	-2.9

	V_1	V_2	$V_2 - V_1$	$\frac{V_1 + V_2}{2}$	V_3	V_4	$V_4 - V_3$	$\frac{V_3 + V_4}{2}$	$\frac{V}{4}$
140	-8.3	0.8	-9.1	-3.2	0.6	11.8	11.2	6.2	-1.4
150	10.8	10.3	-0.5	10.5	17.2	-3.0	-20.2	7.1	8.8
160	-12.2	-3.0	9.2	-7.6	21.3	25.4	4.1	23.3	7.8
170	11.0	2.0	-9.0	6.5	29.2	25.6	-3.6	27.4	16.9
180	3.0	1.5	-1.5	2.2	6.2	5.7	-0.5	5.9	4.1
190	10.0	1.0	-9.0	5.5	22.7	-1.3	-24.0	10.7	8.1
200	11.6	12.5	0.9	12.5	7.3	-2.4	-9.7	2.4	7.4
210	14.0	0.9	-13.1	7.4	3.1	0.3	-2.8	1.7	4.5
220	4.4	8.9	4.5	6.6	-3.2	0.6	3.8	-1.3	2.6
230	11.2	15.9	4.7	13.3	-4.4	-11.2	-6.8	-7.8	2.7
240	6.0	9.2	3.2	7.6	5.4	10.5	5.1	7.9	7.7
250	-7.2	5.4	12.6	-0.9	-10.4	-3.6	6.8	-7.0	-3.9
260	-3.1	-4.3	-1.2	-3.7	-13.8	-9.6	4.2	-11.7	-7.7
270	-4.3	-5.6	-1.3	-4.9	-1.2	-3.5	-2.3	-2.3	-3.6
280	-15.2	-3.1	12.1	-9.1	-5.2	-12.1	-6.9	-8.6	-8.9
290	0.3	-4.2	-4.5	-1.9	-8.0	-8.4	-0.4	-8.2	-5.0
300	-6.1	-7.8	-1.7	-6.9	-5.5	5.8	11.3	0.1	-3.4

prilog 2

LETVA WILD N^o 5436-A