

UDK 528.541.82:528.089.6  
Stručni članakODREĐIVANJE ELEMENATA ZEISSOVOG KOMPARATORA  
I KOMPARACIJA NIVELMANSKIH LETAVA

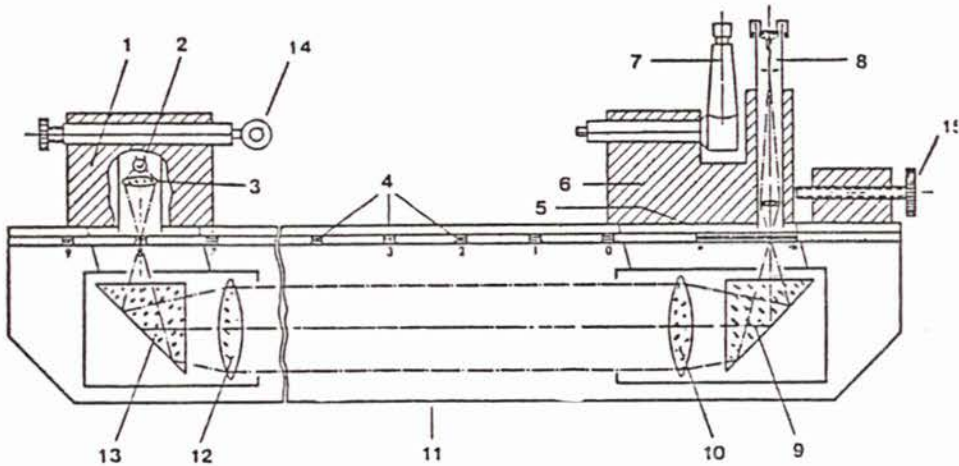
Florijan VODOPIVEC, Dušan KOGOJ — Ljubljana\*

**SAŽETAK:** Pomoću laserskog interferometra i preciznog klinometra i inklinometra određeni su tačni elementi Zeissovog komparatora. Prikazan je i način i rezultati komparisanja nivelmanskih letava.

## 1. UVOD

Kod većih dužina i većih visinskih razlika neophodno je da imamo što tačnije određene jedinice merskih instrumenata i ostalog pomoćnog pribora.

## 2. OPIS ZEISSOVOG KOMPARATORA



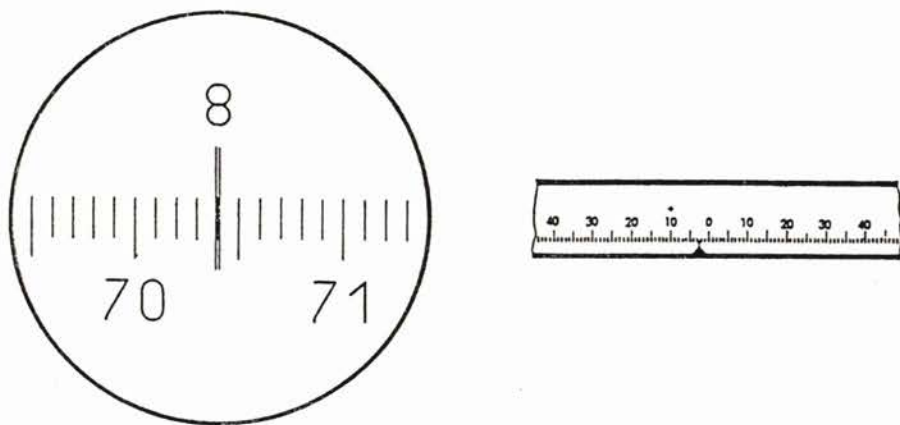
Slika 1. Presek komparatora

\* Prof. dr. Florijan Vodopivec, mr. Dušan Kogoj, FAGG odelek za geodeziju, 61000 Ljubljana, Jamova 2

Na slici 1. shematično je prikazan put zraka kod komparatora.

- 1 . . . nastavak mikroskopa za čitanje na letvi, koji se učvrsti na svaki decimetar
- 2 . . . sijalica za osvetljenje
- 3 . . . kondenzor — sabirno sočivo
- 4 . . . osnovna razmera, s otvorima na svaki decimetar i crticama za koincidenciju na staklenoj ploči, koja se nalazi ispod osnovne razmere
- 5 . . . staklena ploča dužine 100 mm sa podelom na 0.1 mm
- 6 . . . nosač mikroskopa na skali 4 i na skali 5
- 7 . . . mikroskop za čitanje konačnih mera
- 8 . . . mikroskop za čitanje celokupne dužine
- 9, 13. pravougaone prizme za skretanje pravca zraka pod pravim uglom
- 10, 12. objektivni za usklađivanje oštine slike podela 4 i 5
- 11 . . . nosač komparatora
- 12 . . . mikroskop za čitanje na letvi
- 15 . . . zavrtanj s nonijusom

Komparator je nažalost u svom osnovnom obliku prilagođen, pre svega, za komparisanje konačnih mera. Pri tome tačnost merenja ne proizlazi iz tačnosti dužina samog komparatora, već iz tačnosti odgovarajućeg etalona dužine. Tačnost čitanja razlike između etalona i komparisane dužine je  $1 \mu\text{m}$ , s mogućnošću da cenimo  $0.1 \mu\text{m}$ , što više nije realna vrednost (čitanje je prikazano na slici 2).



Slika 2. Čitanje na osnovnoj skali i na mikrometru (čitanje na osnovnoj skali 870,4; čitanje na mikrometru ,002 (7); ukupno 870,402 (7) mm)

Potpuno je drugačija situacija kod nivelmanskih letava koje nisu konačne mere, već tu određujemo dužinu između dve crtice. Zbog toga moramo imati poseban mikroskop (14) za viziranje na pojedinačne crtice podele nivelmanske letve. Uobičajeno se određuje dužina između svake decimetarske crtice podele letve. Pritom otpada mogućnost dodatnog čitanja na kontaktnom mikroskopu. Na taj način možemo da čitamo direktno  $0.1 \text{ mm}$  i cenimo  $0.01$

mm, što je manje nego pri određivanju konačnih mera. Takođe ne postoji mogućnost upoređivanja s etalonom. Oba problema rešili smo uz pomoć prof. dr. Klausa Schnadelbacha i dr. Wolfganga Maurera i njihovog instrumentarijuma.

Tačnost čitanja povećali smo na sledeći način: mikroskop (8) se može pomicati duž merskog zavrtnja, čija je visina navoja 0.5 mm. Na kraju zavrtnja učvrstili smo doboš sa podelom od 100 delova i nonijus sa desetinkama. Tako je moguće na nonijusu direktno očitavanje hiljaditog dela visine navoja, tj. 0.5  $\mu\text{m}$ , što predstavlja dosta visoku tačnost. Međutim, sama tačnost merenja zavisi i od tačnosti izrade merskog zavrtnja. Sigurno je da tako visoku tačnost ne možemo očekivati duž čitavog dela zavrtnja. Međutim, kod komparisanja nivelmanskih letava ne očekujemo velika odstupanja od teorijskih vrednosti. Razlika između prve i poslednje crtice podele trebalo bi da bude nekoliko stotih delova mm. Jedan stoti od mm predstavlja okret doboša za 0.02 dela punog okreta, ili izraženo u stepenima  $7.4^\circ$ . To je tako mali zaokret, tako da ne očekujemo značajnijih odstupanja. Naravno pri tome se podrazumeva da eventualni mrtvi hod zavrtnja eliminišemo zadnjim okretom doboša uvek u istom smeru. Na taj način povećali smo tačnost čitanja i smanjili greške na najmanju moguću meru.

Ostaje nam još tačnost pojedinačnih decimetarskih crtica komparatora. Tačan položaj tih crtica odredili smo pomoću laserskog interferometra Hewlett Packard HP 5526A, sa tačnošću čitanja 0,1  $\mu\text{m}$ . Na taj način i ovde je prisutna velika tačnost određivanja tačnih mera komparatora. Sve te tačne mere odnose se na centar mikroskopa (14). On je udaljen od letve 30 cm. Ukoliko se mikroskop kreće pravolinijski, uvek na jednakom odstojanju od letve, ista tačnost važiće i za tačke na letvi. A ako se on kreće po krivoj liniji, onda i osovina mikroskopa menja svoj položaj u odnosu na tu krivu njegovog kretanja. Zbog toga je bilo potrebno ispitati linearnost kretanja mikroskopa (1), kao i okrete mikroskopa (14). Za to je upotrebljen Wildov klinometar sa ogledalom. Pomoću dobijenih nagiba izračunali smo popravke za čitanje na letvi. Rezultati su u skraćenom obliku prikazani u tabeli 1.

Iz tabele se vidi:

- da su rezultati dvostrukog komparisanja međusobno veoma slični; iz razlika između njih može se oceniti srednja greška određivanja pojedinačne decimetarske crtice:  $m_1 = 0.3 \mu\text{m}$ ;
- da su popravke zbog nelinearnog kretanja mikroskopa (1) skoro jednake popravkama dužina, i ako bi bilo moguće komparator okrenuti za  $180^\circ$ , zajedničke popravke bile bi praktično jednake nuli.

### 3. ANALIZA TAČNOSTI KOMPARIŠANJA NIVELMANSKIH LETAVA

- a. Srednju grešku dužine komparatora možemo oceniti pomoću dvostrukih merenja:  $m_a = \pm 0.7 \mu\text{m}$ .
- b. Srednju grešku čitanja na nonijusu možemo oceniti pomoću poznate jednačine:  $m_b = \pm 0.5/3 = \pm 0.2 \mu\text{m}$ .
- c. Srednju grešku zbog nepravolinijskog kretanja mikroskopa (1) možemo oceniti pomoću dvostrukih merenja:  $m_c = \pm 1.7 \mu\text{m}$ .



TABELA I: Tabela popravaka u  $\mu\text{m}$ 

Tekući dm	Prvo merenje	Drugo merenje	Sredina	Korekcija zbog otklona	Ukupna popravka
1	- 1,1	- 1,4	- 1	0	- 1
2	- 1,9	- 2,7	- 2	- 1	- 3
3	- 2,0	- 3,0	- 2	- 3	- 5
4	- 3,0	- 3,9	- 3	- 3	- 6
5	- 2,1	- 2,8	- 2	- 3	- 5
6	- 3,1	- 3,3	- 3	- 3	- 6
7	- 3,6	- 4,6	- 4	- 7	-11
8	- 2,3	- 3,2	- 3	-10	-13
9	- 2,9	- 3,8	- 3	-11	-14
10	- 7,1	- 6,7	- 7	- 8	-15
11	- 5,8	- 5,6	- 6	- 4	-10
12	- 5,8	- 5,7	- 6	- 3	- 9
13	- 6,1	- 5,8	- 6	- 4	-10
14	- 7,4	- 7,2	- 7	- 7	-14
15	- 8,1	- 8,6	- 8	- 8	-16
16	- 9,2	- 8,2	- 9	-10	-19
17	- 9,1	- 8,3	- 9	-12	-21
18	-10,2	- 9,6	-10	-14	-24
19	-11,2	-10,6	-11	-14	-25
20	-10,9	-10,6	-11	-13	-24
21	-11,2	-10,5	-12	-11	-23
22	-13,7	-12,2	-13	-11	-24
23	-14,1	-13,1	-14	-15	-29
24	-15,0	14,4	-15	-18	-33
25	-15,4	-14,6	-15	-16	-31
26	-16,8	-15,6	-16	-16	-32
27	-18,7	-17,0	-18	-17	-35
28	-19,8	-18,7	-19	-19	-38
29	-21,7	-20,4	-21	-20	-41

d. Srednju grešku viziranja možemo oceniti s obzirom na poznate pretpostavke fizioloških mogućnosti oka i povećanje mikroskopa:  $m_d = \pm 3.5 \mu\text{m}$ .

e. Srednju grešku zbog netačno izmerene temperature ocenjujemo kao:  $m_e = \pm 5.8 \mu\text{m}$ .

Ukupna greška jednaka je zbiru kvadrata pojedinačnih grešaka:

$$M^2 = m_a^2 + m_b^2 + m_c^2 + m_d^2 + m_e^2$$

$$M = \pm 8.1 \mu\text{m}.$$

To je srednja greška određivanja pojedinačne crtice nivelmanske letve. Srednju grešku dužine između dve susedne crtice (što je kasnije visinska razlika) određujemo iz jednačine:

$$M_1 = M_2 = \pm 11.5 \mu\text{m}$$

Nas interesuje srednja greška srednjeg metra para letava. Prosečni metar određen je na dužini 2.8 m, i to dva puta na svakoj letvi:

$$M_m = \pm 11.5 / (4 \times 3 \times 2.8) = \pm 1.2 \mu\text{m}.$$



## II. RAZDELBA

		1. meritev				2. meritev			
T ( C):	komp. leta	20.2	20.3		T ( C):	komp. leta	20.2	20.3	
	serija	citanja				serija	citanja		
	1	2	3	4	1	2	3	4	
63	3.140	3.140	3.140	3.135	3.105	3.105	3.115	3.115	
65	3.135	3.135	3.140	3.135	3.105	3.105	3.100	3.100	
67	3.140	3.145	3.145	3.140	3.070	3.070	3.075	3.075	
69	3.120	3.115	3.115	3.120	3.045	3.045	3.040	3.045	
71	3.130	3.125	3.130	3.130	3.080	3.085	3.080	3.080	
73	3.115	3.120	3.120	3.120	3.075	3.070	3.075	3.080	
75	3.115	3.115	3.120	3.120	3.070	3.070	3.075	3.075	
77	3.110	3.100	3.105	3.100	3.055	3.055	3.060	3.060	
79	3.100	3.100	3.100	3.105	3.070	3.070	3.070	3.065	
81	3.100	3.100	3.105	3.105	3.060	3.065	3.060	3.060	
83	3.105	3.105	3.100	3.100	3.055	3.050	3.050	3.055	
85	3.140	3.145	3.140	3.145	3.075	3.075	3.075	3.070	
87	3.120	3.120	3.115	3.115	3.085	3.085	3.090	3.080	
89	3.105	3.105	3.115	3.105	3.075	3.075	3.075	3.070	
91	3.105	3.105	3.110	3.115	3.085	3.085	3.080	3.085	
93	3.105	3.095	3.100	3.100	3.075	3.075	3.070	3.075	
95	3.105	3.105	3.105	3.100	3.035	3.040	3.040	3.045	
97	3.115	3.105	3.105	3.110	3.035	3.030	3.030	3.030	
99	3.100	3.095	3.100	3.095	3.025	3.025	3.015	3.025	
101	3.095	3.095	3.090	3.095	3.060	3.065	3.060	3.060	
103	3.105	3.095	3.100	3.095	3.025	3.030	3.030	3.030	
105	3.105	3.105	3.105	3.105	3.030	3.025	3.030	3.035	
107	3.100	3.100	3.095	3.095	3.015	3.010	3.015	3.015	
109	3.090	3.090	3.095	3.100	3.020	3.015	3.025	3.015	
111	3.090	3.095	3.095	3.090	3.025	3.025	3.020	3.015	
113	3.075	3.075	3.075	3.070	3.025	3.020	3.025	3.025	
115	3.055	3.050	3.055	3.055	3.025	3.035	3.035	3.030	
117	3.030	3.030	3.025	3.030	3.015	3.015	3.015	3.015	
119	3.045	3.050	3.050	3.055	3.025	3.025	3.030	3.030	

sred.pogr. citanja:	0.0033	sred.pogr. citanja:	0.0033
regresijska premica: Ka	-1E-05	regresijska premica: Ka	-2E-02
d Km	-4E-05	d Km	-4E-05
popravek metra late:	-0.0360	popravek metra late:	-0.0370

```

#####
#
#          povprečni srednji pogrešek citanja          0.0032 mm      #
#
#          natancnost določitve popravka metra late          0.0025 mm      #
#
#          POPRAVEK METRA LATE          st.          34493          -0.0341 mm      #
#
#####

```



## SLIKA OŠEH RAZDELB LETAV

- prva razdelba + druga razdelba



## 4. ZAKLJUČAK

U tom osavremenjenom načinu postoji mogućnost određivanja greške srednjeg metra para letava sa relativno visokom tačnošću. Relativna tačnost tako iznosi 1 : 833 333, što u potpunosti zadovoljava potrebe komparisanja nivelmanskih letava. Praktična merenja se bitno ne razlikuju od teoretskih pretpostavki.

Iz praktičnog primera komparisanja letava br. 34492 i 34493 (prilog) vidi se da prosečna srednja greška čitanja iznosi  $\pm 3.6 \mu\text{m}$  i da je prosečna srednja greška srednjeg metra para letava  $\pm 3.2 \mu\text{m}$ . Mada se čini da je greška dosta velika, još uvek zadovoljava jer relativna greška iznosi 1 : 312 500. Tako bi za visinu Triglava greška zbog netačno određenog srednjeg metra para letava iznosila samo 9.2 mm. U prilogu su date tabele, gde se vidi način komparisanja letava: svaka decimetarska crtica određena je dva puta u četiri serije viziranja nezavisno za prvu i drugu podelu. Prikazana je i obrada podataka te grafički prikaz.

## LITERATURA

1. Kostić, A. L., Svečnikov, N. S.: Nivelman, Merkur, Beograd 1936.
2. Schnadelbach, K.: Bericht über Kalibrierungsmessungen der Komparatorbank, 1986.
3. Vodopivec, F.: Razdeljemer i trilateracija, FAGG, Ljubljana 1982.
4. Zeiss: Langemessmaschine, Prospekt.

## DETERMINATION OF ELEMENTS OF THE ZEISS COMPARATOR AND THE CALIBRATION OF LEVELLING RODS

With a laser interferometer, a precise inclinometer and a precise deviation-meter are determined exact elements of a three-meter Zeiss comparator. The practical results of the levelling rods calibration are presented as well.

Primljeno: 1990- 03-05