

UDK 528.385
Stručni rad

MOGUĆNOST PRECIZNOG NIVELMANA SA DUŽINAMA VIZURA OD 50 METARA

Gligorije PEROVIĆ — Beograd*

1. UVOD

Racionalizacija geodetskih radova je oduvek bila od interesa za geodetske stručnjake. Stoga je u cilju racionalizacije radova u preciznom nivelmanu autor ovog rada izvršio sledeći eksperiment. U okviru ponovnog uspostavljanja jednog vlaka preciznog nivelmana na rekonstruisanom nasipu pored Dunava, u blizini Beograda, izmereno je 52 km preciznog nivelmana sa dužinama vizura od 50 m, pri čemu je teren (nasip) bio ravan i horizontalan..

Rezultati se mogu sumirati na sledeći način:

— dnevno je iznivelano 15 km za 8 radnih sati sa prekidima od 0,5—0,1 sata;

— nivelanje je obavljeno od 5-og do 15-oktobra 1984. godine po sunčanom vremenu.

Ostali rezultati biće u daljem izneti.

2. METODA RADA i MODEL GREŠAKA MERENJA

2.1 Opis metode

Kao što je rečeno nivelano je sa rastojanjima (od instrumenta do letve) od 50 m osim u nekim slučajevima veza za repere kada su ova rastojanja morala biti kraća. Na stanicama redosled čitanja bio je:

— obe podele na zadnjoj letvi, a zatim

— obe podele na prednjoj letvi.

Pri nivelanju nisu upotrebljavana vozila — dakle nivelanje pešice.

* Adresa autora: Doc. dr Gligorije Perović, Institut za geodeziju Građevinskog fakulteta, Beograd, Bulevar revolucije 73.

Merenje je tokom celog dana od 7^h do 16^h sa prekidom u podne oko 0,5—1,0 sati. Vreme je u toku celog nivelanja bilo vedro zbog čega se u sredini dana pojavljivalo jako treperenje što je dosta otežavalo i usporavalo nivelanje. Temperatura vazduha kretala se između 15°C i 26°C.

Nivelanje su izvodila tri operatora:

A (Ivan Aleksić); B (Gligorije Perović) i C (Slobodan Ašanin).

Nivelanje nazad izvođeno je istog, ili, eventualno, narednog dana.

Instrumenti su provereni pre rada, a letve su kalibrisane godinu dana pre ovog eksperimenta. Nikakve popravke nisu uvođene u rezultate merenja.

Podaci merenja zapisivani su ručno u zapisnik merenja.

Najmanji odsečak na letvi koji je čitan iznosio je 1,5 m.

Broj nivelmanskih strana iznosi 69 sa prosečnim rastojanjem 0,77 km, pri čemu je minimalno rastojanje bilo 0,5 km, a maksimalno 2,2 km.

Prosečno vreme nivelanja na stanici, sa prelaskom od stanice do stanice iznosi od 2,5 do 3,5 minuta. Pravac prostiranja nivelanskog vlaka: severo-zapad-jugoistok.

2.2 Ekipa i oprema

Ekipu su sačinjavala četiri lica: operator, zapisničar — koji je istovremeno držao i suncobran za zaštitu instrumenta, i dva figuranta za letvu. Operator je morao sam da prenosi instrument između stanica.

Oprema: niveliri Koni 007 firme Zeiss, trometarske precizne nivelmanske letve firme Zeiss sa invarskom trakom i dvostrukom polucentimetarskom podelom, klasične nivelmanske papuče, držači za letve.

2.3. Model grešaka merenja

S obzirom na napred izneto za modele grešaka može se usvojiti:

A) Za razlike d_{st} na stanici da sadrže samo slučajne greške, jer se sistemski uticaji ili poništavaju, ili svode na beznačajnu veličinu; i

B) Za razlike »napred-nazad«

$$d_i = \delta L_i + \varepsilon_i \sqrt{L_i}, \quad (1)$$

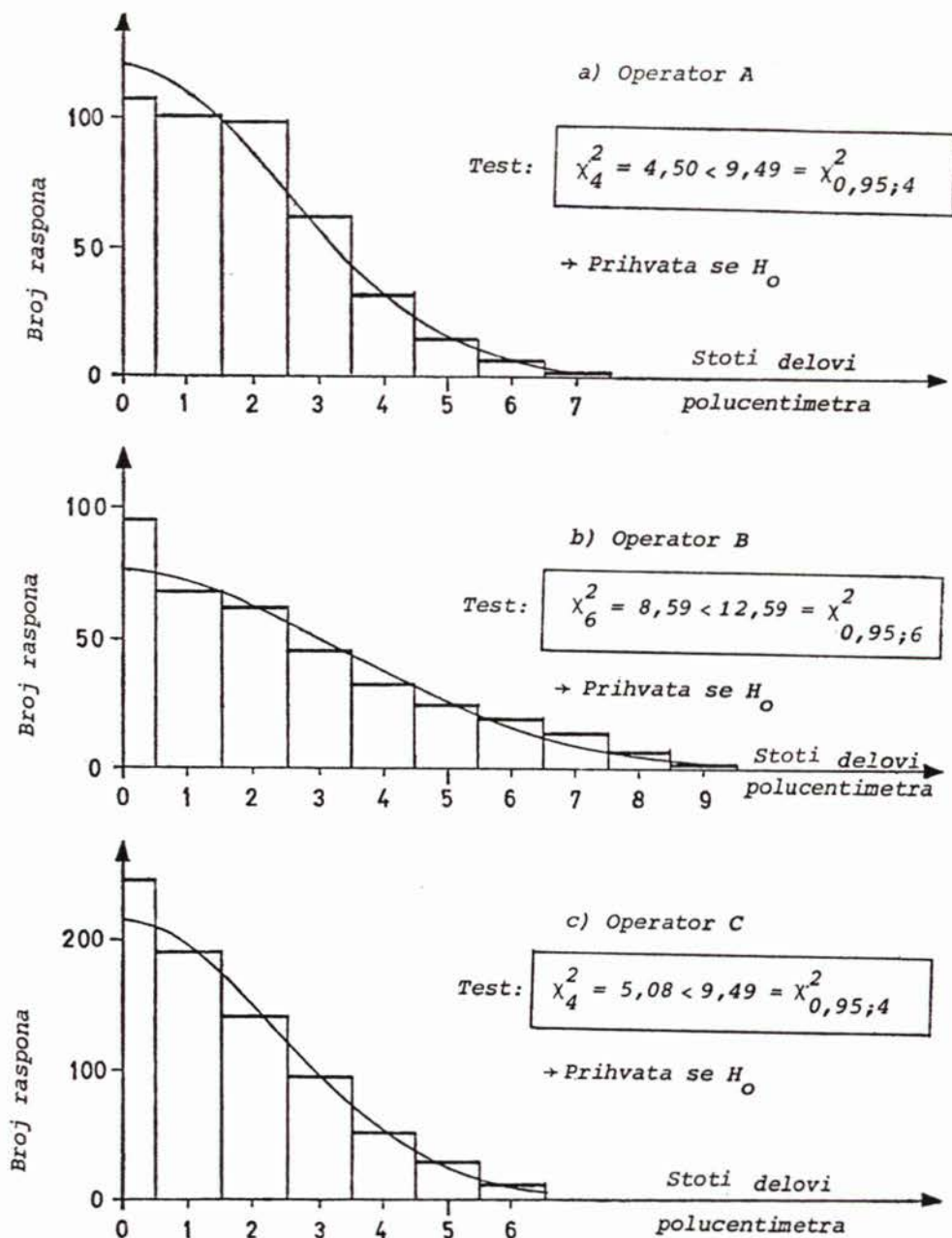
gde je

- d_i — razlika nivelanja »napred-nazad«,
- L_i — odgovarajuće rastojanje,
- δ — sistematska greška u razlici d_i ,
- ε_i — slučajna greška u razlici d_i .

Za slučajne i sistematske greške usvajaju se pretpostavke

$$\varepsilon_i \sim N(0, 2\sigma_\varepsilon^2); \quad M(\delta) = 0, \quad D(\delta) = \sigma_\delta^2, \quad (2)$$

gdje je σ_ε — standard slučajne greške rezultata nivelanja u jednom smeru.



Sl. 1. Histogram raspona merenja visinskih razlika na stanicama i Pirsonov χ^2 test saglasnosti rasporeda za operatore A, B i C.

3. ANALIZA DISPERZIJA I TESTIRANJE REZULTATA

3.1 Testiranje razlika na stanicama

Ovo je izvedeno testiranjem rasporeda raspona rezultata merenja na stanicama. Hipotezi H_0 : razlike merenja na stanicama imaju normalni raspored, ekvivalentna je hipoteza H_0 : raspon merenja na stanicama ima raspored raspona (sa normalnim osnovnim rasporedom). Testiranja su izvedena za svakog operatora i prikazana na sl. 1: a), b) i c). Rezultati testiranja pokazuju da razlike na stanicama imaju normalni raspored.

3.2 Ocena standarda slučajnih grešaka iz razlika na stanicama i test homogenosti

Pod merenjem visinske razlike na stanicama podrazumevaće se aritmetička sredina iz merenja na dve podele letvi. Tako će se, ocena disperzije $\sigma_{z, st}^2$ aritmetičke sredine na stanicama, s obzirom na pretpostavku A) iz poglavlja 2.3, dobiti po formuli

$$\sigma_{z, st}^2 = \frac{1}{4n} \sum d_{i, st}^2, \quad (3)$$

gde su $d_{i, st}$ — razlike dvostrukih merenja na stanicama i , a n — ukupan broj tih razlika. Pregled dobijenih rezultata po operatorima daje se u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ocenjivanja slučajnih grešaka iz razlika dvostrukih merenja na stanicama

Operator	Ocena $\hat{\sigma}_{z, st}^2$ (mm/stanica)	Stepeni slobode (br. mer.)	Prosečna dužina vizure (m)	Brzina nivelanja (jedan smer) (km/sat)
A	0,103	344	47	1,92
B	0,110	256	46	2,14
C	0,094	573	49	1,70
Srednja vrednost:	0,100	1 173	48	1,86

Bartletov test homogenosti daje

$$\chi_2^2 = 9,43 > 9,21 = \chi_{0,99; 2}^2,$$

pa se hipoteza o jednakosti disperzija visinskih razlika na stanicama po operatorima ne može prihvatiti.

Ovde je interesantno ispitati da li je disperzija visinskih razlika koje je merio operator C značajno manja u odnosu na disperzije ostalih dvaju operatora: Fišerov test daje

$$F_{A,C} = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_C^2} = \frac{0,103^2}{0,094^2} = 1,20 > 1,18 = F_{0,99; 344, 573}$$

i

$$F_{B,C} = 1,37 > 1,22 = F_{0,99; 256,573}$$

Ovo ukazuje na to da su rezultati merenja operatora C visoko značajno precizniji od rezultata merenja operatora A ili B, što je trebalo i očekivati ako se ima u vidu da je operator C prošao kroz specijalni kurs za nivelman visoke tačnosti i zatim merio (u tom nivelmanu) više od godinu dana.

Ocene $\hat{\sigma}_{e,st}$ iz Tabele 1 mogu se nazvati čistim greškama pošto se u razlikama dvostrukih merenja na stanici većina sistematskih uticaja poništavaju dok se ostali svode na zanemarljivu veličinu.

Testiranje saglasnosti ocene a posteriori $\hat{\sigma}_e^2 = 0,100^2$ sa vrednošću a priori $\sigma_{oe}^2 = 0,071^2$ — koju daje Činklović (1978) u svojoj monografiji o preciznim merenjima, dovodi do zaključka o visokoznačajnoj nesaglasnosti. Saglasnost ovih dveju vrednosti nije trebalo ni očekivati, s obzirom da se vrednost 0,071 odnosi na merenja u periodu mirnih likova (vreme kada nema treperenja), a to je u vedrim danima period od 4—5 sati do 8—9 sati i od 16—17 sati do 19—20 sati (u proleće, leto i jesen).

3.3 Ocena tačnosti iz razlika napred-nazad i testiranja

Ako važi model grešaka (1) sa pretpostavkama (2) onda se ocene za σ_e^2 i δ mogu dobiti po formulama (Perović, 1986)

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{\sum (d_i / \bar{L}_i)^2 - \hat{\delta}^2 \sum L_i}{2(n-1)}, \quad f = n - 1 \quad (4)$$

i

$$\hat{\delta} = \frac{\sum d_i}{\sum L_i} \quad (5)$$

Rezultati ocenjivanja dati su u Tabeli 2.

Tabela 2. Ocena sistematskih uticaja i standarda slučajnih grešaka iz razlika »napred — nazad«

Operator	$\sum L_i$ (km)	$\hat{\delta}$ (mm/km)	$\hat{\sigma}_e$ (mm/ km)	Stepeni slobode	NAPOMENA: Dužine L_i predstavljaju rastojanja između repera
A	13,4	0,290	0,760	15	
B	10,5	-0,182	0,758	12	
C	28,4	-0,043	0,507	30	
Objedinjene ocene:		0,002	0,636	59	$\sum \sum L_i = 52,3$ km

Bartletov test jednakosti disperzija daje

$$\chi^2_2 = 4,46 < 5,99 = \chi^2_{0,95; 2}$$

pa se prihvata hipoteza da su operatori jednako precizno merili. Međutim, Fišerov test ukazuje da je operator C značajno preciznije merio od operatora A ili B, što je saglasno sa činjenicom da je operator C prošao specijalni kurs za nivelman.

Za operatora A test sistematskih grešaka ukazuje na njihovu značajnost, dok za operatore B i C test ne ukazuje na postojanje sistematskih uticaja, a također niti u objedinjenoj oceni. S obzirom na malo rastojanje (15 km) značajnost sistematskih grešaka za merenje prvog operatora može se pripisati slučajnosti, inače bi trebalo nastaviti sa daljim ispitivanjem.

Testiranje disperzija a posteriori sa vrednošću a priori, $\sigma_{\epsilon}^2 = (0,54 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}})^2$ — Činklović (1978), daje:

- za operatore A i B visokoznačajno odstupanje;
- za operatora C visokoznačajnu saglasnost;
- za objedinjenu ocenu (0,636) visokoznačajnu saglasnost; s napomenom da se apriorna vrednost odnosi na merenja kada nema treperenja.

Ako bi se za dozvoljene razlike nivelanja napred-nazad primenio kriterijum $2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ — kao u mreži prvog reda, onda bi trebalo ponoviti 70% merenja.

4. ZAKLJUČCI

Sudeći po nekim parametrima precizni nivelman sa dužinama vizura od 50 m mogao bi se svrstati u nivelman prvog reda. Međutim broj podataka je u ovom slučaju ipak nedovoljan za sigurnije zaključivanje.

Dobijeni rezultati su:

- prosečna produkcija 1,86 km/sat (ili 13 km/7 radnih sati);
- prosečno vreme rada na stanici 2,5—3,5 minuta;
- srednja greška sredine iz obostranog nivelanja $0,45 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$.

Ako bismo veličinu $0,45 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ prihvatili kao standardnu grešku koju daje ova metoda, onda se postavlja pitanje: da li se može postići veća tačnost? Ako se ima u vidu činjenica da eksperiment nije posebno (i detaljno) pripreman i da su merenja izvedena pod nepovoljnim uslovima (veliko treperenje u toku dana) onda bi odgovor mogao biti pozitivan.

LITERATURA

- [1] Becker, J. M. (1985):: The Swedish Experience with motorized Levelling new Techniques and Tests. AVN 2, 11—19, 1985.
- [2] Beckers, H. (1983): Influence of Magnetism on Precise Levelling*. Workshop on Precise Levelling Hannover, March 16—18, 1983.
- [3] Činklović, N. (1978): Analiza i prethodna ocena tačnosti metoda preciznih geodetskih merenja. (monografija). Građevinski fakultet, Beograd, 1978.

- [4] Gesler, J. (1983): Some Results of the Determination of the Geomagnetic Influence on Automatic Levelling Instruments*. Workshop on Precise Levelling, Hannover, March 16—18, 1983.
- [5] Heer, R. (1983): Application of Different Refraction Models on Measuring Results of the Levelling Test Loop Koblenz.* Workshop on Precise Levelling, Hannover, March 16—18, 1983.
- [6] Miladinović, M. (1983): Prilog objektivnoj oceni tačnosti geometrijskih nivelmana: preciznog i visoke tačnosti. Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd.
- [7] Pelzer, H. (1983): Systematic Instrumental Errors in Precise Levelling.* Workshop on Precise Levelling, Hannover, March 16—18, 1983.
- [8] PEROVIĆ, G. (1986): Ocenjivanje sistematskih grešaka u parovima merenja. XII JUKEM — 86, Beograd, 29—31 okt., 1986. Zbornik radova, knj. II str. 153—159.
- [9] Szacherska, K. M. (1983): Composition of Errors in Precise Levelling as Results of the Programme of Observations*. Workshop on Precise Levelling, Hannover, March 16—18, 1983.
- [10] Vyskočil, P. (1983): Influence of Outer Effects at a Levelling Station.* Workshop on Precise Levelling, Hannover, March 16—18, 1983.
- [11] Zippelt, K. (1983): Measurements of Level Rod's Temperature and Effects on Precise Levelling*. Hannover, March 16—18, 1983.

REZIME

Razmatrani su rezultati merenja u nivelmanskom vlaku dužine 52 km, na ravnom i horizontalnom terenu, sa dužinama vizura od 50 m.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit präsentiert man die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchungen in einem Präzisionsnivellement, das eine Nivellementlinie von 52 km umfasst und mit den Zielweiten von etwa 50 m in einem horizontalen Gelände durchgeführt wurde.

Primljeno: 1987-03-10

* Precise Levelling, Contributions to the Workshop on Precise Levelling; H. Pelzer and W. Niemeier (Editors), Dümmler, Bonn, 1983.