

Ispitivanje i analiza preciznosti optičkog nivelira

Mladen Zrinjski^{1,2}, Đuro Barković², Antonio Tupek²

¹ član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr

² Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, djuro.barkovic@geof.unizg.hr

² Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, antonio.tupek@geof.unizg.hr

***Sažetak:** Određivanje visina metodom geometrijskog nivelmana spada u najpreciznija geodetska mjerenja. U radu je dan pregled hrvatskih norma iz područja geodetskih i mjernih instrumenata. Detaljno je opisan postupak ispitivanja preciznosti optičkog nivelira prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-2:2004. Za obradu podataka mjerenja i analizu mjernih rezultata primijenjen je program Nivelir_ISO.*

***Cljučne riječi:** preciznost, precizni optički nivelir, standardno odstupanje, norma*

1. Uvod

Današnja tehnologija izrade geodetskih instrumenata i pribora za mjerenje osnovnih veličina u geodeziji (duljina i kut) dosegla je zavidnu razinu. U području geometrijskog nivelmana, kao najpreciznije metode određivanja ortometrijskih visina točaka, suvremenim preciznim niveliirom (optičkim ili digitalnim) može se očitati najmanji podatak na invarnoj nivelmanskoj letvi s mjernom nesigurnošću od 0,01 mm. Kako podatak očitao preciznim niveliirom na invarnoj nivelmanskoj letvi ne bi bio opterećen pogreškama, potrebno je ispitati tri uvjeta nivelira (posebno glavni uvjet) te preciznost nivelira u terenskim uvjetima. Ispitivanje preciznosti optičkog nivelira obavljeno je za potrebe privatnog naručitelja.

2. Pregled hrvatskih norma iz područja geodetskih instrumenata

Postupak ispitivanja preciznosti geodetskih i mjernih instrumenata dan je skupom međunarodnih norma osnovne oznake ISO 17123, odnosno hrvatskih norma HRN ISO 17123. U tablici 1 dan je pregled hrvatskih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila osnovne oznake HRN ISO 17123 [1].

Tablica 1: Pregled hrvatskih norma osnovne oznake HRN ISO 17123

Oznaka norme	Naziv hrvatske norme
HRN ISO 17123-1:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 1. dio: Teorija (ISO 17123-1:2014)
HRN ISO 17123-2:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 2. dio: Niveliri (ISO 17123-2:2001)
HRN ISO 17123-3:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 3. dio: Teodoliti (ISO 17123-3:2001)
HRN ISO 17123-4:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 4. dio: Elektrooptički daljinomjeri (EDM instrumenti) (ISO 17123-4:2012)
HRN ISO 17123-5:2018	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 5. dio: Geodetske mjerne stanice (ISO 17123-5:2018)
HRN ISO 17123-6:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 6. dio: Rotirajući laseri (ISO 17123-6:2012)
HRN ISO 17123-7:2008	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 7. dio: Optički viskovi (ISO 17123-7:2005)
HRN ISO 17123-8:2015	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 8. dio: GNSS terenski kinematički mjerni sustavi u realnom vremenu (RTK) (ISO 17123-8:2015)
HRN ISO 17123-9:2020	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 9. dio: Terestrički laserski skeneri (ISO 17123-9:2018)

3. Norma HRN ISO 17123-2:2004

Ispitivanje preciznosti nivelira provodi se prema normi HRN ISO 17123-2:2004 [2]. U toj normi opisana su dva različita načina ispitivanja preciznosti nivelira, a to su jednostavni i potpuni test. Za precizna geodetska mjerenja preporuča se provesti potpuni test. Uz ta dva testa, u normi su opisana i tri statistička testa koja se uglavnom preporučuju uz potpuni test. Slijedi detaljan prikaz terenskog postupka ispitivanja preciznosti nivelira prema potpunom testu te su dani matematički izrazi koji se koriste u numeričkoj obradi mjernih podataka.

3.1. Testno polje

Kako bi se smanjio utjecaj refrakcije, ispitivanje treba provesti na horizontalnom terenu. Nivelir treba zakloniti suncobranom kako bi tijekom mjerenja bio zaštićen od izravnih sunčevih zraka. Dvije visinski dobro definirane točke (A i B) treba postaviti na udaljenost od približno $\Delta=60$ m. Nivelir se postavi približno na sredinu između točaka A i B ($\Delta / 2 = 30 \pm 3$ m) kako bi se smanjili utjecaj refrakcije i pogreška vizurne osi.

3.2. Mjerenja

Prije početka mjerenja nivelir treba ostaviti da se aklimatizira na temperaturu okoline. Za to je potrebno vrijeme od oko $2 \text{ min}/^\circ\text{C}$ temperaturne razlike. Osim toga, prije mjerenja treba ispitati pogrešku vizurne osi (glavni uvjet nivelira). Treba obaviti dva seta mjerenja. Prvi set mjerenja sastoji se od 20 parova očitavanja, pri čemu jedan par čine dva očitavanja: zadnje očitavanje letve $x_{A,j}$ na točki A i prednje očitavanje letve $x_{B,j}$ na točki B, ($j=1, \dots, 20$). Između svakog para očitavanja potrebno je malo promijeniti visinu i položaj nivelira. Nakon prvih 10 parova očitavanja ($x_{A,1}, x_{B,1}, \dots, x_{A,10}, x_{B,10}$), zamijeni se redosljed zadnjeg i prednjeg očitavanja te se izvede drugih 10 parova očitavanja ($x_{B,11}, x_{A,11}, \dots, x_{B,20}, x_{A,20}$). Za drugi set mjerenja, letve na točkama A i B zamijene mjesta. Cijeli postupak mjerenja obavlja se na isti način kao i u prvom setu, te ga čini prvih 10 parova očitavanja ($x_{A,21}, x_{B,21}, \dots, x_{A,30}, x_{B,30}$) i drugih 10 parova očitavanja ($x_{B,31}, x_{A,31}, \dots, x_{B,40}, x_{A,40}$).

3.3. Računanje

Empirijsko standardno odstupanje vrijedi za visinsku razliku na duljini od 60 m [2]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{\nu}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} \quad (1)$$

gdje su:

r_j – rezidual odgovarajuće mjerene visinske razlike

ν – broj stupnjeva slobode, $\nu = 2 \cdot (20 - 1) = 38$.

Empirijsko standardno odstupanje za 1 km obostranog (dvostrukog) niveliranja $s_{\text{ISO-LEV}}$ računa se prema izrazu [2]:

$$s_{\text{ISO-LEV}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{60 \text{ m}}} \approx 2,89 \cdot s \quad (2)$$

3.4. Statistički testovi

Statistički testovi preporučuju se samo za ispitivanje prema potpunom testu. Za interpretaciju rezultata u statističkim se testovima koristi:

- empirijsko standardno odstupanje s visinske razlike mjerene na testnom području
- razlika δ pogrešaka nule letve za par nivelmanskih letvi i njezino empirijsko standardno odstupanje s_δ ,

kako bi se dobili odgovori na sljedeća pitanja (tablica 2):

- a) Je li izračunato empirijsko standardno odstupanje $s_{\text{ISO-LEV}}$ manje od odgovarajuće vrijednosti σ koja je deklarirana od proizvođača instrumenta?
- b) Pripadaju li dva empirijska standardna odstupanja $s_{\text{ISO-LEV}}$ i $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$, određena iz dvije različite serije mjerenja, istom uzorku pod pretpostavkom da obje serije imaju isti broj stupnjeva slobode ν ?

Empirijska standardna odstupanja $s_{\text{ISO-LEV}}$ i $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$ mogu se dobiti:

- iz dvije serije mjerenja s istim instrumentom, ali s različitim opažačima
- iz dvije serije mjerenja s istim instrumentom u različito vrijeme
- iz dvije serije mjerenja s različitim instrumentima.

- c) Je li razlika δ pogrešaka nule letve za par nivelmanskih letvi jednaka nuli?

Za testove koji slijede, razina je pouzdanosti $\alpha - 1 = 0,95$ i broj stupnjeva slobode $\nu = 38$.

Tablica 2: Statistički testovi

Pitanje	Nulta hipoteza	Alternativna hipoteza
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$
c)	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

Pitanje a)

Nulta se hipoteza prihvaća ako je $s \leq \sigma$, tj. ako je zadovoljeno [2]:

$$s_{\text{ISO-LEV}} \leq 1,19 \cdot \sigma \quad (3)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

Pitanje b)

Za dvije različite serije mjerenja, test pokazuje pripadaju li empirijska standardna odstupanja $s_{\text{ISO-LEV}}$ i $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$ istom uzorku. Nulta hipoteza $\sigma = \tilde{\sigma}$ prihvaća se ako je zadovoljeno [2]:

$$0,52 \leq \frac{s_{\text{ISO-LEV}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}^2} \leq 1,91 \quad (4)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

Pitanje c)

Nulta hipoteza $\delta = 0$ prihvaća se ako je zadovoljeno [2]:

$$|\delta| \leq 0,64 \cdot s \quad (5)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

Broj stupnjeva slobode ν te odgovarajuće fraktile $x_{1-\alpha}^2(\nu)$, $F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu)$ i $t_{1-\alpha/2}(\nu)$ podložni su promjenama ako se analizira broj mjerenja različit od broja navedenog u ovom radu. Fraktile $x_{1-\alpha}^2(\nu)$, $F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu)$ i $t_{1-\alpha/2}(\nu)$, uz odabrani nivo signifikantnosti $\alpha = 0,05$, uzimaju se iz statističkih tablica [3], [4].

4. Ispitivanje preciznosti nivelira Leica NA2

Ispitivanje preciznosti optičkog nivelira Leica NA2 s planparalelnom pločom provedeno je prema pravilima i uputama navedenim u normi HRN ISO 17123-2:2004. Prema tehničkoj specifikaciji nivelir Leica NA2 s planparalelnom pločom ima deklarirano standardno odstupanje za 1 km obostranog (dvostrukog) niveliranja do 0,3 mm [5]. Prvu seriju mjerenja obavio je opažatelj Mladen Zrinjski 20. svibnja 2020. u dvorištu Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (tablica 3), a drugu seriju mjerenja opažatelj Đuro Barković istoga dana na istome mjestu (tablica 4). U tablici 5 prikazani su rezultati statističkog testiranja za tri statistička testa. Za ispitivanje preciznosti nivelira prema toj normi primijenjen je program Nivelir_ISO [6].

Tablica 3: Ispitivanje preciznosti nivelira prema potpunom testu – prva serija mjerenja

Popunjeni test za nivelire prema normi HRN ISO 17123-2:2004 (prva serija mjerenja)

Mjerenja obavio: Mladen Zrnjako Tip i serijski broj instrumenta: Leica NA2, SNo. 5048229
 Datum mjerenja: 20.5.2020. Vremenske prilike: vedro, 17°C

Prvi set mjerenja						Drugi set mjerenja					
Broj mjerenja j	Očitanje zadnje letve $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje letve $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika d_j [mm]	Rezidual r_j [mm]	Kvadrat reziduala r_j^2 [mm ²]	Broj mjerenja j	Očitanje zadnje letve $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje letve $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika d_j [mm]	Rezidual r_j [mm]	Kvadrat reziduala r_j^2 [mm ²]
1	3471,1	3682,5	-211,4	-0,11	0,0132	21	3412,0	3623,4	-211,4	-0,18	0,0306
2	3471,3	3682,8	-211,5	-0,02	0,0002	22	3411,8	3623,4	-211,6	0,02	0,0008
3	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	23	3410,9	3622,5	-211,6	0,02	0,0008
4	3470,0	3681,5	-211,5	-0,02	0,0002	24	3411,2	3622,8	-211,6	0,03	0,0006
5	3470,8	3682,3	-211,5	-0,02	0,0002	25	3411,7	3623,3	-211,6	0,03	0,0006
6	3471,0	3682,3	-211,3	-0,21	0,0462	26	3412,2	3623,8	-211,6	0,03	0,0006
7	3468,7	3680,2	-211,5	-0,02	0,0002	27	3413,2	3624,8	-211,6	0,03	0,0006
8	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	28	3413,1	3624,6	-211,5	-0,08	0,0068
9	3468,8	3680,4	-211,6	0,08	0,0072	29	3412,4	3624,0	-211,6	0,02	0,0006
10	3469,7	3681,1	-211,4	-0,11	0,0132	30	3411,5	3623,0	-211,5	-0,08	0,0068
11	3469,9	3681,3	-211,4	-0,11	0,0132	31	3411,7	3623,2	-211,5	-0,08	0,0068
12	3470,0	3681,5	-211,5	-0,02	0,0002	32	3411,1	3622,7	-211,6	0,02	0,0006
13	3470,8	3682,4	-211,6	0,08	0,0072	33	3411,0	3622,5	-211,5	-0,08	0,0068
14	3471,1	3682,7	-211,6	0,08	0,0072	34	3412,3	3623,8	-211,5	-0,08	0,0068
15	3470,0	3681,8	-211,8	0,29	0,0812	35	3412,1	3623,9	-211,8	0,23	0,0506
16	3469,7	3681,3	-211,6	0,09	0,0072	36	3411,7	3623,3	-211,6	0,03	0,0006
17	3469,3	3681,0	-211,7	0,18	0,0342	37	3411,5	3623,1	-211,6	0,02	0,0006
18	3469,7	3681,2	-211,5	-0,02	0,0002	38	3411,6	3623,1	-211,5	-0,08	0,0068
19	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	39	3411,9	3623,0	-211,7	0,12	0,0156
20	3469,5	3680,9	-211,4	-0,11	0,0132	40	3413,7	3625,3	-211,6	0,03	0,0006
Σ	69296,9	73627,2	-4230,3	0,00	0,2455	Σ	68238,6	72470,1	-4231,5	0,00	0,1375

Aritmetička sredina visinskih razlika prvog seta mjerenja, \bar{d}_1	<u>-211,52 mm</u>	Kontrole za prvi set mjerenja:	
Aritmetička sredina visinskih razlika drugog seta mjerenja, \bar{d}_2	<u>-211,58 mm</u>	$\Sigma x_{A,j} - \Sigma x_{B,j} = \Sigma d_j$	<u>-4230,3 = -4230,3</u>
Razlika aritmetičkih sredina	<u>0,06 mm</u>	$\Sigma r_j = 0$	<u>0,00</u>
Suma kvadrata reziduala oba seta mjerenja	<u>0,38 mm²</u>	Kontrole za drugi set mjerenja:	
Broj stupnjeva slobode	<u>38</u>	$\Sigma x_{A,j} - \Sigma x_{B,j} = \Sigma d_j$	<u>-4231,5 = -4231,5</u>
Empirijsko standardno odstupanje, s	<u>0,10 mm</u>	$\Sigma r_j = 0$	<u>0,00</u>
Emp. stand. odstupanje za 1 km dvostrukog niveliranja, $s_{100-2\Delta v}$	<u>s x 2,89 = 0,29 mm</u>		

Tablica 4: Ispitivanje preciznosti nivelira prema potpunom testu – druga serija mjerenja

Popunjeni test za nivelire prema normi HRN ISO 17123-2:2004 (druga serija mjerenja)

Mjerenja obavio: Đuro Barković Tip i serijski broj instrumenta: Leica NA2, SNo. 5048229
 Datum mjerenja: 20.5.2020. Vremenske prilike: vedro, 18°C

Prvi set mjerenja						Drugi set mjerenja					
Broj mjerenja j	Očitanje zadnje letve $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje letve $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika d_j [mm]	Rezidual r_j [mm]	Kvadrat reziduala r_j^2 [mm ²]	Broj mjerenja j	Očitanje zadnje letve $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje letve $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika d_j [mm]	Rezidual r_j [mm]	Kvadrat reziduala r_j^2 [mm ²]
1	3410,0	3623,5	-213,5	-0,01	0,0001	21	3430,1	3643,5	-213,4	-0,09	0,0081
2	3409,5	3623,1	-213,6	0,09	0,0081	22	3429,6	3643,1	-213,5	0,01	0,0001
3	3410,2	3623,7	-213,5	-0,01	0,0001	23	3431,0	3644,5	-213,5	0,01	0,0001
4	3411,1	3624,5	-213,4	-0,11	0,0121	24	3430,5	3643,9	-213,4	-0,09	0,0081
5	3410,3	3624,0	-213,7	0,19	0,0361	25	3430,9	3644,4	-213,5	0,01	0,0001
6	3409,4	3622,8	-213,4	-0,11	0,0121	26	3431,1	3644,7	-213,6	0,11	0,0121
7	3410,3	3623,9	-213,6	0,09	0,0081	27	3432,2	3645,8	-213,6	0,11	0,0121
8	3409,3	3622,9	-213,3	-0,21	0,0441	28	3430,6	3643,9	-213,3	-0,19	0,0361
9	3411,0	3624,6	-213,6	0,09	0,0081	29	3429,7	3643,1	-213,4	-0,09	0,0081
10	3411,2	3624,6	-213,4	-0,11	0,0121	30	3430,5	3644,1	-213,6	0,11	0,0121
11	3411,1	3624,6	-213,5	-0,01	0,0001	31	3431,0	3644,5	-213,5	0,01	0,0001
12	3410,0	3623,6	-213,6	0,09	0,0081	32	3431,2	3644,7	-213,5	0,01	0,0001
13	3410,6	3624,0	-213,4	-0,11	0,0121	33	3430,2	3643,6	-213,4	-0,09	0,0081
14	3410,3	3623,8	-213,5	-0,01	0,0001	34	3431,1	3644,5	-213,4	-0,09	0,0081
15	3409,8	3623,5	-213,7	0,19	0,0361	35	3429,5	3643,1	-213,6	0,11	0,0121
16	3409,9	3623,4	-213,5	-0,01	0,0001	36	3430,5	3643,9	-213,4	-0,09	0,0081
17	3410,4	3623,9	-213,5	-0,01	0,0001	37	3431,0	3644,6	-213,6	0,11	0,0121
18	3411,5	3624,9	-213,4	-0,11	0,0121	38	3431,4	3644,9	-213,5	0,01	0,0001
19	3411,2	3624,7	-213,5	-0,01	0,0001	39	3430,4	3643,8	-213,4	-0,09	0,0081
20	3411,1	3624,7	-213,6	0,09	0,0081	40	3429,9	3643,6	-213,7	0,21	0,0441
Σ	68208,2	72478,4	-4270,2	0,00	0,2180	Σ	68012,4	72882,2	-4269,8	0,00	0,1980

Aritmetička sredina visinskih razlika prvog seta mjerenja, \bar{d}_1	-213,51 mm	Kontrole za prvi set mjerenja:	
Aritmetička sredina visinskih razlika drugog seta mjerenja, \bar{d}_2	-213,49 mm	$\Sigma X_{A1} - \Sigma X_{B1} = \Sigma d_1$	-4270,2 = -4270,2
Razlika aritmetičkih sredina	-0,02 mm	$\Sigma r_1 = 0$	0,00
Suma kvadrata reziduala oba seta mjerenja	0,42 mm ²	Kontrole za drugi set mjerenja:	
Broj stupnjeva slobode	39	$\Sigma X_{A2} - \Sigma X_{B2} = \Sigma d_2$	-4269,8 = -4269,8
Empirijsko standardno odstupanje, s	0,10 mm	$\Sigma r_2 = 0$	0,00
Emp. stand. odstupanje za 1 km dvostrukog niveliranja, $s_{ISO-LEV}$	s x 2,89 = 0,30 mm		

Tablica 5: Rezultati statističkog testiranja za tri statistička testa

Statistički testovi**Test br. 1.**

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja (s) i odgovarajuće vrijednosti (σ) deklarirane od strane proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

Nulta hipoteza (H_0): $s \leq \sigma$

Alternativna hipoteza (H_1): $s > \sigma$

Odabrani nivo signifikantnosti $\alpha = 0,05$.

Prva serija mjerenja:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za 1 km dvostrukog niveliranja, $s_{ISO-LEV}$ 0,29 mm

Teorijska vrijednost odstupanja dana od proizvođača, σ 0,30 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaća, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklarirane teorijske vrijednosti. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnošću.

Druga serija mjerenja:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za 1 km dvostrukog niveliranja, $s_{ISO-LEV}$ 0,30 mm

Teorijska vrijednost odstupanja dana od proizvođača, σ 0,30 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaća, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklarirane teorijske vrijednosti. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnošću.

Test br. 2.

Test usporedbe dvaju empirijskih standardnih odstupanja (s i \hat{s}), dobivenih iz različitih mjerenja s istim brojem stupnjeva slobode.

Hipoteze:

Nulta hipoteza (H_0): $s = \hat{s}$

Alternativna hipoteza (H_1): $s \neq \hat{s}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za prvu seriju mjerenja, $s_{ISO-LEV}$ 0,29 mm

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za drugu seriju mjerenja, $\hat{s}_{ISO-LEV}$ 0,30 mm

Granice obostranog testa: $0,52 \leq s^2/\hat{s}^2 \leq 1,91$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja, s^2/\hat{s}^2 0,92 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaća, tj. empirijska standardna odstupanja potječu iz istog uzorka.

Test br. 3.

Test usporedbe aritmetičkih sredina visinskih razlika dvaju setova mjerenja.

Hipoteze:

Nulta hipoteza (H_0): $\delta = 0$

Alternativna hipoteza (H_1): $\delta \neq 0$

Odabrani nivo signifikantnosti $\alpha = 0,05$.

Prva serija mjerenja:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje, s 0,10 mm

Apsolutna vrijednost razlike aritmetičkih sredina 0,06 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaća, tj. razlika pogrešaka nula letvi, za par letvi, jednaka je nuli.

Druga serija mjerenja:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje, s 0,10 mm

Apsolutna vrijednost razlike aritmetičkih sredina 0,02 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaća, tj. razlika pogrešaka nula letvi, za par letvi, jednaka je nuli.

5. Zaključak

Određivanje visina metodom geometrijskog nivelmana spada u najpreciznija geodetska mjerenja. Svako pojedino mjerenje opterećeno je pogreškama iz velikog broja različitih izvora. Međutim, gotovo sve navedene pogreške mogu se ispitivanjem i rektifikacijom instrumenta, izborom najpovoljnijih vanjskih uvjeta rada, odabirom doba dana i godine te metodom mjerenja gotovo u potpunosti eliminirati [7], [8], [6]. Kako bi se osigurala velika preciznost u geometrijskom nivelmanu, važno je ispitati ispravnost preciznog nivelira, koji se koristi u mjerenjima.

Prije i nakon obavljenih mjerenja treba ispitati ispravnost nivelira, posebno njegov glavni uvjet. Ispitivanje preciznosti nivelira potrebno je provesti, prije i nakon mjerenja, prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-2:2004. Za ispitivanje preciznosti nivelira prema toj normi primijenjen je program Nivelir_ISO. Kao ulazne vrijednosti upišu se podaci mjerenja, a kao izlazne vrijednosti dobiju se ocjena točnosti ispitivanja nivelira te podaci statističkog testiranja za tri statistička testa.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je precizni optički nivelir Leica NA2 ispravan i zadovoljava točnost potrebnu za mjerenja u preciznom nivelmanu visoke točnosti ili drugim preciznim geodetskim mjerenjima.

Literatura

- [1] Hrvatski zavod za norme, *Dostupno na:* <https://www.hzn.hr/>, *Pristupljeno:* 2021-01-25.
- [2] HRN ISO 17123-2:2004 – Optika i optički instrumenti – *Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 2. dio: Niveliri* (ISO 17123-2:2001).
- [3] Pavlič, I.: *Statistička teorija i primjena*, Tehnička knjiga, Zagreb, (1970).

- [4] Feil, L.: *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – drugi dio*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1990).
- [5] Leica: *Leica NA2/NAK2*, User Manual, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, (1999).
- [6] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Razumović, I.: Automatizacija ispitivanja preciznosti nivelira i umjeravanja invarnih nivelmanskih letvi, *Geodetski list*, **64** (2010) 4, 279-296.
- [7] Benčić, D.; Solarić, N.: *Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici*, Školska knjiga, Zagreb, (2008).
- [8] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).