

UDK 681.5:528.521-187.4:681.783.23:528.088:006.44ISO(497.5)

Izvorni znanstveni članak

# Automatizacija ispitivanja preciznosti teodolita prema normi HRN ISO 17123-3:2004

Mladen ZRINJSKI, Đuro BARKOVIĆ, Mariana TIR – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* U radu je dan pregled međunarodnih i hrvatskih norma koje su nužne pri ispitivanju, umjeravanju i iskazivanju mjerne nesigurnosti za geodetska mjerila. U Zakonu o mjeriteljstvu (NN 2003b, NN 2007) ističe se važnost održavanja državnih etalona, njihova usporedba s međunarodnim etalonima, te ispitivanja, ovjeravanja i mjeriteljski nadzor mjerila. Na osnovi tog zakona Hrvatski zavod za norme donio je dvije Naredbe (NN 2003a, NN 2005). U tim naredbama nabrajaju se sva mjerila, a među njima su i geodetski instrumenti i pribor, nad kojima se moraju provoditi periodična ispitivanja i umjeravanja radi utvrđivanja njihove ispravnosti te procjene mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja. Navedene su sve pogreške koje utječu na mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom. Detaljno je opisan postupak ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-3:2004 (HRN ISO 2004). Za ispitivanje preciznosti teodolita prema toj normi izrađen je program *Teodolit\_ISO*.

*Ključne riječi:* norme, umjeravanje, automatizacija, preciznost, teodolit, mjerna nesigurnost.

## 1. Uvod

Norme su važan dio našega svakodnevnog života. Iako na prvi pogled nevidljive, one pomažu da naš život bude sigurniji, jednostavniji, zdraviji i u svakom pogledu kvalitetniji, i to čini norme *conditio sine qua non* suvremenog poslovanja i trgovine. Norme su rezultat napora mnogih za dobro svih, one su naslijeđe cijelog čovječanstva. Pridonose unapređenju sigurnosti, zdravlja, kvalitete okoliša i poboljša-

<sup>1</sup>Dr. sc. Mladen Zrinjski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: mladen.zrinjski@geof.hr,

Prof. dr. sc. Đuro Barković, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: djuro.barkovic@geof.hr,

Mariana Tir, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: mtir@geof.hr.

nju životnog standarda. Norme su oduvijek nedjeljivi dio našega gospodarstva, socijalnog i pravnog sustava, a unatoč tomu često se olako shvaćaju te najčešće uzimaju zdravo za gotovo. Njihova važna uloga u modernome društvu nije uvijek dovoljno priznata, zato je bitno upoznati se s normama, razviti kulturu i naviku njihove upotrebe. Potreba za normom daje joj važnost, a izobrazbom i obavješćivanjem javnosti upoznaju se prednosti i širi područje primjene (HZN 2007).

Današnja tehnologija izrade teodolita za mjerenje horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova dosegla je zavidnu razinu. Teodolitima najmanje mjerne nesigurnosti horizontalni pravci i vertikalni kutovi mogu se mjeriti sa standardnim odstupanjem od 0,3" (Benčić i Solarić 2008). Stoga je nužno ispitati uvjete teodolita (i po potrebi obaviti rektifikaciju) te također ispitati preciznost mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova u terenskim uvjetima.

## 2. Norme

Što je norma (engleski: standard, norm; francuski: norme; njemački: Norm)? Prema Hrvatskom zavodu za norme, norma je dokument donesen konsenzusom i odobren od priznatoga tijela, koji za opću i višekratnu uporabu daje pravila, upute ili značajke za djelatnosti ili njihove rezultate s ciljem postizanja najboljeg stupnja uredenosti u danome kontekstu (HRN EN 2004). Prema Geodetsko-geoinformatičkom rječniku, norma je isprava namijenjena općoj i višekratnoj uporabi radi postizanja optimalne razine i uredenosti u danom kontekstu, koja određuje pravila, odrednice ili značajke za djelatnosti ili njihove rezultate. Stvorena je suglasjem priznatog tijela koje ju potvrđuje (Frančula i Lapaine 2008). Norme se temelje na provjerenim znanstvenim, tehničkim i iskustvenim rezultatima u svrhu postizanja boljitka zajednice. Norme su isprave dostupne javnosti, koje su odobrile ustanove za normizaciju na odgovarajućoj razini: međunarodnoj, regionalnoj ili nacionalnoj.

Važno je naglasiti da je uporaba norma dragovoljna i ne smije se normu shvatiti kao tehnički propis koji je propisan zakonom. Razlike između norme i tehničkog propisa prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Osnovne razlike između norme i tehničkog propisa.

Parametar	Norma	Tehnički propis
Primjena	Dragovoljna primjena	Obvezna primjena
Sudionici postupka	Svi zainteresirani	Zakonodavac
Način pripreme	Konsenzus	Većina u zakonodavnome tijelu
Postupak	Puna transparentnost	Transparentnost
Primjer	ISO, EN, HRN	Zakon, pravilnik

Tehnički sadržaji ne uključuju se u tehničke propise nego su dani upućivanjem na određenu normu. Na takav se način ubrzava zakonodavni proces, a tehnički napredak ne zahtijeva izmjenu propisa, već se mijenja samo norma.

Kome trebaju norme? Norme se razvijaju kao odgovor na potrebe sadašnjega života i moraju se redovito prilagođavati stalnim tehnološkim promjenama. Stoga su

one potrebne: proizvođačima, uslužnim tvrtkama, potrošačima, državnoj upravi, javnim poduzećima, stručnim udrugama, obrazovnim ustanovama, laboratorijima (ispitnim i mjeriteljskim), potvrđenim ustanovama i svima drugim korisnicima u gospodarstvu.

Hrvatski zavod za norme (HZN) je u Republici Hrvatskoj ustanova koja se brine za donošenje nacionalnih ili prihvaćanje međunarodnih norma. Hrvatske norme mogu biti izvorne (hrvatske) ili prihvaćene (europske ili međunarodne).

## 2.1. Pregled međunarodnih i hrvatskih norma iz područja geodetskih instrumenata

U tablici 2 dan je pregled međunarodnih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila (URL 1).

Tablica 2. *Pregled međunarodnih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila.*

Broj	Oznaka norme	Izvorni naziv norme
1.	ISO 12858-1:1999	Optics and optical instruments – Ancillary devices for geodetic instruments – Part 1: Invar levelling staffs
2.	ISO 12858-2:1999	Optics and optical instruments – Ancillary devices for geodetic instruments – Part 2: Tripods
3.	ISO 12858-3:2005	Optics and optical instruments – Ancillary devices for geodetic instruments – Part 3: Tribachs
4.	ISO 17123-1:2002	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 1: Theory
5.	ISO 17123-2:2001	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 2: Levels
6.	ISO 17123-3:2001	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites
7.	ISO 17123-4:2001	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments)
8.	ISO 17123-5:2005	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Electronic tachometers
9.	ISO 17123-6:2003	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 6: Rotating lasers
10.	ISO 17123-7:2005	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 7: Optical plumbing instruments
11.	ISO 17123-8:2007	Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)

Osim navedenih norma u tablici 2, postoje i druge norme koje su potrebne i koje definiraju i prate cijeli niz radnji pri ispitivanju, umjeravanju i iskazivanju rezultata tih ispitivanja. U tablici 3 prikazane su dodatne međunarodne norme (URL 1).

Tablica 3. *Pregled dodatnih međunarodnih norma koje su pomoć pri ispitivanju, umjeravanju i iskazivanju rezultata mjerenja.*

Broj	Oznaka norme	Izvorni naziv norme
1.	ISO 9849:2000	Optics and optical instruments – Geodetic and surveying instruments – Vocabulary
2.	ISO/IEC 17025:2005 EN ISO/IEC 17025:2005	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

U tablici 4 dan je pregled hrvatskih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila (URL 2).

Tablica 4. *Pregled hrvatskih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila.*

Broj	Oznaka norme	Naziv hrvatske norme
1.	HRN ISO 12858-1:2004	Optika i optički instrumenti – Pomoćni uređaji za geodetske instrumente – 1. dio: Invarske nivelmanske letve (ISO 12858-1:1999)
2.	HRN ISO 12858-2:2004	Optika i optički instrumenti – Pomoćni uređaji za geodetske instrumente – 2. dio: Tronošci (ISO 12858-2:1999)
3.	HRN ISO 12858-3:2008	Optika i optički instrumenti – Pomoćni uređaji za geodetske instrumente – 3. dio: Podnožne ploče (ISO 12858-3:2005)
4.	HRN ISO 17123-1:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 1. dio: Teorija (ISO 17123-1:2002)
5.	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)
6.	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)
7.	HRN ISO 17123-4:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 4. dio: Elektrooptički daljinomjeri (EDM instrumenti) (ISO 17123-4:2001)
8.	HRN ISO 17123-5:2008	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 5. dio: Elektronički tahimetri (ISO 17123-5:2005)
9.	HRN ISO 17123-6:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 6. dio: Rotirajući laseri (ISO 17123-6:2003)
10.	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)
11.	HRN ISO 17123-8:2008	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 17123-8:2007)

Osim osnovnih hrvatskih norma, postoje i druge hrvatske norme koje su potrebne i prate cijeli niz radnji pri ispitivanju, umjeravanju i iskazivanju rezultata tih ispitivanja. U tablici 5 dane su dvije dodatne hrvatske norme (URL 2).

Tablica 5. Pregled dodatnih hrvatskih norma koje su pomoć pri ispitivanju, umjeravanju i iskazivanju rezultata mjerenja.

Broj	Oznaka norme	Naziv hrvatske norme
1.	HRN ISO 9849:2004	Optika i optički instrumenti – Geodetski instrumenti i instrumenti izmjere – Rječnik (ISO 9849:2000)
2.	HRN EN ISO/IEC 17025:2007	Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija (ISO/IEC 17025:2005; EN ISO/IEC 17025:2005)

### 3. Izvori pogrešaka pri mjerenju teodolitom

Instrument kojim se mjere horizontalni pravci i vertikalni kutovi zove se teodolit. U tablici 6 prikazane su različite vrste izvora pogrešaka te načini njihova određivanja i eliminacije prilikom mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova (Benčić i Solarić 2008).

Tablica 6. Izvor i naziv pogreške, način određivanja i eliminacije.

Izvor/Naziv pogreške	Vrsta pogreške	Određivanje i eliminacija pogreške
<b>1. Pogreške instrumenta</b>		
Pogreška podjele limba	sustavna	ispitivanje + metoda mjerenja
Pogreška optičkog mikrometra	sustavna	ispitivanje + rektifikacija
Pogreška nepravilnog dioptriranja nitnoga križa	sustavna	ispitivanje + metoda dioptriranja
Pogreška nepravilnog izoštravanja slike objekta	sustavna	ispitivanje + metoda izoštravanja
Mrtvi hod vijaka za fino pomicanje alhidade i durbina	sustavna	pravila za okretanje vijaka za fino pomicanje alhidade i durbina
Mrtvi hod vijka optičkog mikrometra	sustavna	pravila za okretanje mikrometra
<b>2. Pogreške pri ispitivanju instrumenta</b>		
Pogreška određivanja podjele limba	sustavna	ispitivanje + određivanje
Pogreška određivanja pogreške optičkog mikrometra	sustavna	ispitivanje + određivanje
Pogreška "runa" optičkog mikrometra	sustavna	ispitivanje + rektifikacija
<b>3. Pogreške rektifikacije instrumenta</b>		
Neokomitost vizurne i horizontalne osi	sustavna	ispitivanje + rektifikacija
Neokomitost horizontalne i vertikalne osi	sustavna	ispitivanje + rektifikacija

*Nastavak Tablice 6.*

<b>4. Pogreške pri mjerenju</b>		
Pogreška centriranja instrumenta	sustavna	ispitivanje + metoda mjerenja
Nevertikalnost vertikalne osi instrumenta	sustavna	ispitivanje + kompenzator
Pomak limba pri okretanju alhidada	sustavna	ispitivanje + metoda mjerenja
Nestabilnost stativa ili postolja instrumenta	sustavna	metoda mjerenja
Pogreška centriranja signala	sustavna	ispitivanje + metoda mjerenja
Pogreške određivanja elemenata ekscentriciteta	sustavna	ispitivanje + ponavljanje mjerenja
Pogreška viziranja	sustavna	metoda ponavljanja čitanja
Pogreška koincidiranja mikrometrom	sustavna	pravila za okretanje vijka mikrometra + ponavljanje koincidiranja
<b>5. Pogreške zbog atmosferskih uvjeta</b>		
Derektifikacija instrumenta zbog utjecaja atmosfere	sustavna	ispitivanje + rektifikacija
Uvijanje stativa ili postolja instrumenta zbog naglih razlika u temperaturi	slučajna	izbjegavati takve uvjete rada
Nepravilna osvjetljenost signala	slučajna	izbjegavati takve uvjete rada
Uvijanje signala zbog utjecaja atmosfere	slučajna	izbjegavati takve uvjete rada
Utjecaj refrakcije zraka	sustavna	izborom metode mjerenja
Zamagljenost i promjene (kolebanje) u zraku	slučajna	izbjegavati takve uvjete rada
Titranje zraka	slučajna	izborom doba dana

Sve navedene pogreške mogu se u najvećem dijelu eliminirati ispitivanjem i rektifikacijom instrumenta, izborom najpovoljnijih vanjskih uvjeta rada, odabirom doba dana i godine te metodom mjerenja (Benčić i Solarić 2008).

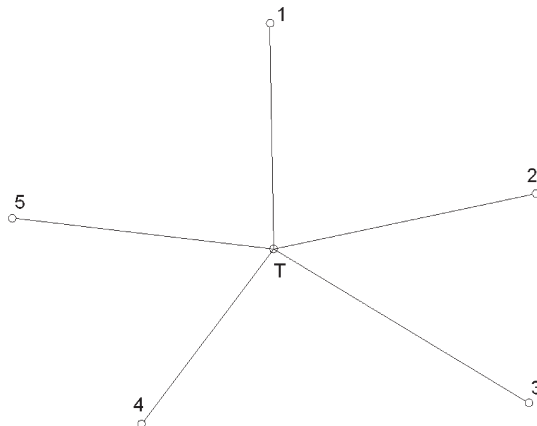
#### **4. Automatizacija ispitivanja preciznosti teodolita**

Ispitivanje preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom provodi se prema normi HRN ISO 17123-3:2004 (HRN ISO 2004). U toj normi opisana su dva različita načina ispitivanja preciznosti teodolita, 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 dva statistička testa za horizontalne pravce te tri statistička testa za vertikalne kutove, koji se uglavnom preporučuju uz potpuni test. Slijedi detaljan prikaz terenskog postupka ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom prema potpunom testu te su dani svi matematički izrazi koji se upotrebljavaju u numeričkoj obradi izmjerenih vrijednosti.

## 4.1. Mjerenje horizontalnih pravaca

### 4.1.1. Konfiguracija testnog područja

Pet fiksnih vizurnih značaka treba postaviti približno u istoj horizontalnoj ravni kao i instrument, i to tako da su pravilno (približno ravnomjerno) razmještene oko horizonta, na udaljenosti od 100 do 250 m od instrumenta (slika 1).



Slika 1. Konfiguracija testnog područja za mjerenje horizontalnih pravaca.

### 4.1.2. Mjerenja

Treba obaviti  $m = 4$  serije mjerenja pod različitim, ali ne ekstremnim vremenskim uvjetima. Svaka serija mjerenja ( $i$ ) treba sadržavati  $n = 3$  girusa ( $j$ ) za svih 5 vizurnih točaka ( $k$ ).

Prije svake serije mjerenja posebnu pozornost treba posvetiti centriranju teodolita. Kutni pomak na horizontalnom limbu za svaki sljedeći girus računa se prema izrazu:

$$\varepsilon = \frac{180^\circ (200 \text{ gon})}{3} = 60^\circ (67 \text{ gon}).$$

### 4.1.3. Računanje

Unutar  $i$ -te serije mjerenja jedan pravac označen je s  $x_{j,k,I}$  ili  $x_{j,k,II}$ , gdje  $j$  označava broj girusa, a  $k$  broj vizurne točke. Indeksi I i II označavaju prvi i drugi položaj teodolita. Svaku od  $m = 4$  serije mjerenja treba računski zasebno obraditi.

Prvo se izračunaju srednje vrijednosti horizontalnih pravaca iz dva položaja instrumenta:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 180^\circ}{2} \left( = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 200 \text{ gon}}{2} \right) \quad (1)$$

$$j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 5.$$

Slijedi računanje redukcije pravaca na početni pravac (reducirana sredina):

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1}; \quad j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 5. \quad (2)$$

Srednje vrijednosti pravaca prema vizurnoj točki  $k$ , iz  $n = 3$  girusa, računaju se prema izrazu:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; \quad k = 1, \dots, 5. \quad (3)$$

Iz razlika:

$$d_{j,k} = \bar{x}_k - x'_{j,k}; \quad j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 5. \quad (4)$$

izračuna se aritmetička sredina za svaki girus:

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5}; \quad j = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Slijedi računanje reziduala prema izrazu:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j; \quad j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 5. \quad (6)$$

Za svaki girus treba biti zadovoljen uvjet:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0; \quad j = 1, 2, 3. \quad (7)$$

Suma kvadrata reziduala  $i$ -te serije mjerenja iznosi:

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2. \quad (8)$$

Za  $n = 3$  girusa mjerenja horizontalnih pravaca prema  $t = 5$  vizurnih točaka, u svakoj seriji mjerenja broj stupnjeva slobode je:

$$v_i = (3 - 1) \cdot (5 - 1) = 8. \quad (9)$$

Empirijsko standardno odstupanje  $s_i$  horizontalnog pravca  $x_{j,k}$  mjenjenog u jednom girusu, za  $i$ -tu seriju mjerenja računa se prema izrazu:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}}. \quad (10)$$



Broj stupnjeva slobode za sve  $m = 4$  serije mjerenja je:

$$v = 4 \cdot v_i = 32. \quad (11)$$

Empirijsko standardno odstupanje  $s$  horizontalnog pravca mjerenog u jednom girusu, za sve  $m = 4$  serije mjerenja računa se prema izrazu:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}}. \quad (12)$$

Konačno se može napisati:

$$s_{\text{ISO-THEO-HZ}} = s. \quad (13)$$

#### 4.1.4. Statistički testovi

Statistički testovi preporučuju se samo za ispitivanje prema potpunom testu.

Za interpretaciju rezultata u statističkim se testovima upotrebljava empirijsko standardno odstupanje  $s$  horizontalnog pravca mjerenog u jednom girusu, kako bi se dobili odgovori na sljedeća pitanja (tablica 7):

- Je li izračunato empirijsko standardno odstupanje  $s$  manje od odgovarajuće vrijednosti  $\sigma$  koja je deklarirana od proizvođača instrumenta?
- Pripadaju li dva empirijska standardna odstupanja  $s$  i  $\tilde{s}$  određena iz dvije različite sesije mjerenja istom uzorku, pod pretpostavkom da obje sesije imaju isti broj stupnjeva slobode  $v$ ?

Empirijska standardna odstupanja  $s$  i  $\tilde{s}$  mogu se dobiti:

- iz dvije sesije mjerenja istim instrumentom, ali s različitim opažaćima
- iz dvije sesije mjerenja istim instrumentom u različito vrijeme
- iz dvije sesije mjerenja različitim instrumentima, ali istog proizvođača i tipa.

Tablica 7. Statistički testovi.

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

Za testove koji slijede, razina je pouzdanosti  $1 - \alpha = 0,95$  i broj stupnjeva slobode  $v = 32$  (vidi izraz 11).

##### 4.1.4.1. Pitanje a)

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

$$s_{\text{ISO-THEO-HZ}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(v)}{v}} \quad (14)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-HZ}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(32)}{32}} \quad (15)$$

$$\chi_{0,95}^2(32) = 46,19 \quad (16)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-HZ}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46,19}{32}} \quad (17)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-HZ}} \leq 1,20 \cdot \sigma \quad (18)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

#### 4.1.4.2. Pitanje b)

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

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v, v)} \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v, v) \quad (19)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(32, 32)} \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2} \leq F_{0,975}(32, 32) \quad (20)$$

$$F_{0,975}(32, 32) = 2,02 \quad (21)$$

$$0,49 \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-HZ}}^2} \leq 2,02 \quad (22)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

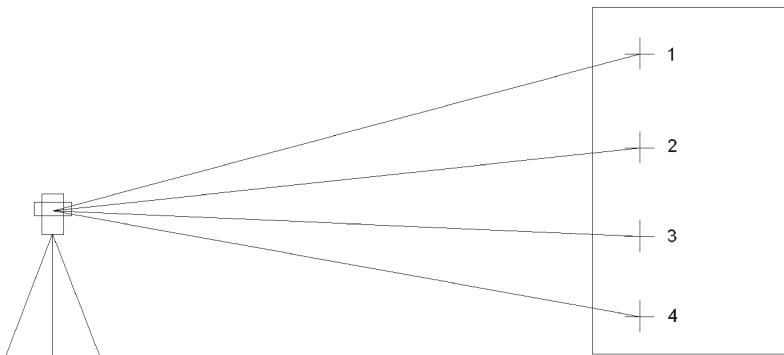
Broj stupnjeva slobode  $v$  te odgovarajuće fraktilne  $\chi_{1-\alpha}^2(v)$  i  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$  podložni su promjenama ako se analizira broj mjerenja različit od broja navedenog u ovom radu.

Fraktilne  $\chi_{1-\alpha}^2(v)$  i  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$ , uz odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$ , uzimaju se iz statističkih tablica (Pavlič 1970, Feil 1990).

## 4.2. Mjerenje vertikalnih kutova

### 4.2.1. Konfiguracija testnog područja

Teodolit treba postaviti na udaljenost od približno 50 m od visokog objekta. Na tom objektu treba odabrati (dobro definirane) ili postaviti četiri vizurne točke tako da vertikalni kut između prve i četvrte točke iznosi približno 30° (slika 2).



Slika 2. Konfiguracija testnog područja za mjerenje vertikalnih kutova.

#### 4.2.2. Mjerenja

Prije početka mjerenja teodolit treba ostaviti da se aklimatizira na temperaturu okoline. Za to je potrebno vrijeme od oko  $2 \text{ min}/^{\circ}\text{C}$  temperaturne razlike.

Treba obaviti  $m = 4$  serije mjerenja pod različitim, ali ne ekstremnim vremenskim uvjetima. Svaka serija mjerenja ( $i$ ) treba sadržavati  $n = 3$  ponavljanja (seta) ( $j$ ) za sve 4 vizurne točke ( $k$ ). Četiri vizurne točke ( $t = 4$ ) treba opažati u sva  $n = 3$  ponavljanja, pritom u prvom položaju teodolita od točke 1 do točke 4, a u drugom položaju od točke 4 do točke 1.

#### 4.2.3. Računanje

Unutar  $i$ -te serije mjerenja jedan vertikalni kut (najčešće zenitna daljina) označen je s  $x_{j,k,I}$  ili  $x_{j,k,II}$ , gdje  $j$  označava broj ponavljanja, a  $k$  broj vizurne točke. Indeksi I i II označavaju prvi i drugi položaj teodolita. Svaku od  $m = 4$  serije mjerenja treba izračunati zasebno.

Prvo se izračunaju srednje vrijednosti vertikalnih kutova iz dva položaja instrumenta:

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 360^{\circ}}{2} \left( = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 400 \text{ gon}}{2} \right) \quad (23)$$

$$j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 4.$$

Srednje vrijednosti vertikalnih kutova oslobođene su utjecaja pogreške indeksa vertikalnoga kruga  $\delta_i$ . Pogrešku indeksa vertikalnoga kruga  $\delta_i$  treba izračunati zasebno za svaku seriju mjerenja (preporučuju se samo za ispitivanje prema potpunom testu):

$$\delta_i = \frac{1}{n \cdot t} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} - 360^{\circ}}{2} \left( = \frac{1}{n \cdot t} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} - 400 \text{ gon}}{2} \right) \quad (24)$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i}{4}.$$

Srednje vrijednosti vertikalnih kutova od  $n = 3$  ponavljanja prema vizurnoj točki  $k$  su:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; \quad k = 1, \dots, 4. \quad (25)$$

Reziduali se računaju prema izrazu:

$$r_{j,k} = x'_{j,k} - \bar{x}_k; \quad j = 1, 2, 3; \quad k = 1, \dots, 4. \quad (26)$$

Za svako ponavljanje treba biti zadovoljen uvjet:

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k} = 0. \quad (27)$$

Suma kvadrata reziduala  $i$ -te serije mjerenja iznosi:

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k}^2. \quad (28)$$

Za  $n = 3$  ponavljanja mjerenja vertikalnih kutova prema četiri vizurne točke, u svakoj seriji mjerenja broj stupnjeva slobode je:

$$v_i = (3 - 1) \cdot 4 = 8. \quad (29)$$

Empirijsko standardno odstupanje  $s_i$  vertikalnoga kuta  $x'_{j,k}$  mjerenog u jednom ponavljanju, za  $i$ -tu seriju mjerenja računa se prema izrazu:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}}. \quad (30)$$

Broj stupnjeva slobode za sve  $m = 4$  serije mjerenja je:

$$v = 4 \cdot v_i = 32. \quad (31)$$

Empirijsko standardno odstupanje  $s$  vertikalnoga kuta mjerenog u jednom ponavljanju, za sve  $m = 4$  serije mjerenja računa se prema izrazu:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}}. \quad (32)$$

Konačno se može napisati:

$$s_{\text{ISO-THEO-V}} = s. \quad (33)$$

#### 4.2.4. Statistički testovi

Statistički testovi preporučuju se samo za ispitivanje prema potpunom testu.

Za interpretaciju rezultata u statističkim se testovima upotrebljava:

- empirijsko standardno odstupanje  $s$  vertikalnoga kuta mjenenog u jednom ponavljanju
- pogreška indeksa vertikalnoga kruga  $\delta$  i njezino empirijsko standardno odstupanje  $s_\delta$ ,

kako bi se dobili odgovori na sljedeća pitanja (tablica 8):

- Je li izračunato empirijsko standardno odstupanje  $s$  manje od odgovarajuće vrijednosti  $\sigma$  koja je deklarirana od proizvođača instrumenta?
- Pripadaju li dva empirijska standardna odstupanja  $s$  i  $\tilde{s}$  određena iz dvije različite sesije mjerenja istom uzorku, pod pretpostavkom da obje sesije imaju isti broj stupnjeva slobode  $v$ ?

Empirijska standardna odstupanja  $s$  i  $\tilde{s}$  mogu se dobiti:

- iz dvije sesije mjerenja istim instrumentom, ali s različitim opažaćima
- iz dvije sesije mjerenja istim instrumentom u različito vrijeme
- iz dvije sesije mjerenja različitim instrumentima, ali istog proizvođača i tipa.

- Je li pogreška indeksa vertikalnoga kruga  $\delta$  jednaka nuli?

Za testove koji slijede, razina je pouzdanosti  $1 - \alpha = 0,95$  i broj stupnjeva slobode  $v = 32$  (vidi izraz 31).

Tablica 8. *Statistički testovi.*

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

##### 4.2.4.1. Pitanje a)

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

$$s_{\text{ISO-THEO-V}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(v)}{v}} \quad (34)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-V}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(32)}{32}} \quad (35)$$

$$\chi_{0,95}^2(32) = 46,19 \quad (36)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-V}} \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46,19}{32}} \quad (37)$$

$$s_{\text{ISO-THEO-V}} \leq 1,20 \cdot \sigma \quad (38)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

#### 4.2.4.2. Pitanje b)

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

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v, v)} \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-V}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-V}}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v, v) \quad (39)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(32, 32)} \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-V}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-V}}^2} \leq F_{0,975}(32, 32) \quad (40)$$

$$F_{0,975}(32, 32) = 2,02 \quad (41)$$

$$0,49 \leq \frac{s_{\text{ISO-THEO-V}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-THEO-V}}^2} \leq 2,02 \quad (42)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

#### 4.2.4.3. Pitanje c)

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

$$|\delta| \leq s_{\delta} \cdot t_{1-\alpha/2}(v) \quad (43)$$

$$|\delta| \leq s_{\delta} \cdot t_{0,975}(32) \quad (44)$$

$$s_{\delta} = \frac{s}{\sqrt{12} \cdot \sqrt{4}} \quad (45)$$

$$t_{0,975}(32) = 2,04 \quad (46)$$

$$|\delta| \leq 2,04 \cdot \frac{s}{\sqrt{48}} \quad (47)$$

$$|\delta| \leq 0,29 \cdot s. \quad (48)$$

U suprotnome prihvaća se alternativna hipoteza.

Broj stupnjeva slobode  $v$  te odgovarajuće fraktile  $\chi_{1-\alpha}^2(v)$ ,  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$  i  $t_{1-\alpha/2}(v)$  podložni su promjenama ako se analizira broj mjerenja različit od broja navedenog u ovom radu.

Fraktile  $\chi_{1-\alpha}^2(v)$ ,  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$  i  $t_{1-\alpha/2}(v)$ , uz odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$ , uzimaju se iz statističkih tablica (Pavlič 1970, Feil 1990).

### 4.3. Ispitivanje preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom Leica T1800

Za automatizaciju ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-3:2004, izrađen je računalni program Teodolit\_ISO u programskom paketu Microsoft Office Excel 2007.

Ispitivanje preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova teodolitom Leica T1800 provedeno je prema potpunom testu, prema pravilima i uputama navedenim u normi HRN ISO 17123-3:2004. Prema tehničkoj specifikaciji teodolita Leica T1800 ima deklarirano standardno odstupanje mjerenja horizontalnog pravca i vertikalnoga kuta od 1" (Leica 1998).

U tablici 9 dan je prikaz rezultata ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca teodolitom T1800 za prvu sesiju mjerenja, koju je obavio opažać Đuro

Tablica 9. Ispitivanje preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca prema potpunom testu (prva sesija mjerenja).

#### Potpuni test za teodolite prema normi HRN ISO 17123-3:2004 - HZ pravci (prva sesija mjerenja)

Mjerenja obavio:	Đuro Barković	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica T1800, SNo: 413128
Datum mjerenja:	4.3.2010.	Vremenske prilike:	oblačno, 15°C

Girus j	Vizurna točka k	I položaj		II položaj		Sredina iz I i II		Reducirani pravac		Sredina iz tri girusa $\bar{x}_k$		Razlika $d_{j,k}$	Rezidual $r_{j,k}$	Kvadrat reziduala $r_{j,k}^2$ (") <sup>2</sup>
		$X_{I,j,k}$	$X_{II,j,k}$	$X_{I,j,k}$	$X_{II,j,k}$	$X'_{I,j,k}$	$X'_{II,j,k}$	$\bar{x}_k$	$\bar{x}_k$					
1	1	0,°00'04"	180,°00'11"	0,°00'07",5	0,°00'00",0	0,°00'00",0	0,°00'00",0	0,0	0,1	0,01				
	2	77,°34'02"	257,°34'08"	77,°34'05",0	77,°33'57",5	77,°33'57",3	-0,2	-0,1	0,01					
	3	173,°50'54"	353,°51'04"	173,°50'59",0	173,°50'51",5	173,°50'51",2	-0,3	-0,2	0,04					
	4	253,°14'54"	73,°15'03"	253,°14'58",5	253,°14'51",0	253,°14'50",8	-0,2	-0,1	0,01					
	5	305,°44'25"	125,°44'33"	305,°44'29",0	305,°44'21",5	305,°44'21",5	0,0	0,1	0,01					
	$\Sigma$	810,°24'19"	990,°24'59"	810,°24'39",0	810,°24'01",5	810,°24'00",8	-0,7	-0,2	0,08					
2	1	60,°18'03"	240,°18'11"	60,°18'07",0	0,°00'00",0		0,0	-0,1	0,01					
	2	137,°52'01"	317,°52'09"	137,°52'05",0	77,°33'58",0		-0,7	-0,8	0,64					
	3	234,°08'53"	54,°09'01"	234,°08'57",0	173,°50'50",0		1,2	1,1	1,21					
	4	313,°32'53"	133,°33'03"	313,°32'58",0	253,°14'51",0		-0,2	-0,3	0,09					
	5	6,°02'26"	186,°02'31"	6,°02'28",5	305,°44'21",5		0,0	-0,1	0,01					
	$\Sigma$	751,°54'16"	931,°54'55"	751,°54'35",5	810,°24'00",5		0,3	-0,2	1,96					
3	1	120,°36'04"	300,°36'11"	120,°36'07",5	0,°00'00",0		0,0	-0,1	0,01					
	2	198,°10'01"	18,°10'07"	198,°10'04",0	77,°33'56",5		0,8	0,7	0,49					
	3	294,°26'56"	114,°27'03"	294,°26'59",5	173,°50'52",0		-0,8	-0,9	0,81					
	4	13,°50'54"	193,°51'02"	13,°50'58",0	253,°14'50",5		0,3	0,2	0,04					
	5	66,°20'26"	246,°20'32"	66,°20'29",0	305,°44'21",5		0,0	-0,1	0,01					
	$\Sigma$	693,°24'21"	873,°24'55"	693,°24'38",0	810,°24'00",5		0,3	-0,2	1,36					

$$\Sigma r_1^2 = 3,40$$

Broj stupnjeva slobode za jednu seriju mjerenja

8

Empirijsko standardno odstupanje za 1. seriju mjerenja,  $s_1$

0",7

Empirijsko standardno odstupanje za 2. seriju mjerenja,  $s_2$

0",8

Empirijsko standardno odstupanje za 3. seriju mjerenja,  $s_3$

0",8

Empirijsko standardno odstupanje za 4. seriju mjerenja,  $s_4$

0",8

Broj stupnjeva slobode za sve četiri serije mjerenja

32

Empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{ISO-THEO-HZ}$

0",8

Tablica 10. *Ispitivanje preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca prema potpunom testu (druga sesija mjerenja).***Potpuni test za teodolite prema normi HRN ISO 17123-3:2004 - HZ pravci (druga sesija mjerenja)**

Mjerenja obavio:	Mladen Zrinjski	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica T1800, SNo: 413128
Datum mjerenja:	4.3.2010.	Vremenske prilike:	oblačno, 15°C

Girus j	Vizurna točka k	I položaj	II položaj	Sredina iz I i II	Reducirani pravac	Sredina iz tri girusa $\bar{X}_k$	Razlika	Rezidual	Kvadrat reziduala $r_{j,k}^2$ ( $''$ ) <sup>2</sup>
		$X_{j,k,I}$ ° ' "	$X_{j,k,II}$ ° ' "	$X_{j,k}$ ° ' "	$X'_{j,k}$ ° ' "	$\bar{X}_k$ ° ' "	$d_{j,k}$ "	$r_{j,k}$ "	
1	1	0,°00'02"	179,°59'58"	0,°00'00",0	0,°00'00",0	0,°00'00",0	0,0	-1,4	1,96
	2	75,°18'28"	255,°18'23"	75,°18'25",5	75,°18'25",5	75,°18'27",7	2,2	0,8	0,64
	3	176,°27'59"	356,°27'56"	176,°27'57",5	176,°27'57",5	176,°27'58",8	1,3	-0,1	0,01
	4	258,°33'13"	78,°33'07"	258,°33'10",0	258,°33'10",0	258,°33'11",8	1,8	0,4	0,16
	5	309,°15'21"	129,°15'16"	309,°15'18",5	309,°15'18",5	309,°15'20",3	1,8	0,4	0,16
	$\Sigma$	819,°35'03"	999,°34'40"	819,°34'51",5	819,°34'51",5	819,°34'58",6	7,1	0,1	2,93
2	1	60,°17'59"	240,°17'54"	60,°17'56",5	0,°00'00",0		0,0	0,8	0,64
	2	135,°36'29"	315,°36'22"	135,°36'25",5	75,°18'29",0		-1,3	-0,5	0,25
	3	236,°45'58"	56,°45'54"	236,°45'56",0	176,°27'59",5		-0,7	0,1	0,01
	4	318,°51'12"	138,°51'07"	318,°51'09",5	258,°33'13",0		-1,2	-0,4	0,16
	5	9,°33'20"	189,°33'15"	9,°33'17",5	309,°15'21",0		-0,7	0,1	0,01
	$\Sigma$	761,°04'58"	941,°04'32"	761,°04'45",0	819,°35'02",5		-3,9	0,1	1,07
3	1	120,°36'00"	300,°35'54"	120,°35'57",0	0,°00'00",0		0,0	0,7	0,49
	2	195,°54'29"	15,°54'22"	195,°54'25",5	75,°18'28",5		-0,8	-0,1	0,01
	3	297,°03'59"	117,°03'54"	297,°03'56",5	176,°27'59",5		-0,7	0,0	0,00
	4	19,°09'12"	199,°09'07"	19,°09'09",5	258,°33'12",5		-0,7	0,0	0,00
	5	69,°51'21"	249,°51'16"	69,°51'18",5	309,°15'21",5		-1,2	-0,5	0,25
	$\Sigma$	702,°35'01"	882,°34'33"	702,°34'47",0	819,°35'02",0		-3,4	0,1	0,75
									$\Sigma r_{j,k}^2 = 4,75$

Broj stupnjeva slobode za jednu seriju mjerenja	8
Empirijsko standardno odstupanje za 1. seriju mjerenja, $s_1$	0",8
Empirijsko standardno odstupanje za 2. seriju mjerenja, $s_2$	0",7
Empirijsko standardno odstupanje za 3. seriju mjerenja, $s_3$	0",6
Empirijsko standardno odstupanje za 4. seriju mjerenja, $s_4$	0",7
Broj stupnjeva slobode za sve četiri serije mjerenja	32
Empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja, $s_{ISO-THEO-HZ}$	0",7

Barković 4. ožujka 2010. U tablici 10 dan je prikaz rezultata ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca teodolitom T1800 za drugu sesiju mjerenja, koju je obavio opažatelj Mladen Zrinjski istoga dana na istome mjestu. U tablici 11 prikazani su rezultati statističkog testiranja za dva statistička testa.

U tablici 12 dan je prikaz rezultata ispitivanja preciznosti mjerenja vertikalnih kutova teodolitom T1800 za prvu sesiju mjerenja, koju je obavio opažatelj Đuro Barković 4. ožujka 2010. U tablici 13 dan je prikaz rezultata ispitivanja preciznosti mjerenja vertikalnih kutova teodolitom T1800 za drugu sesiju mjerenja, koju je



Tablica 11. *Rezultati statističkog testiranja mjerenja horizontalnih pravaca za dva statistička testa.***Statistički testovi****Test br. 1**

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja ( $s$ ) i odgovarajuće vrijednosti ( $\sigma$ ) deklarirane od proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

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

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

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

**Prva sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$

Vrijednost standardnog odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Druga sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$

Vrijednost standardnog odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Test br. 2**

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

Hipoteze:

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

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

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za prvu sesiju mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za drugu sesiju mjerenja,  $\bar{s}_{\text{ISO-THEO-HZ}}$

Granice obostranog testa:  $0,49 \leq s^2/\bar{s}^2 \leq 2,02$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja,  $s^2 / \bar{s}^2$

Uz 95% vjerojatnosti:

obavio opažać Mladen Zrinjski istoga dana na istome mjestu. U tablici 14 prikazani su rezultati statističkog testiranja za tri statistička testa.

Prije i nakon obavljenih mjerenja ispitani su uvjeti teodolita u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Rezultati ispitivanja pokazuju da je teodolit Leica T1800 (Ser. No. 413128) ispravan i zadovoljava točnost deklariranu od proizvođača, koja je potrebna za precizna geodetska mjerenja.

Tablica 12. *Ispitivanje preciznosti mjerenja vertikalnih kutova prema potpunom testu (prva sesija mjerenja).***Potpuni test za teodolite prema normi HRN ISO 17123-3:2004 - V kutovi (prva sesija mjerenja)**

Mjerenja obavio:	Duro Barković	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica T1800, SNo: 413128
Datum mjerenja:	4.3.2010.	Vremenske prilike:	oblačno, 15°C

Set j	Vizurna točka k	I položaj	II položaj	Pogreška indeksa	Sredina iz I i II	Srednja vrijednost	Rezidual	Kvadrat
		$x_{j,k,I}$	$x_{j,k,II}$	V kruga $\delta_{j,k}$	$\bar{x}_{j,k}$	$\bar{x}_k$	$r_{j,k}$	reziduala $r_{j,k}^2$
		o' "	o' "	"	o' "	o' "	"	( <sup>''</sup> ) <sup>2</sup>
1	1	75,°05'54"	284,°54'16"	5,0	75,°05'49",0	75,°05'48",3	-0,7	0,49
	2	84,°06'29"	275,°53'40"	4,5	84,°06'24",5	84,°06'24",7	0,2	0,04
	3	94,°48'27"	265,°11'41"	4,0	94,°48'23",0	94,°48'22",7	-0,3	0,09
	4	104,°48'21"	255,°11'44"	2,5	104,°48'18",5	104,°48'17",8	-0,7	0,49
	$\Sigma$	358,°49'11"	1081,°11'21"	16,0	358,°48'55",0	358,°48'53",5	-1,5	1,11
2	1	75,°05'52"	284,°54'17"	4,5	75,°05'47",5		0,8	0,64
	2	84,°06'28"	275,°53'39"	3,5	84,°06'24",5		0,2	0,04
	3	94,°48'25"	265,°11'40"	2,5	94,°48'22",5		0,2	0,04
	4	104,°48'18"	255,°11'44"	1,0	104,°48'17",0		-0,8	0,64
	$\Sigma$	358,°49'03"	1081,°11'20"	11,5	358,°48'51",5		2,0	1,36
3	1	75,°05'52"	284,°54'15"	3,5	75,°05'48",5		-0,2	0,04
	2	84,°06'28"	275,°53'38"	3,0	84,°06'25",0		-0,3	0,09
	3	94,°48'24"	265,°11'39"	1,5	94,°48'22",5		0,2	0,04
	4	104,°48'19"	255,°11'43"	1,0	104,°48'18",0		-0,2	0,04
	$\Sigma$	358,°49'03"	1081,°11'15"	9,0	358,°48'54",0		-0,5	0,21

$$\Sigma r_1^2 = 2,68$$

Broj stupnjeva slobode za jednu seriju mjerenja	8
Empirijsko standardno odstupanje za 1. seriju mjerenja, $s_1$	0",6
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 1. seriju mjerenja, $\delta_1$	3",04
Empirijsko standardno odstupanje za 2. seriju mjerenja, $s_2$	0",5
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 2. seriju mjerenja, $\delta_2$	2",28
Empirijsko standardno odstupanje za 3. seriju mjerenja, $s_3$	0",6
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 3. seriju mjerenja, $\delta_3$	3",31
Empirijsko standardno odstupanje za 4. seriju mjerenja, $s_4$	0",6
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 4. seriju mjerenja, $\delta_4$	3",85
Broj stupnjeva slobode za sve četiri serije mjerenja	32
Empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja, $s_{ISO-THEO-V}$	0",6
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za sve četiri serije mjerenja, $\delta$	3",12

Tablica 13. *Ispitivanje preciznosti mjerenja vertikalnih kutova prema potpunom testu (druga sesija mjerenja).***Potpuni test za teodolite prema normi HRN ISO 17123-3:2004 - V kutovi (druga sesija mjerenja)**

Mjerenja obavio:	Mladen Zrinjski	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica T1800, SNo: 413128
Datum mjerenja:	4.3.2010.	Vremenske prilike:	oblačno, 15°C

Set j	Vizurna točka k	I položaj	II položaj	Pogreška indeksa	Sredina iz I i II	Srednja vrijednost	Rezidual	Kvadrat
		$x_{j,k,I}$	$x_{j,k,II}$	V kruga $\delta_{j,k}$	$\bar{x}_{j,k}$	$\bar{X}_k$	$r_{j,k}$	reziduala $r_{j,k}^2$ ( $''$ ) <sup>2</sup>
1	1	75,°07'04"	284,°52'58"	1,0	75,°07'03",0	75,°07'03",3	0,3	0,09
	2	84,°07'23"	275,°52'41"	2,0	84,°07'21",0	84,°07'22",2	1,2	1,44
	3	94,°49'00"	265,°11'02"	1,0	94,°48'59",0	94,°48'59",8	0,8	0,64
	4	104,°48'34"	255,°11'29"	1,5	104,°48'32",5	104,°48'32",7	-0,2	0,04
	$\Sigma$	358,°52'01"	1081,°08'10"	5,5	358,°51'55",5	358,°51'58",0	2,5	2,21
2	1	75,°07'05"	284,°52'58"	1,5	75,°07'03",5		-0,2	0,04
	2	84,°07'26"	275,°52'41"	3,5	84,°07'22",5		-0,3	0,09
	3	94,°49'02"	265,°11'01"	1,5	94,°49'00",5		-0,7	0,49
	4	104,°48'34"	255,°11'28"	1,0	104,°48'33",0		-0,3	0,09
	$\Sigma$	358,°52'07"	1081,°08'08"	7,5	358,°51'59",5		-1,5	0,71
3	1	75,°07'06"	284,°52'59"	2,5	75,°07'03",5		-0,2	0,04
	2	84,°07'25"	275,°52'39"	2,0	84,°07'23",0		-0,8	0,64
	3	94,°49'00"	265,°11'00"	0,0	94,°48'60",0		-0,2	0,04
	4	104,°48'34"	255,°11'29"	1,5	104,°48'32",5		-0,2	0,04
	$\Sigma$	358,°52'05"	1081,°08'07"	6,0	358,°51'59",0		-1,0	0,76

$$\Sigma r_1^2 = 3,68$$

Broj stupnjeva slobode za jednu seriju mjerenja	8
Empirijsko standardno odstupanje za 1. seriju mjerenja, $s_1$	0",7
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 1. seriju mjerenja, $\delta_1$	1",58
Empirijsko standardno odstupanje za 2. seriju mjerenja, $s_2$	0",7
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 2. seriju mjerenja, $\delta_2$	2",04
Empirijsko standardno odstupanje za 3. seriju mjerenja, $s_3$	0",6
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 3. seriju mjerenja, $\delta_3$	1",33
Empirijsko standardno odstupanje za 4. seriju mjerenja, $s_4$	0",7
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za 4. seriju mjerenja, $\delta_4$	1",87
Broj stupnjeva slobode za sve četiri serije mjerenja	32
Empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja, $s_{ISO-THEO-V}$	0",7
Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za sve četiri serije mjerenja, $\delta$	1",71

Tablica 14. *Rezultati statističkog testiranja mjerenja vertikalnih kutova za tri statistička testa.***Statistički testovi****Test br. 1**

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja ( $s$ ) i odgovarajuće vrijednosti ( $\sigma$ ) deklarirane od proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

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

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

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

**Prva sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-V}}$

Vrijednost standardnog odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Druge sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-V}}$

Vrijednost standardnog odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Test br. 2**

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

Hipoteze:

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

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

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za prvu sesiju mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-V}}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za drugu sesiju mjerenja,  $\bar{s}_{\text{ISO-THEO-V}}$

Granice obostranog testa:  $0,49 \leq s^2/\bar{s}^2 \leq 2,02$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja,  $s^2 / \bar{s}^2$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Test br. 3**

Test pogreške indeksa vertikalnoga kruga.

Hipoteze:

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

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

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

**Prva sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-V}}$

Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za sve četiri serije mjerenja,  $\delta$

Uz 95% vjerojatnosti:

**Druge sesija mjerenja:**

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za sve četiri serije mjerenja,  $s_{\text{ISO-THEO-V}}$

Pogreška indeksa vertikalnoga kruga za sve četiri serije mjerenja,  $\delta$

Uz 95% vjerojatnosti:

## 5. Zaključak

Bez kvalitetnog ispitivanja i umjeravanja geodetskih mjerila, geodetska struka u Republici Hrvatskoj, u vremenu Europskih integracija, ne smije biti izuzeta iz konkurentnog tržišta u davanju svojih usluga. U tehničkom smislu, što se tiče norma za geodetska mjerila, normama se propisuju postupci ispitivanja, umjeravanja te iskazivanja mjernih rezultata s procjenom mjerne nesigurnosti.

Mjerni instrumenti i uređaji za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila specifični su, tj. na tržištu geodetskih mjerila ne postoje cjelovita rješenja za takva ispitivanja i umjeravanja, već se oni posebno razvijaju i stalno nadograđuju, osuvremenjuju i automatiziraju.

U Zakonu o mjeriteljstvu (NN 2003b, NN 2007) ističe se važnost održavanja državnih etalona, njihova usporedba s međunarodnim etalonima, te ispitivanja, ovjeravanja i mjeriteljski nadzor mjerila. Na osnovi tog zakona Hrvatski zavod za norme donio je dvije Naredbe (NN 2003a, NN 2005). U tim naredbama nabrajaju se sva mjerila, a među njima su i geodetski instrumenti i pribor, nad kojima se moraju provoditi periodična ispitivanja i umjeravanja radi utvrđivanja njihove ispravnosti te procjene mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja.

Mjerenje horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova ubraja se u najpreciznija geodetska mjerenja. Svako pojedino mjerenje teodolitom opterećeno je pogreškama iz velikog broja različitih izvora. Međutim, gotovo sve navedene pogreške mogu se ispitivanjem i rektifikacijom instrumenta, izborom najpovoljnijih vanjskih uvjeta rada, doba dana i godine te metodom mjerenja gotovo u potpunosti eliminirati. Stoga je potrebno prije i nakon obavljenih mjerenja ispitati uvjete teodolita i njegovu ispravnost. Kako bi se osigurala tražena preciznost i točnost mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova, potrebno je ispitati preciznost teodolita prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-3:2004, prije i nakon mjerenja. U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izrađen je program Teodolit\_ISO za ispitivanje preciznosti teodolita prema toj normi. Kao ulazne vrijednosti upišu se podaci mjerenja, a kao izlazne vrijednosti dobiju se ocjene točnosti ispitivanja preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova te podaci statističkog testiranja za odgovarajuće statističke testove.

Rezultati numeričke obrade izmjerenih vrijednosti pokazuju da je teodolit Leica T1800 (Ser. No. 413128) ispravan i zadovoljava točnost potrebnu za precizna mjerenja horizontalnih pravaca i vertikalnih kutova.

## Literatura

- Benčić, D., Solarić, N. (2008): Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Školska knjiga, Zagreb.
- Feil, L. (1990): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – drugi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frančula, N., Lapaine, M. (2008): Geodetsko-geoinformatički rječnik, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- HRN EN (2004): HRN EN 45020:2004 – Normizacija i srodne djelatnosti – Rječnik općih naziva (ISO/IEC Guide 2:1996; EN 45020:1998).

HRN ISO (2004): 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).

HZN (2007): Svijet norma, Hrvatski zavod za norme, Zagreb.

Leica (1998): Leica TPS – System 1000, User Manual, Leica Geosystems AG, Heerbrugg.

Narodne novine (2003a): Naredba o mjerilima nad kojima se obavlja mjeriteljski nadzor, 100.

Narodne novine (2003b): Zakon o mjeriteljstvu, 163.

Narodne novine (2005): Naredba o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila, 47.

Narodne novine (2007): Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o mjeriteljstvu, 111.

Pavlič, I. (1970): Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb.

URL 1: International Organization for Standardization – ISO,  
[http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue.htm](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm), (03.05.2010.).

URL 2: Hrvatski zavod za norme – HZN,  
<http://www.hzn.hr/HZN/Todb.nsf/wFramesetICS>, (03.05.2010.).

## Automation of Theodolite Precision Testing according to the Norm HRN ISO 17123-3:2004

*ABSTRACT. The paper offers an overview of international and Croatian norms necessary in testing, calibration and indication of measuring uncertainty for geodetic instruments. The Act on Measurement (NN 2003b, NN 2007) emphasizes the importance of maintaining the state standards, their comparison with international standards, as well as the testing, verification and monitoring of instruments. On the basis of the Act mentioned above there have been two Order (NN 2003a, NN 2005) passed by the Croatian Standards Institute. In these Orders there are all instruments listed, including geodetic instruments and equipment that have to be tested and calibrated periodically for the purpose of defining their correctness and estimating the measuring uncertainty of measurement results. All errors are given that influence the measurement of horizontal and vertical angles with theodolite. The procedure of testing the measurement precision of horizontal and vertical angles with theodolite according to the norm HRN ISO 17123-3:2004 (HRN ISO 2004) is described in details. For the purpose of testing the theodolite precision according to this norm there was the programme Teodolit\_ISO created.*

*Keywords: norms, calibration, automation, precision, theodolite, measuring uncertainty.*

*Prihvaćeno: 2011-05-05*