



## **LABORATORIJ ZA TEHNOLOŠKE MERITVE**

Fakulteta za strojništvo  
Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija

### **SOP 20**

# **KALIBRACIJA KOTNIKOV**

Datum izdaje	20. 10. 2022
Številka izdaje	E-4
Avtorja	prof. dr. Bojan Ačko
	Mitja Mlakar
Odobril	prof.dr. Bojan Ačko

## Evidenca sprememb

Sprememba	Spremenjeno	Odstranjeno	Dodano
št.	Poglavje	Poglavje	Poglavje
1	<u>1</u>		
2	<u>3</u>		
3	<u>12</u>		

## **Vsebina**

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>MERILNA OPREMA</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>SPREJEM</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>ČIŠČENJE</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>TEMPERATURANA STABILIZACIJA</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>KALIBRACIJA</b>	<b>4</b>
<b>6.1</b>	<b>VIZUALNI PREGLED</b>	<b>4</b>
<b>6.2</b>	<b>NAMESTITEV KOTNIKA V RAVNINI X-Y</b>	<b>5</b>
<b>6.3</b>	<b>Merjenje ODPSTOPKOV</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>OVREDNOTENJE MERILNIH REZULTATOV</b>	<b>5</b>
<b>8</b>	<b>DOKUMENTACIJA</b>	<b>6</b>
<b>9</b>	<b>ZAŠČITA</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	<b>NEGOTOVOST</b>	<b>6</b>
<b>10.1</b>	<b>Matematični model meritve</b>	<b>6</b>
<b>10.2</b>	<b>Standardne negotovosti ocen vhodnih veličin in skupna standardna negotovost meritve</b>	<b>6</b>
<b>10.3</b>	<b>Razširjena negotovost</b>	<b>8</b>
<b>11</b>	<b>SLEDLJIVOST</b>	<b>8</b>
<b>12</b>	<b>LITERATURA</b>	<b>8</b>

## 1 UVOD

Postopek opisuje korake za kalibracijo kotnika (granit ali drugi material) na koordinatnem merilnem stroju. **Največja dimenzija kotnika, ki ga umerjamo po tem postopku, je 1000 mm × 800 mm.**

### 1.1 Splošno

Kotnike (iz granita, jekla, keramike) uporabljamo za preverjanje pravokotnosti. V LTM uporabljamo granitni kotnik za preverjanje pravokotnosti osi koordinatnih merilnih naprav. Negotovost pravokotnosti kotnika je ena od komponent merilne negotovosti pri preskusu zmogljivosti KMN s končnimi merili.

## 2 MERILNA OPREMA

- Koordinatni merilni stroj ZEISS UMC-850

## 3 SPREJEM

Kotnik prevzamemo od uporabnika in ga vizualno pregledamo, če ima kakšne vidne poškodbe kot so raze ali okrušnine, ki lahko negativno vplivajo na meritev. **Ča prispe pošiljka po pošti, preverimo, če je vsebina paketa v skladu s priloženo specifikacijo oz. naročilnico. Prav tako zabeležimo tudi uporabnikovo ime, tip in serijsko številko kotnika (kotnikov). Upoštevati moramo navodila za sprejem in identifikacijo objektov kalibracije v poglavju 12.9 Poslovnika kakovosti.**

## 4 ČIŠČENJE

Kotnik očistimo s čistilom za čiščenje in vzdrževanje merilnih in kontrolnih plošč iz naravnega kamna. Lahko uporabljamo tudi 80 % etilni alkohol.

## 5 TEMPERATURANA STABILIZACIJA

Kotnik se stabilizira pri 20 °C ± 0,5 °C 24 ur.

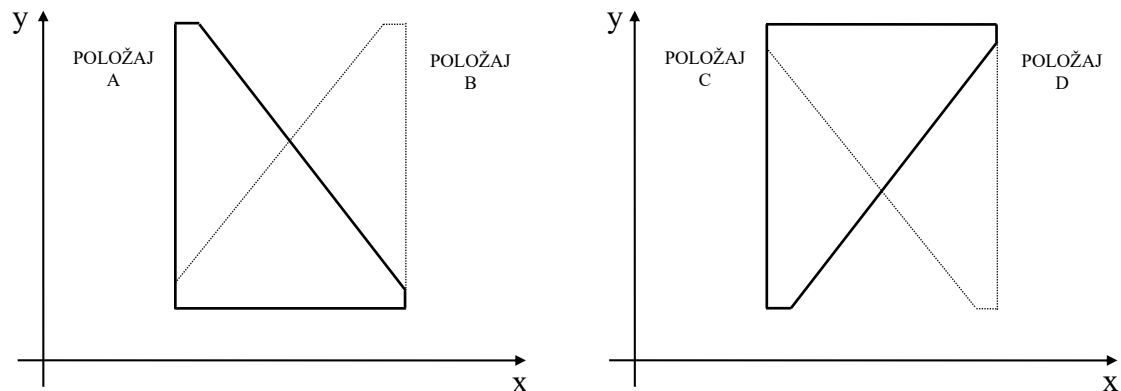
## 6 KALIBRACIJA

### 6.1 VIZUALNI PREGLED

Kotnik pregledamo, če obstajajo kakšne praske ali poškodbe, ki bi lahko ovirale kalibracijo.

## 6.2 NAMESTITEV KOTNIKA V RAVNINI X-Y

Kotnik pritrdimo na vpenjalno ploščo dimenzije 200 mm × 250 mm × 60 mm (ali v vrtljivo mizo) v ravnini X-Y koordinatnega merilnega stroja tako, da je krajša stranica vzporedna z osjo X. Zaradi eliminacije odstopanja pravokotnosti med osmi x in y KMN ter zaradi rotacijskih odstopanj xRz merimo kotnik v štirih pozicijah, ki so prikazane na sliki 1.



Slika 1: Merilne pozicije kotnika

## 6.3 Merjenje odstopanja kotov

V vsaki poziciji (A, B, C, D) uporabimo naslednji postopek:

Kotnik pred meritvijo mehansko izravnamo po daljši stranici (dovolimo odstopanja do 0,01 mm). Po tem izvedemo programsko izravnavo tako, da kotnik prostorsko izravnamo po zgornji ravnini, ter zatem še ravninsko po liniji v osi x (linijo skeniramo). Ničelno točko postavimo v sečišče pravokotnih krakov kotnika in v zgornjo ravnino. Zatem izmerimo linijo v osi y po skenirnem postopku (linija naj bo v ravnini, ki je simetrična glede na zgornjo in spodnjo ravnino kotnika). Rezultat meritve v vsaki poziciji mora biti notranji kot med stranicama kotnika ( $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$ ,  $\alpha_C$ ,  $\alpha_D$ ).

## 7 OVREDNOTENJE MERILNIH REZULTATOV

Končni rezultat meritve dobimo tako, da izračunamo aritmetično sredino vseh štirih izmerjenih kotov:

$$\alpha_{\text{kotnika}} = \frac{\alpha_A + \alpha_B + \alpha_C + \alpha_D}{4} \quad (1)$$

V kalibracijski certifikat vnesemo odstopanje kota od 90°:

$$\Delta\alpha = \alpha_{\text{kotnika}} - 90^\circ \quad (2)$$

 LABORATORIJ ZA TEHNOLOŠKE MERITVE	<b>SOP 20 - KALIBRACIJA GRANITNEGA  KOTNIKA</b>	Stran: 6 od 8
		Izdaja št. E-4

## 8 DOKUMENTACIJA

Zapise o kalibraciji (originalni merilni protokoli ZEISS CALYPSO) shranimo v ustrezno podmapo (SOP 20/Zapisi, ustrezna letnica) mape »3-Zapisi in certifikati« v skladu z navodili v točki 6.2. PK. Drugo stran kalibracijskega certifikata kreiramo iz predloge »Predloga\_2stran-SOP20.dotx«, ki se nahaja v mapi »4-Sistem kakovosti/SOP/SOP 20-Z:\4-Sistem kakovosti\SOP\SOP 20-Granitni + jekleni kotniki«. Kalibracijski certifikat kreiramo in arhiviramo v skladu z navodili v točki 6.1. PK.

## 9 ZAŠČITA

Po meritvi kotnik očistimo in ga shranimo v ustrezno embalažo (če obstaja).

## 10 NEGOTOVOST

### 10.1 Matematični model meritve

Odstopek  $\Delta\alpha_{\text{kotnika}}$  (rezultat kalibracije) je podan z enačbo:

$$\Delta\alpha_{\text{kotnika}} = \frac{(\alpha_{p2} + \alpha_{p1})_A + (\alpha_{p2} + \alpha_{p1})_B + (\alpha_{p2} + \alpha_{p1})_C + (\alpha_{p2} + \alpha_{p1})_D}{4} - e_n \quad (2)$$

kjer so:

$\alpha_{p2}$  - izmerjen kot daljše stranice kotnika glede na y os (merilni rezultat)

$\alpha_{p1}$  - izmerjen kot krajšega kraka kotnika glede na x os

$e_n$  - naključni pogrešek (predpostavimo vrednost 0)

Indeksi A, B, C in D povedo, v kateri poziciji smo merili (glej sliko 1).

### 10.2 Standardne negotovosti ocen vhodnih veličin in skupna standardna negotovost meritve

Enačba (4.1) v [1] ima v našem primeru naslednjo obliko:

$$u^2(\alpha_{\text{kotnika}}) = c_{\alpha p2A}^2 u^2(\alpha_{p2A}) + c_{\alpha p1A}^2 u^2(\alpha_{p1A}) + c_{\alpha p2B}^2 u^2(\alpha_{p2B}) + c_{\alpha p1B}^2 u^2(\alpha_{p1B}) + c_{\alpha p2C}^2 u^2(\alpha_{p2C}) + c_{\alpha p1C}^2 u^2(\alpha_{p1C}) + c_{\alpha p2D}^2 u^2(\alpha_{p2D}) + c_{\alpha p1D}^2 u^2(\alpha_{p1D}) + u^2(e_n) \quad (3)$$

kjer so  $c_i$  parcialni odvodi funkcije (2):

$$c_{\alpha p2A} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p2A}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p1A} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p1A}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p2B} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p2B}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p1B} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p1B}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p2C} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p2C}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p1C} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p1C}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p2D} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p2D}} = 0,25$$

$$c_{\alpha p1D} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_{p1D}} = 0,25$$

$$c_{en} = \frac{\partial f}{\partial e_n} = 1$$

Standardne negotovosti vhodnih veličin izračunamo (ocenimo) na osnovi eksperimentalnih meritev v LTM na KMN ZEISS UMC 850 in statističnega vrednotenja rezultatov:

**a) negotovost merjenja kota premice  $p_2$   $u(\alpha_{p2A}) = u(\alpha_{p2B}) = u(\alpha_{p2C}) = u(\alpha_{p2D})$**

Negotovost je sestavljena iz negotovosti tipanja in izračuna premice ter iz negotovosti pravokotnosti osi y glede na os x (zaradi odstopkov vodila x je pravokotnost v različnih pozicijah vzdolž osi x različna).

- Vrednost standardne negotovosti tipanja in izračuna premice dobimo kot standardni odmik desetih meritev na eni premici v istem položaju:  $u_t = s = 0,15''$
- Vrednost standardne negotovosti pravokotnosti osi dobimo kot standardni odmik meritev na istem kotniku v različnih položajih glede na os x:  $u_p = s = 0,26''$
- Skupna negotovost merjenja premice je:

$$u_{p2A} = u_{p2B} = u_{p2C} = u_{p2D} = 0,3''$$

**b) negotovost merjenja kota premice  $p_1$   $u(\alpha_{p1A}) = u(\alpha_{p1B}) = u(\alpha_{p1C}) = u(\alpha_{p1D})$**

Standardna negotovost merjenja premice  $p_1$  je enaka standardni negotovosti merjenja premice  $p_2$ :

$$u_{p1A} = u_{p1B} = u_{p1C} = u_{p1D} = 0,3''$$

**c) negotovost zaradi naključnih pogreškov  $u(e_n)$**

Naključne pogreške smo ovrednotili na osnovi razpona rezultatov pri merjenju kotnika v različnih pozicijah v merilnem volumnu. Največji razpon izmerjenih kotov je bil 0,55 ". Standardna negotovost ob predpostavljeni pravokotni porazdelitvi je:

$$u(e_n) = \frac{0,55''}{\sqrt{3}} = 0,32''$$

Tabela 1: Standardne negotovosti ocen vhodnih veličin in skupna standardna negotovost

Veličina $X_i$	Ocenjena vrednost	Standardna negotovost	Porazdelitev	Koeficient občutljivosti	Prispevek negotovosti
$\alpha_{p2A}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p1A}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p2B}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p1B}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p2C}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p1C}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p2D}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$\alpha_{p1D}$	0,5''	0,30''	normalna	0,25	0,075''
$e_n$	0,5''	0,32''	pravokotna	1	0,32''
				Skupno:	0,38''

 LABORATORIJ ZA TEHNOLOŠKE MERITVE	<b>SOP 20 - KALIBRACIJA GRANITNEGA  KOTNIKA</b>	Stran: 8 od 8
		Izdaja št. E-4

Skupno standardno negotovost lahko izrazimo z enačbo (izračunano iz tabele 1):  
 $u = 0,38''$

### 10.3 Razširjena negotovost

Za izračun razširjene negotovosti uporabimo faktor  $k = 2$  [1]. Zaokrožimo navzgor na:

$U = 0,9''$
-------------

## 11 SLEDLJIVOST

Merilna oprema, uporabljena za kalibracijo:

- KMN UMC 850 - kalibrirana v LTM

## 12 LITERATURA

- [1] EA-4/02 M:2022: Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration
- [2] SIST EN ISO 10360-2:2011, Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions