



# Česká metrologická společnost

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

**Kalibrační postup**

**KP 1.1.4/01/13**

**PŘÍSTROJ PRO MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI**

**Praha**

Říjen 2013

**Revize** tohoto vzorového kalibračního postupu byla zpracována a financována ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

**Číslo úkolu:** VII/2/13

**Zadavatel:** Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

**Řešitel:** Česká metrologická společnost

**Zpracoval:** Ing. Vladislav Batěk

© ÚNMZ, ČMS

**Neprodejně:** Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

## 1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci přístrojů pro měření kruhovitosti s otočným vřetenem nebo otočným stolem (kruhoměrů).

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká rekalibrace během používání kruhoměru. Může být součástí prvotní kalibrace prováděné při instalaci kruhoměru v dané organizaci.

Následující činnosti jsou základním postupem pro stanovení přesnosti těchto přístrojů. Další upřesňující požadavky stanoví předpis pro obsluhu přístroje dodaný výrobcem.

## 2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN ISO 4291	Metody hodnocení úchylek kruhovitosti. Měření změn poloměru	[1]
ČSN EN ISO 12181-1	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kruhovitost - Část 1: Slovník a parametry kruhovitosti	[2]
ČSN EN ISO 12181-2	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kruhovitost - Část 2: Operátory specifikace	[3]
ČSN EN ISO 12180-1	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Válcovitost - Část 1: Slovník a parametry válcovitosti	[4]
ČSN EN ISO 12180-2	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Válcovitost - Část 2: Operátory specifikace	[5]
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[6]
ČSN EN ISO 14253-2	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku	[7]
ČSN EN ISO 14253-2	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku	[8]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[9]
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[10]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu jakosti – Požadavky	[11]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[12]

## 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci kruhoměrů a jejich příslušenství je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem a souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

#### 4 Názvosloví, definice

Přístroj pro měření kruhovitosti s otočným vřetenem nebo otočným stolem (kruhoměr) je přesný měřicí přístroj pro měření úchylek kruhovitosti, válcovitosti, souososti, kolmosti, rovnoběžnosti a přímosti.

Celková chyba přístroje pro měření kruhovitosti je rozdíl mezi hodnotou parametru indikovanou, zobrazenou nebo zaznamenanou přístrojem a skutečnou hodnotou parametru.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 010115 a v publikacích věnovaných obecné metrologii.

#### 5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Etalon pro kontrolu radiální přesnosti (skleněná polokoule)
- etalon pro kontrolu citlivosti snímacího čidla,
- etalon přímosti pro kontrolu axiální přesnosti (kontrolní válec, kontrolní úhelník nebo jiné vhodné měřidlo),
- sada tisícinových koncových měrek minimálně 3. sekundárního řádu,
- planparalelní skleněná destička,
- tělískový teploměr s měřicím rozsahem min. 16 °C až 26 °C s hodnotou dílku stupnice min 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů,
- vlhkoměr,
- čisticí prostředky (čistý lékařský benzín, miska, vlasový štětec, utěrka, jelenice)
- dokumentace výrobce k přístroji.

*Pozn.:* Všechna použitá měřidla a měřicí prostředky musí být navázány na vhodný etalon a mít platnou kalibraci.

#### 6 Obecné podmínky kalibrace

- Teplota prostředí:  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$ ,
- teplota v místě měření:  $(20 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$ ,
- změna teploty vzduchu: max. 1 °C/h,
- relativní vlhkost vzduchu: max. 80 % RH, nekorozní prostředí.

Teplota kalibrovaného přístroje a měřidel použitých při jeho kalibraci se měří před zahájením kalibrace a po jejím skončení, popř. se kontroluje průběžně tělískovým teploměrem.

Relativní vlhkost vzduchu se měří před zahájením kalibrace.

Před vlastní kalibrací mají být příslušné etalony umístěny min. 1 hodinu v blízkosti kalibrovaného přístroje.

## 7 Rozsah kalibrace

Předběžná kontrola.

- Vnější prohlídka a příprava ke kalibraci (čl. 8.1)
- Předběžná kontrola a úprava měřidla (čl. 8.2)

Stanovení přesnosti

- stanovení radiální přesnosti (čl. 9.1)
- kontrola citlivosti snímače (čl. 9.2)
- kontrola axiální přesnosti (čl. 9.3)

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Kontrola dodávky.

Překontroluje se, zda je měřicí přístroj označen evidenčním číslem pro metrologickou evidenci a dalšími potřebnými údaji (označení výrobce apod.) a zda údaje na měřicím přístroji souhlasí s údaji na kalibrační kartě.

### 8.2 Čištění a předběžná kontrola

Zjistí se, zda měřicí přístroj nemá zjevné viditelné vady a zda všechny jeho funkce vyhovují požadavkům výrobce. Přístroj se očistí, otočné vřeteno naolejuje, přezkouší se funkce všech ovládacích prvků přístroje a očistí se etalony, které se budou používat ke kalibraci. Při čištění skleněného etalonu se nečistoty odstraňují plátnem bez textilního prachu nebo vatou, popř. vhodným čisticím prostředkem. Je nutno vyhnout se lokálnímu tření, třecí pohyb musí být kruhový, bez silného otírání.

## 9 Postup kalibrace

### 9.1 Stanovení radiální přesnosti vřetena

a) Připraví se elektronické zařízení měřicího přístroje následujícím způsobem

- přepínač délky ramene doteku: 64 mm (2,5 palce) „standard“,
- přepínač profilu: „normal“,
- zvětšení: 100x,
- filtr: 1 až 500 vln na otáčku (u.p.r.),
- posuv pera: střední poloha,
- souhlasné zařízení: na místě.

Funkční vypínač referenčního počítače se ponechá v poloze „normal“. Použije se rameno hrotu 63,5 mm (2,5 palce). Regulace předpětí snímače se nastaví na „S“ „EXT“.

b) Skleněný etalon se centrálně umístí na pracovní stůl přístroje s červenou tečkou v poloze „6 hodin“.

c) Výšková a radiální poloha snímače se nastaví tak, aby se dotek dostal do kontaktu a byl kolmý k povrchu etalonu ve výšce 6,35 mm (0,25 palce) nad kovovým uchycením.

d) Vystředění se zpřesní jako pro měření kruhovitosti, až do největšího zvětšení.

e) Do zapisovače se vloží registrační papír, správně se nasměruje a provede se záznam při zvětšení 20 000x. Papír se vyjme a označí se na něm poloha, která odpovídá červené tečce na etalonu.

f) Naměřená radiální chyba, která zahrnuje také chybu etalonu, nesmí přesáhnout hodnotu uvedenou ve specifikaci přístroje.

g) Nepravidelnosti grafu mohou být výsledkem:

- 1) účinků teploty, včetně proudění vzduchu kolem etalonu,
- 2) poškození vřetena,
- 3) jiných nedostatků, např. nečistotou, poškrábáním nebo opotřebením etalonu.

Nejdříve se odstraní nedostatky uvedené v bodě 1), další dva body se překontrolují tímto způsobem:

h) Dotek se odsune od skleněného etalonu a etalon se otočí tak, aby červená tečka byla v poloze „3 hodiny“.

i) Opakují se body c), d), e) a porovnají se oba grafy a certifikát etalonu.

j) Jestliže se nedostatky objevily znovu v pootočené poloze, je etalon vadný.

h) Jestliže dojde k nedostatkům v obou grafech ve stejném místě vzhledem k vřetenu přístroje, je závada pravděpodobně ve vřetenu.

Zkoušky je nutné provádět s etalonem ve více než jednom směru, aby se vyhnulo možnosti dokonalé stopy, vyplývající z chyby etalonu, která přesně ruší chybu ve vřetenu. Zkoušky výše popsané jsou minimem, které splní tento požadavek.

Tímto způsobem lze vyloučit možnost radiální chyby ve vřetenu, která se maskuje přesně opačnou elipsovitostí v etalonu.

## 9.2 Kontrola citlivosti snímače

Při kontrole citlivosti snímače se zjistí, zda je posunutí doteku konvertováno snímačem na elektrický signál správné hodnoty. K dosažení známé výchylky snímače se používá etalon pro kontrolu citlivosti s tangenciální ploškou.

a) Připraví se elektronické zařízení měřicího přístroje stejným způsobem jako při stanovení radiální přesnosti vřetene (viz bod a) čl. 9.1).

b) Etalon pro kontrolu citlivosti se umístí ve středu pracovního stolu s červenou tečkou orientovanou dopředu. Tečka značí polohu kalibrované plošky.

c) Etalon se vystředí a vyrovná běžným způsobem až do zvětšení 2 000x a provede se

grafický záznam. Zaznamenává úchylka na papíru, když dotek přejde přes kalibrovanou plošku, popřípadě údaj na vyhodnocovacím počítači, musí odpovídat hodnotě vyznačené na etalonu, popř. čtené na vyhodnocovacím počítači.

d) Jestliže chyba přesáhne 5 %, nastaví se potenciometr S na souhlasném zařízení (otáčení ve směru chodu hodinových ručiček výchylku pera zvětšuje).

Kontrola citlivosti snímače se může dále provádět statickou kontrolou pomocí koncových měrek odstupňovaných po tisícinách milimetru a nasátých na planparalelní destičku.

### 9.3 Kontrola axiální přesnosti vřetena

a) Připraví se elektronické zařízení měřicího přístroje následujícím způsobem:

- přepínač délky ramene doteku: 127 mm (5 palců),
- přepínač profilu: „normal“,
- zvětšení: 100x,
- filtr: 1 až 500 vln na otáčku (u.p.r.),
- posuv pera: střední poloha,
- souhlasné zařízení: na místě.

Funkční vypínač referenčního počítače se nechá v poloze „normal“. Použije se rameno hrotu 127 mm. Regulace předpětí na snímacím čidle se nastaví na „S“ „EXT“.

b) Etalon přímosti se umístí do středu pracovního stolu a průměrná plocha se vyrovná do osy vřetene, např. vystředěním dvou radiálních řezů vzdálených od sebe 100 mm.

c) Vyrovnání se zpřesní až do největšího zvětšení.

d) Výšková a radiální poloha snímače pro měření se nastaví tak, aby se dotek pohyboval po průměrné ploše etalonu v délce 100 mm ve směru od pracovního stolu nahoru. Měří se alespoň ve dvou místech vzdálených od sebe o 90°.

e) Do zapisovače se vloží registrační papír a provede se záznam při zvětšení 20 000x. Během záznamu se na papíru vyznačí hranice 100 mm měřené vzdálenosti. Papír se vyjme a záznam se vyhodnotí podle specifikace výrobce přístroje pro zjišťovaný druh axiální přesnosti. Při zjišťování axiální přesnosti vřetena například při motorickém vertikálním pohybu vřetena jsou úchylky doteku obsaženy ve válci o stanoveném průměru.

f) Naměřená axiální chyba nesmí přesáhnout hodnotu uvedenou ve specifikaci přístroje.

Celková přesnost systému (od doteku k zapisovači) musí odpovídat údajům výrobce: Každé radiální vychýlení doteku se zaznamenává při zvoleném zvětšení s chybou nepřesahující  $\pm 3\%$  a vychýlení  $\pm 1\%$  plné výchylky stupnice při použití ramene dotyku o standardní délce.

Poznámka:

Metodika stanovení přesnosti, uvedená v čl. 9, je zpracovaná pro přístroj Talyron. Při kalibraci jiného typu přístroje je třeba metodiku přizpůsobit podle návodu k obsluze přístroje, nebo jiné firemní literatury.

## 10 Vyhodnocení kalibrace

### 10.1 Postup vyhodnocení

Výsledky měření se zapisují do příslušného formuláře (Záznamu o kalibraci) a porovnávají s mezními dovolenými hodnotami (tolerancemi) stanovenými výrobcem, nebo kalibračním postupem.

### 10.2 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný přístroj nevyhoví požadavkům, uvedeným v čl. 9.1, může vedoucí kalibrační laboratoře dát návrh na opravu u výrobce, popř. u starších přístrojů přeřazení přístroje do nižší třídy přesnosti s následnou úpravou deklarované nejistoty měření.

## 11 Kalibrační list

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat minimálně následující údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, resp. zákazníka,
- d) název a identifikační číslo kalibrovaného měřidla, popřípadě jméno výrobce,
- e) datum přijetí kruhoměru ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.4/01/13),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- j) výsledky měření a s nimi spjatou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku a odkaz na akreditaci. Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti. I v tomto případě však musí kalibrační laboratoř zpracovat záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovat jej.



### 11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

### 11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem. Kalibrační lhůtu uvádí laboratoř jen na kalibračních listech nebo štítcích pro vlastní organizaci, kdy je s ní seznámena interním předpisem. Pro externí zákazníky může laboratoř kalibrační lhůtu jen doporučit na základě znalosti způsobu použití měřidla, nebo pokud je lhůta kalibrace uvedena zákazníkem v například v kupní smlouvě.

## 12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

## 13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

### 13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

### 13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

### 13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

## 14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

### 14.1 Výchozí údaje:

Použitá měřidla:

- Etalon kruhovitosti (skleněná polokoule),
- etalon radiálního zvětšení (umělá nekruhovitost),
- etalon přímosti (kontrolní válec),
- teploměr.

Související normy a dokumenty:

- ČSN EN ISO 14253 - 2
- EA 4/02

Referenční podmínky:

- teplota v laboratoři ( $20 \pm 2$ ) °C
- teplota v místě měření ( $20 \pm 1$ ) °C

Naměřené hodnoty:

- Měření na etalonu kruhovitosti – v mezích  $0,1 \mu\text{m}$
- Měření na etalonu radiálního zvětšení – v mezích 5 % jmenovité hodnoty etalonu
- Měření na etalonu přímosti – v mezích  $2 \mu\text{m/m}$

### 14.2 Model měření

Stanoví se nejistota při měření válcovitosti jako kombinované úchytky kruhovitosti a přímosti. Budeme vycházet z měření na kalibračních etalonech. Jde tedy o stanovení nejlepší měřicí schopnosti (BMC) přístroje pro měření válcovitosti. Předpokládá se, že není možné nalézt a vyloučit systematické chyby, proto se výsledky dílčích měření zahrnují do nejistot.

### 14.3 Stanovení rozšířené nejistoty:

Stanovení standardní nejistoty typu A  $u_A$ :

- Nejistota měření na etalonu kruhovitosti –  $u_A = 0,1 \mu\text{m}$
- Nejistota měření na etalonu radiálního zvětšení –  $u_A = 5\%$  jmen. hodnoty etalonu
- Nejistota měření na etalonu přímosti –  $u_A = 2 \mu\text{m/m}$

Protože je v praxi obtížné odečítání takto malých naměřených hodnot, nahrazuje se

výpočet ze směrodatné odchylky intervalovým odhadem, který je zahrnut do tabulky nejistot.

Stanovení standardní nejistoty typu B  $u_B$  :

Předpokládáme, že na měření válcovitosti má vliv radiální přesnost vřetene ( $R$ ), zvětšení snímače ( $M$ ) a přímost axiálního posuvu ( $S$ ). Potom má výchozí rovnice pro stanovení válcovitosti ( $C$ ) tvar:

$$C = R + M + S$$

Kde každý z členů rovnice má více složek, jak je uvedeno v tabulce pro výpočet nejistot: (Korelaci mezi jednotlivými zdroji nejistot nepředpokládáme, a proto ji zanedbáváme).

Tabulka standardních nejistot

Zdroj nejistoty	Meze nejistot	Typ rozdělení	Standardní nejistota	Koeficient	Příspěvek k nejistotě	
Etalon kruhovitosti (sklen. polokoule) z kalibr. listu $U \pm 0,05 \mu\text{m}$ ;	$R_n$	0,05 $\mu\text{m}$	norm. $k = 2$	0,025 $\mu\text{m}$	1	0,025 $\mu\text{m}$
Měření na etalonu kruhovitosti (opak. měření v mezích max. 0,1 $\mu\text{m}$ )	$R_x$	0,1 $\mu\text{m}$	rovn. $\sqrt{3}$	0,058 $\mu\text{m}$	1	0,058 $\mu\text{m}$
Etalon radiálního zvětšení z kal. listu $U = \pm 4 \%$ měř. hodnoty	$M_n$	0,04	norm. $k = 2$	0,020	V	0,020 V
Měření na etalonu radiálního zvětšení největší dovol. chyba 5 % měř. hodn.	$M_x$	0,05	rovn. $\sqrt{3}$	0,029	V	0,029 V
Přepínač zesílení odhad 2 % měřené hodnoty	$M_s$	0,02	rovn. $\sqrt{3}$	0,012	V	0,012 V
Etalon přímosti z kal. listu $U = 1 \mu\text{m/m}$	$S_n$	1,0	norm. $k = 2$	0,5	L	0,5 L
Měření na etalonu přímosti opakovatelnost v mezích 2 $\mu\text{m/m}$	$S_x$	2,0	rovnom. $\sqrt{3}$	1,2	1	1,2 L
Nejistota měření válcovitosti	C	Kombinovaná standardní nejistota $u$ pro $k = 1$			0,063 + 0,037 V + 1,3L	

Stanovení kombinované standardní nejistoty:

$$u = (0,063 + 0,037 V + 1,3L) \mu\text{m}$$

Stanovení rozšířené nejistoty:

$$U = k_U \cdot 2 = (0,13 + 0,08 V + 2,6 L) \mu\text{m}$$

kde: V – velikost měřené úchylky ( $\mu\text{m}$ )

L – délka měřeného válce (m)

$k_U$  – koeficient rozšíření za předpokladu normálního rozdělení  $k_U = 2$

*Poznámka:* Všechny složky nejistoty mají být obecně sečteny kvadraticky. To lze někdy pro zjednodušení zanedbat za cenu mírného nadsazení výsledného odhadu.

## 15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17 025 čl. 5.4. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

### Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl upraven s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody.

### Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).