



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 1.1.3/02/13

**SOUŘADNICOVÝ MĚŘICÍ STROJ (CMM)
PORTÁLOVÝ**

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. Luboš Zachoval, Ing. František Kopřiva

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: 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 souřadnicových měřicích strojů (dále jen CMM) portálových (mostových). Jedná se o CMM s dotykovou sondou (taktilní) - ovládané ručně, motoricky i CNC.

Měřicí rozsah těchto CMM se předpokládá v jednotlivých osách (x , y , z) do 1000 mm, popřípadě u jedné osy do 2000 mm.

Tato metodika předpokládá používání pouze základních typů etalonů – koncových měrek, měrek s koulemi, kontrolního kroužku a kontrolní koule. Využití dalších typů zkušebních těles a kalibračních zařízení (např. stupňové měrky, tyče s koulemi - ballbar, desky s koulemi, laserinterferometr) bude popsáno v některém dalším kalibračním postupu.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká vstupní přejímky, tzn. vstupní kontroly, resp. prvotní kalibrace (dále PK), i rekalibrace během používání CMM (dále RK).

Termín "zkouška" ve smyslu normy ČSN EN ISO 10360 se zde nahrazuje termínem "kalibrace".

2 Související normy a metrologické předpisy

- ČSN EN ISO 10360-1 opr.1 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – [1]
Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových
měřicích strojů (CMM) – Část 1: Slovník
- ČSN EN ISO 10360-2 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - [2]
Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových
měřicích strojů (CMM) - Část 2: Souřadnicové měřicí
stroje používané pro měření lineárních rozměrů
- ČSN EN ISO 10360-2 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Část 2: [3]
(2002) Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření
lineárních rozměrů (neplatná)
- VDI/VDE 2617 Blatt 2.1: Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten - [4]
2005 Kenngrößen und deren Prüfung - Leitfaden zur
Anwendung von DIN EN ISO 10360 - 2 zur Prüfung
von Längenmaßen
- ČSN EN ISO/IEC 17025 Posuzování shody - Všeobecné požadavky na [5]
způsobnost zkušebních a kalibračních laboratoří

| | |
|-----------------------------|--|
| ČSN EN ISO 14253-1: 2000 | Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - [6] Zkoušení obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi |
| ČSN EN ISO 14253-2: 2011 | Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Kontrola [7] obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku |
| ČSN EN ISO 14253-3: 2011 | Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Kontrola [8] obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 3: Směrnice k dosažení souhlasu na základě stanovené nejistoty měření |
| TNI 01 0115 | Mezinárodní metrologický slovník – Základní a [9] všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) |
| EA 4/02 | Vyjadřování nejistot měření při kalibracích [10] |
| VDA 5 (2011) | Management kvality v automobilovém průmyslu - [11] Vhodnost kontrolních procesů |

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Příslušní pracovníci se seznámí s tímto kalibračním postupem, normami a předpisy uvedenými v článku 2 a s návody na obsluhu měřicích přístrojů a etalonů používaných při kalibraci CMM. Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

Rovněž je potřebné, aby při kalibraci CMM spolupracoval pracovník obsluhy příslušného CMM, který by měl připravit CMM ke kalibraci, provádět vlastní měření, popřípadě vytvářet měřicí programy u CNC řízených CMM.

4 Názvosloví, definice

Pro účely této části kalibračního postupu platí tyto definice:

Souřadnicový měřicí stroj (CMM) - Měřicí zařízení s pevnou vztažnou základnou s nejméně třemi lineárními nebo úhlovými posunutími vykonávanými měřicím strojem. Nejméně jedno posunutí musí být lineární.

Snímací systém - Část CMM, která je s měřeným dílem přímo v kontaktu dotykem.

Chyba v údajích CMM - Údaj CMM minus (konvenční) skutečná hodnota měřené veličiny.
POZNÁMKA: Chyba v údajích zahrnuje chybu hmotného délkového etalonu.

Nejistota rozměrového měření - Odhad charakterizující rozptyl hodnot, v němž leží skutečná hodnota měřené veličiny.

Hmotný etalon - Ztělesněná míra reprodukcující známou hodnotu nějaké rozměrové veličiny (déłky, průměru. atd.), která je vysledovatelná ke státním etalonům a používá se

pro zkoušku CMM.

POZNÁMKA 2: Příklady hmotných délkových etalonů jsou koncové měrky podle ISO 3650 a stupňové válečkové kalibry.

Délka měrky (v libovolném bodě) - Je délka kolmice spuštěné z daného bodu měřicí plochy na protilehlou měřicí plochu.

Chyba v údajích CMM pro délková měření, E , resp. MPE_E - Podle konvence chyba, se kterou lze pomocí CMM určit délku hmotného etalonu, přičemž se měření provádí mezi dvěma protilehlými body dvou nominálně rovnoběžných rovin kolmo k jedné z rovin, a k těmto bodům se přistupuje z opačných směrů.

Chyba v údajích CMM pro délková měření E (MPE_E), vyjádřená v mikrometrech, se stanoví jedním ze tří výrazů:

$$E = A + L/K \leq B, \text{ nebo}$$

$$E = A + L/K, \text{ nebo}$$

$$E = B$$

kde A je konstanta vyjádřená v mikrometrech a dodávaná výrobcem CMM

K je bezrozměrná konstanta dodávaná výrobcem CMM

L je měřená délka v milimetrech

B je maximální hodnota E v mikrometrech, jak ji stanoví výrobce CMM.

Tyto výrazy se vztahují na každou polohu nebo orientaci hmotného etalonu v CMM.

Měření musí být prováděna na stroji s využitím všech tří os stroje, o němž výrobce uvádí, že pro něj platí deklarovaná hodnota E .

Chyba v údajích CMM pro periodické kalibrování, V - Chyba v údajích zvolená uživatelem pro periodickou kalibraci podle požadavků uživatele a užívání stroje.

Chyba sondování, R - Podle konvence chyba, v jejímž rámci může být pomocí CMM určena řada poloměrů nějakého hmotného etalonu, přičemž se měření provádějí na substrátu v podobě koule.

R je kladná konstantní chyba, jejíž hodnotu dodává výrobce CMM.

Hodnota R platí pro kterékoli místo hmotného etalonu uvnitř pracovního objemu CMM a pro jakýkoli směr sondování.

Chyba sondování pro periodické zkoušky, S - Chyba sondování zvolená uživatelem pro periodickou zkoušku podle požadavků uživatele a užívání stroje.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz článek 2), zejména v ČSN EN ISO 10360 - 1 a TNI 01 0115, a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Sada koncových měrek (etalonových) 2. až 5. sekundárního řádu (10 ÷ 1000) mm. Třídou přesnosti (resp. sekundární řád) volíme s ohledem na přesnost (mezni chybu nebo nejistotu) kalibrovaného CMM,
- měrky s koulemi (100 ÷ 1000) mm, průměry koulí (15 ÷ 30) mm,
- kontrolní kroužky \varnothing 10 mm ÷ \varnothing 50 mm,

- kontrolní koule $\varnothing 15 \text{ mm} \div \varnothing 50 \text{ mm}$,
- kontrolní úhelník (granitový nebo ocelový), tř. př. 0, alespoň 150 mm x 300 mm,
- kontrolní pravítko (granitové nebo ocelové), tř. př. 0, délka alespoň 300 mm,
- číselníkový úchylkoměr 0,001 mm, popř. páčkový úchylkoměr 0,002 mm,
- kontrolní vodováha, přesnost 0,01 mm/m,
- upínací a polohovací souprava na etalony (držáky, stativ),
- příslušenství k ošetřování etalonů (čistý benzín, líh, mul, látková utěrka, rukavice),
- digitální teploměr s dotykovou sondou, s měřicím rozsahem min. (15 až 35) °C, s dílkem stupnice min. 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů (např. tělískový),
- vlhkoměr s dílkem stupnice min. 2%RH.

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

6 Obecné podmínky kalibrace

- Teplota prostředí: $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$,
- Změna teploty vzduchu: max. 1 °C/h,
- Relativní vlhkost vzduchu: max. 80 %RH, nekorozní prostředí.

Kalibrace CMM se provádí za těchto referenčních podmínek:

- teplota prostředí: $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ u laboratorních CMM v klimatizovaných prostorech, nebo $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ u dílenských CMM v neklimatizovaných prostorech,
- teplotní gradient maximálně 5,0 °C/8 h, 1,0 °C/1 h, a 1,0 °C/m, nejsou-li požadované a/nebo přípustné jiné parametry (přísnější nebo volnější).
- teplotní rozdíl mezi CMM a etalonem: max. 0,5 °C (v případě většího rozdílu je nutná početní korekce).
- vlhkost vzduchu, relativní: 50 %RH \pm 30 %RH

Etalony se předběžně temperují v prostoru CMM na desce CMM nebo v blízkosti CMM po dobu alespoň 4 hodin.

Teplota etalonů a měřidel použitých při kalibraci a teplota CMM se měří před zahájením vlastního měření a po jeho skončení, popř. se měří průběžně tělískovým nebo digitálním teploměrem. Vlhkost vzduchu (je-li ti potřeba) se měří vlhkoměrem obdobným způsobem.

7 Rozsah kalibrace

- Kontrola dodávky při vstupní kontrole CMM (čl. 8),
- předběžná kontrola CMM a příprava CMM ke kalibraci (čl. 8.1),
- přejímková zkouška (čl. 8.2),
- měření metrologických parametrů CMM (čl. 9),

- kontrola snímacího systému CMM (čl. 9.1),
- kontrola geometrie CMM (čl. 9.2),
- kontrola délkových měření (čl. 9.3),
- vyhodnocení měření (čl. 10).

7.1 Rozsah působnosti

Tento kalibrační postup stanoví:

- a) přejímkovou zkoušku (vstupní kontrolu a prvotní kalibraci), která slouží ke kontrole přesnosti (mezí chyby, nejistoty) CMM a sondovacího systému CMM zda je taková, jakou uvádí jeho výrobce;
 - b) rekalibrační zkoušku, která umožňuje uživateli si znovu opakovaně kontrolovat přesnost CMM a sondovacího systému;
 - c) mezilhůtovou kontrolu, která uživateli umožňuje provádět kontroly CMM a sondovacího systému CMM v době mezi pravidelnými rekalibračními zkouškami.
- Pokud jde o trojrozměrnou chybu délkových měření kartézských, cylindrických nebo sférických souřadnic bodů v prostoru, provádí se omezený počet zkoušek, ale jejich místo může být kdekoliv uvnitř pracovního objemu CMM. Musí být testovány tři staticky určité osy (vyjímaje osy spojené se systémem sond).

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

- Kontrola dodávky,
- čištění a předběžná kontrola,
- příprava měřidla.

8.1 Kontrola dodávky při vstupní kontrole CMM

(PK)

Vstupní přejímka CMM se řídí příslušnými předpisy organizace a provádí ji zpravidla speciální komise. Z metrologického hlediska je zapotřebí, aby se překontrolovala technická dokumentace dodaná k příslušnému CMM. Tato dokumentace musí být zcela v souladu s dokumentací uvedenou v obchodní smlouvě, resp. s technickým zadáním. Pro příklad uvádíme několik základních parametrů: typ a výrobní číslo CMM, měřicí rozsah, použitý měřicí software, typ dodaných snímačů, mezí chybu CMM – $MPE_E (E)$, požadované podmínky prostředí (teplota) atd.

8.2 Předběžná kontrola a příprava CMM ke kalibraci

(PK, RK)

Provede se vizuální kontrola způsobilosti CMM ke kalibraci (pracovní deska, portál, pinola, snímací systém).

Překontroluje se identifikace CMM (výrobní, resp. identifikační číslo), vzorec chyby (nejistoty) CMM.

Pojezdy a měřítka se vyčistí a odmastí technickým benzínem nebo lihem (dle požadavků technické dokumentace CMM), snímací kulička se rovněž očistí (vlasovým štetěčkem nebo se otre měkkou antistatickou utěrkou). Provede se jejich vizuální kontrola pomocí lupy, zjišťují se případná poškození (rýhy). Rovněž se zkontroluje dřík snímače (přímost).

Provede se kalibrace snímacího systému.

U CMM s CNC řízením se připraví příslušné měřicí programy.

8.3 Přejímková zkouška

(PK)

Provádí se za účelem zjištění, zda je CMM schopen měřit v rámci výrobcem deklarované hodnoty E , určují se hodnoty chyby délkových měření ΔL .

9 Postup kalibrace

Měření metrologických parametrů CMM

Hodnocení výkonnosti (přesnosti, nejistoty a měřicí schopnosti) CMM

Podmínky provozu a obsluhy:

Před zahájením zkoušek musí být CMM provozován při dodržení těch postupů, jaké konkrétně popisuje návod k obsluze vydaný výrobcem, například:

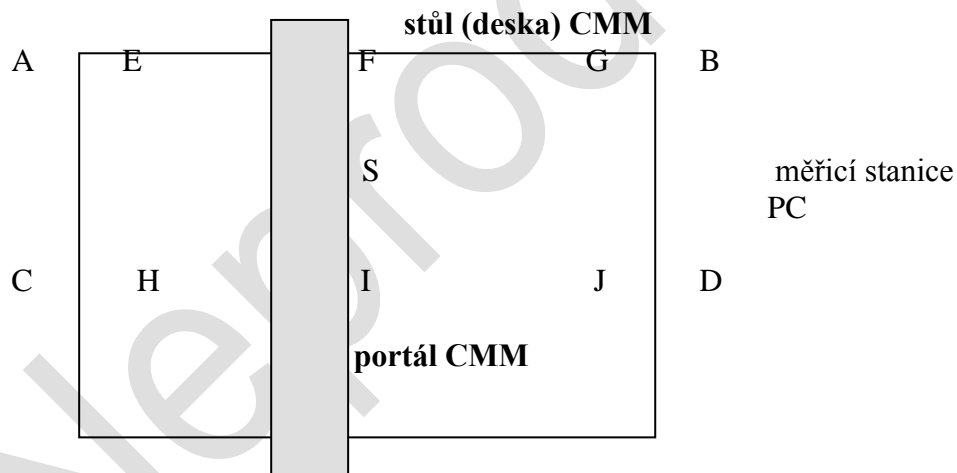
- spouštění stroje,
- kvalifikace (kalibrace) sond,
- uspořádání sond.

Tyto nezbytné informace má poskytnout výrobce.

Na zkoušky musí být uplatněny podmínky prostředí a provozní podmínky doporučené výrobcem.

Vlastní měření musí provádět školená obsluha CMM.

Před vlastním měřením se měřicí prostor CMM rozčlení podle uvedeného schématu:



Obr. č. 1 – schema CMM

9.1 Kontrola snímacího systému CMM (měřicí hlava, snímač, snímací kulička)

Kontrolu snímacího systému CMM se provádí pomocí kontrolní koule a kontrolního kroužku, např. v poloze S. Měření kontrolního kroužku se provádí v rovinách xy , yz , zx , popř. v některé nakloněné rovině. Při těchto měřeních (kalibrování) se kontroluje kompletní snímací systém (dotek, snímač, hlavice, vyhodnocovací software).

Kontrola pomocí kontrolní koule

Koule se umístí do libovolné části CMM. Vlastní měření se provede následujícím postupem:

- Proveďte se měření koule pomocí 4 bodů rozložených přibližně po 120° na celé ploše koule,

- provede se měření koule pomocí 5 bodů tak, že 4 body leží na rovníku (rozložené přibližně po 90°) a pátý bod se snímá na vrchlíku,
- provede se měření koule pomocí 17 bodů tak, že 12 bodů leží na rovníku (rozložené přibližně po 15°), další 4 body se snímají přibližně v těžištích (středech) kvadrantů polokoule a 17. bod se snímá na vrchlíku.

Tato měření se opakuje třikrát. Vyhodnocuje se rozptyl zjištěných průměrů a porovnává se se skutečnou hodnotou průměru koule. Hodnota nesmí překročit parametr R (viz článek 4), popř. parametr A (viz článek 4).

Kontrola pomocí kontrolního kroužku

Kroužek se umístí do libovolné části CMM. Vlastní měření se provede následujícím postupem:

- Provede se měření 3 bodů na horní ploše kroužku (rozložených přibližně po 120°) a provede se vyrovnání roviny základny,
- provede se měření kroužku pomocí 3 bodů rozložených přibližně po 120° po obvodu kroužku,
- provede se měření kroužku pomocí 4 bodů rozložených přibližně po 90° po obvodu kroužku,
- Provede se měření kroužku pomocí 12 bodů rozložených přibližně po 90° po obvodu kroužku.

Měření se provede přibližně v polovině hloubky kroužku (nebo minimálně 3 mm pod hranou roviny základny).

Tato měření se opakují třikrát. Vyhodnocuje se rozptyl zjištěných průměrů a porovnává se se skutečnou hodnotou průměru kroužku. Hodnota nesmí překročit parametr R (viz článek 4), popř. parametr A (viz článek 4).

9.2 Kontrola geometrie CMM

Měření geometrických úchylek CMM, tj. přímosti vedení a kolmosti jednotlivých os, se provádí pomocí granitového nebo ocelového pravítka a úhelníku. Při tomto měření se může měřit přímo snímacím systémem, nebo nahradit měřicí hlavici číselníkovým úchylkoměrem.

Rovinnost stolu (desky) CMM se kontroluje obdobným postupem jako průměr desky – pomocí kontrolního pravítka a sady měrek nebo pomocí vodováhy.

Přímost vedení

Na desku CMM se připevní kontrolní pravítko. Provede se vyrovnání s příslušnou podélnou osou CMM. Poté se provede vlastní měření přímosti. Následně pravítko sklopíme o 90° a provede se vyrovnání a měření ve směru téže osy, ale v rovině kolmé na původní měření. U portálových CMM se doporučuje provádět toto měření po obou stranách portálu, tedy v přímkách EG a HJ. Další měření se provede obdobným postupem v přímce FI, tedy "pod portálem".

Kolmost os

Na desku CMM se připevní kontrolní úhelník. Provede se vyrovnání základny s příslušnou podélnou osou CMM. Poté se provede vlastní měření kolmosti. Následně se úhelník otočí o 90° a provede se vyrovnání a měření kolmosti v rovině kolmé na původní měření.

Nakonec se provede měření svislé osy (pinola), opět ve dvou vzájemně kolmých rovinách.

Výsledky těchto měření se porovnávají s hodnotami předepsanými výrobcem.

9.3 Kontrola délkových měření (kontrola odměřování - měření úchylek délky ΔL)

Jako hmotný délkový etalon se používá řada koncových měrek vyhovujících ČSN EN ISO 3650 nebo měrky s koulemi.

Doporučuje se, aby:

- největší délka hmotného etalonu činila nejméně 66 % nejdelší úhlopříčky prostoru,
- nejmenší délka hmotného etalonu byla kratší než 30 mm,
- u měrek jmenovité délky nad 100 mm se měrky upínají na podpory ve vzdálenosti $0,211 * L$ od konců měrky (L ... jmenovitá délka měrky) nebo do speciálních držáků obdobných parametrů.

Délka měrky se zjišťuje ve středu měřicí plochy měrky (střední délka měrky). Koule u měrek s koulemi se snímají 4 až 5 body (obdobně jako v článku 9.1). Vzdálenost středů koulí se provádí výpočtem odpovídajícím softwarem (SW) CMM. Po každém měření se překontroluje nastavení CMM na nulu. Je-li třeba, koriguje se výsledek měření. Přitom se bere v úvahu případná systematická chyba CMM, vliv rozdílné teploty etalonu a CMM, apod. V každém případě se vychází ze skutečného rozměru etalonu, daného kalibračním listem.

Před měřením se etalony temperují (viz článek 6).

Příslušné etalony se kladou na měřicí stůl kontrolovaného CMM v látkových rukavicích nebo s použitím vhodného prostředku. Při manipulaci měrky rukou je zapotřebí učinit před měřením časovou prodlevu (určeno empiricky v souvislosti s přesností CMM).

Na rozčleněné ploše (viz obr. 1) se začnou proměřovat v jednotlivých polohách koncové měrky, popřípadě měrky s koulemi v polohách (ve směru os) X , Y , Z a dále v prostorových (tělesových) úhlopříčkách AD' , BC' , DA' a CB' (bod označený čárkou představuje polohu konce měrky v maximální možné měřicí výšce CMM).

Veškerá měření na pevná tělesa (koncové měrky, měrky s koulemi, kroužky) se snažíme metodicky přizpůsobit skutečnému měření, tj. použitím nejběžnějších snímačů (doteků), metodikou snímání atd. Při kalibraci používáme 3 nebo 5 měrek (v pravidelném odstupňování) a provádíme 3 až 10 opakování měření každé měrky.

Tato měření se provádí podle určitého předpisu, tzn. v dolní i horní poloze pinoly (osa Z), v krajních polohách (tzn. v levé i v pravé), ve střední části měřicího prostoru portálu a rovněž v přední i zadní části měřicího prostoru stolu (desky) CMM – kontrola dlouhé osy.

Během všech měření se průběžně eviduje teplota prostředí, teplota použitých etalonů i teplota odměřovacího systému CMM.

9.3.1 Kalibrace portálového CMM pomocí koncových měrek

Měřený rozsah: (0 ÷ 1000) mm (popřípadě u jedné osy do 2000 mm)

Kalibrační zařízení: koncové měrky 10 mm ÷ 1000 mm

Kalibrace CMM se provádí podle postupu uvedeného v článku 9.3 koncovými měrkami, podle daného schématu (obr. 1) v několika polohách měřicího prostoru CMM. Tato metoda je v souladu s normou ČSN EN ISO 10360 - 2.

Koncové měrky je možno použít v mnoha rozměrových variantách až do měřicího rozsahu 1000 mm, a to s nejistotou: $U_{95} \leq 0,5 \mu\text{m} \div 1,5 \mu\text{m}$ dle měřené délky a dle použitého sekundárního řádu. Tyto etalony nejprve připravíme přibližně ve střední

části měřicího rozsahu CMM (poloha S) do podélné osy CMM a provedeme měření následujícím postupem:

- a) Nakalibrování snímacího systému CMM v požadované poloze,
- b) vyrovnání souřadného systému CMM dle polohy koncové měřky,
- c) určení směru měřené osy,
- d) naprogramování, spuštění CNC programu snímání čelních rovin, popř. měření tří bodů v přímce podélného řezu funkční plochy (vyrovnání na přímku),
- e) resp. ruční snímání čelních rovin nebo přímek a středových bodů, provede se SW výpočet délky měřky,
- f) měření se postupně opakuje, a to 3x až 10x (dle počtu měřených rozměrů a poloh),
- g) poté etalony umístíme do příčné osy CMM a celý postup se opakuje,
- h) poté etalony umístíme do kolmé osy CMM a celý postup se opakuje,
- i) nejdelší použitelná měřka se umístí postupně do 4 prostorových úhlopříček a celý postup se opakuje (kontrola geometrie CMM),
- j) provede se kontrolní měření nejdelší použitelnou měrkou v levé a pravé části podélné osy (kontrola geometrie CMM),
- k) provede se kontrolní měření nejdelší použitelnou měrkou v dolní a horní části příčné osy (pod portálem - kontrola geometrie CMM),
- l) u podélných os CMM přesahujících 1200 mm se provede kontrolní měření nejdelší použitelnou měrkou alespoň ve dvou, popř. třech i více polohách tak, aby se tyto polohy vzájemně překrývaly (např. při měřicím rozsahu CMM 2000 mm a použití koncové měřky délky 1000 mm provedeme měření v polohách E, F, G a rovněž H, I, J),
- m) naměřená data zapisujeme do tabulky kalibračního protokolu,
- n) provedeme vyhodnocení měření délky (max. úchylku a opakovatelnost),
- o) vytiskneme protokol (viz příloha protokol).

Pozn. CMM, které nemají CNC ovládání, musí všechna měření provést ručně. Tato měření jsou však zatížena chybou způsobenou nepřesností snímání koncových měrek.

Tímto způsobem se tedy posoudí stav CMM v oblasti měření délek na pevném tělese v měřicím rozsahu do 1000 mm, resp. do 2000 mm, kvality snímacího zařízení (projeví se v opakovatelnosti), a nakonec geometrie CMM z rozdílů výsledků měření v jednotlivých úhlopříčkách a krajních polohách měřicího rozsahu CMM.

9.3.2 Kalibrace portálového CMM pomocí měrek s koulemi

Měřený rozsah: 0 mm ÷ 1000 mm (popřípadě u jedné osy do 2000 mm).

Kalibrační zařízení: měřky s koulemi 100 mm ÷ 1000 mm (popřípadě delší).

Kalibrace CMM se provádí podle postupu uvedeného v kapitole 9.3 měrkami s koulemi, podle daného schématu (obr. 1) v několika polohách měřicího prostoru CMM. Tato metoda je v souladu s normami řady ČSN EN ISO 10360 a VDI/VDE 2617.

Tyto etalony je možno použít v mnoha rozměrových variantách až do měřicího rozsahu 1000 mm, nebo i více (dle požadavku), koule mají průměr 15 mm ÷ 30 mm. Nejistota tohoto etalonu je dána měřicí schopností kalibrační laboratoře (např. ČMI) a pohybuje se přibližně v hodnotě: $U_{95} \leq 1,0 + 1,0 \times L$ (μm), kde L je měřená délka v

metrech.

Tyto etalony nejprve připravíme přibližně ve střední části měřicího rozsahu CMM (poloha S) do podélné osy CMM a provedeme měření následujícím postupem:

- a) Nakalibruje se snímací systém v požadované poloze, provede se kvalifikace snímače,
- b) vyrovná se souřadný systém CMM dle polohy zkušebního etalonu,
- c) určí se směr měření podle směru měřky s koulemi (koule č. 1 - počátek),
- d) naprogramuje se, spustí se CNC program měření koulí (měří se postupně první a druhá koule), resp. provede se ruční snímání obou koulí, provede se SW výpočet průměru koulí (resp. úchylka kulovitosti) a vzdálenost středu koulí.

Další postup je shodný s postupem uvedeným v článku 9.3.1.

Poznámka: U CMM, které nemají CNC ovládání, musí všechna měření provést ručně. Tato měření jsou však zatížena chybou způsobenou nepřesností snímání koulí.

Tímto způsobem se tedy posoudí stav CMM v oblasti měření vzdáleností na pevném tělese v celém měřicím rozsahu CMM (ve vzdálenostech definovaných vzdálenostmi středu koulí), měření polohování (opakovatelnosti určení středu jednotlivé koule), kvality snímacího zařízení (projeví se při měření koule), a nakonec geometrie CMM z rozdílů výsledků měření v jednotlivých polohách.

10 Vyhodnocení kalibrace

Vyhodnocení kalibrace a rozhodnutí o výsledku

10.1 Vyhodnocení výsledků měření (postup)

Provede se vyhodnocení měření délek (u koncových měrek), resp. měření vzdálenosti (u měrek s koulemi). Všechny naměřené hodnoty se vyhodnotí podle předpisů normy ČSN EN ISO 10360, popř. VDI/VDE 2617. Naměřené hodnoty se porovnají s předepsanými parametry CMM, které jsou dány vzorcem: $E = A + L/K \leq B$, resp. $E_1 = A_1 + K_1 \times L \leq B_1$ (pro osové nejistoty), kde L je měřená vzdálenost (dosazuje se buď v m, nebo mm). Tyto vzorce se většinou vztahují na rozšířenou nejistotu (mezní chybu) 95%, tj. pro $k = 2$.

Naměřené hodnoty, resp. úchyly od skutečné hodnoty, a vypočtené hodnoty se zapisují do tabulky, která je součástí kalibračního protokolu. Zjištěné maximální úchyly a opakovatelnost se porovnají s dovolenou chybou (tolerancí) CMM.

Příklad zápisu tabulky naměřených a vypočtených hodnot:

CMM: $E = \pm(5 + L/250) \mu\text{m}$, pro měrku 1000 mm je mezní chyba $E = \pm 9 \mu\text{m}$

| Etalon mm | osa poloha | 1. měření | 2. měření | 3. měření | toler. CMM | max. úchylka μm | opakovat. |
|--------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------------------|-----------|
| | | mm | | | | | |
| 1000,0015 | X střed | 999,995 | 1000,000 | 1000,001 | $\pm 9,0$ | -6,5 | 6,0 |

10.2 Výsledek kalibrace

Porovnáním všech hodnot definujeme výsledek měření:

VYHOVUJE - jsou-li všechny naměřené hodnoty v toleranci předepsané výrobcem (požadované uživatelem).

OMEZENÉ POUŽITÍ - CMM vyhovuje po dohodě s uživatelem, to znamená, že byly naměřeny některé hodnoty mimo toleranci předepsanou výrobcem, ale ještě vyhovují uživateli. CMM se označí nálepkou OMEZENÉ POUŽITÍ.

NEVYHOVUJE - u CMM byly při kalibraci zjištěny výsledky mimo toleranci. CMM se označí nálepkou MIMO PROVOZ nebo NEPOUŽÍVAT.

CMM můžeme prohlásit jako způsobilý, jestliže zjistíme, že celková chyba měření MPE_E (E) CMM je čtyřikrát menší než tolerance (T), s kterou má CMM pracovat: $4 \times (\pm E) \leq (\pm T)$.

Poznámka: Pro dílenská měření, která nemohou ovlivnit jakost výrobků nebo jakost výrobního procesu, se mohou používat také CMM dílenské s omezeným použitím. Tato kategorie CMM a způsob jejich používání je dán interním předpisem organizace.

10.3 Rozhodnutí o výsledku kalibrace

Na základě zkoušek (uvedených v článku 9) a jejich vyhodnocení (uvedených v článku 10.1 a 10.2) rozhodne odpovědný pracovník, popř. vedoucí metrologického střediska, zda kalibrovaný CMM vyhovuje či nevyhovuje stanoveným požadavkům. Výsledek rozhodnutí se zanesse do protokolu o kalibraci.

Nevyhoví-li CMM při prvotní kalibraci požadavkům uvedeným ve smlouvě (technickém zadání), resp. v dodacím listu pro daný CMM, předá se tento CMM k reklamačnímu řízení. (pouze PK)

Nevyhoví-li CMM při rekalibraci požadavkům uvedeným v technické dokumentaci CMM, resp. požadavku (definici) uživatele CMM, předá se CMM k servisnímu seřízení. (RK)

Uživatel (majitel) CMM dále určí dobu platnosti kalibrace (na základě četnosti používání CMM, změn měřených úchylek v porovnání s předchozími kalibracemi, s přihlédnutím k účelu a způsobu používání CMM), pokud již není tato doba stanovena jiným metrologickým předpisem, např. řádem podnikové metrologie.

Platnost kalibrace zaniká, a tím je i CMM vyřazen z používání, jestliže:

- a) Uplynula doba platnosti kalibrace,
- b) byly provedeny úpravy CMM, zejména korekčních faktorů, které mohou ovlivnit metrologické vlastnosti CMM, dále změny snímacího systému nebo měřicích SW,
- c) CMM byl poškozen tak, že mohl ztratit některou vlastnost rozhodnou pro kalibraci,
- d) byla znehodnocena nebo odstraněna kalibrační značka,
- e) je zjevné, že i při neporušené kalibraci ztratil CMM požadované metrologické vlastnosti.

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 CMM ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.3/02/13),
- 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.

Poznámka: v případě kalibrace mimo stálé prostory kalibrační laboratoře, uvede se na kalibračním listě místo kalibrace.

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.

V případě neshody s předepsanými požadavky, nebo při přeřazení do kategorie CMM s omezeným použitím se CMM výrazně označí, např. na kalibračním štítku se uvede NEPOUŽÍVAT nebo CMM S OMEZENÝM POUŽITÍM.

Reklamacce

Případnou stížnost na nesprávné provedení kalibrace CMM přebírá vedoucí kalibrační laboratoře. Jeho povinností je analyzovat stížnost a případně učinit opatření k nápravě, se kterými bude objednavatel, popř. zadavatel kalibrace neprodleně seznámen.

Jestliže se při analýze nepotvrdily uváděné závady, je o tom objednavatel kalibrace rovněž informován. Pokud je reklamacce oprávněná a jde o rozsah nebo správnost kalibrace, provede kalibrační laboratoř novou kalibraci bezplatně a vystaví nový protokol. V ostatních případech se přijmou opatření podle povahy závady.

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 archívat 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. Pokud to není výslovně uvedeno v některém podnikovém metrologickém předpisu, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na kalibrační štítek datum příští kalibrace.

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)

Stanovení nejistoty při kalibraci CMM pomocí koncové měřky

14.1 Výchozí údaje:

Kalibrovaný CMM: $MPE_E = 2,4 + (L/300)$, $R = 0,1 \mu\text{m}$, snímač $\varnothing 3 \text{ mm}$,
prodloužení 50 mm, s teplotní kompenzací,
odměrovací systém CMM (měřítka) je nalepeno na granitové
desce ($\alpha = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

Použitá měřidla: koncová měřka 1000,0000 mm (TP1 nejistota kalibrace $U_k = 2,2 \mu\text{m}$,
 $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$),
digitální teploměr ($R = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, $U = 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$)

Související normy a dokumenty:

ČSN P ENV 13005: Pokyn pro vyjádření nejistoty měření
EA 4/02: Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
ISO 10 360: Řada norem pro kalibraci CMM

Referenční podmínky: Měření probíhá při teplotních podmínkách $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Naměřené hodnoty:

| 1. měření | 2. měření | 3. měření | 4. měření | 5. měření | \bar{x} | $\sum(x_i - \bar{x})^2$ | s |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------------------|---------------|
| mm | | | | | mm | mm | μm |
| 1000,0010 | 1000,0008 | 1000,0007 | 1000,0005 | 1000,0003 | 1000,000 66 | 0,000 000 292 | 0,270185 |

14.2 Model měření

Koncová měřka byla umístěna ve střední části měřicího stolu ve směru nejdelší osy měření CMM. Měřka byla podložena prizmatickými podložkami v bodech cca 150 mm od konců měřky. Po vytemperování bylo provedeno 5 opakovaných měření délek koncové měřky. Na počátku a na konci měření byla změřena teplota ve středu a na obou koncích měřky.

14.3 Stanovení rozšířené nejistoty:

Stanovení standardní nejistoty typu A u_A : z n opakovaných měření při stejných podmínkách

Nejistota typu A je určena statistickou analýzou série n měření:

$$u_A = \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) * k_n$$

s_x směrodatná odchylka měření

$s_{\bar{x}}$ směrodatná odchylka průměrné hodnoty výběru

n počet měření (za stejných podmínek) ; $n = 5$

k_n koef. závislosti na počtu měření ; pro $n=5$, $k_n=1,4$

\bar{x} výběrový aritmetický průměr $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$

x_i naměřené hodnoty ($i=1,2,\dots,n$)

Směrodatná odchylka rozdělení výběru:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{(n-1)}}$$

Směrodatná odchylka průměrné hodnoty výběru:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{n * (n-1)}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Stanovení standardní nejistoty typu B u_B :

Je dána geometrickým součtem nejistot způsobených vlivy měření:

$$u_B = \sqrt{u_E^2 + u_P^2 + u_R^2 + u_{\Delta T}^2 + u_{T-20}^2 + \dots}$$

u_E nejistota etalonu

$$u_E = \frac{U_k}{2} = \frac{(0,2 + 2 * L)}{2}$$

u_P nejistota z mezní chyby CMM $u_P = \frac{U_p}{\sqrt{3}}$

u_R nejistota rozlišení $u_R = \frac{R}{2 * \sqrt{3}}$

$u_{\Delta T}$ nejistota vlivem rozdílu teplot mezi etalonem a kalibrovaným CMM

$$u_{\Delta T} = \left(\frac{\Delta t}{\sqrt{3}}\right) * \alpha_s * L$$

u_{T-20} rozdíl teplot při kalibraci od 20 °C

$$u_{T-20} = \left(\frac{t - 20}{\sqrt{3}}\right) * \left(\frac{\Delta \alpha}{\sqrt{3}}\right) * L$$

Δt rozsah teplot při měření (rovnoměrné rozdělení), $\Delta t = 0,1^\circ\text{C}$

α_s průměrná hodnota koeficientu tepelné roztažnosti

(v našem případě $\alpha_s = 9,85 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
 $\Delta\alpha$ rozdíl mezi α etalonové měřky a α kalibrovaného CMM
 (v našem případě $\Delta\alpha = 3,3 \text{ } \mu\text{m}$)
 L délka měřky (1000 mm)

V rámci MPE_E stroje je zahrnuta teplotní kompenzace i rozlišitelnost.

Tabulka standardních nejistot

| Veličina | Odhad | Standartní nejistota | Pravděpodobnostní rozdělení | Citlivostní koeficient | Příspěvek k nejistotě |
|--------------------|-------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Nejistota typu A | | 0,17 μm | normální | 1,0 | 0,17 μm |
| Vliv etalonu | | 1,10 μm | normální | 1,0 | 1,10 μm |
| Vliv mezní chyby | | 3,31 μm | rovnoměrné | 1,0 | 3,30 μm |
| Výsledná nejistota | | | | | 3,50 μm |

Stanovení kombinované standardní nejistoty

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Stanovení rozšířené nejistoty:

$$U = u_c * k$$

k koef. rozšíření pro 95% ($k = 2$)

Výsledek kalibrace CMM pomocí koncové měřky 1000 mm v dané poloze je:

1000,000 66 mm s nejistotou $U = 7,0 \text{ } \mu\text{m}$.

Uvedený postup výpočtu nejistoty kalibrace CMM je pro praktické použití velice složitý, protože se musí počítat jednotlivé nejistoty pro jednotlivé rozměry a polohy měření při kalibraci. Rovněž je někdy složité přesně určit jednotlivé složky vlivů nejistot.

Z tohoto důvodu se v praxi používá alternativní postup určování nejistoty kalibrace CMM: Výsledné naměřené hodnoty při kalibraci se porovnávají s MPE_E . Nejistota kalibrace CMM je pak určena mezní chybou CMM, tedy údajem MPE_E .

V našem příkladu by tedy byla určena výsledná nejistota: $U = \text{MPE}_E = 5,8 \text{ } \mu\text{m}$.

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 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).