



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 1.1.2/23/14

TLOUŠŤKOMĚR S ÚCHYLKOMĚREM

(třmenový tloušťkoměr)

Praha

Říjen 2014

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

Číslo úkolu: VII/1/14

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Ing. Vladislav Batěk

© 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 třmenových tloušťkoměrů s číselníkovým nebo digitálním úchylkoměrem s rozlišením 0,01 mm. Tloušťkoměry mohou být ve speciálním provedení, např. pro měření tloušťky stěn trubek, s břitovými doteky pro měření zápichů, provedení s velkoplošnými doteky pro měření tloušťky kůže, pryže, pěnových materiálů apod.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká jak prvotní kalibrace, resp. kalibrace v rámci vstupní kontroly měřidla (dále označované jako PK), tak i rekalkibrace během používání měřidla (dále označované jako RK).

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
ČSN EN ISO 463	Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Délková měřidla – Konstrukční a metrologické charakteristiky číselníkových úchylkoměrů	[2]
ČSN EN ISO 3650	GPS - Etalony délek - Koncové měrky	[3]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[4]
ČSN EN ISO 14978	Geometrické specifikace výrobků (GPS) – Všeobecné pojmy a požadavky na měřicí vybavení pro GPS	[5]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[6]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.	[7]
EA-4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[8]
ČSN EN ISO 14253-2	Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením-Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku	[9]
CZ-18001	Katalog měřicích přístrojů firmy Mitutoyo	[10]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci třmenových tloušťkoměrů s úchylkoměrem je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly měřidel a souvisejícími předpisy.

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

4 Názvosloví, definice



Tloušťkoměr s úchylkoměrem je přístroj pro rychlé měření tloušťek plošných materiálů při přejímkách a ve výrobě. Ve zvláštním provedení může být určen pro měření tloušťky stěn trubek nebo pro měření v drážce a zápichu.

Rozlišení je velikost nejmenšího dílku analogové stupnice (dělení stupnice), nebo řád poslední číslice u digitálního měřidla (číslíkový krok)

Největší dovolená chyba (MPE) je extrémní hodnota chyby daná jednou dvoustrannou specifikací s konstantními symetrickými mezními hodnotami.

Další termíny a definice jsou obsaženy v příslušných normách, zejména v TNI 01 0115 a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Etalonové koncové měrky S 12 nebo S 21 ČSN 25 3310 1. třídy přesnosti a minimálně 4. sekundárního řádu,
- váleček nebo kulička v držáku pro kontrolu rovnoběžnosti doteků,
- siloměr nebo obchodní váhy,
- dotykový teploměr s měřicím rozsahem (16 až 26) °C, hodnota dílku stupnice 0,1 °C nebo 0,2 °C,
- vlhkoměr,
- lupa se zvětšením min. 4x,
- čisticí prostředky, čistý benzín, např. lékárenský, vata, vlasový štětec, lněná utěrka, popř. jelenice, lapovací prostředky.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázány na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace třmenových tloušťkoměrů se provádí za těchto referenčních podmínek a v mezích příslušných odchylek:

- teplota prostředí: (20 ±2) °C,
- změna teploty vzduchu za 1 hodinu: max. 1 °C,
- relativní vlhkost vzduchu: max. 70 % RH.

7 Rozsah kalibrace

- Kontrola dodávky, čištění a příprava měřidla,
- stanovení rovnoběžnosti doteků,
- stanovení největší chyby,
- kontrola měřicí síly.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Zkontroluje se typ a počet dodaných třmenových tloušťkoměrů, porovná se rozsah a druh dodaného příslušenství podle objednávky nebo podle dodacího listu. Kontroluje se, zda označení měřidla evidenčním číslem odpovídá údajům v objednávce.

Převzetí třmenového tloušťkoměru k recalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném.

(PK, RK)

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Třmenový tloušťkoměr se pečlivě vyčistí utěrkou, popř. vatou a benzínem, provede se jeho vizuální kontrola, zejména se zjistí případná poškození nebo koroze funkčních ploch.

(PK, RK)

Lehce poškozená místa (drobná poškození, koroze) se upraví, po úpravě znovu očistí. Pokud zdvihací páčka úchytkoměru vážně, vypere se v nádobce s benzínem. Stejně se vypráním v benzínu uvolní váznoucí pohyblivý dotek úchytkoměru. Ponořit se smí pouze upínací vřeteno a musí se dbát, aby benzín nevníkl dovnitř úchytkoměru. Úchytkoměr se nesmí mazat olejem.

(pouze RK)

Kontroluje se uložení měřidla v krabici a příslušenství měřidla, pokud existuje. V příslušenství mohou být výměnné doteky, montážní klíčky, nebo u digitálních přístrojů propojovací kabely.

Třmenový tloušťkoměr, který nevyhověl při vnější prohlídce, se vyřadí z dalších zkoušek.

9 Postup kalibrace

9.1 Stanovení rovnoběžnosti doteků

Rovnoběžnost doteků se kontroluje měřicím válečkem nebo kuličkou v držáku. Průměr válečku se volí tak, aby vyhovoval měřicímu rozsahu tloušťkoměru. Váleček se protahuje mezi doteky v různých polohách a zjišťuje se rozdíl mezi největší a nejmenší indikací úchytkoměru. Tento rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou měřenou na témže válečku (kuličce) je chybou rovnoběžnosti doteků.

Velikost dovolené chyby rovnoběžnosti doteků zpravidla udává výrobce. Tato chyba závisí na velikosti doteků a rozlišitelnosti použitého úchytkoměru a bývá zpravidla půl dílku až dva dílky.

9.2 Stanovení největší chyby v celém měřicím rozsahu

Celková největší chyba třmenového tloušťkoměru s úchytkoměrem se zjišťuje pomocí koncových měrek. Ke kalibraci přístrojů do rozsahu do 1 mm je potřeba použít speciálních koncových měrek (0,1 až 0,9) mm. Pro větší rozsahy používáme standardní koncové měrky. Použití speciálních měrek lze někdy obejít tím, že se úchytkoměr přestaví a vynuluje na měрку 1 mm. Potom lze ke kalibraci použít standardní měrky.

Přístroj se v základní poloze vynuluje a to buď otočením stupnice úchytkoměru, nebo při větších úchytkách se přestaví úchytkoměr v držáku. Potom se vkládají koncové měrky podle zvoleného kalibračního intervalu a naměřené hodnoty se odečítají na stupnici úchytkoměru. Protože se odečítá na kalibrovaném zařízení, berou se naměřené úchytky s kladným znaménkem. Odečítají se zpravidla i části dílku. Přitom se doporučuje ke zvýšení přesnosti odečítání použít lupy s min. čtyřnásobným zvětšením. Kalibrační interval se volí tak, aby se provedlo alespoň 10 měření v rámci měřicího rozsahu. Naměřené chyby se zapisují do záznamu o kalibraci a případně vynášejí do kalibračního grafu. Měření se opakuje zpravidla třikrát a jako výsledek se uvádí střední hodnota největší nalezené chyby.

9.3 Kontrola přítlačné síly

Pro některá použití, například měření tloušťky pryže nebo pěnových hmot může být předepsaná měřicí síla. Síla na určitém rozsahu se změří pomocí siloměru. Alternativně lze použít i obchodní váhy, kdy se pohyblivým kontaktem zatlačí proti desce vah.

10 Vyhodnocení kalibrace

Měřené hodnoty a další údaje, charakterizující podmínky zkoušky, se zapisují do záznamu o měření. Záznam slouží k vypracování kalibračního listu.

Naměřené chyby se porovnávají s mezními dovolenými chybami (MPE). Jako kritérium se berou hodnoty mezních chyb podle specifikace výrobce. Měřidlo vyhoví, leží-li měřená hodnota, zvětšená o nejistotu měření U v mezích dovolených chyb. Pokud by měřená hodnota zvětšená o nejistotu měření ležela vně těchto mezí, ale sama měřená hodnota ležela v těchto mezích, nelze v takovém případě prokázat shodu ani neshodu a v kalibračním listě se uvede pouze výsledek měření (Y) a příslušná nejistota měření (U) ve

tvaru $Y \pm U$.

Při stanovení dovolené chyby je třeba vycházet z dovolené chyby použitého úchylkoměru a tuto chybu zvětšit o chybu způsobenou deformací třmenu a teplotními vlivy. Třmenové tloušťkoměry se zpravidla dodávají s příslušnými úchylkoměry a údaj o přesnosti zpravidla s chybou použitého úchylkoměru již počítá. Udávanou „přesnost“ výrobce podle [L10] lze tedy většinou považovat za největší dovolenou chybu (MPE).

Pokud nemáme o třmenovém tloušťkoměru žádné údaje, vyjdeme z použitého úchylkoměru. Norma pro číselníkové úchylkoměry ČSN EN ISO 463 upřednostňuje hodnocení pomocí největší dovolené chyby (MPE). Pokud nejsou o úchylkoměru dostupné žádné údaje o dovolených chybách, lze orientačně použít tabulku 1 převzatou z původního návrhu normy ISO 463.

Zkoušený parametr		Největší dovolené chyby v μm při měření úchylkoměrů s hodnotou dílku:		
		0,01 mm	0,002 mm	0,001 mm
Hystereze		3	2	1
Opakovatelnost		3	0,5	0,5
Mezní odchylka v rozsahu:	1/10 otáčky	± 5	± 1	± 1
	1/2 otáčky	± 8	± 3	± 2
	1 otáčka	± 10	± 4	± 3
	celý rozsah	± 20	± 8	± 5

Tabulka č. 1: Informativní hodnoty největší dovolené chyby úchylkoměrů

Chybu použitého úchylkoměru potom odhadem navýšíme o chybu třmenu a případnou teplotní chybu a dostaneme dovolenou chybu tloušťkoměru (MPE). U tloušťkoměrů s dělením 0,1 mm odhadujeme dovolenou chybu měřidla na 1 dílek.

Výrobce má podle normy EN ISO 463 specifikovat metrologické charakteristiky úchylkoměru (potažmo tloušťkoměru s úchylkoměrem). Pro účely kalibrování po prodeji mají zákazníci volnost ve stanovení vlastních hodnot dovolených chyb (MPE) podle potřeb organizace.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list. Pokud nelze s ohledem na nejistotu měření jednoznačně prohlásit shodu nebo neshodu se specifikací, je nejlepší formou uvádění výsledků kalibrační tabulka a (nebo) kalibrační graf.

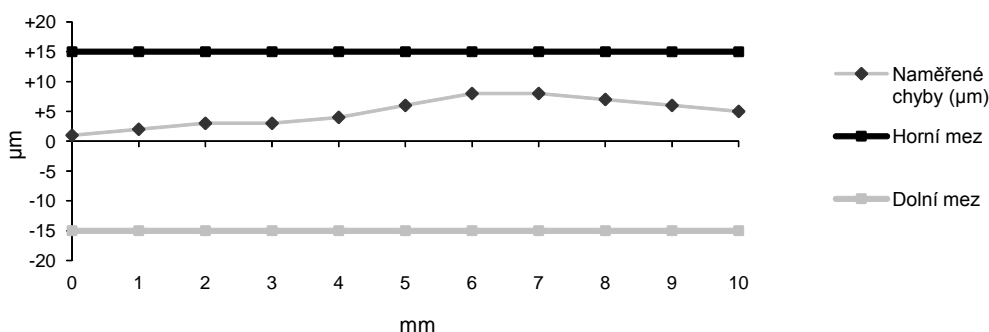
Výsledek kalibrace:

Měřený parametr	Dovolená chyba MPE podle výrobce (μm)	Naměřená chyba μm	Nejistota měření μm
Rovnoběžnost doteků	5	2	± 2
Chyba v celém rozsahu	± 15	+ 8	± 5

Měřené hodnoty:

Zkoušené body (mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřené chyby (μm)	+1	+2	+3	+3	+4	+6	+8	+8	+7	+6	+5

Průběh chyby:



Chyba měření tloušťkoměrem v rozsahu 10 mm je tedy $(+8 \pm 5) \mu\text{m}$. Dovolená chyba podle výrobce $MPE = 15 \mu\text{m}$. Tloušťkoměr vyhovuje specifikaci výrobce.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- název a adresu kalibrační laboratoře,
- pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného tloušťkoměru,
- datum přijetí tloušťkoměru ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.2/23/14),
- podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- měřidla použitá při kalibraci,
- obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- jméno pracovníka, který tloušťkoměr kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, číslo laboratoře a odkaz na osvědčení o 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). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovala ho.

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 archiovat 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 nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

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

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

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)

Kalibrace třmenového tloušťkoměru s velkými doteky a úchylkoměrem s rozsahem (0 až 10) mm se provádí pomocí koncových měrek o velikosti (1 až 10) mm, odstupňovaných po 1 mm. Měrky jsou 1. třídy přesnosti $U = 0,3 \mu\text{m}$. (pro $k = 2$) a odchylka měrek od jmenovité hodnoty je zahrnuta do nejistoty etalonu. Třmenový tloušťkoměr i koncové měrky jsou vyrobeny z oceli. Před kalibrací byly ponechány dostatečně dlouho na průměrné desce, aby získaly co nejpodobnější teplotu. Předpokládá se nevyrovnání teploty mezi měrkami a měřidlem nejvýše $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Odhad nejistoty je vztažen k horní mezi měřicího rozsahu, tj. $L_{\text{max}} = 10 \text{ mm}$.

Stanovení standardní nejistoty typu A u_A :

Nejistotu z opakovaných měření určíme opakovaným měřením v jednom kalibračním bobu. Pro zjednodušení sloučíme nejistotu typu A s nejistotami typu B rovnou v tabulce pro odhad nejistoty.

Pro stanovení nejistoty typu A z opakovaných měření provedeme 3 měření např. v polovině měřicího rozsahu. Odhadované chyby na úchylkoměru tloušťkoměru jsou:

$$(6; 8; 5) \mu\text{m}$$

Nejistota typu A z opakovaných měření:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot k_A = \frac{1,25}{\sqrt{3}} \cdot 2,3 = 1,66 \mu\text{m}$$

kde: s - Směrodatná odchylka určená na kalkulátoru

n - Počet měření

k_A - Koeficient určený v závislosti na počtu měření podle následující tabulky:

n	2	3	4	5	6	7	8	9
k_A	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2

Stanovení standardní nejistoty typu B u_B :

Cílem kalibrace je stanovit pro každý kalibrační bod chybu ΔL :

$$\Delta L = L_i - L_s + L_e + L_{max} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

- kde:
- L_s - jmenovitá délka koncové měrky
 - Δt - zbytkový rozdíl teplot mezi koncovou měrkou a tloušťkoměrem
 - L_e - délka chybně měřená vlivem nepřilnutí měrky na doteky
 - L_i - délka naměřená tloušťkoměrem
 - α - koef. teplotní roztažnosti, stejný pro měrky i měřidlo $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 - L_{max} - měřicí rozsah tloušťkoměru 0,01 m

Citlivostní koeficient pro přepočtení vlivu teploty na délku:

$$L_{max} \cdot \alpha = 0,01 \cdot 11,5 = 0,12 \text{ } \mu\text{m}/^\circ\text{C}$$

Korelaci mezi jednotlivými zdroji nejistot nepředpokládáme, a proto ji zanedbáváme.

Faktor rozdělení b je převrácenou hodnotou koeficientu rozdělení, viz [L9]:

- normální rozdělení: $b = \frac{1}{2} = 0,5$
- rovnoměrné rozdělení: $b = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,6$

Tabulka standardních nejistot

Zdroje nejistot	Ozn.	Meze nejistot (μm)	Faktor rozdělení b	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě (μm)
Kalibrační měrky zkraj chyby I. tř. měrek $\pm 0,3 \text{ } \mu\text{m}$	L_s	0,3	0,5	1	0,15
Při čtení číselníku se odhaduje 1/5 dílku, tj. $\pm 2 \text{ } \mu\text{m}$	L_i	2	0,6	1	1,20
Vliv nepřilnutí měrky k dotekům (odhad 1/2 rovnoběžnosti)	L_e	2,5	0,5	1	1,25
Krajní teplotní rozdíl v průběhu kalibrace $\pm 0,5^\circ\text{C}$	δt	0,5	0,6	0,12	0,04
Nejistota typu A z opakovaných měření	u_A	1,66	1	1	1,66
Korekce v každém bodě	δL	Nejistota u ($k = 1$) μm			2,40

Kombinovaná standardní nejistota tedy bude:

$$u = 2,4 \text{ } \mu\text{m}$$

Rozšířená nejistota:

$$U = k_U \cdot u = 2 \times 2,4 = 4,8 \mu m$$

Výsledné rozdělení předpokládáme normální a volíme $k_U = 2$

Pro uvedení v kalibračním listu se rozšířená nejistota celkové chyby třmenového tloušťkoměru s úchylkoměrem (0 až 10) mm zaokrouhlí nahoru:

$$U = 5 \mu m$$

Což je polovina dílku použitého úchylkoměru a třetina dovolené chyby uvažovaného tloušťkoměru (viz kap. 11. Kalibrační list). Při použití speciálních doteků nebo měřidla s větším rozlišením se v tabulce upraví příslušné meze a odhad nejistoty se tak sníží.

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.

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).