



# 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 1.1.2/22/14**

**DUTINOMĚR S ÚCHYLKOMĚREM**

(Subito)

**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 je určen pro kalibraci dvoudotekových dutinoměrů se středíčem (dále jen dutinoměrů) s číselníkovým úchylkoměrem s hodnotou dílku 0,01 mm nebo 0,001 mm a s výměnnými měřicími doteky. Alternativně lze použít i pro jiné konstrukce dutinoměrů, např. dutinoměry pro malé díry, dutinoměry s mikrometrickým šroubem a dutinoměry s digitálním úchylkoměrem.

Kalibrace popsaná v tomto postupu se týká jak prvotní kalibrace v dané organizaci (dále označované jako PK), tak i rekalibrace během používání kalibru (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 25 1802	Číselníkové odchýlkomery s hodnotou dílka 0,01 mm. Metody kontroly	[3]
ČSN EN ISO 14978	Geometrické specifikace výrobků (GPS) – Všeobecné pojmy a požadavky na měřicí vybavení pro GPS	[4]
DIN 878 (2006)	Mechanische Meßuhren	[5]
ON 25 1838 (Somet 1989)	Dutinoměry s číselníkovým úchylkoměrem - Technické požadavky	[6]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[7]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.	[8]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[9]
EA-4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[10]
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	[11]
CZ-18001	Katalog měřicích přístrojů Mitutoyo	[12]

## 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci dutinoměrů 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



**Dutinoměr s číselníkovým úchylkoměrem** je přenosné porovnávací měřidlo pro měření úchylek děr od jmenovitého rozměru, nebo kontrolu geometrického tvaru.

**Rozsah měření** je oblast mezi nejmenším a největším průměrem díry, kterou lze dutinoměrem měřit při použití výměnných měřicích doteků.

**Zdvih pohyblivého doteku** je rozdíl mezi největším a nejmenším průměrem díry měřené jedním seřízením bez výměny měřicích doteků.

**Středič** je část dutinoměru umožňující ustavení obou měřicích doteků do středu měřené díry

**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

- Univerzální délkoměr nebo přístroj pro kontrolu úchylkoměrů s rozlišením alespoň 0,001 mm,
- průměrná deska,
- etalonové kroužky,
- sada třmenových mikrometrů s měřicím rozsahem odpovídajícím dutinoměrům, nebo přístroj pro nastavení dutinoměrů,
- dotykový teploměr s měřicím rozsahem (16 až 26) °C, hodnota dílku stupnice 0,1 °C nebo 0,2 °C,
- vlasový 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 dutinoměrů se provádí za těchto referenčních podmínek a příslušných mezních odchylek:

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

## 7 Rozsah kalibrace

- Předběžná kontrola, vnější prohlídka a příprava dutinoměru ke kalibraci,
- měření metrologických parametrů a případné seřízení dutinoměru,
- stanovení chyby u jednotlivých metrologických parametrů,
- vyhodnocení kalibrace včetně vyjádření nejistoty měření při kalibraci.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Kontrola dodávky

Zkontroluje se typ a počet dodaných dutinoměrů, 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 dutinoměru k rekalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném.

(pouze RK)

### 8.2 Čištění a předběžná kontrola

Dutinoměr 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 lapováním, po úpravě znovu očistí. Pokud pohyblivý dotek vážně, vypere se v nádobce s benzínem. Ponořit se smí pouze dotek s převodem a musí se dbát, aby benzín nevníkl dovnitř úchylkoměru. Převodové ústrojí se nesmí mazat olejem.

(pouze RK)

Kontroluje se příslušenství měřidla. Příslušenství zpravidla obsahuje sadu výměnných doteků a klíčků pro jejich výměnu.

Dutinoměr, který nevyhověl při vnější prohlídce a konstrukčnímu provedení dle výrobce, se vyřadí z dalších zkoušek.

### 8.3 Příprava měřidla

Kalibrovaný dutinoměr s úchylkoměrem se upne v základní poloze na kalibračním

zařízení, kterým může být univerzální délkoměr, nebo speciální kalibrátor. Pokud nelze



Obr. č. 1 Kalibrace dutinoměru na délkoměru



Obr. č. 2 Kalibrátor dutinoměrů

dutinoměr upnout v základní poloze, je třeba otočit úchylkoměr tak, aby byl číselník během kalibrace dobře čitelný bez paralaxy. Dutinoměr lze na délkoměru upnout více způsoby, podle možností. Jednou z možností je upnutí na plovoucí stolek a opření o pevný kontakt. V tomto případě je nutné zajistit, aby byl měřicí systém dutinoměru umístěn v ose měření délkoměru. To se zajistí nejlépe nalezením vratného bodu. Jinou možností je využití držáku pro kalibraci úchylkoměrů, do kterého se dutinoměr upne za pevný kontakt s použitím vhodného redukčního pouzdra nebo šroubu. Protože měřicí sílu vyvíjí dutinoměr, musí být nastavení měřicí síly na délkoměru vypnuto. Při upínání dutinoměru do speciálního kalibrátoru postupujeme podle návodu výrobce.

#### 8.4 Seřízení měřidla

Dutinoměry malých rozsahů jsou někdy konstruovány tak, že umožňují seřízení chyby měření. Pohyb doteku je převáděn na úchylkoměr pomocí klínu a kuličky. Natáčením klínu lze chybu převodu opravit. Pokud je chyba měřidla zjištěná při kalibraci větší, než chyba dovolená, dutinoměr se seřídí tímto postupem:

- dutinoměr se ponechá upnutý na kalibrátoru a povolí se aretační šroubek na boku hlavice,
- šroubovákem se natočí klínek mírně v jednom či druhém směru,
- kontroluje se chyba v rozsahu zdvihu,
- pokud je chyba menší, než dovolená, klínek se aretuje,
- pokud je chyba stále příliš velká, pokračuje se v hledání vhodné polohy klínku.

Po seřízení se provede kalibrace znovu od začátku. Pokud se měřidlo seřizuje, uvede se v kalibračním listu také chyba před seřízením.

## 9 Postup kalibrace

Kalibrace se provádí v rozsahu zdvihu pohyblivého doteku. Výrobci zpravidla negarantují, že se deklarovaná chyba měření zachová i při změně měřicího rozsahu pomocí výměnných doteků. Proto je potřebné po výměně pevného doteku dutinoměr vždy znovu nastavit (nulovat) a to buď pomocí mikrometru, nebo s užitím speciálního kalibrátoru k tomu účelu určenému.

### 9.1 Stanovení největší chyby v rozsahu zdvihu pohyblivého kontaktu

Dutinoměr kalibrujeme v jeho celém měřicím rozsahu zdvihu nejméně v deseti měřicích bodech při zasouvání a vysouvání pohyblivého měřicího doteku. Naměřené úchytky zapisujeme do záznamu o měření. Měření zpravidla opakujeme třikrát. Ručka číselníkového úchytkoměru se nastavuje na příslušnou čárku stupnice. Přitom se doporučuje ke zvýšení přesnosti nastavení použít lupu s min. čtyřnásobným zvětšením. Najíždí se přesně na čárku stupnice vždy v jednom směru. Při najetí na nulu se vynuluje kalibrační zařízení. Dále se najíždí na další čárky podle zvoleného intervalu měření a pravá hodnota  $P$  se čte na kalibračním zařízení. Potom chyba měřidla  $Ch$  je (včetně znaménka) daná výrazem:

$$Ch = O - P \quad (1)$$

Kde:

$P$  = Pravá hodnota (skutečná) na kalibrátoru

$O$  = Odečtená (nastavená) hodnota na stupnici úchytkoměru

Pokud se tedy chyba odečítá na kalibračním zařízení, bere se podle vzorce (1) záporně.

Naměřené hodnoty se zapisují do záznamu o měření a případně se z nich vytvoří kalibrační graf. Z naměřených hodnot se vyhodnotí celková chyba, opakovatelnost a případně reverzibilita (hystereze) měřidla.

### 9.2 Stanovení chyby u digitálních přístrojů

U digitálních přístrojů se při stanovení chyby v rozsahu zdvihu postupuje obdobně jako u číselníkových přístrojů jen s tím rozdílem, že se celé hodnoty intervalů nastavují na kalibrátoru a chyba se čte na digitálním úchytkoměru. Chyba čtená na kalibrovaném měřidle se podle vzorce (1) bere kladně.

### 9.3 Stanovení chyby v celém měřicím rozsahu

U nových přístrojů, nebo v případech, kdy nemůžeme zaručit přestavení přístroje při každé výměně pevných měřicích doteků, nás zajímá chyba v celém měřicím rozsahu. Chybu zjistíme pomocí kalibračních kroužků, nebo na délkoměru. Přístroj nastavíme na základním rozsahu a postupně vyměňujeme měřicí doteky a zjišťujeme chybu měřidla. Pokud používáme kalibrační kroužky, je třeba počítat s úchytkami od jmenovité hodnoty. Dovolenu chybu v celém měřicím rozsahu dutinoměrů s výměnnými doteky výrobci zpravidla neuvádějí.

## 10 Vyhodnocení kalibrace

Měřené hodnoty a další údaje, charakterizující podmínky zkoušky, se zapisují do záznamu o měření. Naměřené chyby se porovnávají s mezními dovolenými chybami. Jako kritérium se berou hodnoty mezních chyb podle specifikace výrobce, nebo z dřívějších oborových norem. Někteří výrobci dodávají dutinoměry bez úchylkoměru a udávaná „přesnost“ se patrně týká pouze převodu v měřicí hlavici.

Při hodnocení můžeme vycházet z dovolených chyb podle oborové normy ON 25 1838, vypracovanou pro výrobky Somet v r. 1989.

Dělení úchylkoměru mm	Měřicí rozsah dutinoměru mm		Zdvih pohyblivého doteku mm	Největší dovolená chyba μm
	od	do		
0,01	14,5	30,5	1	±11
	30,5	250	2	±15
0,001	14,5	30,5	0,1	±3
	30,5	250		±5

Podle ON 25 1838 se největší dovolenou chybou rozumí součet dílčích chyb způsobených číselníkovým úchylkoměrem, převodovým ústrojím, vůlí měřicích doteků apod.

Norma pro číselníkové úchylkoměry ČSN EN ISO 463 upřednostňuje hodnocení pomocí největší dovolené chyby (MPE) v souměrných mezích. Někteří výrobci již také dovolené chyby úchylkoměrů podle této normy uvádějí. Ukazuje se, že prostým připočtením udávané „přesnosti“ dutinoměru, (typicky 2 μm, viz [12]) k dovolené chybě použitého úchylkoměru v příslušném rozsahu, dostaneme dovolenou chybu obdobnou, jako uvádí ON 25 1838. Pokud nejsou o použitém úchylkoměru dostupné žádné údaje o dovolených chybách, lze orientačně použít tabulku č. 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

Hodnocení podle největší dovolené chyby (MPE) umožňuje sestavit přehledný graf chyb (viz obr. 1) v pevných a souměrných mezích. Hystereze nemá při užití dutinoměru zásadní



vliv na výsledek měření a výrobci ji neuvádějí. Hystereze je však ukazatelem funkce a opotřebení převodového ústrojí a je proto účelné zjišťovat ji alespoň informativně.

Měřidlo vyhoví, leží-li největší naměřená chyba, zvětšená o nejistotu měření  $U$  v mezích dovolených chyb. Pokud by naměřená chyba zvětšená o nejistotu měření ležela vně těchto mezí, ale sama chyba 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  $Y \pm U$ .

## 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.

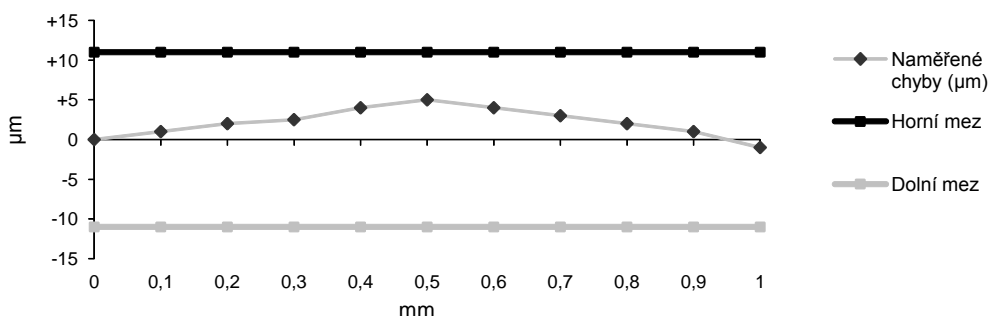
### Výsledek kalibrace:

Měřený parametr	Dovolená chyba MPE podle výrobce ( $\mu\text{m}$ )	Naměřená chyba $\mu\text{m}$	Nejistota měření $\mu\text{m}$
Chyba v rozsahu zdvihu	$\pm 11$	+ 5	$\pm 4$

### Měřené hodnoty:

Zkoušené body (mm)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Naměřené chyby ( $\mu\text{m}$ )	0	+1	+2	+3	+4	+5	+4	+3	+2	+1	-1

### Průběh chyby:



Obr. č. 3 Tabulka výsledků a kalibrační graf

### 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 dutinoměru,
- datum přijetí dutinoměru ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,

- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.2/22/14),
- 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 rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který dutinoměr 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 měřeními hodnotami) a archivovat ho.

### 11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji zároveň se záznamem o kalibraci po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem. 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 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)

Kalibrujeme dutinoměr Somet v rozsahu zdvihu pohyblivého doteku 1 mm. Rozsah měření s použitím pevných výměnných doteků je (14,5 až 30,5) mm. Číselníkový úchylkoměr má dělení 0,01 mm, největší dovolená chyba dutinoměru  $MPE = \pm 0,011$  mm. Kalibraci provádíme na kalibrátoru s mikrometrickým šroubem s nejistotou měření  $Ue = 2 \mu\text{m}$ . Měření provádíme v klimatizované laboratoři při teplotě prostředí  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Předpokládáme, že teplotní rozdíl mezi univerzálním přístrojem a dutinoměrem nepřesáhne toleranci  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  od referenční teploty  $20^\circ\text{C}$ . Délka trubky dutinoměru je  $L = 200$  mm

Za těchto podmínek má výchozí rovnice tvar

$$l_x = l_c - l_n + \Delta l_n + \Delta t \cdot \alpha \cdot L$$

kde:  $l_n$  délka čtená na etalonovém zařízení  
 $\Delta l_n$  čtení na etalonovém zařízení

$l_c$	délka nastavená na úchylkoměru dutinoměru
$\Delta t$	zbytkové nevyrovnání teploty
$\alpha$	součinitel teplotní roztažnosti
$l_x$	chyba v kalibrovaném místě

Při výpočtu nejistoty v tabulkové formě předpokládáme, že stejný vztah jako pro veličiny platí i pro jejich nejistoty. Citlivostní koeficient pro přepočet teplotních změn na délku se vypočte ze vztahu:

$$\alpha \cdot L = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 2,3 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$$

Pro stanovení nejistoty typu A z opakovaných měření provedeme 3 měření za různých podmínek v určených mezích. Naměřené chyby na nejhorším místě, odečítané na kalibrátoru, jsou:

$$(5,5; 4,0; 6,5) \mu\text{m}$$

Střední hodnota chyby:

$$Ch = 5,3 \mu\text{m}$$

Nejistota typu A z opakovaných měření:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot k_A = \frac{1,03}{\sqrt{3}} \cdot 2,3 = 1,37 \mu\text{m}$$

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

Nejistotu typu A zahrneme pro zjednodušení do tabulky pro stanovení nejistoty kalibrace.

Faktor rozdělení  $b$  je převrácenou hodnotou koeficientu rozdělení, viz [L11]:

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

Tabulka standardních nejistot dutinoměru se setinovým dělením úchylkoměru

Zdroje nejistot	Ozn.	Meze nejistot ( $\mu\text{m}$ )	Faktor rozdělení $b$	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě ( $\mu\text{m}$ )
Etalonové zařízení Délkoměr $U = 2 \mu\text{m}$	$l_n$	2	0,5	1	1,00
Čtení kalibrátorů $\frac{1}{2}$ dílku, tj. $\pm 0,5 \mu\text{m}$	$\Delta l_n$	0,5	0,6	1	0,30
Nastavení úchylkoměru $\frac{1}{5}$ dílku, tj. $\pm 1 \mu\text{m}$	$l_c$	1	0,6	1	0,60
Krajní teplotní rozdíl v průběhu kalibrace $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t$	0,2	0,6	2,3	0,28
Nejistota typu A z opakovatelnosti měření	$u_A$	1,37	1	1	1,37
Chyba v kalibrovaném místě	$l_x$	Nejistota $u$ ( $k = 1$ ) $\mu\text{m}$			1,85

Rozšířená nejistota měření při kalibraci dutinoměru:

$$U = 2 \cdot u = 2 \cdot 1,85 = 3,7 \mu\text{m}$$

Stanovená rozšířená nejistota měření představuje třetinu až polovinu dílku měřidla, což je očekávaný výsledek.

Chyba dutinoměru:

$$Ch = (5,3 \pm 3,7) \mu\text{m}, \text{ zaokrouhleně } (5 \pm 4) \mu\text{m}$$

Dovolená chyba:

$$\text{MPE} = 11 \mu\text{m}$$

Měřidlo vyhovuje podle normy ON 25 1839.

Při stanovení nejistoty kalibrace dutinoměru 0,1/0,001 úchylkoměru s dělením 0,001 mm postupujeme obdobně. Kalibraci je v tomto případě nutné provádět na délkoměru s nejistotou  $U = 0,5 \mu\text{m}$ . Čtení je digitální, nejistotu odečtu na etalonu tedy vypustíme. Naměřené chyby na nejhorším místě, odečítané na délkoměru, jsou:

$$(2,2; 2,7; 2,5) \mu\text{m}$$

Střední hodnota chyby:

$$Ch = 2,5 \mu\text{m}$$

Nejistota typu A z opakovaných měření:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot k_A = \frac{0,21}{\sqrt{3}} \cdot 2,3 = 0,28 \mu\text{m}$$

## Tabulka standardních nejistot dutinoměru s tisícinovým dělením úchylkoměru

Zdroje nejistot	Ozn.	Meze nejistot ( $\mu\text{m}$ )	Faktor rozdělení $b$	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě ( $\mu\text{m}$ )
Etalonové zařízení Délkoměr $U = 0,5 \mu\text{m}$	$l_n$	0,5	0,5	1	0,25
Nastavení na úchylkoměru 1/5 dílku, tj. $\pm 1 \mu\text{m}$	$l_c$	0,1	0,6	1	0,06
Krajní teplotní rozdíl v průběhu kalibrace $\pm 0,2^\circ\text{C}$	$\Delta t$	0,2	0,6	2,3	0,28
Nejistota typu A z opakovatelnosti měření	$u_A$	0,28	1	1	0,28
Chyba v kalibrovaném místě	$l_x$	Nejistota $u$ ( $k = 1$ ) $\mu\text{m}$			0,47

Rozšířená nejistota:

$$U = k \cdot u = 2 \cdot 0,47 = 0,94 \mu\text{m} \text{ (pro } k = 2)$$

V kalibračním listu dutinoměru se zdvihem 0,1 mm a s dělením 0,001 mm číselníkového úchylkoměru uvedeme zaokrouhlenou hodnotu  $U = 1 \mu\text{m}$ , což je jeden dílek. S ohledem na dovolenou chybu  $MPE = 3 \mu\text{m}$  je to nejistota očekávaná.

## 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).