



Česká metrologická společnost, z.s.

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 1.1.1/01/22

KONCOVÉ MĚRKY

(do 100 mm)

Praha
říjen 2022

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2022

Číslo úkolu: PRM/VII/2/22

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

Řešitel: Česká metrologická společnost, z. s.

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na kalibraci koncových měrek porovnávací metodou. Je zaměřen na kalibraci koncových měrek do 100 mm. Kalibrace koncových měrek přes 100 mm je popsána v KP 1.1.1/08/09/N.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká prvotní kalibrace i rekalibrace. Odstavec o úpravě měřicích ploch se však týká pouze rekalibrace opotřebovaných měrek. Některé postupy hodnocení opotřebovaných dílenských měrek nevycházejí z norem, nýbrž z praxe výrobních závodů a jako takové jsou v kalibračním postupu uvedeny.

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO 3650:2000	GPS – Etalony délek – Koncové měřky	[L1]
ČSN EN ISO 9001:2016	Systémy managementu kvality – Požadavky	[L2]
oprava Opr.1:2018		
ČSN EN ISO 10012 :2003	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.	[L3]
ČSN EN ISO 14253-1 :2018	GPS – Zkouška obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi	[L4]
anglicky		
ČSN EN ISO 14253-2 :2011	GPS – Zkouška obrobků a měřicího vybavení měřením – Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku	[L5]
ČSN EN ISO/IEC 17025 :2018	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L6]
	Mezinárodní metrologický slovník VIM 3	[L7]
EA 4/02 M:2022	Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci	[L8]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci koncových měrek 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

4.1 Termíny

Koncové měrky jsou etalony délky reprezentující specifikovaný díl metru, jednotky délky mezinárodního systému SI. V závislosti na druhu použití a požadované jakosti jsou koncové měrky nabízeny v několika třídách přesnosti.

Koncová měrka je ztělesněná míra pravoúhlého průřezu, vyrobená z materiálu odolného proti opotřebení, s jedním párem rovinných, navzájem rovnoběžných měřicích ploch, které mají schopnost přilnout k měřicím plochám jiných měrek nebo pomocným destičkám.

Středová délka koncové měrky l_c je kolmá vzdálenost středu volně přístupné měřicí plochy měrky a plochy pomocné rovinné destičky na kterou je druhá měřicí plocha měrky přilnuta nasunutím. Vliv přilnutí, který je zahrnut do délky referenční koncové měrky měřené interferenčně, je porovnávacím měřením přenášen.

Jmenovitá délka koncové měrky l_n je délka, která je na měrce vyznačená. Tolerance jmenovité délky se značí t_e .

Úchylka středové délky e_c je dána rozdílem středové a jmenovité délky měrky $e_c = l_c - l_n$. Rozpětí délky v je rozdíl mezi největší délkou koncové měrky l_{max} a nejmenší délkou měrky l_{min} . Tolerance rozpětí délky se značí t_v .

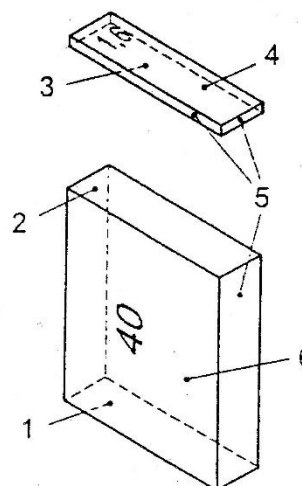
Největší dovolená chyba (MPE) – je extrémní hodnota chyby daná jednou dvoustrannou specifikací s konstantními symetrickými mezními hodnotami.

Měřicí rozsah – soubor hodnot měřené veličiny, pro něž se předpokládá, že chyby měřicího přístroje leží v předepsaných mezích.

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

4.2 Konstrukce a provedení

- 1 Levá měřicí plocha
- 2 Pravá měřicí plocha
- 3 Neoznačená měřicí plocha
- 4 Označená měřicí plocha
- 5 Boční plochy
- 6 Označená boční plocha



V naznačené pozici se měrky zpravidla zakládají do komparátoru.

Koncové měrky se dodávají zpravidla v sadách, které bývají uloženy v dřevěné kazetě. Jednotlivé měrky se dodávají jako náhrada za opotřebené.



Obr. č. 1 Sada koncových měrek v dřevěné kazetě

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení pro kalibraci

- Referenční koncové měrky se známou středovou délkou a nejistotou, navázané nepřerušným řetězcem na národní etalon.
- Elektronický komparátor délky s rozlišitelností 0,01 μm a dvěma snímači pro rozdílové měření.
- Optická destička o min. tloušťce 11 mm a rovinnosti plochy lepší, než 0,1 μm .
- Izolační kleště nebo pinzeta pro manipulaci s měrkami při měření.
- Teploměr s měřicím rozsahem min. 18 $^{\circ}\text{C}$ až 22 $^{\circ}\text{C}$, dílek stupnice min. 0,2 $^{\circ}\text{C}$ navázaný na etalon.
- Čistící prostředky - čistý benzín, např. lékárenský, vata, optická utěrka.
- Lapovací prostředky – lapovací kámen (arkansas, žula), lapovací brousek.
- Mazací a konzervační prostředky – lékárenská vazelína, popř. hodinářský olej.

Poznámka: Použité etalony a přístroje mají mít platnou kalibraci.

Podnikové laboratoře a kontrolní pracoviště užívají zpravidla komparátory s univerzálním stavebnicovým stojánkem. Snímače mohou mít zvětšený měřicí rozsah, což může při omezené přesnosti snížit počet potřebných etalonů. Pro specializované kalibrační

laboratoře jsou vhodnější stabilní zařízení.



Obr. č.2 Komparátor měrek s univerzálním stojánkem a zvětšeným měřicím rozsahem



Obr. č. 3 Komparátor měrek pro specializované kalibrační laboratoře

6 Obecné podmínky kalibrace – referenční podmínky

Kalibrace podložek se provádí za těchto referenčních podmínek a příslušných mezních odchylek:

Teplota prostředí:	20 °C ± 0,5 °C
Změna teploty vzduchu za 1 hodinu:	max. 0,5 °C
Standardní tlak	101 325 Pa
Relativní vlhkost vzduchu:	max. 65 % °relativní, nekorozní prostředí

Teplota prostředí musí být v průběhu kalibrace řízena. Odchylka od jmenovité teploty a kolísání teploty má vliv na nejistotu měření při kalibraci. Ostatní podmínky prostředí nemají zřejmý vliv na výsledek kalibrace.

7 Rozsah kalibrace

Kalibrace podložek se člení na tyto úkony:

- kontrola dodávky (8.1)
- čištění a předběžná kontrola měrek (8.2)
- příprava měřicích ploch měrek (8.3)
- kontrola přilnavosti a měření úchytky rovinnosti (9.1)
- teplotní ustálení měrek (9.2)

- kontrola komparátoru (9.3)
- měření koncových měrek (9.4)
- konzervace měrek (9.5)

8 Kontrola dodávky a příprava měrek

8.1 Kontrola dodávky

Koncové měrky předložené ke kalibraci musí být uloženy v nepoškozené kazetě označené jménem výrobce, výrobním a evidenčním číslem. Kontroluje se úplnost sady, hrubé poškození, výrazná koroze a záměna měrek. O závadách musí být neprodleně informován zákazník nebo uživatel měrek. Proveďte se kontrola podle objednávky nebo dodacího listu a zaeviduje se přijetí ke kalibraci. Pokud je třeba opravit kazetu, nesmí se použít lepidlo obsahující vodu.

8.2 Čištění a předběžná kontrola měrek

Měrky se nejprve odmastí v lékárenském benzínu. Pro urychlení procesu čištění lze použít ultrazvukovou pračku. Při práci je třeba dbát na požární bezpečnost vzhledem vysoké těkavosti lékárenského benzínu a výbušnosti jeho par.

Po umytí se měrky dočistí vatou napuštěnou nepoužitým benzínem, leští utěrkou a kontrolují. Měrky, které jsou zlomené, zabroušené, zasažené důlkovou korozí, nebo které mají rýhy zachytitelné nehtem, se předem vyřadí. Vyřazené měrky se doplní náhradními měrkami.

Nemá se zapomínat také na pravidelné mytí referenčních měrek. I nepatrné stopy mastnoty zhoršují opakovatelnost měření.

8.3 Příprava měřicích ploch měrek

Používáním měrek vznikají na měřicích plochách drobné rýhy a otřepy. Ty znemožňují přilnutí měrek a zhoršují opakovatelnost měření. Proto se musí požadované vlastnosti měřicích ploch obnovit lapováním.

Měřicí plochy pracovních měrek a měrek pro dílenské použití se lapují na lapovacím kameni – rovinné desce zhotovené zpravidla z granitu (žula). Mírně opotřebená měrka po několika tazích k desce přilne. Pokud má měrka naražené hrany a na kameni škrábe, musí se použít speciální tvrdý lapovací brousek. Lapování na litině za pomoci lapovací pasty je sice nejúčinnější, nezkušený pracovník však může snadno měrku zničit, a proto nelze tento postup obecně doporučit. Cílem těchto úprav je dosáhnout přilnutí měrky na kameni. Po lapování se měrky znovu očistí vatou namočenou v nepoužitém benzínu a vyleští optickou utěrkou.

9 Postup kalibrace

9.1 Kontrola přilnavosti a měření úchylky rovinnosti

Kontrola přilnavosti se provádí pomocí rovinné skleněné destičky. Skleněná destička má

mít tloušťku nejméně 11 mm a úchylku rovinnosti max. 0,1 μm . Obě měřicí plochy všech měrek musí přilnout nasunutím na sklo.

Úchylka rovinnosti měřicí plochy se posuzuje podle interferenčních proužků, která se objeví na měřicí ploše měrky přilnuté na skle. Přilnutá měřicí plocha nových měrek tříd K a 0 nesmí vykazovat žádné interferenční pruhy ani skvrny. U koncových měrek třídy přesnosti 1 a 2 jsou skvrny a stíny v malém rozsahu připuštěny. Tolerance rovinnosti t_f v závislosti na délce a třídě měrek uvádí tabulka 3 v ČSN EN ISO 3650.

U opotřebených měrek dílenských lze zpravidla připustit jeden až dva do oválu uzavřené interferenční proužky při obvodu měřicí plochy.

Při nasouvání tenkých měrek na sklo se též projeví prohnutí měrky jako řada příčných interferenčních proužků, které se při přitlačení měrky pohybují a mizí. Norma připouští u měrek délky do 2,5 mm úchylku rovinnosti měřicí plochy, která není přilnuta k destičce, do 4 μm (což je asi 12 interferenčních proužků od středu ke kraji měrky). Pokud prohnutá měrka přilne na sklo bez interferenčních proužků a udrží se, je považována za dobrou.

Při přenosu míry dvoudotekovým komparátorem není vliv prohnutí měrky významný. V praxi jsou však mohou být prohnuté měrky zdrojem nepříjemných chyb. Když se přilnutá měrka časem ve střední části zvedne a po kraji zůstane nalepená, změní blok měrek svoji délku.

9.2 Teplotní ustálení měrek

Před měřením střední délky je třeba nechat měrky teplotně ustálit. Rozhodující je zejména rozdíl teploty mezi referenční a kalibrovanou měrkou, který by neměl přesáhnout 0,05 $^{\circ}\text{C}$. To se nejlépe zajistí tak, že se příslušné měrky přiloží k sobě na dostatečně dlouhou dobu, např. přes noc. Stabilizace měrek se provádí v laboratoři v blízkosti komparátoru. Odchylka od normální teploty v laboratoři má být nejvýše 0,5 $^{\circ}\text{C}$ až 1 $^{\circ}\text{C}$ a je kritická zejména při porovnání měrek vyrobených z různých materiálů.

Doba v minutách, která odpovídá délce měrky v centimetrech je přibližně polčasem teplotního ustálení měrky na stojánku komparátoru (platí pro měrky do 100 mm). Po této době se počáteční teplotní rozdíl (a tím i teplotní chyba) zmenší na polovinu. Za teplotní ustálení se považuje stav, ke kterému dojde za dobu přibližně pětkrát delší.

Odchylka teploty kalibrovaných měrek od teploty normální může mít zásadní význam při rozdílné teplotní roztažnosti měrek referenční a kalibrované. Odchylka od normální teploty se měří dotykovým teploměrem nebo tělískovým teploměrem přiloženým po dobu ustalování k měrkám. Odchylka od normální teploty se použije pro výpočet teplotní korekce v případě, že teplotní součinitele délkové roztažnosti obou měrek jsou různé.

Materiál měrky	Součinitel teplotní roztažnosti $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Nejběžnější výrobci
Ocel – běžná jakost	$11,5 \pm 1$	Somet, Mitutoyo a další
Ocel – velmi tvrdé	11 ± 1	Zeiss
Zirkonová keramika (bílá)	10 ± 1	Mitutoyo

Slinutý karbid	4,5 ± 1	OPUS, krycí měrky Somet
----------------	---------	-------------------------

9.3 Základní kontroly komparátoru

9.3.1 Kontrola spodního doteku

Přístroj se přepne do polohy „měření pouze spodním dotekem“ (zpravidla „A“) a točítka se nastaví do poloviny svého rozsahu. Na měřicí stůlek se položí rovinné sklo nebo větší referenční měrka tak, aby byl kontakt zatlačen v rovině stolku. V této poloze má přístroj přibližně indikovat nulu. Větší odchylka se seřídí přestavením spodního doteku.

9.3.2 Kontrola chyby komparátoru

Přístroj se přepne do polohy součtového měření (A + B) a porovnávají se tisícinné referenční měrky při respektování jejich úchylek. Chyba nemá přesáhnout kvadratický součet udávaných nejistot etalonu a komparátoru.

9.4 Měření koncových měrek

9.4.1 Měření střední délky

Referenční a zkoušená měrka se založí na určená místa do komparátoru pomocí pinzety nebo izolačních kleští. Po teplotním ustálení se přenáší středová délka referenční měrky na zkoušenou měrku. Při ručním měření se úchylka referenční měrky nastavuje točítkem na komparátoru podle kalibračního listu. Po přejetí na měrku zkoušenou se odečte úchylka zkoušené měrky a provede se kontrolní měření na etalonu. Tento cyklus se provede nejméně dvakrát při kalibraci měrek dílenských a nejméně třikrát při kalibraci etalonů. Nastavování jmenovitých hodnot odpadá při použití komparátoru ve spojení s počítačem a kalibračním programem. Dalšími výhodami počítačové podpory jsou kontrola opakovatelnosti měření, možnost zadání teplotních korekcí a tisk kalibračních listů.

9.4.2 Rozpětí délky

Porovnávací měření lze použít k stanovení rozpětí délky v . Měří se ve středu a ve čtyřech rozích, které jsou vzdáleny přibližně 1,5 mm od bočních hran.

Velikost rozpětí délky je u kvalitních měrek srovnatelné s nejistotou měření komparátorů a proto je její číselná hodnota zatížena velkou nejistotou. Kontroluje se zpravidla jen informativně a to zejména v případech, kdy kontrola rovinnosti na sklo signalizuje problémy se stavem měřicích ploch.

9.5 Konzervace měrek

Ocelové měrky je třeba po měření vždy nakonzervovat. Silně odmaštěný, popřípadě olapovaný povrch koroduje i bez dalších vlivů, pouze vlivem vzdušné vlhkosti. U silně odmaštěných měrek je také velmi omezená přilnavost. Dlouhodobá konzervace, dopravní konzervace a konzervace etalonů pro občasné použití se provádí bezvodou lékárenskou vazelínou.

Měrky pro dílenské použití je možné konzervovat i olejem. Po běžném odmaštění a očištění pak mají měrky dobrou přilnavost i dostatečnou odolnost proti korozi.

10 Vyhodnocení kalibrace

10.1 Zařazení měrek do tříd přesnosti

Norma ČSN EN ISO 3650 rozlišuje čtyři třídy měrek. Podle úchytky délky lze řadit měrky do třídy 0, třídy 1 a třídy 2. Třída K má dovolené úchytky délky shodné s třídou 1 a liší se tolerancí rozpětí délky. Kontrola, zda měrky vyhovují třídě přesnosti, má smysl pouze při prvotní kalibraci nově koupených měrek.

10.2 Meze opotřebení a výměna měrek

Pro opotřebené měrky si uživatelé měrek stanovují dovolené úchytky délky větší, než předepisuje norma výrobcům. Například ve strojírenském podniku se měrky pro kontrolu měřidel považují za vyhovující, pokud úchytky délky nepřesahují 1 μm . V dílenských sadách bez rozdílu třídy přesnosti se měrky vyměňují za nové měrky II. třídy, když úchytky délky přesáhne meze $-(3 + 20 L) \mu\text{m}$, $+(1 + 20 L) \mu\text{m}$, kde L je délka měrky v metrech. U měrek tisícinových se však povoluje pouze úchytky do 1 μm . Tyto meze přibližně určuje tabulka:

Rozsah jmen. hodnot mm	Dolní mez μm	Horní mez μm
1,001 až 1,009	- 1,0	+ 1,0
0,5 až 5	- 3,1	+ 1,1
5 až 10	- 3,2	+ 1,2
10 až 25	- 3,5	+ 1,5
25 až 50	- 4,0	+ 2,0
50 až 75	- 4,5	+ 2,5
75 až 100	- 5,0	+ 3,0

Poznámka:

Uvedené hodnoty jsou pouze informativní a pro dané pracoviště je stanovuje příslušný metrolog.

10.3 Hodnocení stavu měřicích ploch

Norma ČSN EN ISO 3650 připouští u měrek jemné škrábance bez otřepů, které nesníží přilnavost ploch. Dříve některými laboratořemi používaná klasifikace povrchu měrek písmeny a, b, c, d (pro opotřebení 25%, 50%, 75% a nevyhovující), se používá jen výjimečně, protože nemá oporu v normě a je příliš subjektivní.

11 Kalibrační list

Kalibrační list musí obsahovat výsledky měření, což jsou zpravidla úchytky středové délky od délky jmenovité. Pokud se prováděly početní korekce výsledků měření, je nutné uvádět použitý koeficient délkové roztažnosti měrek.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- název a adresu kalibrační laboratoře,

- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrované sady koncových měrek,
- e) datum přijetí koncových měrek 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 1.1.1/01/22),
- 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 sadu koncových měrek kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede 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 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 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 při kalibraci koncových měrek (příklad)

Analýza zdrojů nejistot vychází (při určitém zjednodušení) z příkladu pro měrku 50 mm, který je uveden v příloze EA 4/02. Kalibrovaná měrka se porovnává na komparátoru s etalonovou měrkou o stejné jmenovité délce. Pro stanovení nejistoty typu A se provede pět opakovaných měření:

Stanovení úchylky délky koncové měrky 50 mm

Naměřené úchylky délky:

(-0,10; -0,09; -0,08; -0,09; -0,10) μm

Střední úchylka délky:

$$\delta l = -0,92 \mu\text{m}$$

Směrodatná odchylka:

$$s = 0,012 \mu\text{m}$$

Stanovení standardní nejistoty typu A: u_A

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,012}{\sqrt{5}} = 0,0054 \mu\text{m}$$

kde: s Směrodatná odchylka určená na kalkulátoru
 n Počet měření

Nejistota z opakovaných měření $u_A = 0,0054 \mu\text{m}$ se zahrne do výpočtové tabulky.

Stanovení standardní nejistoty typu B: u_B

Výchozí rovnice má pro tento případ tvar:

$$l_x = l_s + \delta l_D + \delta l + \delta l_C - L \cdot \alpha \cdot \delta t - L \cdot \delta \alpha \cdot \Delta t - \delta l_v$$

kde:

l_x	délka zkoušené měřky
l_s	délka referenční měřky
δl_D	změna délky referenční měřky vlivem driftu
δl	rozdíl mezi zkoušenou a referenční měrkou
δl_C	korekce chyby komparátoru
L	jmenovitá délka měrek
α	součinitel délkové teplotní roztažnosti ($11,5 \mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
$\delta \alpha$	tolerance součinitele délkové tepl. roztažnosti ($\pm 1 \mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
δt	teplotní rozdíl mezi referenční a zkoušenou měrkou
Δt	odchylka od normální teploty
δl_v	korekce na nestředový kontakt (vychýlení kontaktů)

Veličiny jsou popsány v tabulce (velikost úchytky je vynechána, neboť se v praxi nastavuje a nedopočítává), pracuje se pouze s nejistotou a vzhledem ke kvadratickému součtu příspěvků k nejistotě se na záporná znaménka nebere ohled.

Nejistotu typu A připočteme pro zjednodušení v tabulce pro stanovení nejistoty kalibrace. Faktor rozdělení b je převrácenou hodnotou koeficientu rozdělení, viz [L5] a zavádí se pro zjednodušení výpočtu v tabulkovém kalkulátoru:

- normální rozdělení: $b = \frac{1}{2} = 0,5$
- rovnoměrné rozdělení: $b = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$

Tabulka stanovení nejistoty pro měrku 50 mm, L=0,05 m

Zdroj nejistoty	Veli- čina	Meze nejistot	Faktor rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
Referenční etalon	l_s	0,03 μm	0,5 norm.	1	0,015
Drift etalonu	δl_D	0,03 μm	0,577 rovn.	1	0,017
Opakovaná měření (nejistota typu A)	δl	0,0054 μm	1 norm.	1	0,005
Chyba komparátoru (z kalibračního listu)	δl_c	0,032 μm	0,577 rovn.	1	0,018
Teplotní rozdíl mezi měrkami $\delta t = \pm 0,05^\circ\text{C}$	δt	0,05 $^\circ\text{C}$	0,577 rovn.	0,575 $\alpha \cdot L = 11,5 \cdot 0,05$	0,017
Tolerance teplotní roztažn. měrek $\delta \alpha = \pm 1$, uvažov. změna normální teploty $\Delta t = \pm 0,5^\circ\text{C}$	$\delta \alpha$	1 $\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	0,575 rovn.	0,025 $\Delta t \cdot L = 0,5 \cdot 0,05$	0,014
Vychýlení kontaktů (odhad z rozpětí délky)	δl_v	0,0067 μm	0,577	1	0,004
Nejistota u pro pravděpodobnost $P=68\%$	l_x				0,037

Rozšířená nejistota kalibrace měrky 50 mm:

$$U = k \cdot u(l_x) = 2 \cdot 0,037 = 0,074 \approx 0,08 \mu\text{m} \quad (1)$$

Měrky jsou zpravidla v sadách o velkém počtu kusů a stanovení nejistoty pro každý rozměr zvlášť by bylo obtížné. Proto se pokusíme odhadnout obecný výraz pro stanovení nejistoty měrky délky L. Nejistota z opakovaných měření se nahradí odhadem z krajních mezí opakovatelnosti, které se nastavují na vyhodnocovacím zařízení.

Tabulka stanovení nejistoty pro měrku obecné délky L

Zdroj nejistoty	Meze nejistot	Faktor rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě	
Referenční etalon -2. řád $U=0,02 + 0,2 \cdot L$ (μm ; m)	0,02+0,2L μm	0,5 norm.	1	0,010	0,10 · L
Drift etalonu $\pm 0,03 \mu\text{m}$	0,03 μm	0,577 rovn.	1	0,017	
Opakovaná měření nastavená mez 0,02 μm	0,02 μm	0,5 norm.	1	0,010	
Chyba komparátoru z kalibr. listu $\pm 0,03 \mu\text{m}$	0,032 μm	0,577 rovn.	1	0,018	
Teplotní rozdíl mezi měrkami $\pm 0,05^\circ\text{C}$	0,05 $^\circ\text{C}$	0,577 rovn.	11,5 · L $\alpha \cdot L = 11,5 \cdot L$		0,33 · L
Rozdíl teplotní roztažn. měrek $\delta \alpha = \pm 1$ při změně teploty $\Delta t = \pm 0,5^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	0,575 rovn.	0,5 · L $\Delta t \cdot L = 0,5 \cdot L$		0,29 · L
Vychýlení kontaktů (odhad z rozpětí délky)	0,0067 μm	0,577	1	0,004	
Nejistota u pro pravděpodobnost $P=68\%$				0,027	0,45 · L

Rozšířená nejistota kalibrace měřky o délce L (m):

$$U = k \cdot u = 2 \cdot (0,027 + 0,45 \cdot L) \approx 0,06 + 0,9 \cdot L \text{ (}\mu\text{m; m)}$$

kde: $k = 2$ – je koeficient rozšíření normálního rozdělení pro pravděpodobnost 95%

Tabulka je vypočtena pro kalibraci měrek 3. řádu porovnáním s etalonem 2. řádu pro obecnou délku měřky L . Při kalibraci měrek 3. řádu se vyžaduje (nastavuje) opakovatelnost měření v mezích $\pm 0,02 \mu\text{m}$.

Složky nejistoty jsou převážně buď závislé, nebo naopak nezávislé na délce a lze je proto (kvadraticky) sečíst odděleně. Součet složek na délce nezávislých se složkami na délce závislými je opět kvadratický, což lze v praxi při mírném nadhodnocení nejistoty zanedbat.

Pokud nevadí malé nadhodnocení nejistoty měření, můžeme výraz použít pro celou sadu měrek do 100 mm. V opačném případě lze dosadit příslušnou délku měřky L a oba sčítance sečíst kvadraticky. Například pro měрку 50 mm dosadíme $L = 0,05$ m:

$$U = \sqrt{0,06^2 + (0,9L)^2} = \sqrt{0,036 + 0,002025} = 0,075 \approx 0,08 \mu\text{m} \quad (2)$$

Pro měрку 50 mm vychází při kvadratickém součtu rozšířená nejistota:

$$U = 0,08 \mu\text{m},$$

což se dobře shoduje s podrobným odhadem nejistoty, viz (1).

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 7.7.2 Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby ho 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).

Změny proti předchozímu vydání z roku 2008

V revidovaném vydání kalibračního postupu byla provedena formální úprava podle současného vzoru ČMS, aktualizována normativní základna a doplněny příklady měřidel, kterých se postup týká. Dále byl přepracován příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci.