



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

Metodika provozního měření

MPM 1.1.2/02/17

METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ DÉLKOMĚRY

Praha

říjen 2017

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2017

Číslo úkolu: VII/3/17

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 metodiky

Tento metodický postup se vztahuje na měření a kalibrace prováděné na univerzálních (vodorovných) délkoměrech v kalibračních nebo kontrolních dílenských laboratořích. Okrajově se postup zmiňuje i o délkoměrech svislých. Postup popisuje měření pomocí délkoměrů s klasickými optickými systémy odměřování, hlavní pozornost je však zaměřena na stroje vybavené elektronickými digitálními odměřovacími systémy. Postup porovnává dva základní konstrukční principy délkoměrů z hlediska uživatele. Jsou to délkoměry s přímým odměřováním a stroje využívající porovnávací metodu měření. Rozsah měření se může pohybovat od 100 mm do 6 m, výjimečně i větší. Rozlišení bývá u optických systémů zpravidla (0,5 až 0,1) μm , u elektronických systémů (0,1 až 0,01) μm .

2 Související normy a metrologické předpisy

KP 1.1.2/18/13	Pevné odpichy (Kalibrační postup ČMS)	[L1]
KP 1.1.2/08/09/N	Délkoměr (Kalibrační postup ČMS)	[L2]
KP 1.1.1/04/13	Nastavovací kroužky (Kalibrační postup ČMS)	[L3]
ČSN EN ISO 3650	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Etalony délek - Koncové měřky	[L4]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[L5]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L6]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[L7]
EA-4/02 M:2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[L9]
ČSN EN ISO 14253-1	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi	[L10]
ČSN EN ISO 14253-2	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku	[L11]
ČSN EN ISO 1	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Referenční teplota pro specifikace geometrických a rozměrových vlastností	[L12]
ČSN 25 0051	Normální teplota pro srovnávání měřených hodnot závislých na teplotě	[L13]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[L14]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření na délkoměru je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

Délměř je měřicí stroj pro přesné měření délek zejména při kalibraci odpichů, pevných mezních měřidel a přesných výrobků.

Univerzální délměř je stroj s vodorovnou měřicí osou, výměnnými měřicími doteky a příslušenstvím pro různé měřicí úlohy.

Svislý délměř je délměř se svislou měřicí osou pro odměřování výšky od měřicího stolku.

Přímý měřicí rozsah je rozsah odměřování při jednom nastavení.

Rozsah měření je největší rozměr, který lze na daném stroji měřit.

Abbého princip je požadavek na konstrukční uspořádání stroje, kdy osa odměřovacího systému je totožná s osou měření (osou doteků).

Chyba měření je algebraický rozdíl mezi indikovanou hodnotou a pravou (skutečnou) hodnotou měřené veličiny.

Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být přisuzovány měřené veličině.

BMC je nejlepší měřicí schopnost definovaná jako nejistota měření, která se dosahuje na předmětu, jehož vlastnosti jsou téměř ideální za běžných podmínek měření.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), a v publikacích zaměřených na metrologickou terminologii.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

- Univerzální délměř potřebného rozsahu měření,

- sada plochých a kulových doteků,
- příslušenství pro měření vnitřních rozměrů,
- příslušenství pro měření závitů,
- nastavovací měrka nebo sada koncových měrek potřebného rozsahu. Jde o pracovní etalon minimálně 4. sekundárního řádu a 2. třídy přesnosti, podle ČSN EN ISO 3650,
- teploměr dotykový (tělískový) s měřicím rozsahem min. (16 až 26) °C s hodnotou dílku stupnice min 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů, navázaný na etalon,
- teploměr prostorový s rozsahem min (10 až 30) °C s rozlišením min 0,5°C,
- čisticí prostředky: technický benzín nebo jiné odmašťovadlo, utěrka.

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

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Provozní měření pomocí délkoměru se provádí za těchto referenčních podmínek:

- teplota prostředí (20 ± 0,5) °C,
- teplotní rozdíl mezi měřidlem a měřeným předmětem max. 0,2 °C,
- klidné prostředí bez průvanu a nadměrné prašnosti,
- suché prostředí s relativní vlhkostí max. 75 %.

Před měřením musí být měřený předmět a nastavovací měrka umístěna min. 1/2 hodiny poblíž měřicího stroje.

Teplota měřeného předmětu a délkoměru a teplota prostředí se zjišťuje před zahájením měření a po jeho skončení, popř. se kontrolují průběžně.

Ostatní podmínky prostředí nemají v rozumných mezích přímý vliv na výsledek měření a posuzují se subjektivně podle podmínek daného pracoviště.

7 Metrologické meze využití metody měření

Mezní rozsah měření univerzálního délkoměru je dán měřicím rozsahem mezi doteky, rozsahem pro měření průměrů a největší vzdáleností od měřicího stolku k ose měření, případně též nosností měřicího stolku. Pokud má stroj omezený rozsah měřicího systému (porovnávací délkoměr), je nutný vhodný nastavovací etalon, který se od měřeného kusu liší o méně, než o rozsah odměřování.

Délkoměry jsou určeny pro měření na čistých předmětech (kalibrech a obrocích). Drsnost povrchu by měla být do hodnoty $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Pro zaručení správnosti měření má být teplota měřených předmětů, měřidel i okolního prostředí blízká normální teplotě 20 °C. Odchylky od normálních podmínek měření vedou vždy k zhoršení přesnosti měření a to i v případě, že jsou používány správné postupy měření a výsledky jsou na normální

podmínky korigovány. Normální teplota pro udávání výsledků délkových měření je 20 °C. Pokud nemůže být normální teplota při měření dodržena, musí být výsledky měření na tuto teplotu přepočítány.

7.1 Délkoměry s omezeným rozsahem odměřování

Délkoměry s omezeným přímým rozsahem měření bývají přesné a spolehlivé stroje, dodržující Abbého princip uspořádání. Zásadním omezením je nutnost přestavování měřicího systému a z toho vyplývající potřeba sady nastavovacích etalonů. Důsledkem je větší pracnost měření. Tento typ strojů je vhodný pro sériové měření a kalibrace rozměrově blízkých předmětů. Příkladem moderního stroje popisované konstrukce je malý délkoměr KLM 60 firmy Steinmeyer FMS Suhl:



Parametry:
Přímý měř. rozsah 60 mm,
Vnější měření do 120 mm,
Vnitřní měření do 90 mm,
Nejistota vnějších měření
 $\pm(0,2 + 0,01L) \mu\text{m}$,
 L - měřená délka (mm).

Obr. č. 1: Malý délkoměr KLM 60 firmy Steinmeyer FMS Suhl

Větším a propracovanějším strojem obdobného systému s granitovým ložem je délkoměr od firmy Mahr, PRECIMAR ULM-E



Obr. č. 2: Délkoměr firmy Mahr, PRECIMAR ULM-E

Rozměry přístroje (D x Š x V) [mm]	1080 x 380 x 480
Rozsah měření, vnější měření [mm]	0 až 640
Rozsah měření, vnitřní měření [mm]	0,5 až 485
Přímý rozsah měření [mm]	100
Odchylka měření délky MPE_{E1} (L v mm) [μm]	$\leq (0,09 + L/2000)$ nebo $\leq (0,3 + L/1500)$
Měřicí síly [N]	0,2 ; 1,0 až 4,5 ; 11
Opakovatelnost [μm]	$\leq 0,05$ nebo 0,1
Délka přístroje [mm]	1080
Hmotnost [kg]	160

7.2 Délkoměry s odměřováním v celém rozsahu měření

Délkoměry s přímým odměřováním v celém rozsahu mívají často odměřovací systém uložený v loži stroje mimo osu měření, to znamená, že nedodržují Abbého princip. Vzniklá chyba měření bývá mechanicky nebo digitálně kompenzována. Výhodou tohoto uspořádání je vysoká operativnost při nižších pořizovacích nákladech, nevýhodou je nižší přesnost. Příkladem stroje nabízeného v současné době je řada délkoměrů firmy TRIMOS:



Obr. č. 3: Délkoměr firmy TRIMOS Labconcept

Labkoncept		500	1000	1500	2000
Rozsah měření	mm	550	1050	1550	2050
Max. dovolená chyba	μm	$0,3 + L(\text{mm})/1500$			
Opakovatelnost	μm	0,1			
Měřicí síla	N	$0 \div 12$			
Hmotnost	kg	94	123	152	181

Stroje firmy TRIMOS lze do určité míry považovat za náhradu již nevyráběných strojů firmy SIP, se kterými mají stejný průměr doteků a proto je použitelné některé příslušenství. Příkladem stroje s přímým měřením v celém rozsahu je dnes již nevyráběný délkoměr SIP 1002 M



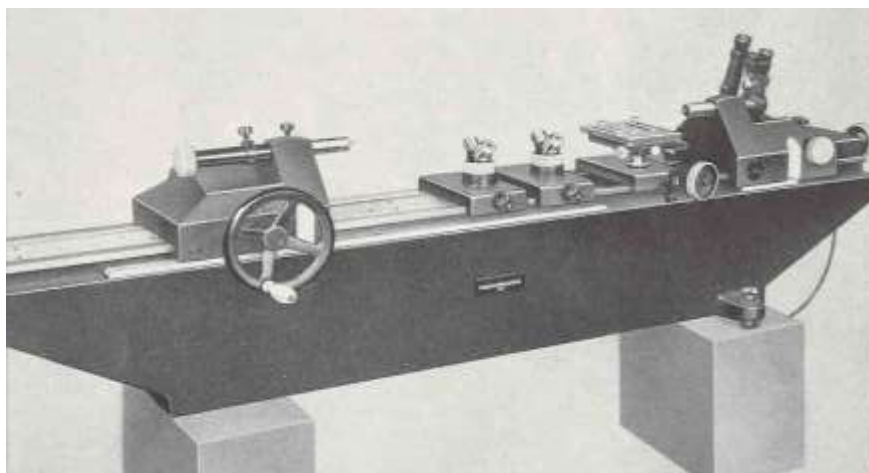
SIP 1002 M		
Rozsah měření	mm	1016
Přesnost měření	μm	$(0,3 + 0,4L) / L (\text{mm})$
Rozlišení	μm	0,1
Měřicí síla	N	$0 \div 3$
Hmotnost	kg	550

Obr. č. 4: Délkoměr SIP 1002 M

Měřítka odměřovacího systému délky 508 mm je ocelové a umístěné v ose doteků. Měřítka odečítají dva systémy umístěné v loži stroje, které se automaticky přepínají. Abbého princip je u stroje dodržen za tu cenu, že se měřítka odečítá ze vzdálenosti asi 130 mm. To činí měřicí systém náchylným na správnost seřízení, namazání a nečistoty.

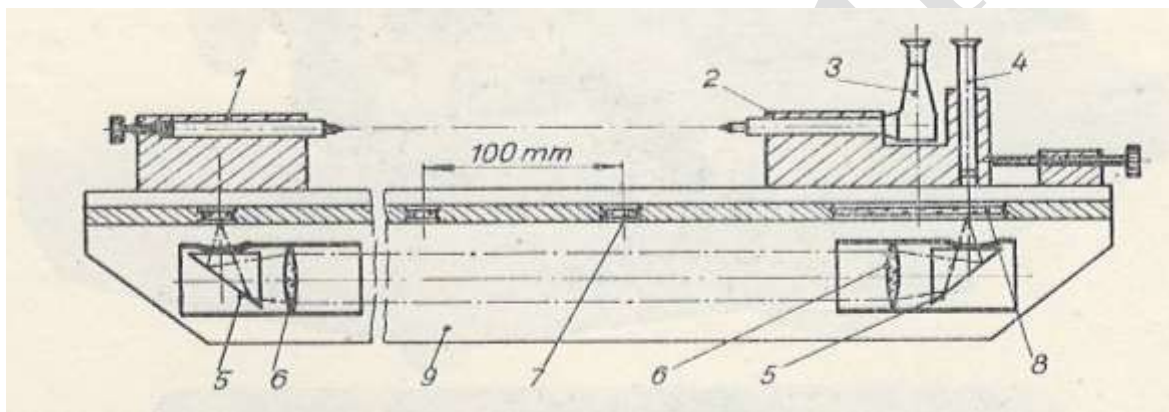
7.3 Délkoměry pro velké rozměry

Klasickým konstrukčním řešením délkoměru pro velké rozměry (3 až 6 m) je délkoměr využívající optický systém Eppenstein, dříve vyráběný firmou ZEISS.



ZEISS 3M		
Rozsah měření	mm	3000
Přesnost měření	μm	$(0,5 + L/100)$ L (mm)
Rozlišení	μm	0,3
Měřicí síla	N	2
Hmotnost	kg	890

Obr. č. 5: Délkoměr pro velké rozměry

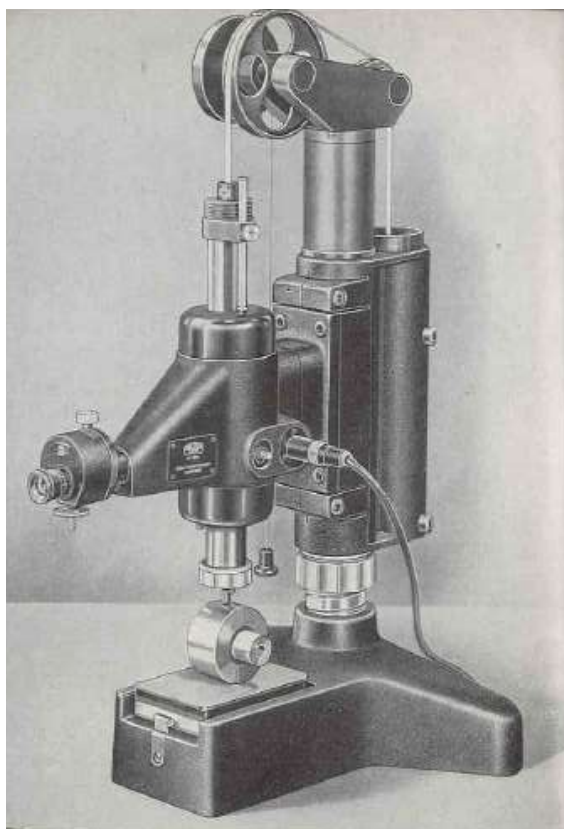


Obr. č. 6: Schéma délkoměru pro velké rozměry

V loži je zabudováno skleněné měřítko 7 s dvouryskami po 100 mm. Dvourysky se promítají z pevné pinoly 1 pomocí optické soustavy v loži stroje přes měřítko 8 do okuláru 4. V okuláru 4 se odečítá až na desetiny milimetru, setiny a tisíciny se odečtou v okuláru 3. Nepřesnost (chyba) stroje udávaná výrobcem je $\pm(0,5 + L/100)$ μm , kde L je měřená délka v mm. Kalibrace laserinterferometrem ukazuje, že při dobrých podmínkách prostředí může být člen na délce závislý poloviční.

V dnešní době se délkoměry pro velké rozměry staví na zakázku na betonovém loži a jako měřicí systém využívají přímé odměřování laserinterferometrem. Tak lze dosáhnout dodržení Abbého principu i pro velké rozsahy měření.

7.4 Svislé délkoměry



Svislý délkoměr Firmy ZEISS

Parametry:

Přímý měř. rozsah 100 mm,
Rozsah měření do 200 mm,
Dílek stupnice 1 μm ,
Váha 57 kg.

Konstrukce stroje pochází od profesora Ernsta Abbe z konce devatenáctého století. Svislé délkoměry umožňovaly produktivní kontrolu výrobků i kalibrů a byly častým a oblíbeným vybavením dílenských kontrol.

Odečítání se provádělo pomocí spirálového okuláru s rozlišením asi 0,5 μm

Obr. č. 7: Svislý délkoměr Firmy ZEISS



Svislý délkoměr ABBE 200

Parametry:

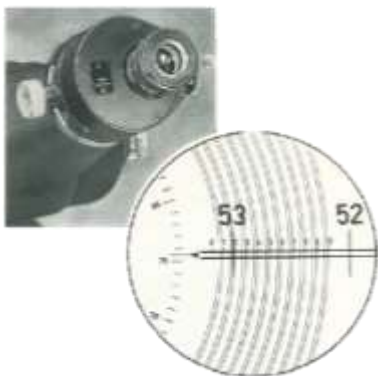
Přímý měř. rozsah 100 mm,
Rozsah měření do 200 mm,
Rozlišení 0,1 μm ,
Nejistota měření 0,4 μm ,
Váha 55 kg.

Obr. č. 8: Svislý délkoměr ABBE 200

Stroj byl firmou ZEISS inovován a v digitální podobě nabízen pod názvem ABBE 200. Dřívějšího rozšíření však již nedosáhl a v dnešní době se již nevyrábí. Pro dílenské použití byly svislé délkoměry nahrazeny výškoměry.

7.5 Systémy odečítání měřené hodnoty

Klasické délkoměry používaly optické systémy odečítání měřené hodnoty. Konstrukce optického spirálového mikrometru pochází od profesora Ernesta Abbe z konce 19. století a užívala se do šedesátých let dvacátého století.



Od sedmdesátých let se objevují digitální odečítací systémy. Digitalizace zlepšila hlavně rozlišitelnost a objektivitu odečtu, chybu délkových měření však ovlivnila málo. Hlavní přínos digitalizace je v produktivitě práce jak při samotném měření, tak i při následném zpracování výsledků.

Rada firem nabízí přestavbu starých strojů s optickým odčítáním na systém digitální. To je výhodné, podle zkušeností, u menších strojů, s rozsahem do 1000 mm. Přestavba velkých délkoměrů systému Eppenstein není již z uživatelského hlediska tak výhodná, neboť je potřeba při inicializaci systému sundat měřený předmět a projet celý rozsah měření.

Obr. č. 9: Abbeho optický spirálový mikrometr

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Pro délkoměr má být zpracován plán periodických kalibrací a provozních kontrol a nastavení. Provozní kontroly a nastavení závisí na konstrukci stroje a vycházejí s návodu výrobce. Zpravidla obsahují tyto úkony:

- kontrola vzhledu, čistoty a úplnosti příslušenství,
- kontrola platnosti kalibrace stroje i etalonů,
- kontrola plynulosti posuvu měřicí části a měřicího stolku,
- výběr, nastavení a seřízení kontaktů pro požadovanou měřicí úlohu,
- základní nastavení stroje na nastavovací etalon (měrku) a kontrola návratnosti.

Délkoměr musí být prostý prachu a jiných nečistot a vodící plochy být správně namazány. Příslušenství délkoměru má být uloženo na vyznačených místech. Kalibrace délkoměru musí být v době měření platná. Stroj s prošlou platností kalibrace nesmí být použit k měření a musí být znovu kalibrován. Všechny pohyblivé části se musí posouvat plynule a bez patrné vůle. Měřicí kontakty nesmí být vyštípnuté, nebo jinak poškozené. Rovnoběžnost plochých kontaktů se kontroluje protažením kontrolního válečku nebo kuličky mezi kontakty při současném sledování nulového indikátoru nebo odměřování stroje. Pokud rovnoběžnost nevyhovuje, je třeba kontakty seřídít nebo zalapovat, v závislosti na konstrukci stroje. Kulové doteky se seřizují přitlačeny k sobě na vratný bod. Nastavovací měrka musí na oba ploché kontakty pevně přilnout. Úchylka nastavovací měrky se volí v mezích (-0,1 až -0,2) μm od jmenovité hodnoty, čímž se kompenzuje chyba nasátí měrky. Po nastavení nuly se projede měřicí rozsah stroje a kontroluje se návratnost na nulu opětým nasátím nastavovací měrky. Návratnost má být v mezích základní chyby stroje deklarované výrobcem.

Délkoměr, který vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat.

9 Postup měření

Postup měření popisovaný v následujících článcích se týká jak strojů s přímým měřením, tak i strojů porovnávacích. Rozdíl je v nutnosti přestavování stroje pro potřebný měřicí rozsah, což má vliv na počet potřebných nastavovacích etalonů a v důsledku na produktivitu práce.

Velkou důležitostí má při měření na délkoměru vyrovnání teplot etalonu, měřeného kusu a stroje. Měřený kus musí být několik hodin před měřením umístěn v klimatizovaném prostředí laboratoře. Přesné vyrovnání teplot se provádí uložením měřeného předmětu a nastavovacího etalonu na loži stroje. Vyrovnání teploty se kontroluje dotykovým (tělískovým) teploměrem.

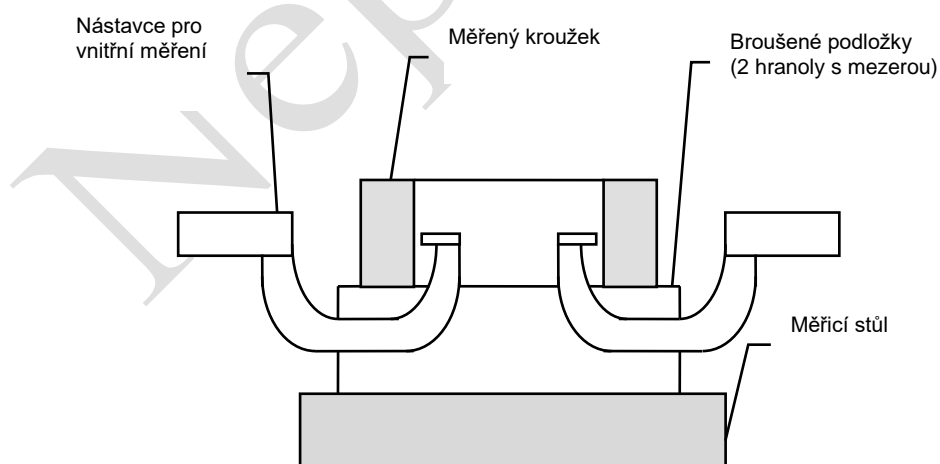
9.1 Měření vnějších rozměrů

Při měření vnějších rozměrů se volí doteky tak, aby se dosáhlo bodového (případně přímkového) styku mezi kontaktem a měřeným předmětem. Pro měření předmětů s rovnoběžnými koncovými plochami se volí kulové doteky. Předmět musí být vhodně umístěn (upevněn) na měřicím stolku, nebo na stolku a podpěře. Při měření se natáčením nebo posuvem stolku hledá vratný bod minima délky.

Pro měření předmětů s kulovými konci se používají ploché doteky a hledá se vratný bod maxima délky ve vodorovném i svislém směru. Stejně ploché doteky se použijí i při měření vnějšího průměru předmětů válcových s tím rozdílem, že ve směru tečném hledáme vratný bod maxima průměru a ve směru axiálním hledáme vratný bod minima.

9.2 Měření vnitřních rozměrů

Pro měření vnitřních rozměrů je potřeba použít speciální doteky pro měření vnitřních průměrů a změnit směr přítláčné síly. Nastavení se provádí pomocí kalibračního kroužku.



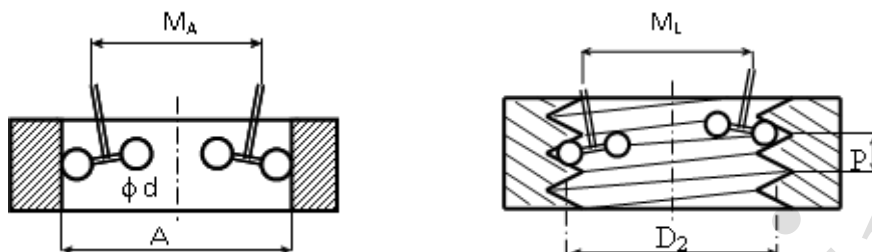
Obr. č 10: Kalibrace kroužku měřicími doteky zdola

Vratné body se stanoví obdobně jako při měření vnějších rozměrů. Naznačené uspořádání

umožňuje snadnou a rychlou výměnu etalonového a měřeného kroužku při minimálním ovlivnění jejich teploty. Malé průměry do zhruba 10 mm se měří pomocí speciálního zařízení s nulovým indikátorem, které se montuje na pohyblivý kontakt délkoměru.

9.3 Měření závitů

Měření středního průměru vnitřních závitů se provádí nejčastěji pomocí T kontaktů, které jsou opatřeny rubínovými kuličkami odstupňovanými podle rozteče měřeného závitu. Konstanta příslušného T-kontaktu se stanoví na kalibračním kroužku. Metoda měření pomocí T-kontaktu je univerzálně použitelná v širokém rozsahu průměrů a stoupání.



Obr. č. 11: Metoda měření pomocí T-kontaktu

Střední průměr závitu se určí ze vztahu:

$$D_2 = M_L + A - M_A - 0,866 P + d + C$$

Kde význam jednotlivých sčítanců je patrný z obrázku a C je korekce chyby způsobené úhlem stoupání závitu.

9.4 Měření kuželů

Měření vnějších kuželů (kuželových kalibrů) předpokládá speciální příslušenství. Je to speciální stolek s příčnými hroty, který umožňuje odjetí o přesnou míru. Dále jsou potřebné nožové doteky s měřicí hranou v ose stroje. Pro měření vnitřních kuželů je pak třeba přídatný dotek s kuličkou a měřicí stolek, který umožňuje přesné odjetí měřené kuželové díry ve svislé ose Z .

9.5 Měření na svislém délkoměru

Svislý délkoměr je užitečný zejména při dílenské kontrole kalibrů a vzorových kusů. Měří výšku jedním pohyblivým kontaktem od roviny stolku. Hodí se pro měření obrobků i produktivní kontrolu kalibrů. V dnešní době se však užívá méně často, než délkoměr vodorovný a pro dílenské účely byl nahrazen výškoměry.

10 Stanovení nejistoty při měření (příklad)

Pro odhad nejistoty měření a případně též pro akreditaci laboratoře je potřeba stanovit nejlepší schopnost měření na délkoměru. Nejlepší měřicí schopnost je podle EA 4/02 definována jako nejistota, které se dosáhne za běžných podmínek měření na předmětu, jehož chování je téměř ideální. Takovým předmětem měření, pro který použijeme

minimum příslušenství zhoršující nejistotu měření, je odpich s kulovými konci.

10.1 Výchozí údaje:

Použitá měřidla:

- délkoměr s plochými doteky,
- odpich s kulovými konci,
- nastavovací měrka,
- prostorový teploměr,
- tělískové teploměry.

Související normy a dokumenty:

- ČSN EN ISO 14253-2,
- EA 4/02,

Referenční podmínky:

- teplota okotí $(20,0 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$,
- nevyrovnání teplot $\Delta t = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$,

Naměřené hodnoty:

Na pevném odpichu jmenovité délky L jsme popsáním postupem naměřili úchytky: $(+1,3; +1,7; +2,1; +1,6; +1,4) \text{ } \mu\text{m}$

10.2 Model měření

Měří se odpich s kulovými konci délky L na délkoměru TRIMOS Labconcept. Odpich se měří pětkrát. Před každým měřením se délkoměr nastavuje na nastavovací měrku. Mezi měřeními se zachová prodleva alespoň 5 minut. Měří se v klimatizované laboratoři při teplotě $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ v prostoru délkoměru. Teplota prostředí se kontroluje prostorovým teploměrem. Před měřením se odpich minimálně půl hodiny teplotně stabilizujeme na délkoměru. Předpokládáme, že teplota odměřovacího systému je v mezích rozlišitelnosti dílku stupnice tělískového teploměru shodná s teplotou měřeného odpichu. Nevyrovnání teploty odhadujeme nejvýše na $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Vliv rozdílného materiálu měřítka a odpichu zahrneme do nejistoty součinitele teplotní roztažnosti.

10.3 Stanovení rozšířené nejistoty:

Stanovení standardní nejistoty typu A u_A :

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot k_A = \frac{0,31}{\sqrt{5}} \cdot 1,4 = 0,194 \text{ } \mu\text{m}$$

kde: s směrodatná odchylka určená na kalkulátoru (někdy označená $s_{(n-1)}$),
 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

Nejistota z opakovaných měření $u_A = 0,2 \mu\text{m}$ se zahrne do výpočtové tabulky. Protože jsme před každým měřením nastavovali na měрку, zahrnuje u_A také nejistotu z nastavení. Výrazně větší hodnota se nepředpokládá, větší rozptyl měřených hodnot by ukazoval na neustálené podmínky a měření by se muselo opakovat.

Stanovení standardní nejistoty typu B u_B :

Výchozí rovnice má pro tento případ tvar:

$$l_S = l_E + \Delta l + \Delta t \cdot \alpha \cdot L + \Delta \alpha \cdot \Delta t \cdot L$$

kde:

l_S	délka kalibrovaného odpichu,
l_E	délka odečtená na délkoměru,
Δl	rozdíl délek z opakovaných měření,
Δt	rozdíl (vnitřních) teplot stroje a měřeného odpichu,
L	jmenovitá délka odpichu,
$\Delta \alpha$	rozdíl součinitelů teplotní roztažnosti odpichu a měřítka délkoměru
	$\Delta \alpha = \alpha_S - \alpha_E = \pm 3 \mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$.

Tabulka standardních nejistot

Zdroje nejistot	Meze nejistot	Typ rozdělení	Dílčí nejistota	Koeficient	Príspevek k nejistotě
Základní nejistota délkoměru. podle výrobce TRIMOS $U = (0,3 + 0,66L) \mu\text{m}$, pro $L(\text{m})$	l_E 0,3+0,66L	$k = 2$	0,15+0,33L	1	0,15+0,33L
Rozdíl opakovaných měření délky. Nejistota je typu A z opakovaných měření odpichu.	Δl 0,2	typ A $k = 1$	0,2	1	0,2
Teplotní rozdíl mezi měřítkem délkoměru a odpichem (odhad podle dlouhodobě ustálených podmínek v laboratoři) $\pm 0,2^\circ\text{C}$	Δt 0,2 $^\circ\text{C}$	rovnom. $\sqrt{3}$	0,12 $^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot L$ 11,5 $\cdot L$	1,33 L
Vliv rozdílu teplotní roztažnosti měřítka délkoměru a odpichu za předpokladu krajního rozdílu součinitelů $\pm 3 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	$\Delta \alpha$ 3 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	rovnom. $\sqrt{3}$	1,73 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	$\Delta t \cdot L$ 0,2 $\cdot L$ m°C	0,35 L
Měřená délka	l_S	Nejistota kalibrace u pro $k = 1$			0,25+1,42 L

V tabulce jsme nevyčíslili délku odpichu L . Obě složky nejistoty, konstantní i závislou na délce L , je třeba sečíst geometricky. Pokud je sečteme aritmeticky, výsledný odhad nejistoty sice nadsadíme, získáme však odhad nejlepší měřicí schopnosti pro obecnou délku odpichu L .

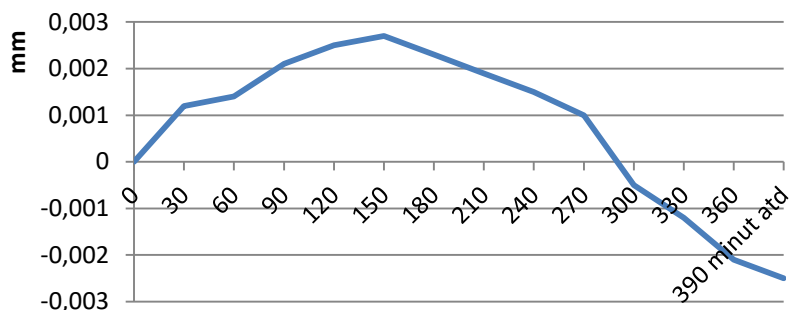
Nejlepší měřicí schopnost délkoměru je tedy dána výrazem:

$$U_{BMC} = \pm(0,5 + 3L) \mu\text{m}, \text{ kde } L \text{ je měřená délka v metrech}$$

Použitím příslušenství, které se nasazuje na kontakty délkoměru, se zvyšuje složka nejistoty na délce nezávislá. Toto navýšení vyplývá z odhadu nejistot příslušné metody měření.

10.4 Potvrzení správnosti odhadu nejistoty

Při stanovení nejistoty měření se teplotní podmínky odhadují, neboť jejich objektivní stanovení není možné. Správnost odhadu složky nejistoty závislé na teplotě je však možno potvrdit experimentem. Odpich s kulovými konci délky např. $L = 1000$ mm se ustaví na délkoměru a vynuluje. Ve stanovených intervalech se v průběhu běžného pracovního dne odečítá naměřená úchylka. Kolísání úchylky odpichu během pracovního dne musí ležet v mezích složky nejistoty na délce závislé.



Obr. č. 12: Kolísání úchylky odpichu během pracovního dne

10.5 Periodické kalibrace stroje

Periodické kalibrace mají prokázat, že nejistota měření v každém místě odměřovacího systému odpovídá stanovené BMC. Kalibrace se provádí pomocí koncových měrek volených tak aby se pokryl celý rozsah měření. Použijí se doteky s kuličkou, přičemž se předpokládá, že kulové dotyky nejistotu měření délkoměru neovlivní.

Rozsah měření	Úchylka etalonu E	Nejistota etalonu $U_E (k=2)$	Střední měřená úchylka M	Nejistota z opakovaných měření U_M	Zjištěná chyba délkoměru $M - E$	Nejistota stanovení chyby délkoměru $\sqrt{U_E^2 + U_M^2}$	Měřicí schopnost kalibrace $0,5 + 0,003 L$
mm	μm	μm	μm	μm	μm	mm	μm
125	+0,07	0,225	+0,12	0,03	+0,05	0,23	0,88
250	-0,33	0,350	+0,24	0,05	+0,57	0,35	1,25
500	+0,13	0,600	+0,16	0,03	+0,03	0,60	2,00
1000	+7,17	1,100	+7,80	0,04	+0,63	1,10	3,50

Měření se opakuje alespoň 3x v různé provozní době laboratoře. Nejistota měření etalonu nesmí v žádném kontrolovaném rozsahu překročit BMC délkoměru.

11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.)

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 1.1.2/02/17)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

12 Péče o metodický postup

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

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele 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

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.

Neprodejné