



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 1.1.2/01/16

**METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ POMOCÍ
MIKROMETRŮ**

Praha

Říjen 2016

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2016

Číslo úkolu: VII/3/16

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 metodiky

Tento metodický postup se vztahuje na dílenské měření pomocí třmenových mikrometrů s rovinnými měřicími doteky (dále jen mikrometrů) s délkou stupnice 0,01 mm. Měřicí rozsah není omezen, z praktického hlediska budeme mluvit o malých mikrometrech do rozsahu 500 mm a velkých mikrometrech nad 500 mm do přibližně 2 metrů. Stoupání šroubu mikrometrického vřetene může být 0,5 mm nebo 1 mm. Odečet hodnoty může být analogový nebo digitální.

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN ISO 3611	Třmenové mikrometry pro vnější měření (zrušená)	[L1]
ČSN 25 1420	Mikrometrická měřidla na vnější měření. Mikrometry s rovinnými měřicími doteky. Základní rozměry	[L2]
ČSN EN ISO 3650	Geometrické požadavky produktu (GPS) - Etalony délek - Koncové měřky	[L3]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu jakosti - Požadavky	[L4]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L5]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[L6]
EA-4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[L7]
ČSN EN ISO 14253-1	Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikací	[L9]
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	[L10]
ČSN EN ISO 1	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Referenční teplota pro geometrické požadavky na výrobky a jejich ověřování	[L11]
ČSN 25 0051	Normální teplota pro srovnávání měřených hodnot závislých na teplotě	[L12]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[L13]
KP 1.1.2/05/10N	Třmenový mikrometr (Kalibrační postup ČMS)	[L14]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření pomocí mikrometrů 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

Třmenový mikrometr (ve smyslu tohoto metodického postupu) je měřicí přístroj, vybavený mikrometrickým šroubem, odečítacím systémem, zařízením k vymezení stálé měřicí síly a ustavovacím ústrojím k zajištění mikrometrického šroubu.

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 prisuzovány měřené veličině.

Kontrolor (ve smyslu tohoto metodického postupu) je pracovník provádějící měření pomocí mikrometru.

Řehtačka je vžitý název pro zařízení pro vyvození konstantní přitlačné měřicí síly mikrometru

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

- Mikrometr (sada mikrometrů) potřebného rozsahu měření,
- sada nastavovacích měrek (tyček s plochými konci) k mikrometrům v rozsahu měřených rozměrů navázaná na etalon v kalibrační laboratoři,
- sada nastavovacích odpichů s kulovými konci v rozsahu měřených rozměrů navázaná na etalon v kalibrační laboratoři (alternativně),
- sada koncových měrek od 125 mm do 500 mm doplněná o měrky 50, 75 a 100 mm. Jde o pracovní etalon minimálně 5. sekundárního řádu a 2. třídy přesnosti, podle ČSN EN ISO 3611 (alternativa pro malé mikrometry),
- 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 1 °C,
- závěsné zařízení pro velké mikrometry,
- čisticí prostředky: technický benzín nebo jiné odmašťovací, 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 mikrometru se provádí za těchto referenčních podmínek:

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

Před měřením musí být mikrometr a příslušná nastavovací tyčka umístěna min. 1/2 hodiny poblíž měřeného předmětu.

Teplota měřeného předmětu a měřidel 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

Mikrometry jsou určeny pro statické měření na čistých předmětech (obrocích). Drsnost povrchu by měla být do hodnoty $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. 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. K tomu je potřebné znát součinitele teplotní roztažnosti měřeného předmětu a nastavovací měřky.

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

8.1 Kontrola a příprava měřidla

Překontroluje se, zda mikrometr není mechanicky poškozen, zda měřicí bubínek, trubka a třmen mikrometru nejsou deformovány nebo jinak poškozeny. Bubínek mikrometru nesmí při otáčení házet ani zachytávat o trubku. Bubínek se musí otáčet lehce a plynule,

nikoli však samovolně. Měřicí plochy mikrometru a nastavovací měrky nesmí být poškrabány, vyštípnuty nebo jinak poškozeny. Čárky a číslice musí být dobře čitelné v celém měřicím rozsahu. Při zajištění mikrometrického vřetena se nesmí změnit indikovaná hodnota. Zařízení k vymezení stálé měřicí síly musí plnit spolehlivě svou funkci. Měřidlo, které vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat

Zkontroluje se označení mikrometru evidenčním číslem a kalibrační značkou. Kalibrace měřidla musí být v době měření platná. Měřidlo s prošlou platností kalibrace nesmí být použito k měření a musí být znovu kalibrováno.

Měřidlo bývá od výrobce vybaveno nastavovací měrkou, které velikostí odpovídá začátku měřicího rozsahu mikrometru. Tato měrka by měla být vždy součástí měřidla a měla by být v pravidelných intervalech kalibrována. Dříve byla ve výrobních společnostech praxe měrky a seřizovací klíče u mikrometrů nenechávat, aby si dělníci nemohli mikrometry přestavovat. Tato praxe však také předpokládala kontrolu mikrometrů po každém vrácení do výdejny. V dnešní době se mikrometry kalibrují zpravidla v intervalu 1 až 2 roky a kalibrovaná nastavovací měrka je proto nezbytnou součástí mikrometru.

8.2 Příprava měřeného kusu

Měřený předmět se umístí v prostoru, kde lze zajistit alespoň základní podmínky pro měření (viz kap. 6). Měřený předmět musí být před měřením očištěn od případné koroze, zbytků chladicí a mazací kapaliny apod. Očištění se provede benzínem, nebo jiným rozpouštědlem schváleným pro dané pracoviště. Očištění provede pečlivě zejména v místě měření.

9 Postup měření

Postup měření popisovaný v následujících článcích se provádí zejména při měření velkých rozměrů. Při měření rozměrů do 500 mm může být postup v některých bodech, s ohledem na požadovanou přesnost, zjednodušen. Rozhodující je vliv odpovídající dílčí nejistoty na celkovou nejistotu měření.

Měření malých rozměrů může zvládnout jeden pracovník, pro měření velkých rozměrů je třeba přibrat pomocníka a případně speciální pomůcky a zařízení.

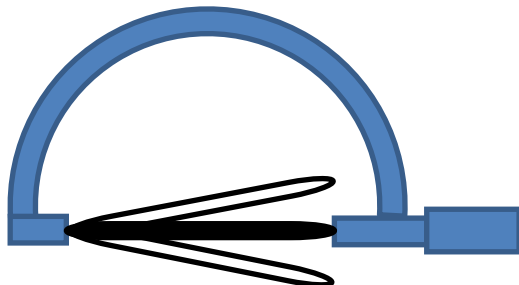
9.1 Teplotní stabilizace mikrometru a nastavovací měrky

Měrka odpovídající dolnímu rozsahu mikrometru, který bude pro měření použit, se teplotně stabilizuje a její teplota se vyrovná s teplotou měřeného kusu. To se v dílenských poměrech provede tak, že měrka se položí na, nebo těsně vedle měřeného kusu a překryje se vhodnou pokrývkou tak, aby měrka nebyla ovlivňována náhlými změnami okolní teploty. Podobně se vedle měřeného kusu teplotně stabilizuje i příslušný mikrometr. Teplotní stabilizace má trvat alespoň půl hodiny, zejména pokud byl na počátku mezi měřeným kusem a měrkou větší teplotní rozdíl. Vyrovnání teploty se kontroluje dotykovým (tělískovým) teploměrem.

9.2 Seřízení mikrometru na měrku

Krátce před vlastním měřením seřídí kontrolor mikrometr na nastavovací měrku.

Mikrometr drží kontrolor s pomocníkem v takové poloze, v jaké se bude měřit na kusu. Při seřizování na měрку s plochými rovnoběžnými konci se seřizuje buď na dotek podle citu (na cit), nebo s využitím zařízení pro vyvození konstantní přitlačné síly (řehťacky). Při použití odpichů s kulovými konci se provádí seřizování zásadně na cit. Odpichem se kývá mezi měřicími plochami mikrometru, přičemž musí odpich projít jen s lehkým zadrhnutím, viz obr. Seřizování je třeba provádět stejně, jako bude prováděno měření – obojí buď na cit, nebo na řehťacku. Mikrometr se seřídí klíčkem na nulu, případně na úchytku nastavovací měřky, je-li významná.



Obrázek č. 1: Nastavení mikrometru na odpich s kulovými konci

Na odpichy s kulovými konci je třeba mikrometr nastavovat vždy na cit, nesmí se použít řehťacka. Pokud se tato zásada nedodrží a použije se řehťacka, vznikne v nastavení mikrometru chyba řádu $-(0,01 \text{ až } 0,03)$ mm v závislosti velikosti a tuhosti třmenu měřidla.

Smyslem nastavení mikrometru na měрку za podmínek blízkých podmínkám měření je

omezení vlivu rozdílné teploty a omezení vlivu deformace třmenu vlastní vahou a vlivem měřicí síly.

9.3 Měření kontrolovaného předmětu

Měření na kusu provádí kontrolor s pomocníkem ve stejné poloze a při stejném držení, při jakém se mikrometr nastavoval. Také způsob vyvození měřicí síly – na cit nebo na řehťacku – musí být stejný jako při seřizování. Při měření je třeba kýváním mikrometru najít vratné body a usadit mikrometr mezi ně tak, aby se nekřížil a seděl na celých měřicích plochách. Měření se provede např. 3x, pak se zkontroluje nastavení mikrometru a provede se další série 3 měření. Měření mikrometrem, zejména velkých rozměrů, vyžaduje cvik a zkušenost.

U rozsahů měření kolem 1000 mm a výše již není možné udržet mikrometr při měření v ruce ani s pomocníkem. Největší mikrometry jsou určeny pro měření při zavěšení na jeřáb a také se v tomto závěsu nastavují.

9.4 Korekce naměřené hodnoty

Doposud jsme mlčky předpokládali, že měřený předmět i měřidla jsou ze stejného materiálu. Mikrometry a nastavovací měřky se až na výjimky vyrábějí z uhlíkové oceli se součinitelem délkové teplotní roztažnosti $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, neboli $11 \mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$.

Materiál měřených kusů může být různý a součinitele teplotní roztažnosti pro nejběžnější materiály uvádí tabulka:

Materiál	Součinitel délkové teplotní roztažnosti α 10^{-6} K^{-1} ($\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
Ocel uhlíková a nízkolegovaná	11 až 12
Ocel vysoko legovaná (25 % Ni)	18 až 21
Mosaz	19
Slitiny hliníku	23 až 24
Olovo, Zinek	29

Poznámka: Hodnoty součinitele délkové teplotní roztažnosti α jsou informativní a mohou se u konkrétních slitin poněkud lišit od hodnot uvedených v tabulce.

Při měření materiálů, které mají jiný součinitel délkové teplotní roztažnosti a než použité měřidlo je důležitá také odchylka teploty kusu a měřidla od teploty normální, která musí být zahrnuta do výpočtu korekce. Pouhé vyrovnání teploty měřidla a měřeného kusu nestačí. Způsob výpočtu korekce je ukázán v tabulce pro výpočet nejistoty měření.

10 Stanovení nejistoty při měření průměru hřídele (příklad)

Měří se průměr hřídele $D = (800 \pm 0,1)$ mm pomocí mikrometru v dílenských podmínkách. Hřídel je vyroben z vysoce legované oceli, součinitel teplotní roztažnosti přibližně $\alpha = (18 \pm 3) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Měří se vždy 3x ve dvou směrech. Po každé sérii 3 měření se kontroluje nastavení na měrku. Před měřením se teplotně stabilizuje měrka i mikrometr minimálně půl hodiny přiložením k měřené hřídeli. Teplota měřené hřídele a měřidel se kontroluje dotykovým teploměrem. Informativně se změří teplota prostředí.

Použitá měřidla:

- Mikrometr rozsahu (800 - 825) mm, kalibrovaný s nejistotou $U = 9 \mu\text{m}$, ocelový, součinitel teplotní roztažnosti přibližně $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,
- nastavovací měrka 800 mm, kalibrovaná s nejistotou $U = 3 \mu\text{m}$, $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,
- dotykový teploměr s rozlišením min. $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (kalibrovaný),
- prostorový teploměr (informativní).

Podmínky při měření:

- Teplota hřídele $24 \text{ }^\circ\text{C}$,
- teplota měřidel $24 \text{ }^\circ\text{C}$ při zahájení měření, do konce měření nepřesáhne $26 \text{ }^\circ\text{C}$,
- Teplota okolního vzduchu $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Naměřené hodnoty:

I. Série měření

800,01	800,03	800,02
--------	--------	--------

II. Série měření

800,01	800,008	800,00
--------	---------	--------

Střední naměřená hodnota: $D_M = 800,013 \text{ mm}$ Směrodatná odchylka: $s = 10,5 \text{ } \mu\text{m}$ **Stanovení standardní nejistoty typu A u_A :**

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot k_A = \frac{10,5}{\sqrt{6}} \cdot 1,3 = 5,6 \text{ } \mu\text{m}$$

kde: s - směrodatná odchylka určená na kalkulátoru (někdy označená $s_{(n-1)}$) n - počet měření k - koeficient určený v závislosti na počtu měření podle následující tabulky:

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

Pro zjednodušení přidáme nejistotu u_A do tabulky pro odhad nejistoty.**Stanovení standardní nejistoty typu B u_B :**

Výchozí rovnice má pro tento případ tvar:

$$D_C = D_M + \Delta t \cdot \alpha \cdot D + \Delta \alpha \cdot \Delta T \cdot D$$

kde:

 D_C průměr hřídele korigovaný na normální podmínky D_M průměr naměřený mikrometrem Δt rozdíl teploty měřidla a hřídele (ohřátí měřidla během měření) 2°C ΔT odchylka teploty hřídele od normální teploty $24-20=4^\circ\text{C}$ D jmenovitý průměr hřídele $\Delta \alpha$ rozdíl součinitelů teplotní roztažnosti mikrometru a hřídele $\Delta \alpha = 11 - (18 \pm 3) = -7 \pm 3 \text{ } \mu\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C}$ (-7 korigujeme, ± 3 zahrneme do nejistot měření) $\alpha \cdot D$ citlivostní koeficient $11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ } \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ $\Delta T \cdot D$ citlivostní koeficient $4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}$

Korekce naměřené hodnoty ve sloupci Odhad veličin:

$$\Delta\alpha \cdot \Delta T \cdot D = -7,4 \cdot 0,8 = -22,4 \mu\text{m} = -0,0224 \text{ mm}$$

Faktor rozdělení b je převrácenou hodnotou koeficientu rozdělení, viz [L10]:

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

Tabulka standardních nejistot

Zdroje nejistot	Ozn.	Odhad veličiny mm	Meze nejistoty μm	Faktor rozdělení b	Citlivostní koeficient k	Příspěvek k nejistotě μm
Mikrometr $U=9 \mu\text{m}$ měřený průměr $D = 0,8 \text{ m}$	D_M	800,013	9	0,5	1	4,50
Tepl. rozdíl hřidel - měřidla max. 2°C v průběhu měření	Δt	–	2	0,6	8,8	10,56
Rozdíl tepl.roztažn. $-(7\pm 3) \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ Odchylka teploty od normální 4°C	$\Delta\alpha$	-0,0224	3	0,6	3,2	5,76
Nejistota typu A z opakovaných měření	u_A		5,6	1	1	5,60
Měřený průměr	D_C	799,991	Nejistota u ($k=1$) μm			14,02

Stanovení rozšířené nejistoty:

Za předpokladu, že výsledné rozdělení pravděpodobnosti je normální, koeficient rozšíření $k = 2$, vyjde po zaokrouhlení nahoru rozšířená nejistota:

$$U = 2 \cdot 14,02 = 29 \mu\text{m}$$

Výsledek měření:

Po zaokrouhlení je výsledný průměr hřídele přepočtený na normální teplotu:

$$D_C = (799,99 \pm 0,03) \text{ mm}$$

Naměřená hodnota včetně nejistoty vyhovuje předpisu. Stanovená nejistota měření čerpá přibližně třetinu tolerance. Postup měření i výsledek lze prohlásit za vyhovující.

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 1.1.2/01/16)
- 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