

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 1.1.3/01/13

MĚŘICÍ MIKROSKOP

Praha
Říjen 2013

Revize tohoto vzorového kalibračního postupu byla zpracována a financována ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

Číslo úkolu: VII/2/13

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Ing. František Podlaha

© 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 popisuje metodiku kalibrace dílenských mikroskopů pomocí skleněného měřítka. Je použitelný pro všechny typy dílenských mikroskopů s odměřovacím systémem na principu čárkového měřítka nebo mikrometrického šroubu.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká jak prvotní kalibrace v dané organizaci (označované jako PK), tak i při recalibraci během používání mikroskopu (dále označované jako RK).

2 Související normy a metrologické předpisy

EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[1]
ČSN EN ISO 10012	System managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[2]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[3]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[4]
KATALOG	Katalogy výrobců měřidel a měřících přístrojů. Například katalog Mitutoyo – Skleněná pravítka série 182	[5]
NÁVOD	Technická dokumentace výrobce mikroskopu	[6]
PNÚ 1100.0	Československé schéma nadváznosti meradiel dĺžky	[7]
ORGANIZAČNÍ SMĚRNICE	Metrologický předpis organizace	[8]
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	[9]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci mikroskopů je dána příslušným předpisem organizace. Pracovníci se seznámí s tímto kalibračním postupem a normami uvedenými ve článku 2.

Doporučuje se certifikace odborné způsobilosti pracovníků provádějících kalibraci mikroskopů případně osvědčení o odborné způsobilosti.

4 Názvosloví, definice

Měřicí mikroskop - dvousouřadnicový měřicí přístroj. Čidlem těchto přístrojů je optický systém, který slouží jako bezdotykový snímač. Přídavným zařízením měřicího mikroskopu může být i dotykový snímač.

Odchylka měření - algebraický rozdíl mezi indikovanou a pravou (skutečnou) hodnotou měřené veličiny.

Nejlepší měřicí schopnost mikroskopu - nejmenší nejistota, které lze dosáhnout při měření téměř ideálních etalonů víceméně rutinním postupem za obvyklých podmínek prostředí.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 a v publikacích zaměřených na metrologickou terminologii.

5 Prostředky potřebné ke kalibraci

- Skleněné měřítko, jehož rozsah měření závisí na typu mikroskopu. Nejčastěji používané skleněné měřítko je s rozsahem měření 250 mm a 300 mm,
- příměrné pravítko,
- elektronický úchylkoměr,
- granitový úhelník nebo úhlová měrka 90°,
- dotykový teploměr s rozlišením alespoň 0,2 °C,
- teploměr prostředí s rozlišením alespoň 0,2 °C,
- lékařský technický benzín, utěrky, olej na mazání mikroskopu, leštící a lapovací prostředky,
- vlasový vlhkoměr, navázaný na etalon,
- čisticí prostředky: čistý lékařský benzín, éter nebo líh, miska, vlasový štětec, lněná utěrka, jelenice,
- mazací a konzervační prostředky: hodinářský olej apod.

Poznámka: Všechny měřicí prostředky použité při kalibraci musí být navázány na vhodný etalon a mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace mikroskopu se provádí za těchto referenčních podmínek:

- teplota prostředí (20 ± 1) °C,
- teplotní rozdíl mezi etalonem a kalibrovaným mikroskopem max. 0,2 °C,
- relativní vlhkost vzduchu (50 ± 20) %RH.

Před vlastní kalibrací musí být etalon umístěn na kalibrovaném mikroskopu min. 1 hodinu v místnosti s referenční teplotou.

Teplota kalibrovaného mikroskopu a měřidel použitých při jeho kalibraci a teplota prostředí se měří před zahájením kalibrace a po jejím skončení, popř. se kontroluje průběžně.

Relativní vlhkost vzduchu se měří vlhkoměrem před zahájením kalibrace.

7 Rozsah kalibrace

- Předběžná kontrola a příprava mikroskopu (viz čl. 8),
- kontrola dodávky při vstupní kontrole (viz čl. 9.1),
- vzhledová kontrola mikroskopu (viz čl. 8),
- funkční kontrola mikroskopu (viz čl. 9.1),
- měření metrologických parametrů mikroskopu (viz čl. 9.4).

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

Před kalibrací je nutné celkově očistit stroj a vyčistit a namazat všechny pohyblivé části. Optika se čistí lihem nebo éterem bez rozebírání. (PK, RK)

Překontroluje se, zda mikroskop není mechanicky poškozen, zda jsou všechny posuvy plynulé a zda je čistý a ostrý optický odečítací systém. Měřicí plochy mikroskopu nesmí být poškrábány, vyštípnuty nebo jinak poškozeny. (PK, RK)

Lehce poškozené nebo korodované ocelové plochy mikroskopu se vyčistí lapovací pastou nebo jemným brusným papírem. Po úpravě se mikroskop opět vyčistí. Při větším rozsahu poškození nebo opotřebení stroje je nutné objednat celkovou opravu u autorizované servisní služby. (pouze RK)

Překontroluje se návod k obsluze mikroskopu a všechny záznamy o předchozích kalibracích. Překontroluje se úplnost příslušenství podle návodu k mikroskopu. Zkontroluje se označení mikroskopu evidenčním číslem (porovnáním s evidenčním listem mikroskopu nebo jiným podobným dokladem). (pouze RK)

9 Postup kalibrace

9.1 Funkční kontrola mikroskopu:

- Posuvy mikroskopu musí mít v celém měřicím rozsahu plynulý chod, bez znatelné vůle v některých částech měřicího rozsahu,
- mikroskop musí jít v celém měřicím rozsahu zaostřit, musí být ostrý zaměřovací kříž i tvarové a poloměrové šablony,
- mikroskop musí být v každé poloze stabilní. (pouze PK)

Při vstupní kontrole se dále postupuje v souladu s čl. 9.2, 9.3 a 9.4

9.2 Kontrola přímosti měřicích os

Kontrola se provádí příměrným pravítkem a elektronickým úchylkoměrem. Optická hlava mikroskopu se nahradí držákem elektronického (páčkového) úchylkoměru. V některých případech je nutné takový držák za tím účelem vyrobit. Před měřením se pravítko vyrovná v měřené ose. Měření probíhá ve dvou polohách příměrného pravítka (základní a reverzibilní). Přímost se vypočítá jako rozdíl úchylek v jednotlivých místech měření příměrného pravítka. (PK, RK)

9.3 Kontrola kolmosti měřicích os

Kontrola kolmosti se provádí pomocí granitového úhelníku nebo pomocí úhlové měrky 90°. Úhlová měrka se ustaví v ose X a měří se úchylka v ose Y . Měří se páčkovým úchylkoměrem, který se při měření otočí. Úchylka kolmosti se opět určí jako rozdíl úchylek v základní a reverzibilní poloze.

V nouzi lze provést informativní kontrolu kolmosti i přímosti při optickém najíždění hrany měrky nebo pravítka. (PK, RK)

9.4 Měření metrologických parametrů mikroskopu

9.4.1 Příprava kalibrace odměřovacího systému

Principem kalibrace odměřovacího systému mikroskopu je změření vzdálenosti čárek na stupnici etalonového skleněného měřítka (dále měřítka), které musí být kalibrované. Před zahájením kalibrace se zvolí v závislosti na velikosti měřicího rozsahu os X a Y měřicí místa nebo-li takzvaný kalibrační krok. Měřicí rozsah se rovnoměrně rozdělí minimálně na pět měřicích míst včetně nuly. Čárky na stupnici měřítka se zaměřují a zaostřují optikou mikroskopu. (PK, RK)

9.4.2 Kalibrace odměřovacího systému v ose X

Na pracovním stolku mikroskopu se v ose X vyrovná měřítka a zajistí se upínkami. Zvolí se počáteční měřicí místo měření vzdálenosti čárek stupnice měřítka, to znamená nula. Čárka nitkového kříže optické hlavičky mikroskopu se musí ztotožňovat s čárkou na stupnici měřítka na hodnotě 0 mm. Například v ose X s měřicím rozsahem (0 až 100) mm se zvolí měřicí místa ve vzdálenosti 25 mm. Pak bude řada měřicích míst o hodnotách 0 mm, 25 mm, 50 mm, 75 mm a 100 mm. Každá hodnota měřicího místa se změří 10 x a naměřené hodnoty se zaznamenají do záznamu o měření. (PK, RK)

9.4.3 Kalibrace odměřovacího systému v ose Y

Postup kalibrace je shodný jako v ose X . Měřítka se stejným způsobem ustaví v ose Y a měření se opakuje jako v ose X s tím rozdílem, že hodnota měřicích míst může být jiná v závislosti na měřicím rozsahu osy Y . Důležité je dodržet minimální počet pěti měřicích míst. Každá hodnota měřicího místa se změří 10x a naměřené hodnoty se zaznamenají do záznamu o měření. (PK, RK)

9.4.4 Měření v obecné poloze

Pokud je mikroskop vybaven programem pro měření geometrie v rovině, je vhodné provést kontrolu měření měřítka v obecné poloze. Měřítka se umístí v libovolné poloze na pracovní stolek mikroskopu a změří se libovolná vzdálenost čárek stupnice měřítka. Druhé měření se provede stejným způsobem v poloze měřítka otočeného přibližně o 90° . Z rozdílu výsledků obou měření lze usuzovat na chybu kolmosti měřicích os. Z opakovaného měření řady libovolných vzdáleností čárek stupnice lze pak vyhodnotit chybu měření v obecné poloze. Tato metoda zahrne též chybu vyhodnocování.

Platí pro mikroskop s měřicím programem.

(PK, RK)

10 Vyhodnocení kalibrace

10.1 Postup vyhodnocení

Měřené hodnoty, resp. úchyly od jmenovité hodnoty se zanesou do záznamu o měření, resp. pak do kalibračního listu. Zjištěné úchyly zvětšené o rozšířenou nejistotu měření U se porovnají s celkovými dovolenými chybami.

10.2 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný mikroskop nevyhoví požadavkům, může vedoucí kalibrační laboratoře navrhnout zadavateli kalibrace přeřazení měřidla do skupiny měřidel s omezeným použitím, popř. dát návrh na opravu, popř. vyřazení mikroskopu.

11 Kalibrační list

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) 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 kalibrovaného mikroskopu,
- e) datum přijetí mikroskopu ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.3/01/13).
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který mikroskop kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede název/logo akreditačního orgánu, číslo osvědčení o akreditaci, údaje o oprávnění, na jehož základě je kalibrační list vydán, prohlášení, že kalibrační list nesmí být bez písemného schválení kalibrační laboratoře rozmnožován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, popř. vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě mikroskopu nebo na vhodném nosiči, např. v elektronické paměti). I v tomto případě však musí kalibrační laboratoř archivovat záznam o měření s uvedenými měřenými hodnotami.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu minimálně pěti let zároveň se záznamem o měření. Doporučuje se archivovat záznamy o měření 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 nebo magnetické paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedené kalibraci může kalibrační laboratoř označit kalibrovaný mikroskop značkou laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém podnikovém metrologickém předpisu, nesmí kalibrační laboratoř umísťovat na mikroskop značku s datem příští kalibrace.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou přidělena příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1). Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí pracovník zpracovatele (zpravidla vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
výtisk číslo	obdrží útvar	jméno	podpis	datum

13.2 Úprava, schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
úpravu schválil			

13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

14 Stanovení nejistot měření (příklad výpočtu)

Při kalibraci osy X se měří na měřítku vzdálenosti čárek na délce 25 mm. Měřicí místa jsou 0 mm, 25 mm, 50 mm, 75 mm a 100 mm. Každé měřicí místo se měří desetkrát. Měří se v klimatizované laboratoři při teplotě $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Před měřením teplotně stabilizujeme měřítko s mikroskopem. Předpokládá se, že teplota měřítka je v mezích rozlišení dílku stupnice teploměru shodná s teplotou měřeného mikroskopu. Nevyrovnání teploty je odhadnuto nejvýše na $\pm 0,2 ^\circ\text{C}$. Vliv rozdílného materiálu měřítka a mikroskopu se zahrne do nejistoty součinitele délkové teplotní roztažnosti.

Výchozí rovnice má pro tento případ tvar:

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

kde:

l_S	délka naměřená mikroskopem
l_E	měřená délka na etalonovém skleněném měřítku
Δl	naměřený rozdíl délek
Δt	odchylka od normální teploty
$\Delta \alpha$	rozdíl součinitelů teplotní roztažnosti z jejich střední hodnoty:

$$\Delta \alpha = \alpha_S - \alpha_E = \pm 3,25 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$$

kde: α_S součinitel délkové roztažnosti měřítka: $(11,5 \pm 2,0) \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$
 α_E součinitel délkové roztažnosti etalonového skleněného měřítka:
 $(8,0 \pm 1,0) \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$

Veličina		Meze nejistot měření	Typ rozdělení	Standardní nejistota měření	Koeficient	Příspěvek k nejistotě měření
Měřená délka na etalonovém skleněném měřítku. Nejistota se převezme z kalibračního listu etalonu	l_E	0,3	$k = 2$	0,15	1	
Naměřený rozdíl délek. Nejistota je typu A z opakovaných měření na etalonu	Δl	-	typ A	-	1	
Teplotní rozdíl mezi měřítkem mikroskopu a etalonovým skleněným měřítkem (odhad podle dlouhodobě ustálených podmínek v lab.) $\pm 0,2^\circ\text{C}$	Δt	$0,2^\circ\text{C}$	rovnom. $\sqrt{3}$	$0,12^\circ\text{C}$	$(\alpha_S + \alpha_E)/2 \cdot L$ $9,75 \cdot L$	$1,17 L$
Vliv rozdílu tepl. roztažnosti měřítka a etalonového skleněného měřítka ze střední hodnoty součinitelů teplotní roztažnosti $\pm 3,25$	$\Delta \alpha$	$3,25 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	rovnom. $\sqrt{3}$	$1,88 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	$\Delta t \cdot L$ $0,2 \cdot L$ m°C	$0,38 L$
Měřená délka	l_S	Kombinovaná standardní nejistota u pro $k = 1$				$1,3 L$

Aby nemusela být tabulka nejistot zpracovávána pro každou měřenou délku na etalonovém skleněném měřítku zvlášť, je vyjádřena obecným výrazem pouze nejistota z vlivu teploty a ostatní se dopočítají ve zjednodušených tabulkách.

Na každé měřené délce se provede $n = 10$ měření a z nich se určí střední hodnota X a směrodatná odchylka S . Nejistota z opakovaných měření se určí ze vztahu:

$$u_A = S / \sqrt{n}$$

Do tabulky úchylek se doplní úchylky měřené délky etalonového skleněného měřítka podle kalibračního listu a střední hodnoty příslušných naměřených úchylek. Vypočte se úchylka odměřovacího systému jako rozdíl obou úchylek:

Měřená délka na etalonovém skleněném měřítku L mm	Úchylka měřené délky- podle kalibr. listu M μm	Úchylka naměřená- střední z 10 měření X μm	Odchylka odměřovacího systému na měřené délce $M - X$ μm
0	0	0	0,00
25	+0,1	1,1	-1,00
50	-0,1	-1,3	+1,20
75	-0,1	1,1	-1,20
100	-0,1	1,7	-1,80

Do tabulky nejistot se doplní nejistota etalonu podle kalibračního listu, příslušné nejistoty u_A z opakovaných měření a nejistota z teplotních vlivů. Tyto tři nejistoty se sečtou kvadraticky.

Měřená délka na etalonovém skleněném měřítku L mm	Standardní nejis- tota měřené délky na etalonovém skleněném měřít- ku - podle kalib- račního listu u_E μm	Standardní nejis- tota z 10 opako- vaných měření u_A μm	Standardní nejistota z teplotních vlivů $u_T = 1,3 \cdot L$ $\mu\text{m}; \text{m}$	Nejistota měření na etalonu $u = \sqrt{(u_E^2 + u_A^2 + u_T^2)}$ μm
0	0,15	0	0	0,15
25	0,15	0,41	0,033	0,44
50	0,15	0,65	0,065	0,67
75	0,15	0,67	0,098	0,69
100	0,15	0,51	0,13	0,55

Rozšířená nejistota:

$$U = k_x \cdot u = 2 \cdot 0,15 = 0,30 \mu\text{m} \quad \text{pro } k = 2$$

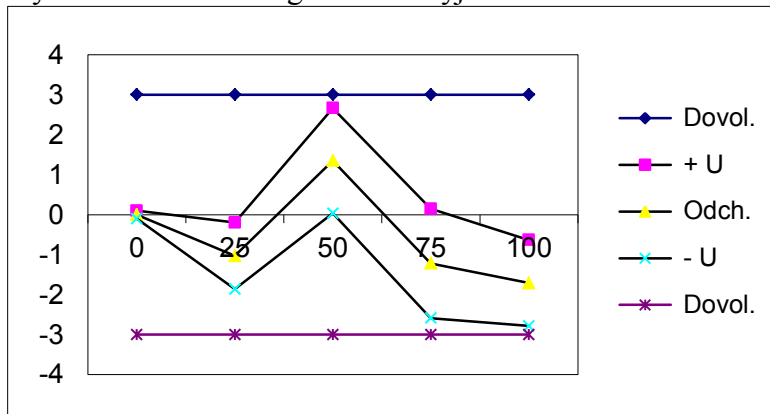
Vyhodnocení:

(z první pomocné tabulky je převzata úchylka, z druhé pak nejistota rozšířená koef. $k = 2$)

Měřená délka mm	Úchylka odměřovacího systému $\pm U$ pro $k = 2$ μm	Výrobce dovolená úchylka μm
0	0,00 \pm 0,30	± 3
25	-1,00 \pm 0,88	± 3
50	1,2 \pm 1,4	± 3
75	-1,2 \pm 1,4	± 3
100	-1,8 \pm 1,1	± 3

Úchylka měřené délky \pm rozšířená nejistota nesmí ležet mimo meze chyb dovolené výrobcem, což je splněno.

Výsledek kalibrace v grafickém vyjádření:



Naměřené úchytky včetně nejistoty měření vyhovují specifikaci výrobce.

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.

Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl upraven s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody.

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 předpisů (zejména MPA a EA).