

## **Skupina: MĚŘIDLA ROVINNÉHO ÚHLU**

### **Kalibrační postup**

#### **1. SOUVISEJÍCÍ NORMY A METROLOGICKÉ POSTUPY**

V příloze č. 8 této zprávy je uveden seznam souvisejících Českých technických norem a postupů České metrologické společnosti vztahujících se mimo jiné i k problematice kalibrace níže citovaných měřidel.

#### **2. DEFINICE**

##### **2.1. Úhломěry**

Základní vlastností úhломěrů je schopnost měřit úhel, který mezi sebou svírají vzájemně nastavitelná ramena úhломěru, obvykle realizovaná jedním pevným a druhým pohyblivým pravítkem

##### **2.2. Libely**

Libely pracují na principu působení zemské gravitace. Používají se na měření malých sklonů vzhledem k horizontální poloze, změn sklonů nebo ustavení do vodorovné roviny.

##### **2.3. Sklonoměry**

Používají se na měření sklonů vzhledem k horizontální poloze nebo změn sklonů. Stejně jako libely pracují na principu působení zemské gravitace. Oproti libelám mají mnohem větší rozsah (mnohdy celých 360°) a nižší přesnost měření.

#### **3. TECHNICKÉ POŽADAVKY NA MĚŘIDLO**

##### **3.1. Předběžná kontrola a úprava**

3.1.1. Měřidlo se očistí, všechny funkční plochy se prohlédnou a připraví ke kalibraci (blíže v jednotlivých kalibračních postupech pro úhломěry, libely a sklonoměry - níže v textu).

3.1.2. Překontroluje se, zda měřidlo není mechanicky poškozeno a je kompletní, tj. včetně šroubků a per. Vizuálně se překontrolují měřicí plochy.

3.1.3. Měřidlo musí být označeno výrobním anebo evidenčním anebo inventárním číslem.

3.1.4. Na funkčních plochách jsou povolena pouze taková poškození, vzniklá běžným používáním, která neovlivní hodnotu měřené veličiny. Koróze ani rýhy na funkčních plochách nejsou dovoleny.

### **3.3. Funkční zkouška**

Zásady realizace funkčních zkoušek jsou uvedeny v níže uvedených kalibračních postupech pro příslušná měřidla.

### **3.4. Nekompletní, poškozená a velmi opotřebená měřidla se nekalibrují.**

## **4. PODMÍNKY PROSTŘEDÍ A TEMPERACE MĚŘIDEL**

V jednotlivých kalibračních postupech uvedené hodnoty jsou pouze doporučené, skutečné teplotní podmínky by měly být součástí analýzy nejistot měření.

## **5. POSTUP KALIBRACE – ÚHLOMĚRY**

**5.1 Funkční zkouška** - Před kalibrací úhlooměru je nutné nejprve provést funkční zkoušku a kontrolu rovinnosti a rovnoběžnosti pravítek, která by měla vyhovovat nejméně parametrům uvedeným v tab. 3 a tab. 4 normy ČSN 99 1031. Mechanické úhlooměry s noniem musí vyhovovat ostatním technickým požadavkům této normy, kromě tab. 2.

5.2 Kalibrace je následně prováděna vkládáním etalonových úhlových měrek mezi pravítka (čelisti) úhlooměru a je porovnávána hodnota etalonu s hodnotou indikovanou na stupnici úhlooměru. Je možné použít jiné vhodné metody, je ale nutné zohlednit její vliv při výpočtu nejistoty měření. Kalibrační body musí být voleny tak, aby byl pokryt celý rozsah měření.

5.3 Obecně je třeba dodržet zásadu, že v případě mechanických úhloměrů s dělením stupnice na  $4 \times 90^\circ$ ,  $2 \times 180^\circ$  a úhloměrů s rozsahem  $(0 - 360)^\circ$ , musí být měřeny všechny čtyři kvadranty, jinak nelze měřidlo považovat za zkalibrované v celém rozsahu. Měřicí body by měly být voleny tak, aby byla prověřena i pomocná jemnější stupnice (pokud jí úhloměr má), např. použitím měrek  $15^\circ 10'$ ,  $30^\circ 20'$ ,  $45^\circ 30'$ ,  $60^\circ 40'$ ,  $75^\circ 50'$  a dále by měl být prověřen úhel každých celých  $90^\circ$ .

5.4 Na kalibračním listě musí být jednoznačně určeno, ke kterým kvadrantům, resp. měřeným místům, se jednotlivé měřené hodnoty vztahují.

5.5 Měřidlo i etalon je nutné nechat před kalibrací temperovat na laboratorní teplotu  $20^\circ\text{C}$ . Měření lze provádět při teplotách  $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ , pokud je dodržena doba temperace nejméně 4 hodiny. Během měření musí dojít k minimálnímu tepelnému ovlivnění měřidel a teplota v laboratoři se nesmí změnit o více než  $1^\circ\text{C}$ .

### **5.6 Příspěvky k nejistotě**

Nejistota měření musí být vypočítána v souladu s dokumentem EA 4/02.

Příspěvky, které by měly být brány v úvahu:

#### **1) Nejistota typu A**

Zjišťuje se z výběrové směrodatné odchylky nejméně pěti naměřených hodnot v každém bodě.

## 2) **Nejistota etalonu**

### 3) **Korekce etalonu**

Neplatí, pokud je při kalibraci započítávána korekce etalonu během měření nebo pokud je korekce zanedbatelná (max. do 10 % přesnosti odečtu hodnoty během kalibrace). Pokud není korekce zanedbatelná a není započítávána do měřených hodnot, musí být její velikost započítána do nejistoty měření s respektováním rovnoměrného rozdělení.

### 4) **Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla**

Nejmenší dílek odečtu hodnoty na kalibrovaném úhломěru uvažovaný během kalibrace s uvažováním rovnoměrného rozdělení. U mechanických úhломěrů s dělením 5' obvykle nelze přesněji odhadnout a hodnota dělení se bere v úvahu 5'. U digitálních úhломěrů bývá hranice rozlišení max. 0,01°.

### 5) **Vliv rozlišení etalonu**

Neuvažuje se pokud je etalonem úhlová měrka (koncová míra). Při jiném způsobu kalibrace je nutno započítat nejmenší dílek odečtu stupnice etalonu.

### 6) **Teplotní vlivy**

Pokud nejsou dodržovány intervaly teploty nebo pokud je použit způsob kalibrace, kde může teplota nezanedbatelně ovlivnit přesnost měření (např. při použití měřidla s využitím tangentova či sinova principu), je nutno tyto vlivy dostatečně analyzovat a zahrnout do výpočtu nejistoty.

### 7) **Chyba styku**

Chyba styku zahrnuje chyby měření, vzniklé špatným dosednutím úhlové měrky na nedokonale rovinná pravítka úhломěru, vliv různé přítlačné síly a pod. Hodnota této chyby je obvykle do 30". Uvažuje se rovnoměrné rozdělení.

### 8) **Další vlivy**

Díky použité metodě nebo vlivem podmínek prostředí se mohou vyskytnout další nezanedbatelné vlivy.

## 6. POSTUP KALIBRACE - LIBELY

6.1 **Funkční zkouška** - Před kalibrací jsou dosedací plochy libely důkladně očištěny a je provedena kontrola jejich rovinnosti pomocí nožového pravítka, koncových měrek nebo jinou vhodnou metodou. Zkontroluje se, zda libela při položení na rovinnou desku neviklá a její poloha je stabilní.

6.2 Kalibrace je prováděna v klimatizované laboratoři s teplotou  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Během kalibrace se nesmí teplota změnit o více než  $1^\circ\text{C}$  – velikost bublinky kapalinových libel může být výrazně ovlivněna teplotní roztažností tekutiny a přesnost měření elektronických libel může být změnou teploty také výrazně ovlivněna. Dále je nutné vyloučení otřesů stolu, resp. granitové desky, na které je umístěn etalon. Doba temperace měřidla v laboratoři je nejméně 6 hodin s předpokladem, že etalonové zařízení je v laboratoři umístěno trvale. Na kalibrovanou libelu, kalibrační zařízení a stůl, kde je umístěn měřicí zařízení, nesmí přímo proudit vzduch z klimatizace.

6.3 S výjimkou stavebních libel, není cílem kalibrace libel určení chyby indikace ve vodorovné či svislé poloze. Kapalinové libely mají tu vlastnost, že se často, vlivem různých vlivů, rozštelují a seřízení středové polohy vůči horizontální není příliš stabilní. Libely je tedy nutné používat jako relativní měřidlo nebo tak, že se na měřenou plochu, ve stejném místě, libela položí dvakrát, v polohách vzájemně otočených o  $180^\circ$  kolem svislé osy a z obou odečtených hodnot se vypočítá skutečná hodnota měřeného sklonu. Není proto tak podstatné znát polohu středu vzhledem k rovině, ale citlivost dílků strojní libely nebo chyby stupnice ostatních libel vůči dané (krajní nebo nulové) hodnotě stupnice libely. Z kalibračního listu musí být jednoznačně určeny polohy, strany a znaménka použité při kalibraci libely, tedy levá a pravá strana libely, dále např. „...libela ukazuje kladné hodnoty, když se levá strana libely naklání od vodorovné roviny směrem dolů..“ nebo podobným způsobem.

### 1) Kalibrace strojních libel

#### Měřený parametr:

Citlivost dílků – je základním parametrem, který měříme při kalibraci libely. Měří se (a uvádí do záznamu o měření) citlivost všech jednotlivých dílků libely. Pokud se citlivost dílků neliší od jmenovité hodnoty o více než 25 % velikosti jmenovité hodnoty, na kalibrační list je možno uvést jen průměrnou citlivost dílků levé strany libely, průměrnou citlivost dílků pravé strany libely, celkovou průměrnou citlivost libely, maximální a minimální citlivost dílku na levé i pravé straně libely. Nebo lépe je možné uvádět citlivosti jednotlivých dílků. Pokud velikost odchylky citlivosti od jmenovité hodnoty v některých případech přesahuje velikost 25 % jmenovité hodnoty, uvedou se do kalibračního listu změřené citlivosti jednotlivých dílků.

#### Pomocný parametr:

Odchylka bubliny od středu libelové trubice při umístění libely na vodorovnou rovinu. Je možné v kalibračním listě uvést odchylku bubliny od střední polohy při umístění libely na vodorovnou rovinu. Případně je možné provést seřízení středové polohy.

Pro kalibraci strojních libel je možno použít generátor malých úhlů, sinusové pravítko, případně s jejich využitím dále jako etalon jiné přesné elektronické libely, autokolimátory

nebo jiné vhodné vybavení, které umožňuje plynulé polohování sklonu. Měření v každém bodě se provede nejméně šestkrát. Pro kontrolu, zda během měření nedošlo ke změně natočení etalonového zařízení vzhledem k vodorovné poloze, se použije pomocná libela, která je během měření trvale umístěna na základní desce etalonového zařízení nebo na granitové desce nebo stole, kde je měřicí systém umístěn.

## ***2) Kalibrace elektronických, koincidenčních a mikrometrických libel***

### **Měřený parametr:**

Odchyly (korekce) stupnice libely. Zvolí se vhodný počet měřených bodů, kde se porovná hodnota stupnice etalonu se stupnicí kalibrované libely. Změřené hodnoty se vztáhnou k určitému bodu stupnice (střed stupnice, bod 0 apod.), protože nulová hodnota stupnice libely není obvykle přesně v souladu s vodorovnou rovinou.

### **Pomocný parametr:**

Hodnota stupnice libely při umístění libely na vodorovnou rovinu. Je možné v kalibračním listě uvést odchylku stupnice libely při umístění libely na vodorovnou rovinu. Případně je možné provést seřízení středové polohy.

Pro kalibraci těchto libel je možno použít generátor malých úhlů, sinusové pravítko, případně s jejich využitím dále jako etalon jiné přesné elektronické libely (pro kalibraci méně přesných libel), autokolimátory nebo jiné vhodné vybavení, které umožňuje plynulé polohování sklonu. Měření v každém bodě se provede nejméně šestkrát. Pro kontrolu, zda během měření nedošlo ke změně natočení etalonového zařízení vzhledem k vodorovné poloze, se použije pomocná libela, která je během měření trvale umístěna na základní desce etalonového zařízení nebo na granitové desce nebo stole, kde je měřicí systém umístěn. Libela se kalibruje v celém rozsahu, pokud zákazník neurčí kalibrovaný rozsah sám. V tomto případě musí být v kalibračním listě uvedeno, že měřidlo nebylo kalibrováno v celém rozsahu a zákazník musí být prokazatelně seznámen s tím, že mimo kalibrovaný rozsah nebude měřidlo splňovat podmínky návaznosti.

## ***3) Kalibrace stavebních libel***

### **Měřený parametr:**

Přesnost určení vodorovné, svislé, případně jiné definované polohy. Citlivost při pohybu bubliny mezi ryskami libelových trubíc.

Stavební libela má obvykle pevně vestavěné libelky pro určení vodorovné a svislé polohy, kde by při dané (vodorovné, svislé či jiné určené) poloze měla být bublinka umístěna ve středu mezi dvěma ryskami. Zde se kalibruje libela tak, že se určí odchylka sklonu libely od vodorovné či svislé polohy při doteku bublinky levé rysky, poté se určí stejný parametr u pravé rysky a z těchto hodnot se vypočítá střední poloha – tedy o kolik je libela skloněna vzhledem k vodorovné či svislé poloze, pokud je bublinka libelky přesně ve středu mezi oběma ryskami. Dále se z těchto hodnot vypočítá citlivost libelové trubice.

Pro kalibraci těchto libel je nejvhodnější použít dělicí hlavu, dále je možno použít generátor malých úhlů, sinusové pravítko, případně s jejich využitím dále jako etalon jiné přesné elektronické libely, autokolimátory nebo jiné vhodné vybavení, které umožňuje plynulé polohování sklonu. Měření v každém bodě se provede nejméně pětkrát. Pro kontrolu, zda během měření nedošlo ke změně natočení etalonového zařízení vzhledem k vodorovné

poloze, se použije pomocná libela, která je během měření trvale umístěna na základní desce etalonového zařízení nebo na granitové desce nebo stole, kde je měřicí systém umístěn.

#### **6.4 Příspěvky k nejistotě**

Nejistota měření musí být vypočítána v souladu s dokumentem EA 4/02.

Příspěvky, které by měly být brány v úvahu:

##### **1) Nejistota typu A**

Zjišťuje se jako výběrová směrodatná odchylka z opakovaně měřených hodnot v každém bodě.

##### **2) Nejistota etalonu**

##### **3) Korekce etalonu**

Neplatí, pokud je při kalibraci započítávána korekce etalonu během měření nebo pokud je korekce zanedbatelná (do cca 10 % přesnosti rozlišovací schopnosti kalibrovaného měřidla nebo max. 2,5 % velikosti jmenovité citlivosti v případě strojních libel). Pokud není korekce zanedbatelná a není započítávána do měřených hodnot, musí být její velikost započítána do nejistoty měření s respektováním rovnoměrného rozdělení.

##### **4) Vliv interpolace**

Během měření se musí počítat s tím, že měřené hodnoty se budou nacházet mimo hodnoty, kde bylo etalonové zařízení kalibrováno. V tomto případě se uvažuje vliv interpolace na nejistotu měření mezi těmito hodnotami. Určíme pravděpodobně nejvyšší možný výkyv těchto hodnot. Pokud zanedbáváme korekce etalonu, můžeme zanedbat i tento vliv.

Uvažujeme rovnoměrné rozdělení.

##### **5) Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla**

Nejmenší dílek odečtu hodnoty na kalibrovaném měřidle uvažovaný během kalibrace s uvažováním rovnoměrného rozdělení.

V případě strojních libel by měla být započítána hodnota úhlu, se kterou jsme schopni odečítat polohu bublinky na libele, v případě, že kalibrujeme způsobem, kdy naklápíme libelu o pevný úhel a hodnoty úhlu odčítáme na libele, pak při odčítání např. s odhadem na 0,1 dílku by hodnota rozlišení započítávaná do nejistoty byla 0,1 x jmenovitá hodnota citlivosti libely.

Pokud kalibrujeme strojní libely tak, že úhel nastavujeme na měřené libele posunem bublinky přesně na rysku, nejprve provedeme několik měření, kdy opakovaně nastavíme bublinku libely na okraj stejné přímky. Jako rozlišení měřidla uvedeme maximální velikost rozdílu hodnot zjištěných při tomto měření.

U digitálních libel uvedeme je rozlišení stupnice dáno jednoznačně velikostí posledního digitu stupnice, u elektronické libely s analogovou stupnicí bereme jako rozlišení stupnice velikost, kterou jsme schopni odhadnout. U nejpřesnějších elektronických libel je hodnota nejlepšího dosahovaného rozlišení 1  $\mu\text{m/m}$ .

##### **6) Vliv rozlišení etalonu**

Započítává se nejmenší dílek odečtu stupnice etalonu.

### **7) Teplotní vlivy**

Pokud nejsou dodržovány intervaly teploty nebo pokud je použit způsob kalibrace, kde může teplota nezanedbatelně ovlivnit přesnost měření (např. při použití měřidla s využitím tangentova či sinova principu), je nutno tyto vlivy dostatečně analyzovat a zahrnout do výpočtu nejistoty. Tento vliv nelze zanedbat v případě, kdy etalon pracuje s využitím sinova či tangentova principu (sinusové pravítka, generátor malých úhlů, ...), kdy odchylka laboratorní teploty je více než 1 °C od 20 °C a v případě, kdy jsou použita ramena z materiálů s rozdílným koeficientem lineární teplotní roztažnosti.

### **8) Chyba styku**

Použije se v případě, kdy jsou při měření využívány koncové měřky. Chyba styku zahrnuje chyby měření, vzniklé špatným dosednutím měřky na plochy sinusova pravítka a chyby styku jednotlivých koncových měrek. Uvažuje se rovnoměrné rozdělení.

### **9) Další vlivy**

Díky použité metodě nebo vlivem podmínek prostředí se mohou vyskytnout další nezanedbatelné vlivy.

## 7. POSTUP KALIBRACE - SKLONOMĚRY

7.1 **Funkční zkouška** - Pokud sklonoměr má dosedací plochy, jsou před kalibrací důkladně očištěny a je provedena kontrola jejich rovinnosti pomocí nožového pravítka, koncových měrek nebo jinou vhodnou metodou. Zkontroluje se, zda sklonoměr při položení na rovinnou desku neviklá a jeho poloha je stabilní.

7.2 Kalibrace je prováděna v klimatizované laboratoři s teplotou  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Během kalibrace se nesmí teplota změnit o více než  $1^\circ\text{C}$ . Dále je nutné vyloučení otřesů stolu, resp. granitové desky, na které je umístěn etalon. Doba temperace měřidla v laboratoři je nejméně 6 hodin s předpokladem, že etalonové zařízení je v laboratoři umístěno trvale.

7.3 U sklonoměrů není hlavním cílem kalibrace určení chyby indikace ve vodorovné či svislé poloze. U digitálních sklonoměrů lze nulovou nebo vodorovnou polohu nastavit. Není tedy podstatné znát polohu středu vzhledem k rovině, ale chyby stupnice sklonoměru vůči dané (krajní nebo nulové) hodnotě stupnice sklonoměru. Z kalibračního listu musí být jednoznačně určeno polohy, strany a znaménka použité při kalibraci sklonoměru, tedy levá a pravá strana, pokud je to relevantní a dále např. „...sklonoměr ukazuje kladné hodnoty, když se levá strana sklonoměru naklání od vodorovné roviny směrem dolů..“ nebo podobným způsobem.

### **Měřený parametr:**

Odchyšky stupnice sklonoměru. Zvolí se vhodný počet měřených bodů, kde se porovná hodnota stupnice etalonu se stupnicí kalibrovaného sklonoměru. Změřené hodnoty se vztáhnou k určitému bodu stupnice (střed stupnice, bod 0 apod.), protože nulová hodnota stupnice libely není obvykle přesně v souladu s vodorovnou rovinou.

### **Pomocný parametr:**

Hodnota stupnice sklonoměru při umístění sklonoměru na vodorovnou rovinu. Je možné v kalibračním listě uvést odchylku stupnice libely při umístění sklonoměru na vodorovnou rovinu. Případně je možné provést seřízení středové polohy.

7.4 Pokud je sklonoměr vybaven pomocnou libelkou, provede se také kalibrace citlivosti libely.

7.5 Pro kalibraci sklonoměrů je nejvhodnějším etalonem dělicí hlava, dále lze v omezeném rozsahu použít generátor malých úhlů nebo sinusové pravítko, případně jiný vhodný etalon. Měření v každém bodě se provede nejméně čtyřikrát u sklonoměrů s dělením nebo schopností rozlišení stupnice od  $0,1^\circ$  nebo nejméně šestkrát pro přesnější sklonoměry. Pro kontrolu, zda během měření nedošlo ke změně natočení etalonového zařízení vzhledem k vodorovné poloze, se použije pomocná libela, která je během měření trvale umístěna na základní desce etalonového zařízení nebo na granitové desce nebo stole, kde je měřicí systém umístěn.

### **7.6 Příspěvky k nejistotě**

Nejistota měření musí být vypočítána v souladu s dokumentem EA 4/02.

Příspěvky, které by měly být brány v úvahu:

#### **1) Nejistota typu A**

Zjišťuje se z výběrové směrodatné odchylky z opakovaně měřených hodnot v každém bodě.



## 2) Nejistota etalonu

### 3) Korekce etalonu

Neplatí, pokud je při kalibraci započítávána korekce etalonu během měření nebo pokud je korekce zanedbatelná (do cca 10 % přesnosti rozlišovací schopnosti kalibrovaného měřidla). Pokud není korekce zanedbatelná a není započítávána do měřených hodnot, musí být její velikost započítána do nejistoty měření s respektováním rovnoměrného rozdělení.

### 4) Vliv interpolace

Během měření se musí počítat s tím, že měřené hodnoty se budou nacházet mimo hodnoty, kde bylo etalonové zařízení kalibrováno. V tomto případě se uvažuje vliv interpolace na nejistotu měření mezi těmito hodnotami. Určíme pravděpodobně nejvyšší možný výkyv těchto hodnot. Pokud zanedbáváme korekce etalonu, můžeme zanedbat i tento vliv. Uvažujeme rovnoměrné rozdělení.

### 5) Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla

Nejmenší dílek odečtu hodnoty na kalibrovaném měřidle uvažovaný během kalibrace s uvažováním rovnoměrného rozdělení.

U digitálních sklonoměrů je rozlišení stupnice dáno jednoznačně velikostí posledního digitu stupnice, u optických a mechanických sklonoměrů bereme jako rozlišení stupnice velikost, kterou jsme schopni odhadnout. U přesných digitálních sklonoměrů je hodnota nejlepšího dosahovaného rozlišení  $0,01^\circ$ , u vestavných a méně přesných digitálních sklonoměrů je obvyklé rozlišení  $0,1^\circ$ , u optických sklonoměrů bývá rozlišení  $1'$  a u mechanických sklonoměrů bývá přesnost odhadu  $0,1^\circ$ .

### 6) Vliv rozlišení etalonu

Započítává se nejmenší dílek odečtu stupnice etalonu.

### 7) Teplotní vlivy

Pokud nejsou dodržovány intervaly teploty nebo pokud je použit způsob kalibrace, kde může teplota nezanedbatelně ovlivnit přesnost měření (např. při použití měřidla s využitím tangentova či sinova principu), je nutno tyto vlivy dostatečně analyzovat a zahrnout do výpočtu nejistoty.

### 8) Chyba styku

Použije se v případě, kdy jsou při měření využívány koncové měrky. Chyba styku zahrnuje chyby měření, vzniklé špatným dosednutím měrky na plochy sinusova pravítka a chyby styku jednotlivých koncových měrek. Vzhledem k přesnosti kalibrovaného měřidla může být tento vliv zanedbatelný. Uvažuje se rovnoměrné rozdělení.

### 9) Další vlivy

Díky použité metodě nebo vlivem podmínek prostředí se mohou vyskytnout další zanedbatelné vlivy.