



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 2.3.8/01/14

SILOMĚRY

(Páčkové siloměry - kontaktoměry,
siloměry typu mincíř,
siloměry s manometry,
siloměry pro běžná použití - s analogovým i digitálním zobrazováním,
siloměrné třmeny,
kalibrace siloměrů podle normy ČSN EN ISO 376:2011)

Praha
Říjen 2014

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

Číslo úkolu: VII/1/14

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Pavel Čutka

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Tento předpis obsahuje soubor kalibračních postupů určených pro kalibraci siloměrů pro různá použití. Postup na kalibraci siloměrů určených pro ověřování jednoosých zkušebních strojů je v souladu s normou ČSN EN ISO 376:2011.

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO 376:2011	Kovové materiály - Kalibrace siloměrů používaných k ověřování jednoosých zkušebních strojů	[1]
EA 4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[2]
	Validované postupy na kalibrace siloměrů akreditované kalibrační laboratoře pro sílu č. 2263	[3]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci dutinoměrů 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

Siloměry z hlediska volby kalibračního postupu se dělí do následujících skupin:

A. Siloměry jednoduché: Do této skupiny jsou zařazeny siloměry jednoduché konstrukce a zpravidla i nejnižší přesnosti:

- A1** - páčkové siloměry – kontaktoměry
- A2** - siloměry typu mincíře
- A3** - siloměry s manometry
- A4** - snímače síly, které jsou součástí jiných zařízení

B. Siloměr pro běžná použití: Do této skupiny se zařazují kompaktní siloměry střední přesnosti s analogovým i digitálním čtením, určené pro měření síly v tahu nebo tlaku nebo tahu i tlaku, zpravidla s rozsahem síly do 1000 N.

- B1** - siloměry kalibrované pro specifické kalibrační síly (zpravidla s analogovou stupnicí)
- B2** - siloměry kalibrované pro interpolaci

C. Siloměrné třmeny: Siloměry s deformačním členem ve tvaru třmenu s analogovým měřením deformace. Siloměry přesné, původně určené zejména na kalibraci zkušebních strojů.

D. Siloměry přesné: Siloměry použitelné pro ověřování jednoosých zkušebních strojů podle normy ČSN EN ISO 376:2011. Charakteristiky siloměrů třídy 2, 1, 0,5 a 00 jsou uvedené v normě. Rozsah síly není normou omezen. Použití zpravidla pro tah / tlak. Siloměry se kalibrují (podle jejich konstrukce a použití) pro specifické síly nebo pro interpolaci, dále s otáčením nebo bez otáčení. Součástí potřebného vybavení při kalibraci siloměrů je vždy teploměr.

D1 - Siloměry kalibrované pro specifické síly podle normy ČSN EN ISO 376:2011

D2 - Siloměry kalibrované pro interpolaci podle normy ČSN EN ISO 376:2011

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Potřebná měřidla a měřicí zařízení jsou uvedena u jednotlivých variant postupů kalibrací.

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 kalibrace

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

- Teplota prostředí: $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,
- Změna teploty vzduchu za 1 hodinu: max. 1°C ,
- Relativní vlhkost vzduchu: max. 70 % RH.

7 Rozsah kalibrace

- Předběžná kontrola, vnější prohlídka a příprava siloměru ke kalibraci,
- měření metrologických parametrů a případné seřízení siloměru,
- stanovení chyby u jednotlivých metrologických parametrů,
- vyhodnocení kalibrace včetně vyjádření nejistoty měření při kalibraci.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Zkontroluje se typ a počet dodaných siloměrů, porovná se rozsah a druh dodaného příslušenství podle objednávky nebo podle dodacího listu. Kontroluje se, zda označení měřidla evidenčním číslem odpovídá údajům v objednávce.

Převzetí siloměru k rekalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném.

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Siloměr se pečlivě vyčistí, provede se jeho vizuální kontrola, zejména se zjistí případná poškození nebo koroze funkčních ploch.

Kontroluje se příslušenství měřidla.

Siloměr, který nevyhověl při vnější prohlídce a konstrukčnímu provedení dle výrobce, se vyřadí z dalších zkoušek.

9 Postup kalibrace

A1. Kalibrační postup páčkových siloměrů (kontaktoměrů)

Páčkové siloměry (kontaktoměry) jsou pružinové analogové přístroje, zpravidla ovládané ručně. Síla působí kolmo na zatěžovací páku v určeném místě páky. Přístroj obvykle umožňuje měření síly působící ve směru (i proti směru) otáčení hodinových ručiček. Naměřená síla se čte na stupnici příslušející příslušnému směru otáčení. Rozsah měření síly u kontaktoměrů je od 5 mN do 10 N. Siloměry se kalibrují za použití závaží. Siloměry se kalibrují pro specifické síly. Počet specifických sil je určen dělením stupnice. Měří se v 5 až 10 specifických sil na každé stupnici. Siloměry se kalibrují při teplotě $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

Potřebné kalibrační zařízení:

1. Stojan s ramenem pro uchycení kontaktoměru (s možností natáčení kontaktoměru)
2. Sady zatěžovacích těles kalibrovaných s nejistotou do 0,2 % F
3. Závěsy různé hmotností (síly) kalibrovaných s nejistotou do 0,2 % F
4. Hmotná rovinná deska

Kalibrační postup:

- 1) Do záznamu o kalibraci se uvede:
 - název a adresa kalibrační laboratoře,
 - pořadové číslo kalibračního listu, očíslování a počet stran,
 - jméno a adresa zákazníka,
 - název přístroje,
 - typ přístroje,
 - výrobní číslo nebo identifikační číslo,
 - výrobce,
 - rozsah měřené síly – stupnic,
 - velikost nejmenšího dílku.
- 2) Překontroluje se úplnost a funkčnost přístroje
- 3) Stojan s vhodným ramenem se umístí na rovinnou desku. Upevní se kontaktoměr do úchyty tak, aby zatěžovací páka se pohybovala vertikálně, aby konec páky byl přístupný pro vložení závěsu se zatěžovacími tělesy (pro měřený smysl působení na páčku).
- 4) Na zatěžovací páčku se vloží (v určeném místě) závěs se závažími pro největší sílu. Úchytem s upevněným kontaktoměrem se natočí tak, aby páčka kontaktoměru byla ve vodorovné poloze. Zaznamenaná se čtená síla na stupnici příslušné měřenému smyslu. Toto předběžné zatěžování se opakuje nejméně 2x.
- 5) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude měřena síla.
- 6) Zvolí se vhodný závěs, který se doplní vhodným zatěžovacím tělesem pro nejmenší sílu,
- 7) Závěs se vloží na stanovený bod na páčce kontaktoměru, který se natočí tak, aby páčka byla vodorovně. Čte se údaj síly na stupnici a tento zaznamená.

- 8) Volbou vhodného závěsu doplněného vhodnými zatěžovacími tělesy se změří síly uvedené v záznamu pod bodem 5.
- 9) Změří se druhá řada postupem uvedeným v bodech 6 až 8.
- 10) Pokud výsledky obou řad měření se vyhodnotí jako přijatelné (posoudí se rozdílnost výsledků obou řad s ohledem na přesnost přístroje), třetí řada se neprovádí a kalibrační zařízení se přestaví pro měření síly v opačném smyslu zatěžování podle bodu 3.
- 11) Proveďte se předběžné zatěžování kontaktoměru podle bodu 4.
- 12) Síly měřené podle bodu 5 jsou obvykle shodné.
- 13) Proveďte se měření podle bodu 6 až 10.
- 14) Pokud měření je opět přijatelné, měření se ukončí.
- 15) Zaznamenají se (slovně popíší) místa na páčce, kde byl pokládán závěs při měření.
- 16) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka.
- 17) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
- 18) Při zpracování kalibračního listu se vypočtou průměrné hodnoty naměřených jednotlivých sil, které se uvedou do kalibračního listu.
- 19) Nejistota kalibrace se stanoví technickým odhadem. Při odhadu nejistoty kalibrace se vychází ze zjištěných rozdílných výsledků obou řad a z velikosti nejmenšího dílku. Zpravidla je nejistota v rozmezí 0,2 až 0,5 hodnoty nejmenšího dílku stupnice.
- 20) Zpracuje se kalibrační list a siloměr se opatří kalibračním štítkem na vhodném místě.

Pokud stupnice kontaktoměru je uvedena pouze v jednotkách síly mimo soustavu SI, např. v p, provede se kalibrace za použití zatěžovacích těles kalibrovaných v této jednotce síly, nebo se naměřená síla v N přepočte (dělením hodnotou 9,806 65) na sílu v p (kp) a tato se např. v závorce uvede též v kalibračním listu - kalibrační list musí vždy obsahovat naměřenou sílu v zákonné jednotce síly N.

Kalibrační list na páčkové siloměry obsahuje tyto údaje:

- a) číslo kalibračního listu, počet stran, strana,
- b) uživatel (název, adresa),
- c) název siloměru,
- d) typ siloměru,
- e) výrobce,
- f) výrobní číslo, nebo jiné identifikační číslo,
- g) rozsah síly,
- h) velikost nejmenšího dílku,
- i) uvedení místa působení síly na páčce,
- j) naměřené síly s označení čtené stupnice,
- k) použité kalibrační zařízení (obvykle závaží), nejistota
- l) teplota při kalibraci
- m) nejistota kalibrace síly stanovená technickým odhadem,
- n) datum kalibrace,
- o) datum vystavení kalibračního listu,
- p) označení kalibračního postupu,
- q) označení pracoviště, které provedlo kalibraci,
- r) razítko, podpis

A2. Kalibrační postup na siloměry typu mincíř

Siloměry typu mincíř jsou siloměry určené pro měření síly (nebo pro stanovení hmotnosti) s velkou deformací měřicích pružin (až asi do 100 mm). Tyto přístroje jsou určeny pro měření tahových sil. Siloměry jsou určené pro měření síly do 1000 N. Přístroje jsou analogové i digitální. Siloměry se kalibrují za použití zatěžovacích závaží kalibrovaných v N s nejistotou do 0,1 % *F*. Siloměry se kalibrují pro specifické body. Počet měřených specifických bodů je určen dělením stupnice siloměru. Siloměr se měří se v 5 až 10 specifických silách. Siloměry se kalibrují obvykle při teplotě $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

Siloměry pro síly nad 1000 N mají zpravidla tuhý deformační člen a pro kalibraci jsou použitelná kalibrační zařízení určená pro kalibraci siloměrů podle normy ČSN EN ISO 376:2011.

Kalibrace siloměrů - mincířů pro síly nad 1000 N lze provádět i porovnávací metodou za použití rámu pro uchycení siloměru – mincíře a do série spojeného kontrolního siloměru, kalibrovaného podle normy ČSN EN ISO 376:2011.

Do této skupiny lze zařadit i siloměry pro snímání malých sil. Tyto přístroje jsou jednoduché konstrukce s pružinovým systémem a obvykle s velkou deformací. Jsou určeny pro manipulaci rukou. Kalibrace se provádí v jednom, nebo několika vyznačených bodech. Kalibraci je nutno přizpůsobit způsobu používání siloměru – hmotnost zatěžovacího systému obvykle podstatným způsobem ovlivňuje výsledek kalibrace. Výsledky měření zjištěných v jiných polohách siloměru, než byla provedena kalibrace, mohou být zcela odlišné. Pokud je přístroj používán ve svislé poloze, kdy měřená síla působí svisle vzhůru, lze kalibrační sílu v tomto smyslu zatěžování realizovat za použití zatěžovacích těles a např. vhodné rovnoramenné váhy. Způsob kalibrace je nutno popsat v kalibračním listě.

A21. Kalibrace siloměrů typu mincířů pro měření síly do 500 N (1000 N)

Potřebné kalibrační zařízení pro kalibraci za použití závaží:

- 1) Rám pro uchycení siloměru - mincíře.
- 2) Sady zatěžovacích těles kalibrovaných s nejistotou do 0,1 % *F*.
- 3) Závěsy různé hmotností (síly) kalibrovaných s nejistotou do 0,1 % *F*.

Potřebné kalibrační zařízení pro kalibraci porovnávací metodou:

- 1) Rám pro uchycení siloměru a vyvození deformace.
- 2) Porovnávací siloměr pro potřebné zatížení (siloměrná dóza).

A211. Kalibrační postup pro kalibraci za použití závaží

- 1) Do záznamu o kalibraci se uvede:
 - název a adresa uživatele,
 - název přístroje,
 - typ přístroje,
 - výrobní nebo jiné identifikační číslo,
 - výrobce,
 - rozsah měřené síly,
 - velikost nejmenšího dílku.
- 2) Překontroluje se úplnost a funkčnost přístroje.
- 3) Na rám se zavěsí siloměr - mincíř a čte se údaj na stupnici nezatíženého siloměru. Pokud je siloměr s digitálním čtením, ponechá se přístroj asi 20 minut zapnutý před čtením nuly.
- 4) Na hák zkoušeného siloměru se zavěsí závěs určený pro měření síly odpovídající jmenovité síle zkoušeného siloměru.

- 5) Závěs se doplní zatěžovacími tělesy pro jmenovitou sílu. Po asi 30 s se čte naměřená síla. Čtená hodnota se zaznamená.
- 6) Odstraní se vložená zatěžovací tělesa včetně závěsu a asi po 30 s se čte hodnota siloměru bez zatížení. Hodnota se zaznamená.
- 7) Opakují se body 4 až 6. Tím je ukončeno předběžné zatěžování siloměru.
- 8) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude měřena síla.
- 9) Zavěsí se závěs, který se doplní vhodným zatěžovacím tělesem pro nejmenší zkoušenou sílu. Po ustálení (asi 10 s) se čte indikovaná síla a zaznamená se.
- 10) Přidáním dalších zatěžovacích těles se nastaví a po asi 10 s se čtou další měřené síly.
- 11) Po dosažení jmenovité síly se odstraní závaží i závěs a po asi 30 s se opět čte stav nuly.
- 12) Proveďte se druhá řada měření podle bodů 9 až 11.
- 13) Pokud výsledky obou měření se vyhodnotí jako přijatelné (posoudí se rozdílnost výsledků obou řad s ohledem na přesnost přístroje – rozdíly mezi naměřenými hodnotami obou řad by neměly přesahovat hodnotu asi $0,2 \% F$), třetí řada se neprovádí a měření se ukončí.
- 14) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka provádějící kalibraci.
- 15) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
- 16) Při zpracování kalibračního listu se vypočtou průměrné hodnoty naměřených jednotlivých sil, které se uvedou do kalibračního listu.
- 17) Nejistota kalibrace se stanoví technickým odhadem. Při odhadu nejistoty kalibrace se vychází ze zjištěných rozdílných výsledků obou řad a z velikosti nejmenšího dílku. Zpravidla je nejistota v rozmezí 0,2 až 0,5 hodnoty nejmenšího dílku.
- 18) Zpracuje se kalibrační list a siloměr se opatří kalibračním štítkem.

A212. Kalibrační postup pro kalibraci porovnávací metodou

- 1) Do záznamu o kalibraci se uvede:
 - název a adresa uživatele,
 - název přístroje,
 - typ přístroje,
 - výrobní nebo jiné identifikační číslo,
 - výrobce,
 - rozsah měřené síly,
 - velikost nejmenšího dílku,
 - použitý porovnávací siloměr.
- 2) Překontroluje se úplnost a funkčnost přístroje.
- 3) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude měřena síla.
- 4) Na rám se zavěsí porovnávací siloměr a do série kalibrovaný siloměr - mincíř. Čte se údaj nuly na stupnici nezatíženého siloměru – mincíře. Pokud je siloměr s digitálním čtením, ponechá se přístroj asi 20 minut zapnutý před čtením nuly.
- 5) Po pevném spojení kalibrovaného siloměru s rámem se deformačním zařízením rámu vyvodí přes porovnávací siloměr síla rovná nebo vyšší než nominální síla siloměru – mincíře (nejvýše do $105 \% F_{\max}$). Jako porovnávací siloměr se doporučuje použít siloměrná dóza kalibrovaná na tah a pro interpolaci, určená pro síly podstatně překračující nominální sílu kalibrovaného siloměru – mincíře. Pozor však na zvýšení nejistoty měření pro malé síly. Čtené hodnoty na obou siloměrech se zaznamenávají.
- 6) Opakuje se předběžné zatížení siloměrů podle bodu 4 a 5.
- 7) Odstraní se působící síla a po uvolnění kalibrovaného siloměru se asi po 30 s čte hodnota nuly na obou siloměrech, nebo se nastaví nula (nebo se čte nastavená hodnota).
- 8) Po pevném spojení kalibrovaného siloměru s rámem se deformačním zařízením rámu vyvodí přes kontrolní siloměr síla pro nejmenší měřenou sílu na zkoušeném siloměru. Po

asi 5 s (cca uklidněný stav) se čte údaj síly na obou siloměrech. Hodnoty dvojice sil se zaznamenají do záznamu o měření.

- 9) Postupným zvyšování vnášené síly se zjistí odpovídající dvojice sil (čtených současně na siloměru porovnávacím a kalibrovaném) u zvolených specifických sil. Čtené hodnoty se zaznamenají.
- 10) Opakováním měření podle bodů 7 a 8 se získají dvě řady měření.
- 11) Ze všech naměřených dvojic sil zjištěných v první i druhé řadě měření se vypočítá metodou nejmenších čtverců lineární závislost a korelační koeficient. Pokud korelační koeficient je nad 0,99, vypočtou se naměřené síly pro zvolené specifické síly, uvedené v bodě 3., které se uvedou do kalibračního listu.
- 12) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka provádějící kalibraci.
- 13) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
- 14) Nejistota kalibrace se stanoví technickým odhadem. Při odhadu nejistoty kalibrace se vychází ze zjištěných rozdílných výsledků obou řad a z velikosti nejmenšího dílku.
- 15) Zpravidla se uvede nejistota v rozmezí 0,2 až 0,5 hodnoty nejmenšího dílku siloměru.
- 16) Zpracuje se kalibrační list a siloměr se opatří kalibračním štítkem.

Kalibrační list na siloměry typu mincíře

Kalibrační listy obsahují tyto údaje:

- a) číslo kalibračního listu, strana, počet stran,
- b) uživatel (název, adresa),
- c) název siloměru,
- d) typ siloměru,
- e) výrobce,
- f) výrobní číslo, nebo jiné identifikační číslo,
- g) rozsah síly,
- h) velikost nejmenšího dílku,
- i) použité kalibrační zařízení,
- j) použitý komparační siloměr a jeho nejistoty,
- k) naměřené síly,
- l) teplota při kalibraci,
- m) nejistota kalibrace síly stanovená technickým odhadem,
- n) datum kalibrace,
- o) datum vystavení kalibračního listu,
- p) označení kalibračního postupu,
- q) označení pracoviště, které provedlo kalibraci,
- r) razítko, podpis

A3. Kalibrace siloměrů s manometry

Siloměry s manometry jsou určeny zpravidla pro měření síly v tlaku. Pokud by jmenovitá síla siloměru byla do 500 N (1000 N), lze siloměry kalibrovat za použití závěsu a zatěžovacích těles. Zatěžovací síla musí působit v ose siloměru. Siloměry pro větší zatížení lze kalibrovat na kalibračním zařízení určeném např. pro kalibraci siloměrů podle normy ČSN EN ISO 376:2011.

Siloměry s manometry lze kalibrovat i porovnávací metodou za použití rámu pro uchycení kalibrovaného siloměru a do série spojeného kontrolního siloměru, zpravidla třídy 1, kalibrovaného podle normy ČSN EN ISO 376:2011. Pokud je při kalibraci siloměru s manometry nutno tahovou sílu kontrolního siloměru převést na tlakovou sílu působící na kalibrovaný siloměr, lze toto realizovat za použití reversoru.

Kalibrace provedené za použití porovnávací metody jsou s ohledem na dosahovanou přesnost, vlastnosti siloměrů a použití siloměrů s manometry považovány obvykle za dostatečně přesné.

Potřebné kalibrační zařízení pro kalibraci za použití závaží:

- 1) Rovinná tuhá deska pro položení siloměru,
- 2) Závěsy různé hmotností (síly) kalibrované s nejistotou do 0,1 % F.
- 3) Sady zatěžovacích těles kalibrované s nejistotou do 0,1 % F.

Kalibrační postup:

- 1) Do záznamu o kalibraci se uvede:
 - název a adresa uživatele,
 - název přístroje,
 - typ přístroje,
 - výrobní nebo jiné identifikační číslo siloměrné i měřicí části manometru,
 - výrobce,
 - rozsah měřené síly,
 - velikost nejmenšího dílku.
- 2) Překontroluje se úplnost a funkčnost přístroje. Siloměr musí být s indikačním zařízením – manometrem. Dóza siloměru musí být naplněna příslušnou kapalinou – siloměr musí být funkční v celém rozsahu sil.
- 3) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude síla měřena.
- 4) Na vodorovnou, rovinnou a tuhounou desku např. rámu se položí siloměr a čte se údaj stupnice nezatíženého siloměru. Pokud je nutno nulu nastavit a siloměr to umožňuje, nastaví se nula. Pokud je siloměr s digitálním čtením, ponechá se přístroj asi 10 minut zapnutý před čtením nuly a kalibrací.
- 5) Po zvolení vhodného závěsu, doplněného zatěžovacími tělesy pro nominální sílu se 2x předběžně zatíží kalibrovaný siloměr. Zatěžovací síla musí působit v ose siloměrné dózy. Hodnoty při nulovém zatížení a při maximální síle se zaznamenají do záznamu o měření.
- 6) Postupným doplněním závěsu příslušnými zatěžovacími tělesy pro zvolené specifické síly podle bodu 3 se stanoví síla pro zvolené specifické síly. Naměřené síly se zaznamenají.
- 7) Opakuje se měření podle bodu 6.
- 8) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka provádějící kalibraci.
- 9) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
- 10) Při zpracování kalibračního listu se vypočtou průměrné hodnoty naměřených jednotlivých sil při obou řadách, které se uvedou do kalibračního listu.
- 11) Nejistota kalibrace se stanoví technickým odhadem. Při odhadu nejistoty kalibrace se vychází ze zjištěných rozdílných výsledků obou řad, z velikosti nejmenšího dílku a nejistoty vkládané síly.
- 12) Zpravidla je nejistota kalibrace v rozmezí (0,2 až 0,3) % F.
- 13) Zpracuje se kalibrační list a siloměr se opatří kalibračním štítkem.

Kalibrační list na siloměry s manometrem

Kalibrační listy obsahují tyto údaje:

- 1) číslo kalibračního listu,
- 2) uživatel (název, adresa),
- 3) název siloměru,
- 4) typ siloměru,
- 5) výrobce,
- 6) výrobní číslo siloměrné části i manometru,

- 7) rozsah síly,
- 8) velikost nejmenšího dílku,
- 9) naměřené síly,
- 10) použitá kalibrační metoda a použité kalibrační zařízení (závaží), nejistota,
- 11) teplota při kalibraci,
- 12) nejistota kalibrace síly stanovená technickým odhadem,
- 13) datum kalibrace,
- 14) datum vystavení kalibračního listu,
- 15) označení kalibračního postupu,
- 16) označení pracoviště, které provedlo kalibraci,
- 17) razítko, podpis.

A4. Kalibrace snímačů síly, které jsou součástí jiných zařízení

Pokud snímače síly jsou přenosné, včetně části zobrazující naměřenou sílu (jak v jednotkách síly nebo v jiné veličině), postupuje se při kalibraci některým uvedeným postupem. Pokud některá uvedená část je nepřenositelná, lze siloměrné zařízení kalibrovat pouze přenosným siloměrem (zatěžovacími tělesy) u uživatele. Další podmínkou je možnost vložit siloměr do zařízení a měření realizovat.

B. Kalibrace siloměrů pro běžná použití

Jedná se o nejrozšířenější siloměry pro měření sil do 500 N, výjimečně 1000 N (2000 N) s analogovým i digitálním zobrazováním výsledků měření a snímačem síly pro tah/tlak. Počet dílků stupnice je do 100 u siloměrů analogových a 1000 až 10 000 u siloměrů digitálních. Siloměry s tenzometrickým snímačem síly mají zpravidla možnost udávat sílu nejen v N, ale i dalších jednotkách síly (kp aj.). Siloměry se kalibrují pro interpolaci, obvykle v 8 až 10 bodech. Siloměry jsou opatřeny háčky pro zavedení tahových sil a různých misek (nejlépe s kuželovou plochou) pro zavedení tlakových sil. Siloměry se kalibrují v poloze se svisle působící silou. Siloměry jsou zpravidla vybaveny závity – šrouby pro upevnění siloměru při kalibraci i v místě použití. Kalibrace se provádí při teplotě $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Potřebné kalibrační zařízení pro kalibraci siloměrů za použití závaží:

- 1) rám pro uchycení siloměru upevněného v přípravku,
- 2) přípravek pro uchycení siloměru,
- 3) závěsy různých hmotností (síly) kalibrované s nejistotou do 0,05 % F ,
- 4) sady zatěžovacích těles kalibrovaných s nejistotou do 0,05 % F ,
- 5) počítač s validovaným programem pro zpracování výsledků měření a vypracování kalibračního listu,
- 6) další měřidla, zařízení a pomůcky podle konkrétní potřeby kalibrace,
- 7) tiskopisy záznamů o měření.

Kalibrační postup:

1) Do záznamu o kalibraci se uvede:

- název přístroje,
- typ přístroje,
- výrobce,
- rozsah měřené síly,
- počet dílků,
- velikost nejmenšího dílku,
- požadavek zákazníka na měření v tahu / tlaku,

- použité kalibrační zařízení,
 - nejistota vnášené síly (nejistota kalibrace použitých zatěžovacích těles).
- 2) Překontroluje se úplnost a funkčnost přístroje. Siloměr musí mít jak vlastní siloměrnou dózu, tak i indikační zařízení.
 - 3) Do záznamu se uvede způsob kalibrace – ve stanovených specifických silách nebo pro interpolaci.
 - 4) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude síla měřena.
 - 5) Na vodorovnou, rovinnou a tuhou desku rámu se upevní vhodný přípravek pro uchycení siloměru.
 - 6) Do přípravku se upevní siloměr tak, aby na siloměr mohla být aplikována síla v zamýšleném smyslu na tah nebo tlak.
 - 7) Pokud je siloměr s tenzometrickým snímačem deformace (digitálním čtením), ponechá se přístroj asi 30 minut zapnutý před zahájením kalibrace.
 - 8) Před zahájením vlastní kalibrace se přístroj nastaví na nulu a siloměr zatíží na hodnotu jmenovitého (maximálního) zatížení siloměru. Po asi 10 minutách se čte indikovaná síla a zaznamená se do záznamu o měření. Po odlehčení se asi po 3 minutách čte stav nuly.
 - 9) Po druhé se opakuje předběžné zatížení siloměru podle bodu 8.
 - 10) Zaznamená se teplota.
 - 11) Na siloměru bez zatížení se nastaví nula na siloměru, nebo se čte údaj na siloměru.
 - 12) Na siloměr se vloží závěs doplněný zatěžovacími tělesy pro zvolenou nejmenší sílu.
 - 13) Po asi 5 až 10 s (zvolený interval se pak dodržuje) se čte údaj na siloměru a zaznamená se do záznamu o měření.
 - 14) Přidáním dalších zatěžovacích těles pro zvolené síly se postupně čtou indikované síly v těchto bodech, postupem podle bodů 12 a 13.
 - 15) Odstraní se zatěžovací tělesa včetně závěsu a po asi 3 minutách se čte stav nuly, který se zaznamená.
 - 16) Druhá řada měření postupuje shodně podle bodů 11 až 15.
 - 17) Třetí řada měření opět postupuje shodně podle bodů 11 až 15.
 - 18) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka provádějící kalibraci.
 - 19) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
 - 20) Za použití počítače s validovaným počítačovým programem se zpracují výsledky měření a vypracuje kalibrační list.
 - 21) Siloměr se označí kalibračním štítkem.

Programy pro zpracování výsledků měření počítačem

Program pro zpracování výsledků kalibrace ve specifických silách.

- 1) Ze záznamu o měření se přenesou všechny zvolené specifické síly, naměřené hodnoty a informace nutné pro zpracování výsledků měření do souboru s programem, obsahující následné výpočty.
- 2) Ze tří hodnot naměřených při téže specifické síle při první, druhé a třetí řadě měření se vypočte průměrná hodnota síly:
$$F_i = (F_{i1} + F_{i2} + F_{i3}) / 3$$
- 3) Vypočte se odchylka siloměru (v každé specifické síle) odečtením nominální hodnoty síly od hodnoty stanovené v tomto bodě (podle bodu 1). Do kalibračního listu se uvádí odchylka síly % F .
- 4) Pro každou specifickou sílu se vypočte nejistota kalibrace této síly. Výpočet vychází z nejistoty kalibrace použitých zatěžovacích těles a z rozdílných hodnot naměřených v každé specifické síle při první, druhé a třetí řadě měření. Vypočtená hodnota nejistoty se zaokrouhluje na dvě platné číslice.

Program pro zpracování výsledků při kalibraci s interpolací:

- 1) Ze záznamu o měření se přenesou všechny zvolené specifické síly, naměřené hodnoty a informace nutné pro zpracování výsledků kalibrace do souboru s programem, obsahující následné výpočty.
- 2) Ze tří hodnot naměřených při téže specifické síle při první, druhé a třetí řadě měření se vypočte průměrná hodnota síly: $F_i = (F_{i1} + F_{i2} + F_{i3}) / 3$
- 3) Ze všech průměrných hodnot u všech bodů se metodou nejmenších čtverců se vypočte rovnice regresní křivky.
- 4) Doporučuje se rovnice tvaru: $F = A + B.F_i + C.F_i^2$
kde F je síla výsledná (vkládaná do kalibračního listu) a F_i je síla čtená (průměrná) při každé specifické síle.
Zjištěná rovnice siloměru se doporučuje uvádět i v kalibračním listě.
- 5) Z vypočtené rovnice podle bodu 3 se vypočtou síly, považované za síly příslušející měřeným silám – tyto hodnoty se uvedou do kalibračního listu jako výsledné. Znalost rovnice siloměru umožňuje vypočítat sílu i pro jiné než měřené body.
- 6) Vypočtou se odchylky siloměru v každém bodě jako rozdíl hodnot vypočtených v bodě 4 minus průměrné hodnoty vypočítané v bodě 2. Do kalibračního listu se zpravidla uvádí hodnoty odchylek % F .
- 7) Pro každou zkoušenou sílu se vypočte nejistota kalibrace této síly. Výpočet vychází z nejistoty vnášené síly (kalibrace zatěžovacích těles) a z rozdílných hodnot naměřených v každém bodě při první, druhé a třetí řadě měření. Vypočtená hodnota nejistoty se zaokrouhluje na dvě platná čísla.
- 8) Pro získání možnosti posouzení vyrovnanosti výsledků měření jednotlivých řad a získání informace a možnosti odstranění případných hrubých chyb měření (možnost zařazení doplňujících měření, rozšíření měření o další řady) je do programu zařazen výpočet náhodných chyb. Relativní náhodná chyba, označená b' v % F se počítá u každé síly podle vztahu: $[\text{Max}(F_{i1} + F_{i2} + F_{i3}) - \text{Min}(F_{i1} + F_{i2} + F_{i3})] * 100 / F$
- 9) Pro posouzení shodnosti naměřených sil v jednotlivých silách s odpovídajícími hodnotami vypočítanými podle rovnice siloměru podle bodu 3 se vypočítává relativní chyba interpolace v % F v každém bodu podle vztahu: $(F_{\text{měřená}} - F_{\text{vypočtená}}) * 100 / F_{\text{měřená}}$

Kalibrační list pro siloměry pro běžná použití obsahuje tyto údaje:

- a) číslo kalibračního listu,
- b) uživatel (název, adresa),
- c) název siloměru,
- d) typ siloměru,
- e) výrobce,
- f) výrobní číslo,
- g) rozsah síly,
- h) počet dílků,
- i) velikost nejmenšího dílku,
- j) smysl zatěžovací síly tah / tlak,
- k) naměřené síly ve všech řadách měření,
- l) použité kalibrační zařízení (závaží), nejistota vkládané síly,
- m) teplota při kalibraci,
- n) nejistota kalibrace síly stanovená výpočtem,
- o) relativní náhodná chyba, označené b' , v % F ,
- p) relativní chyba interpolace v % F ,

- q) rovnice siloměru (doporučení),
- r) datum vystavení kalibračního listu,
- s) označení kalibračního postupu,
- t) označení pracoviště, které provedlo kalibraci,
- u) razítko, podpis.

C. Kalibrace siloměrných třmenů

Jedná se zpravidla o přesné siloměry s deformačním členem ve tvaru třmenu, s tvarem obvykle oválným nebo kruhovitým. Deformace třmenu, působené působící silou, se měří číselníkovým úchylkoměrem, snímačem délky nebo opticky.

Siloměrné třmeny s číselníkovým úchylkoměrem tvoří kompaktní celek a jsou použitelné v rozsahu síly asi od 50 N do 5 MN. Deformace siloměru je asi 1 mm. Pákovým mechanismem se deformace zvětšuje obvykle 5x. Siloměrné třmeny se vyrábí pro měření tlakových i tahových sil i na tah / tlak. Omezení při měření malých sil je v důsledku narůstajícího negativního podílu vratné pružiny v číselníkovém úchylkoměru a pružiny pákového mechanismu na výsledek měření (nemají vlastnosti měřících pružin). Je to i jedním z důvodů nutnosti stavění číselníkového úchylkoměru do stejné polohy ve třmenu. Hodnota na stupnici se čte na 1/10 dílku, tj. na 0,001 mm. Před kalibrací i v průběhu používání siloměru je nutno se ujistit o pevném zašroubování obvykle výměnných dotyků.

Siloměrné třmeny s číselníkovým úchylkoměrem se kalibrují pro specifické síly, podle možnosti shodné se silami, které bude uživatel zkoušet. Je to v důsledku nelineární deformace třmenu a chyb číselníkových úchylkoměrů.

Siloměrné třmeny s optickým vyměřováním deformace mají upevněnou skleněnou stupnici rytou po mm ve středu deformující se části siloměru. Měřicí mikroskop (zpravidla Zeissův spirální mikroskop) je pevně spojen s pevnou spodní částí třmenu. Mikroskop umožňuje číst hodnotu na 0,0001 mm. Aby byla stupnice v celém rozsahu zatěžování v předmětové rovině mikroskopu (byla stále zaostřena), musí být siloměr nastaven tak, aby síla působila v ose siloměru. Siloměry pro nejmenší síly umožňují měřit síly již od desítek mN, pokud měření probíhá v uklidněném prostředí. Siloměry jsou zpravidla určeny pro měření síly v tlaku.

Aby bylo možné uživatelem měřit sílu i mimo kalibrované síly, uvádí se do kalibračního listu pro každou kalibrovanou sílu i zatěžovací poměr E :

$$E = \text{počet stanovených dílků} / \text{zatěžovací síla.}$$

Interpolace zatěžovacího poměru pro stanovení síly je možné jen v oblasti jedné otáčky číselníkového úchylkoměru, nebo hodnot měřených stejnou ryskou mm stupnice. Výpočet hodnoty E pro zvolenou měřenou sílu usnadňuje zobrazený graf: $E/F - F$.

Siloměry – třmeny nejsou teplotně kompenzovány. Pokud se při měření síly třmenem (uživatelem) odlišuje teplota siloměru o 1 °C od teploty při kalibraci siloměru, vznikne rozdíl v měření o 0,03 % F .

Kalibrační postup:

1) Do záznamu o kalibraci se uvede:

- název přístroje,
- typ přístroje,
- výrobní číslo siloměru,
- výrobní číslo snímače deformace (číselníkového úchylkoměru, mikroskopů, snímače délky),
- výrobce,

- rozsah měřené síly,
 - velikost nejmenšího dílku,
 - požadavek zákazníka na měření v tahu / tlaku,
 - nejistota vnášené síly (nejistota kalibrace použitých zatěžovacích těles nebo kalibračního zařízení).
- 2) Překontroluje se úplnost siloměru. Siloměr musí mít i indikační zařízení (siloměr se snímačem délky). Siloměr -trmen musí mít vyznačeno shodné číslo na tělese trmenu i na rozpěrce. Překontroluje se, zda číselníkový úchylkoměr patří k siloměru (podle čísla shodného s výrobním číslem siloměru), nebo se identifikační číslo zaznamená.
 - 3) Do záznamu se uvede způsob kalibrace - tah , tlak, tah/tlak.
 - 4) Do záznamu o měření se zaznamenají specifické síly, ve kterých bude síla měřena.
 - 5) Do záznamu se uvede kalibrační zařízení, které bude použito ke kalibraci a nejistota aplikované kalibrační síly.
 - 6) Překontroluje se funkčnost číselníkového úchylkoměru (měřicího mikroskopu).
 - 7) Siloměr se sestaví. Překontroluje se, zda je správně vložená rozpěrka a zda číselníkový úchylkoměr je nastaven do správné polohy, podle potřeb kalibrace (tah, tlak, tah/tlak). Základní nastavení číselníkového úchylkoměru se zaznamená.
 - 8) Siloměr se umístí do kalibračního zařízení, nastaví do osy působící kalibrační síly a 3x se předběžně zatíží na maximální sílu ve směru následně prováděné kalibrace. Doba podržení předběžného zatížení je asi 60 s. Naměřené síly se zaznamenají.
 - 9) Siloměr se překontroluje, a co nejpečlivěji vystředí do osy působení kalibrační síly.
 - 10) Zaznamená se teplota před a po zatěžování každé řady,
 - 11) Siloměr se vynuluje a zatíží na zvolené zkušební zatížení. Indikovaná síla se čte po 30 s po dosažení kalibrační síly. Indikovaný stav se zaznamená.
 - 12) Podle použití siloměru (podle vlastností použitého kalibračního zařízení) se postupně navyšuje kalibrační síla a vždy čte indikovaná síla po 30 s. Druhou možností je vždy pokles zatížení na nulu, nastavení další zkušební síly a zatížení touto zkušební silou. Další indikovaná síla se čte po 30 s po dosažení kalibrační síly. Indikovaný stav se zaznamená.
 - 13) Po ukončení měření první sady se siloměr odtíží a po 30 s se čte stav nuly. Indikovaný stav se zaznamená.
 - 14) Siloměr se rozebere a znovu sestaví.
 - 15) Druhá a třetí řada se provede podle bodů 7 až 13.
 - 16) Pro získání informací o chování siloměru při odtěžování následuje po dosažení nejvyšší síly u třetí řady postupné snižování síly až po odstranění síly. Hodnoty při každé síle se zaznamenávají.
 - 17) Zaznamená se datum měření, teplota, jméno pracovníka provádějící kalibraci.
 - 18) Zaznamená se použité kalibrační zařízení, informace o použitých etalonech.
 - 19) Za použití počítače se schváleným počítačovým programem se provede zpracování výsledků měření a vypracování kalibračního listu.

Program pro zpracování výsledků kalibrace trmenů.

1. Ze záznamu o měření se přenesou všechny naměřené hodnoty a informace nutné pro zpracování výsledků měření do souboru s programem, obsahující následné výpočty.
2. Ze tří hodnot naměřených v témže bodě při první, druhé a třetí řadě měření se vypočte průměrná hodnota síly:
$$X_i = (X_{i1} + X_{i2} + X_{i3}) / 3$$
3. Vypočte se odchylka siloměru (v každém bodě) odečtením nominální hodnoty síly od hodnoty stanovené v tomto bodě (podle bodu 1). Do kalibračního listu se uvádí odchylka síly v % F
4. Pro každý bod se vypočte zatěžovací poměr E/F .

5. Pro každý bod se vypočte nejistota kalibrace této síly. Výpočet vychází z nejistoty kalibrace použitých zatěžovacích těles a z rozdílných hodnot naměřených v každém bodě při první, druhé a třetí řadě měření. Vypočtená hodnota nejistoty se zaokrouhluje na dvě platná čísla.

Kalibrační listy obsahují tyto údaje:

- a) číslo kalibračního listu,
- b) uživatel (název, adresa),
- c) název siloměru,
- d) typ siloměru,
- e) výrobce,
- f) výrobní číslo,
- g) výrobní (identifikační) číslo číselníkového úchylkoměru (mikroskopu),
- h) rozsah síly,
- i) počet dílků,
- j) velikost nejmenšího dílku,
- k) smysl zatěžovací síly tah / tlak,
- l) nastavení číselníkového úchylkoměru (při nulové síle),
- m) naměřené síly ve všech řadách měření,
- n) kalibrací přiřazený počet dílků každé zkušební síle,
- o) zatěžovací poměr přiřazení každé zkušební síle,
- p) použité kalibrační zařízení - nejistota vkládané síly,
- q) průměrná teplota při kalibraci,
- r) nejistota kalibrace síly stanovená výpočtem,
- s) datum vystavení kalibračního listu,
- t) označení kalibračního postupu,
- u) označení pracoviště, které provedlo kalibraci,
- v) razítko, podpis.

D. Kalibrace siloměrů podle normy ČSN EN ISO 376:2011

Kalibrace siloměrů určených k ověřování (kalibraci) jednoosových zkušebních strojů, jsou uvedeny ve výše uvedené normě.

Siloměry lze kalibrovat pro stanovené specifické síly, pro interpolaci, s otáčením i bez otáčení siloměru.

Zatěžovací síla je v N. Výsledky kalibrace se uvádí podle požadavku zákazníka, zpravidla v kp.

Informace spojené s kalibrací se zapisují do záznamu o měření, kterým je stanoven i postup vlastní kalibrace siloměrů podle normy.

Výsledky kalibrace se zpracovávají schváleným počítačovým programem, obsahující i vypracování KL. Pokud je siloměr kalibrován pro tlak i tah, postupuje se pro tah i tlak nezávisle a zpracují dva KL, nebo souhrnný kalibrační list.

Postup kalibrace rostoucími silami:

1. Do záznamu o měření se uvedou veškeré obecné informace uváděné v KL o objednavateli, kalibrovaném siloměru, rozsahu požadované kalibrace a jednotka síly, ve které siloměr indikuje sílu, nastavitelné rozsahy.
2. Prohlídkou se zjistí kompletnost a stav přístroje s ohledem na objednanou kalibraci, potřeba přípravků pro měření apod.

3. Stanoví se způsob provedení kalibrace - kalibrace pro interpolaci nebo pro specifické body, kalibrace s otáčením nebo bez otáčení. Pokud by byla požadována kalibrace se zpětnou zkouškou, kalibrace se odmítne.
4. Podle rozsahu siloměru se zvolí kalibrační zařízení a kalibrační síly. S ohledem na počítačové programy se při kalibraci na interpolaci zvolí 8 nebo 10 zatěžovacích sil v celém rozsahu zatížení. Při kalibraci na specifické síly se měření provádí v požadovaných bodech, pokud to kalibrační zařízení umožní.
5. Zaznamenají se informace – maximální síla, počet dílků, velikost dílku a rozlišení indikátoru. U siloměrů s analogovou stupnicí se rozlišení indikátoru stanoví z geometrie stupnice.
6. Výpočtem se stanoví hodnota nejmenšího dílku v jednotce síly a posoudí se, zda siloměr je kalibrovatelný podle normy.
7. Vypočte se minimální síla pro očekávané dosažené třídy siloměru.
8. Siloměr se umístí do kalibračního zařízení a 3x se předběžně zatíží na maximální sílu ve směru následně prováděné kalibrace. Doba podržení každého předběžného zatížení je 60 s až 90 s. Naměřené síly se zaznamenají.
9. Siloměr se překontroluje, a co nejpečlivěji vystředí do osy působení kalibrační síly.
10. U siloměrů tenzometrických se celá měřicí sestava nechá před měřením nejméně 30 minut stabilizovat.
11. Zaznamená se teplota před zatěžováním každé řady.
12. Siloměr se vynuluje a zatíží na zvolené zkušební zatížení. Indikovaná síla se čte po 30 s po dosažení kalibrační síly.
13. Síla se sníží na nulu, nastaví další zatížení a siloměr se zatíží a po 30 s se čte indikovaná síla. Takto se pokračuje až po dosažení největší síly. Opět po 30 s se čte indikovaná síla.
14. Další indikovaná hodnota síly při největším zatížení se čte po uplynutí 300 s.
15. Sníží se síla na nulu a po 30 s se čte hodnota indikátoru.
16. Po uplynutí 300 s se opět čte stav indikátoru.
17. Zaznamená se teplota na 0,2 °C.
18. Po uplynutí nejméně 3 minut se shodným způsobem za nezměněných podmínek změří druhá řada.
19. Při kalibraci siloměrů s odnímatelnými částmi, např. siloměrných třmenů, se siloměr po druhé řadě zcela rozebere a znova sestaví a 3x zatíží maximální silou v kalibrovaném směru.
20. Po pootočení o 120° se siloměr zatíží na nejvyšší zatížení v kalibrovaném směru a shodným způsobem a změří se třetí řada.
21. Po pootočení o dalších 120° se siloměr opět zatíží na nejvyšší zatížení v kalibrovaném směru a změří se čtvrtá řada, a to shodným způsobem.
22. Při kalibraci s pootáčením se siloměr opět pootočí o 120° (poloha jako při 1. a 2. řadě), zatíží se na nejvyšší zatížení a shodným způsobem v kalibrovaném směru a změří se pátá řada.
23. Teplota při kalibraci musí ležet v pásmu 18 °C až 28 °C. Změna teploty během kalibrace nesmí být větší než 1 °C. Teplota se zaznamenává při každé řadě.
24. Do záznamu se uvedou případné informace, které by mohly mít vliv na výsledek kalibrace, např. výchozí nastavení indikátoru u siloměrných třmenů apod.
25. Zaznamená se datum měření a jméno zkoušejícího.

10 Vyhodnocení kalibrace

Stanovení rozlišení indikátoru:

- u analogové stupnice se stanoví z poměru šířky ukazovatele a vzdálenosti mezi středy dvou sousedních dílků (1:2, 1:5, 1:10),
- u digitální stupnice se považuje za rozlišení indikátoru jednotková změna posledního platného čísla, která se převádí na jednotku síly ($= R$).
- jestliže u nezatíženého siloměru výkyv údajů přesahuje stanovené hodnoty, pak se za rozlišení považuje poloviční hodnota výkyvu.

Třída přesnosti se stanoví při splnění dvou podmínek:

- minimální síla musí být větší nebo rovna:

- $2\,000 * R$ pro třídu 0,5
- $1\,000 * R$ pro třídu 1
- $500 * R$ pro třídu 2

- minimální síla musí být větší nebo rovna $0,02 F_{max}$.

Rozsah klasifikace siloměru musí přinejmenším pokrývat rozmezí (50 až 100) % F_{max} .

Při klasifikaci siloměru (stanovení třídy siloměru) se hodnotí každá síla od nejvyšší a končí se nejmenší silou, která vyhovuje klasifikačním požadavkům.

U siloměru klasifikovaného pouze pro specifické síly a přírůstkové zatěžování se hodnotí:

- relativní chyby reprodukovatelnosti síly,
- relativní chyby opakovatelnosti síly,
- relativní chyby nuly,
- relativní chyba tečení.

U siloměru klasifikovaného pro interpolaci a přírůstkové zatěžování se hodnotí:

- relativní chyby reprodukovatelnosti síly,
- relativní chyby opakovatelnosti síly,
- relativní chyby interpolace,
- relativní chyba tečení.

Vyhodnocení výsledků kalibrace

Značky a jejich významy:

Značka	Jednotka	Význam
B	%	Relativní reprodukovatelná chyba s otáčením
b'	%	Relativní reprodukovatelná chyba bez otáčení
C	%	Relativní chyba tečení
F_f	N	Maximální kapacita snímače síly
F_N	N	Maximální kalibrační síla
f_c	%	Relativní chyba interpolace
f_0	%	Relativní chyba nuly
i_t	-	Údaj indikátoru po odlehčení
i_0	-	Údaj indikátoru před zatížením
i_{30}	-	Údaj indikátoru 30 s po aplikaci nebo sejmutí F_N
i_{300}	-	Údaj indikátoru 300 s po aplikaci nebo sejmutí F_N

R	N	Rozlišení indikátoru
v	%	Relativní chyba zpětného chodu siloměru
X'	-	Průhyb při klesajícím zkušebním zatížení
X_{max}	-	Maximální průhyb od cyklů 1, 3, 5
X_{min}	-	Minimální průhyb od cyklů 1, 3, 5
X_N	-	Průhyb odpovídající maximální kalibrační síle
\bar{X}_r	-	Průměrná hodnota průhybu s otáčením
\bar{X}_{wr}	-	Průměrná hodnota průhybu bez otáčení

Výpočtové rovnice:**Relativní chyba reprodukovatelnosti, b :**

Relativní chyba reprodukovatelnosti se vypočte z hodnot naměřených při zatěžování stoupající silou v různých polohách ustavení snímače síly (při pootáčení o 120°) z řad měření X_1 , X_3 a X_5 , podle rovnice

$$b = \frac{|X_{max} - X_{min}|}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

kde \bar{X}_r je aritmetický průměr ze všech tří měření pro danou sílu. Určí se podle rovnice

$$\bar{X}_r = \frac{X_1 + X_3 + X_5}{3}$$

Relativní chyba opakovatelnosti, b' :

Relativní chyba opakovatelnosti se vypočte z hodnot naměřených v téže poloze ustavení siloměru z řad měření X_1 a X_2 podle rovnice

$$b' = \frac{|X_2 - X_1|}{\bar{X}_{wr}} \cdot 100\%$$

kde \bar{X}_{wr} je aritmetický průměr hodnot naměřených v řadách měření X_1 a X_2 . Vypočte se podle rovnice

$$\text{kde } \bar{X}_{wr} = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Relativní chyba interpolace, f_c :

Relativní chyba interpolace se vypočte jako relativní odchylka naměřených hodnot o funkce dané polynomem prvního, druhého nebo třetího stupně. Vypočte se podle rovnice

$$f_c = \frac{X - X_a}{X_a} \cdot 100\%$$

Relativní chyba nuly f_0 :

Relativní chyba se vypočte jako aritmetický průměr těchto dvou hodnot podle rovnice

$$f_0 = \frac{i_i - i_0}{X_N} \cdot 100$$

Relativní chyba tečení C:

Relativní chyba tečení se určí jako rozdíl mezi hodnotami naměřenými na horní mezi měřicího rozsahu nebo po úplném odlehčení siloměru po uplynutí 30 a 300 s od zatížení nebo odlehčení. Vypočte se z rovnice

$$C = \left| \frac{i_{300} - i_{30}}{X_N} \right| \cdot 100.$$

11 Kalibrační list

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Požadovaný obsah kalibračních listů je výše uveden u kalibračního postupu každého typu siloměru.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, 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 měřenými hodnotami) a archivovala jej.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji zároveň se záznamem o archivaci po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem. 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

1. Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Hodnota relativní kombinované nejistoty w_c :

vypočte se podle rovnice

$$w_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 w_i^2}$$

Relativní standardní nejistota etalonu síly, w_1 “

Relativní standardní nejistota etalonů síly se určí z CMC kalibrační laboratoře pro příslušný rozsah kalibrace siloměrů podle rovnice

$$w_1 = \frac{W_{ES}}{2}$$

Relativní standardní nejistota reprodukovatelnosti siloměru, w_2

$$w_2 = \frac{1}{\bar{X}_r} \times \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{i=1,3,5} (X_i - \bar{X}_r)^2}$$

Relativní standardní nejistota opakovatelnosti siloměru, w_3

$$w_3 = \frac{b'}{100 \times \sqrt{3}}$$

Relativní standardní nejistota rozlišení siloměru, w_4

$$w_4 = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \frac{r}{F}$$

Relativní standardní nejistota tečení siloměru, w_5

$$w_5 = \frac{C}{100 \times \sqrt{3}}$$

Relativní standardní nejistota posuvu nulové hodnoty siloměru, w_6

$$w_6 = \frac{f_0}{100}$$

Relativní standardní nejistota vlivu teploty při kalibraci siloměru, w_7

$$w_7 = K \times \frac{\Delta T}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Relativní standardní nejistota interpolace siloměru, w_8

$$w_8 = \left| \frac{\bar{X}_r - X_a}{\bar{X}_r} \right|$$

Relativní rozšířená nejistota kalibrace, W :

$$W = 2 \times w_c$$

Poznámka: Komplexní vyhodnocení výsledků kalibrace siloměrů podle normy, včetně zpracování kalibračních listů, je formou počítačových programů.

Příklady výpočtu nejistot kalibrace siloměrů

Pokud je dostatek naměřených hodnot (a výpočet nejistot má smysl) stanoví se nejistoty kalibrovaných siloměrů výpočtem. Výpočet nejistot siloměrů kalibrovaných podle ČSN EN ISO 376:2011 je normou stanoven a je již uveden v textu kalibračního postupu.

Nejistoty lze vypočítávat pro jednotlivé kalibrované síly, pro vybranou oblast sil (např. pro oblast, ve které se siloměr využívá), nebo pro celý rozsah siloměru, pokud dostatečně znalost průměrné nejistoty.

Pro výpočet je nutná znalost tří až pěti řad nezávislých měření každé kalibrované síly. Dále je nutná znalost velikosti vkládaných sil a nejistoty u vkládaných sil.

Postup výpočtu nejistoty kalibrace pro jednotlivou kalibrovanou sílu

1. Vypočte se průměrná hodnota z naměřených hodnot.
2. Vypočte se směrodatná odchylka z naměřených hodnot.

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

3. Vypočtená hodnota směrodatné odchylky se přečte na hodnotu v % F (pokud byla s vypočtena z hodnot odchylek % F , je vypočtená hodnota s již v % F).
4. Zjistí se hodnota nejistoty vložené kalibrační síly U_F z (= $2S_F$) z kalibračního listu zatěžovacího zařízení (např. zatěžovacího tělesa).
5. Podle počtu měřených řad (naměřených hodnot) se z tabulky Studentovo rozdělení zjistí rozšiřující koeficient t , který se rovná hodnotám (pro $p = 0,95$):

n	3	4	5	6
t	2,3	1,7	1,4	1,3

Vypočítá se nejistota kalibrace pro kalibrovanou sílu jako hodnota v % F .

$$U_F = \pm 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_F}{2}\right)^2 + (s \times t)^2}$$

Postup výpočtu nejistoty kalibrace pro vybranou oblast kalibračních sil

1. Vypočte se průměrná hodnota z naměřených hodnot u každé kalibrační síly.
2. Vypočtou se odchylky jednotlivých naměřených hodnot od průměrné hodnoty.
3. Vypočtené hodnoty odchylek se přečte na hodnoty odchylek v % F .
4. Ze všech hodnot odchylek (v % F) ve vybrané oblasti kalibračních sil se vypočítá směrodatná odchylka

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

5. Zjistí se průměrná hodnota nejistoty vložené kalibrační síly U_F z kalibračního listu zatěžovacího zařízení (např. zatěžovacího tělesa) pro vybranou oblast kalibračních sil.
6. Podle počtu měřených řad (naměřených hodnot) se z tabulky Studentovo rozdělení zjistí rozšiřující koeficient t , který se rovná hodnotám:

n	3	4	5	6	10
t	2,3	1,7	1,4	1,3	1,1

Pokud je n větší než 10, uvažuje se $t = 1$.

7. Vypočítá se nejistota kalibrace pro kalibrovanou sílu jako hodnota v % F

$$U_F = \pm 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_F}{2}\right)^2 + (s \times t)^2}$$

Příklady výpočtu nejistoty kalibrace siloměru na tlak pro jmenované zatížení 1000 N.

Siloměr byl před kalibrací zatížen 3x na jmenovité zatížení 1000 N v tlaku. Následovaly 3 nezávislé řady měření na tlak při zatížení 100 N, 200N, 300 N, 400 N,.... až 1000 N.

Použita zatěžovací tělesa s nejistotou vkládané síly $U = 2s = 0.10 \% F$.

Ukázka výpočtu nejistoty kalibrace při **jednotlivých zatížení** je v následující tabulce:

F_{kal}	x_1	x_2	x_3	\bar{X}	$x_1-\bar{X}$	$x_2-\bar{X}$	$x_3-\bar{X}$	$x_1-\bar{X}$	$x_2-\bar{X}$	$x_3-\bar{X}$	$X-F_{kal}$	S	n	t	$S_{stat.}$	$S.t$	U
N	N	N	N	N	N	N	N	% F	% F	% F	% F	% F	-	-	% F	% F	% F
100	99.7	99.6	99.5	99.60	0.1	0	-0.1	-0.01	0	-0.1	-0.40	0.04497	3	2.3	0.05	0.10343	±0.23
200	199.4	198.9	199.0	199.10	0.3	-0.2	-0.15	0.15	-0.08	-0.08	-0.45	0.10842	3	2.3	0.05	0.24937	±0.51
300	298.2	298.4	298.2	298.27	-0.07	0.13	-0.07	-0.02	0.04	-0.02	-0.58	0.02828	3	2.3	0.05	0.06504	±0.16
400	399.4	398.7	399.0	399.03	0.37	-0.33	-0.03	0.09	-0.08	0.01	-0.24	0.06944	3	2.3	0.05	0.15971	±0.33

Ukázka výpočtu nejistoty kalibrace **pro oblast zatížení 100 N až 400 N** je uveden v následující tabulce:

F_{kal}	x_1	x_2	x_3	\bar{X}	$x_1-\bar{X}$	$x_2-\bar{X}$	$x_3-\bar{X}$	$x_1-\bar{X}$	$x_2-\bar{X}$	$x_3-\bar{X}$	$X-F_{kal}$	S	n	t	$S_{stat.}$	$S.t$	U
N	N	N	N	N	N	N	N	% F	% F	% F	% F	% F	-	-	% F	% F	% F
100	99.7	99.6	99.5	99.60	0.1	0	-0.1	-0.01	0	-0.1	-0.40	0.07163	12	1	0.05	0.07163	±0.17
200	199.4	198.9	199.0	199.10	0.3	-0.2	-0.15	0.15	-0.08	-0.08	-0.45						
300	298.2	298.4	298.2	298.27	-0.07	0.13	-0.07	-0.02	0.04	-0.02	-0.58						
400	399.4	398.7	399.0	399.03	0.37	-0.33	-0.03	0.09	-0.08	+0.01	-0.24						

Poznámky: Při výpočtu směrodatné odchylky pro zvolenou oblast různých zatížení je nutno vycházet z odchylek % F.

Výpočet nejistot se výhodně počítá v tabulkovém procesoru, např. v Excelu.

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.

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 příslušných předpisů (zejména MPA a EA).