



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 3.1.3/02/13

TLAKOVÉ TEPLoměRY

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

Revize: 2013

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup platí pro tlakové ukazovací teploměry, zařazené do kategorie pracovních měřidel v rozsahu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dle ČSN 25 8201) resp. pro číselníkové indikační teploměry, které používají metody snímání změny tlaku plynu (značka GE). Jmenovité velikosti jsou od 40 mm do 160 mm a rozpětí měření teploty od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Specifikované teploměry mají kruhové stupnice a jsou pouze pro použití v průmyslu.

2 Související normy a metrologické předpisy

Vyhláška č. 264/2000 Sb.	o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování v platném znění	[1]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[2]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[4]
ČSN 25 8005	Názvosloví z oboru měření teploty	[5]
ČSN 25 8010	Směrnice pro měření teplot v průmyslu	[6]
ČSN 25 8201	Tlakové teploměry	[7]
ČSN EN 13190	Číselníkové teploměry	[8]
EA 4/02	Vyjadřování nejistoty měření při kalibracích	[9]
EA 4/07 M	Návaznost měřicího a zkušebního zařízení na státní etalony	[10]
TPM 0051-93	Stanovenie neistôt pri meraniach	[11]
ČSN P ENV 13005	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření	[12]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků oprávněných provádět kalibrace tlakových teploměrů je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem a souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 a v publikacích věnovaných metrologické terminologii. Odborné termíny z oboru teploty, použité v tomto postupu, jsou uvedeny hlavně v ČSN 25 8201, v ČSN 25 8005 a v ČSN EN 13190.

5 Prostředky potřebné ke kalibraci

5.1 Etalonové teploměry pro měřicí rozsah -200 °C až 700 °C , jejichž základní chyba musí být lepší, než je čtvrtina základní chyby zkoušeného teploměru. Rozlišení digitálních teploměrů použitých jako etalon musí být lepší, než je odečitelnost kalibrovaných teploměrů. V mnoha případech vyhoví rozsah teploměru do 600 °C , protože měřicí rozsah s garantovanou dovolenou chybou je u těchto teploměrů vždy menší než jmenovitý rozsah stupnice a je vyznačen trojúhelníkovými značkami umístěnými na okraji stupnice (pro teploměry do 700 °C končí garance TP na teplotě 600 °C).

5.2 Zkušební zařízení pro teploty menší než 0 °C (příp. až do 40 °C):

- termostat s lihovou náplní nebo s náplní nízkoteplotního oleje,
- kryostaty s náplní kapalných plynů,
- zkušební zařízení pro teploty menší než 0 °C musí mít pracovní prostor se stabilní a homogenní zkušební teplotní zónou.

5.3 Termostat, umožňující realizaci 0 °C

5.4 Zkušební zařízení pro teploty větší než 0 °C :

- termostat s náplní vody,
- termostat s náplní oleje,
- termostat s náplní směsi solí (dusitanů a dusičnanů sodných a draselných),
- termostat s fluidní vrstvou,
- zkušební zařízení pro teploty větší než 0 °C musí mít pracovní prostor se stabilní a homogenní zkušební teplotní zónou.

5.5 Elektrické zařízení pro měření odporu etalonových platinových teploměrů (příp. napětí termoelektrických článků) pro rozsah teplot -200 °C až 700 °C (600 °C).

5.6 Etalony, uvedené v článku 5.1 a 5.5 musí být navázány na vhodný etalon a mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Tlakové teploměry se kalibrují při:

- teplotě v laboratoři $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ nebo $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ – pro teploměry třídy přesnosti 1 dle ČSN 25 8201, resp. pro třídy 1 a 2 u teploměrů dle ČSN EN 13190,
- teplotě v laboratoři $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ nebo $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ – pro teploměry třídy přesnosti horší než 1 dle ČSN 25 8201,
- relativní vlhkost vzduchu má být v rozmezí (45 až 75) %RH,
- atmosférický tlak má být v rozmezí 86 kPa až 106 kPa.

7 Rozsah kalibrace

7.1 Vnější prohlídka teploměru (viz čl. 9.1)

7.2 Zkouška funkčnosti teploměru (viz čl. 9.2)

7.3 Zkouška správnosti údajů teploměru (viz čl. 9.3)

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Při přejímce tlakových teploměrů se zjišťuje celkový stav teploměru, zejména neporušenost stonků, spojovacích kapilár a ukazovacích částí s ohledem na jejich způsobilost pro další používání a s ohledem na splnění podmínek při zkoušení a následné kalibraci. Teploměry, které nevyhoví podmínkám, uvedeným v tomto kalibračním postupu, se ke kalibraci nepřijmou.

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Měřidla se kalibrují vždy v čistém stavu, čištění je prováděno neagresivními rozpouštědly. Předběžná kontrola viz čl. 9.1.

8.3 Příprava měřidla

viz čl. 9.2

9 Postup kalibrace

9.1 Vnější prohlídka teploměru

Kontroluje se výrobní číslo, datum výroby, výrobce, třída přesnosti, jednotka teploty, maximální povolená teplota, čitelnost stupnice. Kontroluje se, zda nejsou poškozeny některé části měřidla a stav nastavovacích částí nulového údaje teploměru. Pokud je tato nastavovací část porušena, pak se odplombuje kompenzační mechanismus a nastaví se nula ukazovatele. Potom se kompenzační mechanismus znovu zaplombuje (příp. se zaplombování provede až po zkoušce správnosti). Celý postup „nulování“ se provádí při teplotě, předepsané pro zkoušení.

9.2 Zkouška funkčnosti teploměru

Nejméně 24 hodin před vlastní zkouškou se měřidla umístí do laboratoře a temperují se na teplotu, při níž se mají zkoušet. Funkčnost měřidel se zkouší tak, že se jejich stonek zahřeje na teplotu, blízkou jeho maximální teplotě a potom se ochladí. Současně je možné provést nastavení rozsahu teploměru, příp. podle odchylky na dolní mezi teploměru (0 °C) a odchylky při plném rozsahu upravit nastavení tak, aby vyhověl v obou měřených teplotách. Jestliže je patrné, že teploměr nevyhoví uvedené specifikaci, postupujeme dále podle dohody se zákazníkem.

9.3 Zkouška správnosti údajů teploměru

Při zkoušce musí být splněny tyto podmínky:

- musí probíhat za referenčních podmínek,
- délka ponořené části stonku musí být taková, jak je předepsáno v technické dokumentaci, příp. se řídí požadavkem normy ČSN 25 8201, čl. 3.5.,
- stonek a ukazovací část teploměru musí být stejně vysoko (kromě teploměrů s plynovou náplní),
- teploměr musí být instalován v normální pracovní poloze,
- vibrace a otřesy nesmí vyvolat rozkmit větší než 0,1 délky nejmenšího dílku.

Správnost zkoušeného teploměru se zjišťuje porovnávací metodou s údajem etalonu v kapalinových termostatech. Pokud je etalonem skleněný teploměr, pak hodnota dílku použitého etalonu musí být menší, nejvýše však rovna hodnotě dělení zkoušeného tep-

loměru. Změna teploty před čtením údajů teploměrů nesmí být větší než nejmenší dílek stupnice zkoušeného teploměru za 5 minut a musí být rovnoměrná. Během celého čtení se nesmí zvýšit o více jak jeden dílek zkoušených teploměrů.

Podle normy se základní chyba určí srovnáním údajů zkoušených teploměrů s údaji etalonových teploměrů nejméně při pěti stejnoměrně odstupňovaných teplotách včetně dolní a horní meze měřicího rozsahu (ČSN 25 8201) nebo ve třech teplotách za stejných podmínek (ČSN EN 13190). Údaje se srovnávají nejdříve při zvyšování a pak při snižování teploty. Stonek teploměru se zahřívá (ochlazuje) na teplotu odpovídající první z pěti vybraných měřicích značek a po setrvání na ní po dobu nejméně 3 min se čte údaj zkoušeného i etalonového teploměru. Zkouška se postupně provede při všech vybraných teplotách při stoupání teploty do horní meze měřicího rozsahu. Na této teplotě se setrvá pět minut, během nichž se čtou údaje teploměru a etalonu, potom se porovnávají údaje při snižované teplotě až do dolní meze. U teploměrů třídy přesnosti 1 se takový cyklus má provádět dvakrát.

Při praktické kalibraci se počet měřicích bodů řídí požadavkem zákazníka, minimální doporučený počet bodů jsou tři body. Problematický je požadavek normy na vzestupnou i sestupnou kalibraci teploměru a určení jeho hystereze. Princip této kalibrace vyžaduje možnost nastavení stejné etalonové hodnoty při obou směrech měření. Při nastavování lázni tuto podmínku nelze dodržet, určit podíl hystereze etalonu, kalibrovaného měřidla a vlastní lázně je značně problematické. Navíc je ekonomická náročnost takové kalibrace příliš vysoká. Z tohoto důvodu je akceptovatelná pouze kalibrace při stoupající teplotě.

10 Vyhodnocení kalibrace

Obvykle se výsledky kalibrace hodnotí nejvyšší dovolenou chybou, která se vyjadřuje redukovanou chybou u tlakového teploměru vyrobeného podle ČSN 25 8201 nebo chybou, která vyplývá z tabulky 5 ČSN EN 13190 u novějších typů tlakových teploměrů. Naměřené odchylky nesmějí převýšit hodnotu dovolené chyby v žádném z měřených bodů. Při vyhodnocení musí být uvažována nejistota měření.

11 Kalibrační list

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list musí 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 teploměru,
- e) datum přijetí teploměru ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 3.1.3/02/13),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),

- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který teploměr kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku a odkaz na 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. I v tomto případě však musí kalibrační laboratoř zpracovat záznam o měření (s uvedenými měřeními hodnotami) a archivovat jej.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu minimálně pět let nebo po dobu stanovenou zadavatelem 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 paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedené kalibraci může kalibrační laboratoř označit kalibrovaný teploměr kalibrační značkou, např. kalibračním štítkem. Pokud to není výslovně uvedeno v některém podnikovém metrologickém předpisu, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na kalibrační štítek datum 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 tohoto postupu).

Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí 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 nejistoty měření (příklad výpočtu)**14.1 Použitá měřidla**

Ke kalibraci tlakového teploměru o rozsahu (0 až 160) °C ve třídě 2 dle ČSN EN 13190 (max. dovolená chyba ±4 °C dle tabulky 5 uvedené normy) byl použit jako etalon digitální teploměr s odporovým snímačem teploty. Garantovaný rozsah tlakového teploměru je (20 až 140) °C, dílek stupnice je 5 °C. V měřeném bodě 100 °C je maximální chyba etalonu dle specifikace ±0,5 °C (včetně snímače), rozlišení etalonu je 0,1 °C a nejistota jeho kalibrace ±0,08 °C pro $k = 2$. Měření probíhalo v olejové lázni, jejíž nehomogenita a nestabilita je 0,05 °C. Tlakový teploměr byl do lázně umístěn tak, aby nedošlo k ovlivnění údaje okolní teplotou.

14.2 Související normy a dokumenty

viz článek 2 tohoto postupu

14.3 Referenční podmínky

viz článek 6 tohoto postupu

14.4 Naměřené hodnoty

Hodnota etalonu byla po celou dobu měření stabilní ... 100,4 °C. Odečtené údaje na měřidle (deset odečtů):

101 / 102 / 101 / 102 / 100 / 101 / 101 / 102 / 101 / 101

Střední hodnota ... 101,2 °C, nejistota stanovená způsobem A ... $u_{AM} = 0,35$ °C.

14.5 Model měření

Odchylku měřené teploty T_M od hodnoty referenčního etalonu T_E můžeme definovat jako:

$$E_X = T_M - T_E - \delta_E - \delta_{SE} - \delta_{PE} - \delta_{RE} + \delta_{RM} + \delta_{OM} + \delta_{HM}$$

T_M ... teplota indikovaná měřidlem

T_E ... teplota indikovaná referenčním etalonem

δ_E ... vliv nejistoty kalibrace referenčního etalonu

δ_{SE} ... vliv dlouhodobé stability etalonu (driftu)

δ_{PE} ... vliv přesnosti etalonu dle specifikace

δ_{RE} ... vliv rozlišení etalonu

$\delta_{RM} \dots$	vliv odečitelnosti měřidla
$\delta_{OM} \dots$	vliv rozdílného odvodu tepla snímače etalonu a měřidla
$\delta_{HM} \dots$	vliv homogenity a stability teplotního pole

14.6 Stanovení rozšířené nejistoty:

Stanovení standardní nejistoty způsobem A:

Nejistota je stanovena v souladu s dokumentem EA 4/02 z deseti naměřených hodnot (viz naměřené hodnoty).

Stanovení standardní nejistoty způsobem B:

Zdroje nejistoty jsou popsány v modelu měření. Podrobněji k jednotlivým zdrojům:

Nejistota kalibrace etalonu u_E – je určena z kalibračního listu pro normální rozdělení pravděpodobnosti tj. koeficient rozšíření $k = 2$ a teplotu 100 °C je $U_E = 0,08\text{ °C}$, tedy

$$u_E = U_E / 2 = 0,04\text{ °C}.$$

Stabilita externího etalonu u_{SE} – uvažována dvouletá hodnota driftu s rovnoměrným rozdělením (hodnota získána sledováním trendu etalonu podle proběhlých kalibrací)

$$\delta_{SE} = 0,1\text{ °C} \dots u_{SE} = 0,1 / \sqrt{3} = 0,06\text{ °C}.$$

Přesnost etalonu u_{PE} – z realizovaných kalibrací vyplývá, že skutečná přesnost etalonu nikdy nepřevyšuje 40 % dovolené chyby etalonu dle specifikace, můžeme použít trojúhelníkové pravděpodobnostní rozdělení:

$$\delta_{PE} = 0,5\text{ °C} \dots u_{PE} = 0,5 / \sqrt{6} = 0,20\text{ °C}$$

Rozlišení etalonu u_{RE} – maximální chyba od rozlišení je uvažována jako polovina posledního digitu, protože displej stejným způsobem překlápí, pro rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti tedy platí:

$$\delta_{RE} = 0,1\text{ °C} \dots u_{RE} = 0,1 / (2 \cdot \sqrt{3}) = 0,03\text{ °C}.$$

Odečitelnost měřidla u_{RM} – maximální chyba čtení je odhadnuta na 1/5 dílku stupnice tj. 1 °C , stejně jako v předchozím případě tedy platí:

$$\delta_{RM} = 1\text{ °C} \dots u_{RM} = 1 / (2 \cdot \sqrt{3}) = 0,29\text{ °C}.$$

Vliv odvodu tepla u_{OM} – rozdíl průměrů snímače etalonu a stonku tlakového teploměru je 6 mm. Povysunutím stonku kalibrovaného teploměru se rozdíl údajů mezi etalonem a kalibrovaným teploměrem nezměnil o více než $0,5\text{ °C}$. Tato hodnota je uvažována jako max. vliv odvodu tepla s rovnoměrným rozdělením pravděpodobnosti:

$$\delta_{OM} = 0,5\text{ °C} \dots u_{OM} = 0,5 / \sqrt{3} = 0,29\text{ °C}$$

Vliv homogenity a stability teplotního pole u_{HM} – hodnota byla změřena a je uvedena jako maximální vliv v zadání příkladu, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti:

$$\delta_{HM} = 0,05\text{ °C} \dots u_{HM} = 0,05 / \sqrt{3} = 0,03\text{ °C}$$

Tabulka standardních nejistot:

Veličina X_i	Odhad x_i	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodob- nostní rozdělení	Citlivostní koeficient c_i	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
T_M	101,2 °C	0,35 °C	Normální	1	0,35 °C
T_E	100,4 °C	0,00 °C	Normální	-1	0,00 °C
δ_E	0,00 °C	0,04 °C	Normální	-1	-0,04 °C
δ_{SE}	0,00 °C	0,06 °C	Rovnoměrné	-1	-0,06 °C
δ_{PE}	0,00 °C	0,20 °C	Trojúhelníkové	-1	-0,20 °C
δ_{RE}	0,00 °C	0,03 °C	Rovnoměrné	-1	0,03 °C
δ_{RM}	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δ_{OM}	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δ_{HM}	0,00 °C	0,03 °C	Rovnoměrné	1	0,03 °C
E_X	0,8 °C				0,58 °C

Stanovení kombinované standardní nejistoty

Výsledné rozdělení pravděpodobnosti můžeme považovat za normální s koeficientem rozšíření $k_U = 2$, v přehledu není žádná výrazně dominantní složka standardní nejistoty. Kombinovaná standardní nejistota je tedy:

$$u = \sqrt{u_{AE}^2 + u_{AM}^2 + u_E^2 + u_{SE}^2 + u_{PE}^2 + u_{RE}^2 + u_{RM}^2 + u_{OM}^2 + u_{HM}^2} = 0,58 \text{ °C}$$

Stanovení rozšířené nejistoty

Rozšířená kombinovaná standardní nejistota kalibrace v bodě 100 °C je tedy

$$U = k_U \cdot u = 2 \cdot 0,58 \sim 1,2 \text{ °C.}$$

Na jmenovité hodnotě 100 °C byla při kalibraci změřena odchylka

$$E_X = (0,8 \pm 1,2) \text{ °C}$$

Teploměr tedy vyhovuje toleranční třídě 2 dle ČSN EN 13190, tabulka 5.

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

Do tohoto postupu byly při úpravě zahrnuty požadavky normy ČSN EN 13190 „Číselníkové teploměry“. Dále byl rozšířen příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody tak, aby odpovídal požadavkům dokumentu EA 4/02.

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).