



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 3.1.3/08/13

BIMETALOVÉ TEPLoměRY

s měřicím prvkem umístěným ve stonku mimo vlastní analogový
vyhodnocovač

Praha

Říjen 2013

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

Číslo úkolu: VII/1/13

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Ing. František Hnízdil

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Tento vzorový kalibrační postup je určený pro bimetalové teploměry zařazené do kategorie pracovních měřidel v rozsahu -30 °C až 450 °C, jejichž měřicí prvek je umístěn ve stonku mimo vlastní analogový vyhodnocovač.

Příkladem jsou dvojkovové technické teploměry určené k přímému měření teplot v běžných podmínkách, běžně používané v kotelnách, strojovnách, v systémech ústředního vytápění a podobně, v provedení rovném nebo úhlovém nebo dvojkovové technické stonkové teploměry se spínacími kontakty určené k měření teploty jako provozní teploměry k automatickému dálkovému ovládní signalizace dosažení předem nastavené teploty a dále pak bimetalové vpichovací technické teploměry určené k měření teplot v zemědělství (teplota siláže, kompostu, skládky obilí, stohu slámy, ve skládkách uhlí, papíru apod.).

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[1]
ČSN ISO 80000-1 Opr. 1, Z1	Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně	[2]
ČSN EN 60584-1, ed. 2	Termoelektrické články - Část 1: Údaje napětí a tolerance	[3]
ČSN EN 60751	Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové teplotní senzory	[4]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[5]
MPA 30-02-13	Politika ČIA pro metrologickou návaznost výsledků měření	[6]
EA 4/02	Vyjádřování nejistot měření při kalibracích	[7]
ČSN P ENV 13005	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření	[8]
Ing. Dr. V. Šindelář, Ing. Dr. F. Krupka	Měření teploty	[9]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[10]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci bimetalových teploměrů 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

Názvosloví a definice jsou obsaženy v normách, zejména v TNI 01 0115 (VIM 3).

Ostatní pojmy:

Nejčastější tvary bimetalových čidel:

Bimetalová páska přímá	dvojkovová páska vedoucí od vetknutí v přímém směru
Bimetalová páska ve tvaru U	dvojkovová páska ve tvaru písmene U vetknutá v jednom jeho rameni
Bimetalová páska spirálová	dvojkovová páska svinutá do spirály vetknutá na jednom z konců (vnitřním nebo vnějším)
Bimetalová páska cylindrická	dvojkovová páska svinutá do válcového tvaru.

Vychýlení bimetalového pásku:

Nejjednodušší vztah velikosti vychýlení přímého bimetalového pásku lze popsat vztahem:

$$A = \frac{k(t_2 - t_1)L^2}{s} \cdot 10^{-4} \quad [\text{mm}] \quad [\text{L9}]$$

Kde: A ... vychýlení volného konce pásku [mm]
 t_1 ... počáteční teplota, při níž je pásek přímý [°C]
 t_2 ... konečná teplota [°C]
 L ... délka pásku od vetknutí [mm]
 S ... tloušťka pásku [mm]
 K ... součinitel prohnutí [grad⁻¹]

V případě měření na limitních teplotách pro bimetalové teploměry (blížící se 400°C) je nutné počítat s modulem pružnosti použitých kovových pásků, neboť deformační síly způsobené takto vysokou změnou teploty se blíží mezi jejich pružnosti. Toto napětí lze vyjádřit vztahem:

$$\sigma = \frac{1}{2} E (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{kg.cm}^{-2}] \quad [\text{L9}]$$

Kde: E ... modul pružnosti v tahu bimetalového pásku [kg.cm⁻²]
 α_1 ... roztažnost pásku méně dilatujícího [grad⁻¹]
 α_2 ... roztažnost pásku více dilatujícího [grad⁻¹]
 t_1 ... počáteční teplota, při níž je pásek přímý [°C]
 t_2 ... konečná teplota [°C]

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Odporový teploměr – například sekundární etalon II. řádu typu ISOTECH, pracovní rozsah $(-50 \div 420)$ °C,
- Dewarova nádoba, led, voda (0 °C),
- Multimetr,
- termostat s náplní oleje, rozsah $(25 \div 200)$ °C,
- kalibrační pec, rozsah $(25 \div 500)$ °C,
- kryostat, rozsah $(-30 \div 50)$ °C,
- lupa,
- termohygrometr,
- čisticí prostředky.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázány na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace se provádí v předepsané poloze, která je na teploměru uvedena výrobcem.

- Teplota prostředí: (20 ± 3) °C,
- Změna teploty prostředí: max. 1 °C/h,
- Relativní vlhkost vzduchu: max. 80 %RH, nekorozní prostředí.

7 Rozsah kalibrace

Kalibrace stonkových bimetalových teploměrů je prováděna v rozsahu -30 °C až 450 °C. Součástí kalibrace může být i zkouška hystereze teploměru. Ta se při běžných kalibracích obvykle neprovádí z ekonomických důvodů. Je však možné se orientačně o její velikosti přesvědčit porovnáním na hodnotě teploty prostředí na začátku kalibrace a po jejím provedení.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Předběžná kontrola přístroje

Při převzetí měřidel se zjišťuje, zda odpovídá počet a typ měřidel a dále zejména neporušenost měřicího stonku, ručičky a skleněných částí a celkový stav teploměru.

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Vnější prohlídka měřidla

Během vnější prohlídky se zkontroluje v první řadě označení měřidel, jejich výrobní čísla a označení pracovní polohy. Dále zjišťujeme označení normy (pokud existuje), datum výroby, označení výrobce, třídy přesnosti, jednotka teploty, značka maximální povolené teploty a značka kvality, čitelnost číselníků a stupnic. Kontroluje se, zda nejsou poškozeny některé části měřidel, zda není porušeno nulové nastavení ukazovacích částí měřidel.

Kontrola konstrukce měřidla

Při této kontrole se zjišťuje, zda teploměr vyhovuje příslušné normě nebo specifikacím výrobce, podle kterých byl vyroben. V případě, že teploměr má prvek nastavení nulové polohy, kontroluje se jeho funkčnost, dále přímost stonku a zda stonek není mechanicky nebo chemicky poškozen.

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

Před vlastní přípravou kalibrace se kontroluje čistota měřidla.

V případě velmi znečištěných měřidel je možné zakázku vrátit uživateli k očištění. Teploměry (stonek a krycí sklo stupnice) před vlastní kalibrací a vložení do kalibračního zařízení musí být očištěny suchým hadříkem.

8.3 Příprava měřidla

Stonek měřidla se opatrně umístí do zařízení, ve kterém bude probíhat kalibrace v poloze předepsané výrobcem a zajistí se proti samovolnému posunutí. Hloubka ponoru měřicí části stonku teploměru musí odpovídat předpisu výrobce.

9 Postup kalibrace

Správnost kalibrovaného bimetalového teploměru se zjišťuje přímým porovnáním s etalonem.

Zařízení, ve kterém je kalibrace prováděna, je zvoleno podle rozsahu a konstrukce kalibrovaného bimetalového teploměru:

- Dewarova nádoba (0 °C),
- termostat s náplní oleje pro teploty 25 °C až 200 °C (případně s vodní náplní pro rozsah 5 °C až 95 °C),
- kalibrační pec pro teploty 25 °C až 500 °C,
- kryostat nebo kalibrační pec pro teploty -30 °C až 50 °C.

Kalibrovaný teploměr a etalon se umístí do kalibračního zařízení (pec, lázeň) a nastaví se požadovaná teplota. Vzdálenost měřicích bodů etalonu a bimetalového teploměru by měla být co nejmenší.

Po ustálení teploty se na multimetru čte hodnota odporu etalonového odporového teploměru (měřeného čtyřvodičovou metodou) a zaznamená se do záznamu o měření současně s hodnotou odečtenou z kalibrovaného teploměru (odečítá se lupou).

Zkouška se provádí minimálně ve třech teplotních bodech pracovního rozsahu zkoušeného teploměru. První bod je volen v blízkosti začátku rozsahu, druhý přibližně v jeho polovině a třetí na konci rozsahu (neurčí-li zadavatel jinak).

Vzhledem k časové náročnosti z důvodu dlouhých časů potřebných k ustálení teploty v teplotních kalibračních zařízeních a z toho vyplývající ceny kalibrace, je prováděna kontrola hystereze jen na základě požadavku uživatele. Vliv hystereze se proto nejčastěji zohledňuje v nejistotě měření.

Zkouška hystereze bimetalového teploměru je prováděna zcela výjimečně, a pokud je k ní přistoupeno, pak se kalibrace opakuje minimálně v jednom, nejlépe však ve třech cyklech od počáteční teploty k teplotě nejvyšší v celém rozsahu teploměru.

Výrobce minimalizuje vliv hystereze tepelným zpracováním dvojkovového pásku žíháním nejčastěji po dobu jedné hodiny na teplotě cca 170 °C pro teploměry užívané na nižších teplotách, resp. po stejnou dobu na teplotě cca 300 °C pro teploměry určené k měření vyšších teplot.

10 Vyhodnocení kalibrace

Vyhodnocení spočívá v porovnání zjištěných a dovolených chyb, stanovení rozšířené nejistoty měření a posouzení shody s metrologickou specifikací. Na základě měření jednotlivých bodů je provedeno celkové vyhodnocení kalibrovaného měřidla a je uvedeno do kalibračního listu.

- a) Vyhodnocení shody se specifikací se neprovádí, pokud není uvedena požadovaná přesnost měřidla nebo pokud ho zákazník nepožaduje.
- b) Pokud měřidlo ve všech bodech vyhovuje, vyhovuje i celkově.
- c) Pokud minimálně v jednom bodu nevyhovuje, nevyhovuje i jako celek.
- d) Je-li součástí kalibrace zkouška hystereze a v jednom bodu nevyhovuje z důvodu velké hystereze, potom jako celek nevyhovuje z důvodu velké hystereze.
- e) Pokud v jednotlivých bodech vyhovuje, a minimálně v jednom nelze rozhodnout, potom se v kalibračním listu žádné hodnocení neuvádí.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného 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 3.1.3/08/13),
- 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, 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 kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými 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 nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. 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

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

V průběhu kalibrace přímou porovnávací metodou jsou naměřené hodnoty kalibrovaného bimetalového teploměru a etalonu zaznamenány. Z naměřených hodnot odporu pro etalon se vypočítají teploty dle ČSN EN 60751 [L4] a vypočítají se odchylky zobrazované teploty a rozhodne se, zda kalibrovaný teploměr odpovídá předepsané přesnosti.

Vypočítá se nejistota měření.

Nejistota kalibrace se stanoví podle modelu EA 4/02 [L7]. Při stanovení nejistoty kalibrace se vychází z dílčích nejistot etalonů a zkušebních zařízení, které musí být stanoveny v souladu s těmito předpisy.

Referenční podmínky odpovídají článku 6 tohoto předpisu.

Příklad výpočtu nejistoty bimetalového teploměru:

Bimetalový teploměr s rozsahem 0 °C až 200 °C s dělením 5 °C je kalibrován porovnávací metodou s etalonovým odporovým teploměrem PT 100 Eurotron. Zkouška je prováděna v olejovém termostatu U10 při teplotě 200 °C a při ponoru 200 mm v olejové lázni. Odpor etalonového teploměru je měřen čtyřvodičovou metodou etalonovým multimetrem HP 34401A.

Výsledná standardní nejistota u_c se vypočte dle vztahu:

$$u_c^2 = u_A^2 + u_B^2$$

$$u_B^2 = (u_{em}/k)^2 + (u_{et}/k)^2 + (u_{em}/\sqrt{3})^2 + (u_d/\sqrt{3})^2 + (u_\varepsilon/\sqrt{3})^2 + (u_h/\sqrt{3})^2 + (u_l/\sqrt{3})^2 + (u_o/\sqrt{3})^2 + (u_i/\sqrt{3})^2$$

kde:

u_c celková nejistota

u_A standardní nejistota typu A vypočtená z naměřených hodnot. Standardní nejistota typu A se rovná výběrové směrodatné odchylce výběrového průměru

$$u_A = \underline{s} = \left\{ \left[\frac{1}{n(n-1)} \right] \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{1/2}, \text{ kde výběrový průměr } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

nejistota typu A byla v tomto případě vypočtena $u_A = 1,0$ °C

u_B standardní nejistota typu B, pro stanovení standardní nejistoty typu B je nutno zvážit všechny zdroje nejistoty ovlivňující výsledek měření. V našem případě se jedná o následující okolnosti:

u_{em} nejistota kalibrace etalonového multimetru, stanovuje se z kalibračního listu etalonu. Multimetr byl kalibrován s rozšířenou nejistotou 0,005 Ω.

u_{et} nejistota kalibrace etalonového odporového teploměru. Odporový teploměr byl kalibrován s rozšířenou nejistotou 0,020 Ω.

u_{em} nejistota měření odporu etalonovým multimetrem. Z technické dokumentace multimetru byla vypočtena maximální nejistota měření odporu multimetrem 0,030 Ω.

u_d nejistota dělení. Nejistota čtení, která je dána dělením teploměru. Ve většině případů se uvažuje 1/4 dílku, v tomto případě 1,3 °C.

u_h nejistota hystereze zkoušeného teploměru. Ve většině případů se uvažuje 1/4 dílku, v tomto případě 1,3 °C.

u_ε nejistota časové nestálosti etalonu. Na základě předchozích kalibrací je drift

referenčních etalonů odhadnut v nulové výši s maximální nejistotou 0,01 °C.

u_l nejistota nestability a nehomogenity teplotního pole teplotní lázně. Je dána parametry termostatu nebo pece. Nehomogenita a nestabilita lázně byla změřena v maximální výši 0,10 °C.

u_o nejistota způsobená odvodem tepla snímačem nebo skleněným teploměrem. Popř. nejistota způsobená nedostatečným ponorem teploměru v lázni. Maximální chyba byla stanovena na 0,20 °C.

Nejistoty mohou být dále způsobeny

- u_i - nejistota způsobená rozdílnými časovými odezvami snímačů.
- nejistota způsobená početními operacemi

Zdroje nejistot	Odhad	Standardní nejistota měření	Pravděpod. rozložení	Cítl. koef. k_i	Příspěvek k nejistotě u_i (°C)
u_A - nejistota typu A	0 °C	1,00°C	-	-	1,0000
u_{em} - nejist. kal. etal. - multimetr	0.0 Ω	0,0050 Ω	Normální	0,368 Ω /°C	0,0068
u_{et} - nejist. kal. etal. - teploměr	0.0 Ω	0,020 Ω	Normální	0,368 Ω /°C	0,027
u_{em} - chyba měření odporu	0.0 Ω	0,030 Ω	Rovnoměrné	0,368 Ω /°C	0,047
u_d - chyba dělení - odečtu	0 °C	1,3°C	Rovnoměrné	1,0	0,72
u_z - chyba časové nest. etalonu	0 °C	0,01°C	Rovnoměrné	1,0	0,0058
u_h - chyba hystereze teploměru	1 °C	1,3°C	Rovnoměrné	1,0	0,72
u_l - chyba nehomogenita teploty	0 °C	0,10°C	Rovnoměrné	1,0	0,058
u_o - chyba odvodu tepla	0 °C	0,20°C	Rovnoměrné	1,0	0,12
u_i - chyby - další vlivy	0 °C	0,00°C	Rovnoměrné	1,0	0,0000
u_c - standardní nejistota měření	k = 1				1,5

Takto vypočtená standardní nejistota se přepočte na rozšířenou nejistotu s koeficientem rozšíření $k = 2$.

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 1,5 \text{ °C} \approx 3,0 \text{ °C}$$

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).