



Česká metrologická společnost, z. s.

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

KALIBRAČNÍ POSTUP

KP 3.1.3/11/25

KALIBRACE DIGITÁLNÍCH TEPLOMĚŘŮ

Kalibrační postup je validován. Doklad o validaci je archivován Českou metrologickou společností, z.s. pod číslem kalibračního postupu.

Praha

Říjen 2025

1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na digitální teploměry, používané k měření teploty jako pracovní měřidla, příp. pracovní etalony. Digitální teploměr může být ve formě kompaktního měřidla (snímač teploty je integrován do elektronického obvodu), s kabelovým nebo bezdrátovým přenosem dat včetně funkce dataloggeru (datového záznamníku), ruční přístroj s oddělitelným nebo neoddělitelným snímačem apod. Díky své variabilitě patří digitální teploměry k nejoblíbenějším měřidlům teploty. Jsou oblíbeny pro snadnou odečitelnost, poměrně jednoduchou ovladatelnost a mobilnost. Měření teploty digitálními teploměry zahrnuje celou paletu přístrojů s přesnostmi a rozlišením v řádech 0,001 °C až po jednoduchá měřidla, u kterých není zaručena přesnost měření ani v řádu stupňů Celsia. Z hlediska použitých snímačů lze mezi nimi najít teploměry pro ponorná, prostorová i povrchová měření tekutin i pevných látek (pro teploměry s povrchovými sondami existuje v souboru vzorových postupů ČMS samostatný postup). Na principu digitálních měřidel pracují i měřicí řetězce teploty, které teplotu snímače zobrazují na panelových měřidlech nebo ovládacích terminálech zařízení. Také pro tato měřidla lze najít samostatné postupy mezi vzorovými dokumenty ČMS. Digitální teploměry nejčastěji pracují s odporovými nebo termoelektrickými snímači teplot. Příklady digitálních teploměrů viz obr. 1.



Obr. č. 1: Příklady digitálních teploměrů výrobce COMET Rožnov – kompaktní teploměr S0110E; teploměr s výstupním signálem (4 až 20) mA T0110; teploměr s bezdrátovým přenosem dat U0110G a ruční dvouvstupový teploměr D0221 (www.cometsystem.cz).

1.1 Princip kalibrace

Kalibrace je prováděna metodou přímého porovnání údajů kalibrovaného teploměru s údaji etalonu. Číslicový teploměr se obvykle kalibruje jako celek, ve výjimečných případech lze provádět samostatnou kalibraci snímače teploty a kalibraci indikační jednotky simulací (týká se spíše měřicích řetězců teploty). Teplota je realizována v kapalných termostatech (solná, olejová, vodní nebo lihová lázeň, Dewarova nádoba s ledovou tříští, tekutý dusík apod.), v horizontálních nebo vertikálních kalibračních pecích, v klimatické skříni apod. Jako etalonu můžeme použít digitální teploměr vyšší přesnosti, etalonový odporový nebo termoelektrický snímač teploty. Etalon volíme podle požadovaného rozsahu kalibrace a očekávané přesnosti kalibrovaného teploměru. U nejpresnějších měření indikujeme elektrický odpor etalonového odporového teploměru poměrovým střídavým odporovým mostem porovnáním s referenčním odporem. Hodnoty odporu etalonového odporového snímače, resp. hodnoty termoelektrického napětí etalonového termoelektrického článku jsou měřeny etalonovým multimetrem s přepočtem na teplotu nebo indikační jednotkou s odpovídající přesností. Při

kalibraci se snažíme používat etalony stejného typu a podobných rozměrů jako je snímač kalibrovaného teploměru z důvodů podobných časových konstant a srovnatelného odvodu tepla. Vzhledem k rozmanitosti digitálních teploměrů a jejich snímačů musíme vždy volit přijatelné řešení.

2 Související normy, předpisy a literatura

- L1: Vyhláška č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování v platném znění z 1. 1. 2010.
- L2: (01 1300) ČSN EN ISO 80000-1: Veličiny a jednotky. Část 1: Obecně. Vyd. 10/2023.
- L3: (01 5253) ČSN EN ISO/IEC 17025: Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří. Vyd. 04/2018.
- L4: (25 8340) ČSN EN IEC 60751 ED.2: Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové teplotní senzory. Vyd. 11/2022.
- L5: (25 8331) ČSN EN 60584-1 ED.2: Termoelektrické články – Část 1: Údaje napětí a tolerance. Vyd. 05/2014.
- L6: (25 8331) ČSN EN IEC 60584-3 ED.2: Termoelektrické články – Část 3: Prodlužovací a kompenzační vedení – systém tolerancí a značení. Vyd. 11/2021.
- L7: (25 8350) ČSN EN 12830: Přístroje pro záznam teploty při přepravě, skladování a distribuci teplotně citlivého zboží – Zkoušky, provedení, použitelnost. Vyd. 09/2019.
- L8: TNI 01 0115 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Vyd. 02/2009.
- L9: Dokument EA 4/02 M:2022: Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci. Vyd. ČIA 04/2022.
https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2022/04/01_08-P001-EA-04_02-M_2022_20220425opr.pdf
- L10: Dokument ILAC-G8:09/2019: Pokyny pro použití rozhodovacích pravidel a uvádění výroků o shodě. Vyd. ČIA 03/2020.
<https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2020/04/ILAC-G8-2019-1.pdf>
- L11: Dokument ILAC-P14:09/2020: Politika ILAC pro nejistotu měření při kalibraci. Vyd. ČIA 03/2021. <https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2021/04/ILAC-P14.pdf>

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků, kteří kalibrují měřidla, je stanovena předpisem organizace, který se týká způsobilosti personálu v oblasti metrologie. Příslušní pracovníci musí být seznámeni s tímto kalibračním postupem, samostatná kalibrace měřidel vyžaduje odpovídající laboratorní praxi, doporučuje se certifikace odborné způsobilosti těchto pracovníků.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v normách, zejména v [L8]. Základní pojmy:

Sonda teploměru: odpojitelný, neodpojitelný nebo vestavěný snímač teploty různého typu, který převádí měřenou teplotu na analogový elektrický signál, který je proporcionální k zatěžující teplotě. Ve vztahu k druhu snímače může být výstupním signálem napětí,

proud nebo elektrický odpor. K zajištění funkce může snímač potřebovat napájecí zdroj (odporový snímač napájený konstantním proudem).

Příklady rozdělení snímačů digitálních teploměrů:

- podle připojení (kabelové provedení odnímatelné a neodnímatelné, zabudované v teploměru jako loggery (datové záznamníky), USB teploměry apod., bezdrátové);
- podle typu snímače (termoelektrické, odporové polovodičové, odporové s vinutými rezistory, odporové s rezistory fóliovými, speciální např. optické);
- podle konstrukce snímače (tyčový, plášťový, drátový, povrchový, zavrtaný, speciální např. tvarové, magnetické apod.);
- podle provedení (ruční sondy ponorné nebo dotykové, průmyslové tyčové s jímkou nebo bez jímky, s kabelovým vývodem nebo s konektorem, plášťové přímé nebo tvarové, snímače s převodníkem, inteligentní snímače s komunikačním protokolem např. HART Protokol, prostorové, pro měření plynů atd.).

Číslicové teploměry: teploměry s digitální (číslicovou) indikací. Tento druh teploměrů je komplexním měřicím přístrojem, který indikuje jednotku teploty. Podle typu může se skládat z následujících komponentů:

- snímač teploty dle typu (odporový drátový, fóliový nebo polovodičový, termoelektrický)
- modul úpravy analogového signálu,
- analogově-digitální převodník,
- modul zpracování digitálních údajů,
- digitální indikace (jednotka použitá, resp. specifikovaná výrobcem),
- elektrické napájení (obecně je napájení nedílnou částí přístroje).

Tyto komponenty mohou být umístěny v jednom přístrojovém bloku (přístroj s interním snímačem), nebo mohou být umístěny separátně, kdy alespoň v jednom z nich je snímač (přístroj s externím snímačem). Teploměry mohou být rovněž vybaveny analogovými nebo digitálními výstupními porty různých typů. Vyhodnocovací jednotky digitálních teploměrů nemusí pouze zobrazovat měřenou teplotu, ale mohou umožňovat řadu funkcí např. zobrazení max., min. a střední hodnoty, možnost jednoduchých výpočtů, indikaci teploty CJC (studného konce termoelektrického snímače), resp. teploty okolí, volbu různých typů CJC, volbu měřicích jednotek teploty, nastavování a linearizaci výstupu teplotních sond, volbu typu snímače aj.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

5.1 Metoda kalibrace

Princip kalibrace číslicových teploměrů je uveden v kap. 1.1. Kalibrace se provádí podobně jako u ostatních měřidel teploty nejčastěji ve směru vzestupné teploty, výjimečně v obou směrech zátěže. Nejběžnější digitální teploměry používané jako pracovní měřidla mají rozlišení displeje 1 °C nebo 0,1 °C a jsou osazeny odporovým nebo termoelektrickým snímačem teploty. Teploměry s rozlišením 0,01 °C a lepším spadají často mezi pracovní etalony laboratorní a pracují téměř výhradně s odporovým snímačem teploty (platinovým).

5.2 Etalonová zařízení

Etalony použité při kalibraci se řídí metodou kalibrace, použitým termostatickým zařízením a měřeným rozsahem teploty. Ideální podmínku návaznosti splňuje předpoklad, že etalon je alespoň 4x přesnější než kalibrované měřidlo. Etalonový digitální teploměr musí mít rozliše-

ní alespoň o řád vyšší než teploměr kalibrovaný. Kromě etalonů patří mezi nejčastěji používaná zařízení:

- Dewarova nádoba na realizaci teploty 0 °C, resp. pro měření teploty kapalného dusíku,
- kapalinové termostaty a kryostaty s obvyklým rozsahem teplot (-90 až 550) °C,
- horizontální trubkové porovnávací elektrické pece se zařízením pro plynulou regulaci teploty s rozsahem teplot např. (300 až 1600) °C,
- přenosné teplotní blokové kalibrační pícky s rozsahem (-100 až 1200) °C,
- klimatické komory s rozsahem teplot (-90 až 200) °C.

5.3 Ostatní zařízení

Do pomocných zařízení můžeme zařadit:

- přístroj na měření izolačního odporu stejnosměrným napětím 10 V, max. 100 V s minimálním rozsahem 100 MΩ, pro zkoušky při teplotách nad 200 °C s minimálním rozsahem 20 MΩ,
- výrobek ledu,
- optické zvětšovací pomůcky (např. lupa, kamerový systém), posuvné měřítko, metr, stopky,
- teploměr/vlhkoměr pro měření podmínek okolí,
- čisticí prostředky, stojánek nebo jiné prostředky pro uchycení teploměrů,
- procesní kalibrátor umožňující měření a simulaci všech typů teplotních snímačů a vybavený digitální komunikací (HART komunikátorem).
- souprava nářadí,
- ruční multimetr (pomocné měřidlo),
- náhradní náplň k doplnění kapalných médií termostatických lázní,
- vysokoteplotní těsnicí látka (vata SIBRAL) k zatěsnění vstupních otvorů horizontálních pecí,
- zkumavky s kontaktní kapalinou pro měření kabelových snímačů v termostatických lázních.

6 Obecné podmínky kalibrace – referenční podmínky

Teplota okolního vzduchu musí ležet v rozmezí (23 ± 5) °C, což je obvyklý referenční a plně teplotně kompenzovaný rozsah měření digitálních měřidel.

Je vhodné, aby změny teploty okolního vzduchu nepřekročily po dobu jedné série měření definované rozmezí, např. ± 1 °C.

Relativní vlhkost vzduchu by neměla překročit hodnotu 90% RH nebo dle specifikace měřidla (nekondenzující prostředí).

Atmosférický tlak musí být v rozmezí 86 kPa až 108 kPa, pokud patří mezi ovlivňující veličiny.

Pokud mají podmínky okolního prostředí vliv na indikaci kalibrovaného teploměru, jejich hodnoty se při kalibraci zaznamenávají a následně se uvedou do kalibračního listu (teplota prostředí je zaznamenávána vždy). Odečet údajů je prováděn vždy v ustáleném stavu termostatického prostředí. Ustálení teploty může být v řádu několika málo desítek minut (kalibrační pícky) až několika hodin (klimatická komora).

7 Rozsah kalibrace

Rozsah kalibrace stanovíme vždy po dohodě se zákazníkem v souladu s jeho požadavky, příp. podle toho, zda se jedná o první kalibraci, kalibraci po opravě nebo výměně částí měřidla nebo o periodickou kalibraci. Obvyklý rozsah měření je ovlivněn dostupným zařízením laboratoře a nejčastěji bývá v rozmezí (-100 až 1200) °C. Zákazník musí být prokazatelně informován o možnosti nastavení teploměrů v případě, že odchylky přesahují dovolenou specifikaci, současně je nastavení podmíněno písemným souhlasem zákazníka. Před provedením kalibrace je nutné prověřit, jestli specifikace teplotní sondy odpovídá rozsahu měření požadovaného zákazníkem. Obdobně je nutné dohodnout se zákazníkem vyjádření shody se specifikací, je-li požadováno (dokumentovaně).

Všeobecný postup při kalibraci obvykle zahrnuje předběžnou mechanickou kontrolu měřidla; kontrolu údajů na měřidle (především při kalibraci zařízení nových nebo po opravě); funkční kontrolu; měření metrologických parametrů; vyhodnocení a vypracování kalibračního listu.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Během přijetí měřidla se kontrolují některé požadavky, které by mělo měřidlo splňovat. Základem je jednoznačný identifikační znak uváděný na kalibračním listu (výrobní číslo měřidla, metrologické nebo evidenční číslo apod.). U oddělitelných sond musíme dbát na nezáměnnost sond po kalibraci (uvádět typ, rozměry, příp. výrobní číslo sondy na kalibrační list, opatřit sondu kalibračním štítkem po kalibraci apod.). Přesnost indikačních jednotek teploměrů bývá udávána absolutně i relativně (procenta z rozsahu nebo měřené hodnoty – viz kap. 14.1.11), přesnost sondy odpovídá toleranční třídě použitého snímače. Při vyjádření shody se specifikací musíme respektovat pravidla [L10]. Předmětem kontroly jsou také následující údaje:

- název nebo označení výrobce,
- rok výroby,
- model měřidla,
- rozlišení displeje,
- měřicí rozsah snímače a požadované měřené teploty,
- typ indikační jednotky a typ snímače,
- u jednotek s více analogovými vstupy je nutné znát a respektovat i pořadí zapojených snímačů.

Nejsou-li však na kalibrovaném teploměru tyto údaje vyznačeny nebo nejsou zřejmé z dokumentace, nejedná se o důvod k vyřazení měřidla z dalšího postupu kalibrace. Pokud si uživatel přeje nastavení měřidla, přesvědčíme se při převzetí o možnostech nastavení (viz kap. 14.1.12). Často jsou k nastavení nutné další prostředky (ovládací SW, kabel k PC, návod výrobce), které si můžeme vyžádat od uživatele.

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Vnější prohlídka měřidla – je prováděna při převzetí měřidla a zjišťuje se:

- čistota měřidla a sondy (především stav a čistota stonku snímače; odstranitelné nečistoty lze eliminovat v laboratoři, neodstranitelné mohou být důvodem odmítnutí měřidla),
- poškození snímače a jeho kabelové připojovací části (ohnuté sondy, porušené izolace kabelů, teplotní deformace držadel),
- poškození elektrického připojení (konektory),

- stav baterie u ručních přístrojů (u některých digitálních teploměrů je přesnost měření výrazně závislá na stavu baterie; kontrola je důležitá především tam, kde indikátor stavu baterie není součástí teploměru),
- zda označení a nápisy odpovídají požadavkům; kontroluje se označení vodičů a svorek kabelů, zapojení stínění a neporušenost dalších částí měřidla (převodníků, vazebních členů, korekčních členů apod.); u výstupního zařízení se kontroluje, zda jsou v pořádku nápisy, stav ukazatele, stupnice, displej – čitelnost všech segmentů atd.,
- zda je k dispozici příslušná dokumentace (návod k použití, případně jeho překlad především v případě požadovaného nastavení teploměru neb snímání dat z teploměru pomocí SW aplikace),
- zda zákazníkem požadované měřené teploty leží v rozsahu měření teploměru (snímače) dle specifikace výrobce (požadované měřené teploty musí být písemně potvrzeny zákazníkem),
- nastavení intervalu odečtu u záznamníků teploty,
- v případě práce se SW musíme znát verzi SW aplikace, která spolupracuje s předmětným typem měřidla, a mít ji k dispozici pro zpracování měřených hodnot.

Vnější prohlídka by měla být provedena při převzetí měřidla včetně kontroly funkce teploměru (zapnutí, kontrola reakce na teplotu např. při sevření snímače do dlaně). V případě, že byla při vnější prohlídce zjištěna podstatná závada, kterou není v možnostech laboratoře odstranit a která brání správné funkci teploměru, je měřidlo vyřazeno z dalšího postupu kalibrace.

Kontrola konstrukce měřidla – je zaměřena na úpravy měřidla, které neodpovídají specifikaci výrobce (platí pro komerční výrobky; pokud si teplotní sondy vyrábí uživatel s využitím standardního připojení k indikační jednotce, odpovídá za správnost uživatel).

8.3 Příprava měřidla

Zkoušený teploměr se musí stabilizovat v ustálených podmínkách prostředí laboratoře minimálně 6 hodin před započítáním zkoušek (teplota a vlhkost prostředí dle odstavce 6, týká se především indikační jednotky), případně jinou dobu, stanovenou v technické dokumentaci měřidla. Snímač teploměru se upevní do držáku (obvyklé při použití lázně) nebo je činná část sondy vsunuta do vhodného otvoru homogenizačního bloku pícky (do 600 °C vůle max. 0,5 mm, do 1200 °C vůle max. 1 mm). Jestliže u sondy hrozí poškození rukojeti, vkládáme sondu do termostatu až po nastavení teploty a dbáme zvýšené opatrnosti (ponor snímače může být omezený). Je-li vyžadována stabilizace měřidla po zapnutí, provádíme měření dle podkladů výrobce a teploměr mezi jednotlivými body nevypínáme. Obvykle stačí stabilizace (5 až 15) minut po zapnutí indikační jednotky.

9 Postup kalibrace

Postup kalibrace digitálních teploměrů obvykle zahrnuje následující části:

- zkouška stálosti údajů (na žádost zákazníka),
- zkouška správnosti údajů,
- vyhodnocení naměřených hodnot,
- vystavení kalibračního listu,
- označení kalibrovaného teploměru značkou s datem kalibrace.

Přesné digitální teploměry někdy vyžadují zadání konstant odporového (příp. termoelektrického) snímače teploty, proto předchází vlastní kalibraci digitálního teploměru kalibrace jeho snímače s určením konstant, případně stability. Kalibrací odporových, resp. termoelektrických snímačů se zabývají jiné vzorové postupy ČMS.

9.1 Zkouška stálosti údajů (krátkodobá stabilita teploměru)

Jak bylo uvedeno, zkouška krátkodobé stability stálosti údajů teploměru se provádí jen v případě požadavku zákazníka. O krátkodobé stabilitě teploměru vypovídá také kontrola nulového bodu na začátku a na konci zkoušky správnosti (viz dále). Samostatná kontrola stálosti se provádí především v odůvodněných případech (vyšší rozlišení teploměru, po nastavení přístroje). Úplná zkouška stálosti se provádí pro jeden kontrolní bod z rozsahu kalibrovaného teploměru následovně:

- úvodní měření kontrolního bodu,
- zahřátí teploměru na maximální teplotu,
- opakovaná zkouška kontrolního bodu.

Jestliže teploměr měří nulový bod v rámci svého rozsahu (většina teploměrů), volíme ho za kontrolní bod. Zkouška nulového bodu se v tomto případě provádí ve směsi ledu a vody nebo v termostatu při teplotě 0 °C. U teploměrů, u kterých není nulový bod v rámci měřicího rozpětí, se volí jako kontrolní bod údaj nejbližším k nulovému bodu (nastavuje se v termostatickém zařízení). Údaj teploměru odečítáme způsobem popsáným v následující kapitole.

Po úvodním měření kontrolního bodu je teploměr pomalu temperován v termostatickém zařízení na teplotou odpovídající maximální hodnotě teploty v rámci měřicího (kalibrovaného) rozpětí kalibrovaného teploměru, přičemž respektujeme reálný rozsah teplotního snímače. Na této teplotě je udržován po dobu (15 až 20) minut.

Před opakovanou zkouškou nulového bodu je nutno zkoušený teploměr nejprve pomalu ochladit na teplotu okolního vzduchu s vyloučením rychlých změn teploty. Tato část zkoušky se provádí vždy v ohledem na konkrétní druh teplotního snímače, jeho provedení a teplotní rozsah. Do kalibračního listu uvedeme poslední naměřenou hodnotu teploty kontrolního bodu, příp. rozdíl mezi oběma měřeními. Maximální povolené odchylky jsou předmětem příslušných normativních dokumentů jednotlivých druhů snímačů (dovolené chyby dle tolerančních tříd snímačů) a specifikace digitální zobrazovací jednotky (u většiny výrobců je uváděna samostatně dovolená chyba a teplotní závislost jednotky mimo kompenzovaný rozsah teplot).

9.2 Zkouška správnosti údajů – vlastní kalibrace

Vlastní kalibrace se provede přímým porovnáním s etalonem ve vhodném termostatickém zařízení. Počet a hodnoty kalibračních bodů si definuje uživatel. Neurčí-li uživatel jinak, zkouška teploměru se začíná kontrolou údaje nulového bodu, resp. údaje, který je v rámci kalibrace k nulovému bodu nejbližší. Další hodnoty měřené teploty se volí dle požadavku zákazníka, obvykle rovnoměrně v celém měřicím rozsahu. Standardní kalibrace měřidel je prováděna min. ve třech bodech, na základě písemného požadavku zákazníka je možná kalibrace ve dvou bodech.

Zkouška správnosti nulového bodu se provádí metodou přímého porovnání s etalonem v Dewarově nádobě s ledovou tříští, v kapalně (lihové, olejové) lázni nebo v nízkoteplotní blokové kalibrační píce. Zkouška správnosti ostatních bodů teploty se provádí opět metodou přímého porovnání s etalonem v příslušné kalibrační lázni nebo jiném vhodném termostatu.

U digitálních teploměrů se provádí opakovaný odečet s rozlišením na poslední hodnotu (digit) displeje včetně kolísání údaje. Při kolísání údaje o několik digitů, kdy nelze střední hodnotu věrohodně odečíst, se zaznamenají opakovaně minimální a maximální hodnoty za dobu několika cyklů a vypočítá se jejich průměr.

Směs ledu a vody pro zkoušku nulového bodu připravíme tak, že Dewarovu nádobu naplníme až po okraj drobnými kousky ledu vyrobeného z destilované vody, zalijeme předchlaze-

nou destilovanou vodou a promícháme. Směs necháme cca hodinu odstát, odsajeme přebytečnou vodu a vložíme snímač kalibrovaného teploměru očištěný technickým benzínem. Snímač uchytíme svisle tak, aby byl dostatečně ponořen, ale jeho spodní konec byl alespoň 10 mm nade dnem nádoby. Směs se nechá teplotně ustálit, přebytečná voda se musí z nádoby odčerpávat tak, aby byla hladina stále cca 2 cm pod povrchem ledu. Teplota směsi se může kontrolovat etalonovým teploměrem. Čtení provádíme nejdříve po 15 minutách temperování teploměru. Údaje teploměru se čtou nejméně 2x v intervalu 2 minut. Nejsou-li čtené hodnoty údajů nulového bodu konstantní (klesající nebo stoupající tendence), opakuje se zkouška po deseti minutách znovu.

Zkouška správnosti ostatních údajů teploměru se provádí metodou přímého porovnání údajů kalibrovaného a etalonového teploměru (digitálního, odporového nebo termoelektrického etalonového snímače). Teplota je realizována v termostatu s příslušnou náplní nebo v homogenním prostoru kalibrační pece. Termostatické zařízení nastavujeme tak, aby se skutečná teplota termostatu nelišila od jmenovité teploty o více než čtyřnásobek hodnoty rozlišení (digitu) kalibrovaného teploměru. U teploměrů s rozlišením 0,01 °C se může teplota lišit až o 0,1 °C, u teploměrů s rozlišením 0,001 °C až o 0,05 °C, při použití blokových kalibračních pícek se může lišit až o 0,5 °C, u horizontálních pecí až o 3 °C a u klimatické skříně až o 1 °C. Jmenovitou teplotou rozumíme teplotu, pro kterou se při kalibraci vyhodnocují chyby správnosti.

Pro měření můžeme použít jeden nebo dva etalony. Při použití jednoho etalonu odečítáme jeho hodnotu jako první a poslední údaj každého čtení. Při použití dvou etalonů je první vlevo umístěn etalonový teploměr E_1 . Vpravo od něj následují kalibrované teploměry. Jako poslední vpravo je etalon E_2 . Čtení údajů teploměrů začneme po uplynutí alespoň deseti minut od ponoření teploměrů do teplotně ustálené lázně. Vhodnější je však vkládat teploměry do lázně před zapnutím a odečítat je po uplynutí deseti minut od ustálení teploty lázně. Intervalů odečtů by měly být co nejkratší a přibližně stejné. Jako první čteme údaj etalonu (E_1), potom údaje jednotlivých kalibrovaných teploměrů ($X_1, X_2, \dots, X_n$) postupně zleva doprava, poslední etalon (E_2) a zpět, tento postup provedeme dvakrát (viz tabulka 1). Tyto čtyři řádky údajů (čtyři odečty) představují jedno čtení teploměrů.

Čtení údajů teploměru se provádí min. 1x, lépe vícekrát (dvě nebo tři čtení). Čtené údaje jsou zaznamenávány a následně vyhodnoceny v záznamu o měření. Počet současně odečítaných teploměrů závisí na možnostech umístění snímačů do zvoleného termostatu. Nejvíce teploměrů lze obvykle odečítat v kapalných termostatech, ale současný odečet více než 6 snímačů teploměrů není vhodný.

1. odečet	E_1	X_1	X_2	X_3	$\dots X_n$	(E_2)
2. odečet	(E_2)	X_n	$\dots$	X_3	X_2	X_1
3. odečet	(E_2)	X_n	$\dots$	X_3	X_2	X_1
4. odečet	E_1	X_1	X_2	X_3	$\dots X_n$	(E_2)

Tabulka č. 1: Pořadí odečtů jednoho čtení údajů současně kalibrovaných digitálních teploměrů (jeden nebo dva etalony)

Při kalibraci záznamníků teploty je důležitá i časová osa měření. Proto před kalibrací seřídíme čas záznamníku, nastavíme četnost záznamů na nejmenší možný interval (obvykle jedna nebo dvě minuty) a spolu s etalonovou teplotou odečítáme i čas odečtu. Čas odečtu etalonu musí být shodný s časem zaznamenávaných hodnot záznamníku. Po měření se porovnají etalonové hodnoty teploty s hodnotami teploty uloženými v paměti záznamníku. Pokud je záznamník vybaven displejem, je možné kromě výše uvedeného postupu provádět kalibraci následovně. Nejprve seřídíme čas záznamníku a nastavíme četnost záznamů na nejmenší

možný interval. Poté můžeme místo času odečtu odečítat přímo hodnotu teploty z displeje. Odečty ale musíme provádět v intervalech, kdy dochází k zaznamenávání hodnot do paměti záznamníku, protože většina záznamníků z důvodu úspory baterií nezobrazuje na displeji průběžnou hodnotu teploty, ale poslední hodnotu teploty uloženou do paměti. V případě, že záznamník na displeji zobrazuje hodnotu teploty online, můžeme ho kalibrovat stejným postupem jako běžný teploměr bez záznamu. Na závěr je vhodná kontrola záznamu dat měřidla do paměti.

Některé snímače s komunikačním protokolem zobrazují mj. i hodnotu aktuální teploty. Z hlediska kalibrace je postup obdobný jako u digitálních teploměrů, pouze je nutné zajistit napájení převodníku snímače (obvykle DC nebo AC napětí v rozsahu 10 V až 48 V). Po zapnutí napájení je třeba stabilizovat teplotu elektroniky po dobu specifikovanou výrobcem. Není-li tento údaj dostupný, uvažujeme dobu zahřátí min. 15 minut. Kromě kalibrace digitálního údaje je možná i kalibrace analogových výstupů (unifikovaný výstupní signál).

10 Vyhodnocení kalibrace

Vyhodnocení spočívá v identifikaci zjištěných a dovolených chyb, stanovení rozšířené nejistoty měření a posouzení shody s metrologickou specifikací, pokud je zákazníkem požadováno (porovnání zjištěných a dovolených chyb). Na základě měření jednotlivých teplot je provedeno celkové vyhodnocení kalibrovaného teploměru. Vztažné hodnoty se určují jako aritmetický průměr z n provedených odečtů. Vypočteme tedy průměrnou referenční hodnotu etalonu t_E dle vzorce (1):

$$t_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{Ei} \quad (1)$$

kde t_{Ei} jsou měřené údaje etalonového teploměru. Při použití etalonového odporového (termoelektrického) snímače je nejprve nutné přepočítat změřené hodnoty odporu (napětí) na teploty podle charakteristiky snímače uvedené v jeho kalibračním listu.

Stejným způsobem vypočteme průměrnou hodnotu kalibrovaného měřidla dle vzorce (2):

$$t_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{Mi} \quad (2)$$

kde t_{Mi} jsou měřené údaje kalibrovaného teploměru.

Hodnoty t_E a t_M je možné vložit do kalibračního listu kalibrovaného teploměru. Vzhledem k praktickému používání teploměrů je často účelné dopočítat hodnotu t_E na jmenovitou hodnotu teploty (jednotky, desítky, stovky stupňů Celsia). Následně je pak třeba o stejný rozdíl korigovat aritmetický průměr údaje kalibrovaného teploměru t_M . Tento dopočet lze provádět pouze tehdy, nepřesáhne-li velikost odchylky cca (0,2 až 0,5) °C u lázní nebo píce, do 3 °C u horizontálních pecí, do 1 °C u klimatické skříně.

Chyba údaje zkoušeného teploměru se stanoví jako rozdíl aritmetických průměrů údaje zkoušeného teploměru t_M a etalonu t_E :

$$\Delta t = t_M - t_E \quad (3)$$

Takto stanovená chyba Δt se porovná se specifikací výrobce nebo příslušné normy a podle požadavku zákazníka se zpracovává do kalibračního listu.

Při vyhodnocení shody s metrologickou specifikací musí být se zákazníkem dohodnut způsob vyhodnocení chyb dle [L10] a definována velikost ochranného pásma (obvykle nejistota měření). Vyhodnocení je možné provádět binárně bez respektování ochranného pásma, binárně s respektováním ochranného pásma nebo nebinárně s respektováním ochranného pásma. Dokument [L10] je v době vytvoření postupu volně k dispozici na webové stránce ČIA (odkaz viz kap. 2).

11 Kalibrační list, označení měřidla

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat hlavně tyto údaje (akreditované kalibrace vystavují kalibrační listy v souladu s [L3]):

- a) název a adresu kalibrační laboratoře a místo kalibrace,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zákazníka, popř. uživatele (zákazník a uživatel měřidla nemusí být identické subjekty),
- d) název, typ, výrobce a identifikační označení teploměru,
- e) datum kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení metody a specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 3.1.3/11/25),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) vyjádření o návaznosti použitých měřidel, resp. výsledků měření,
- i) výsledky měření a informace o nejistotě měření,
- j) identifikaci schvalujícího pracovníka, příp. jméno pracovníka, který provedl kalibraci a razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř uvede platný odkaz na akreditaci, kombinovanou akreditační značku, číslo osvědčení o akreditaci, údaje o oprávnění, na jehož základě je kalibrační list vydán, prohlášení, že kalibrační list nesmí být bez písemného schválení kalibrační laboratoře rozmnožován jinak než celý a prohlášení o platnosti výsledků měření.

Pokud laboratoř kalibruje pro vlastní organizaci, může kalibrační list zjednodušit, popř. jej nemusí vystavit a výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v metrologické kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, např. v elektronické paměti. I v tomto případě kalibrační laboratoř musí archivovat záznam o měření s uvedenými měřenými hodnotami.

11.2 Protokolování

Převzetí a předávání měřidla jsou řešeny v pracovním postupu nebo v příručce kvality. Předávací protokoly se obvykle vyplňují na místě kalibrace, aby byly popsány aktuální a reálné podmínky (počet měřidel, rozsah kalibrace, identifikace zákazníka, kontaktní osoba, zapůjčení podkladů atd.). 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.

11.4 Reklamacce

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, přebírá ji vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti kalibrace, úplnosti nebo správnosti kalibračního listu, popřípadě fakturace za provedenou kalibraci nebo přístupu pracovníků. Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a seznámit s nimi objednatele kalibrace. Když se při analýze nenajdou závady, bude o tom objednatel kalibrace informován. Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření podle příručky kvality.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku. Kalibrační postup podléhá řízení podle norem ČSN EN ISO řady 9000 nebo [L3] v platném znění.

Změny, popřípadě revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Schvaluje je 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	jméno	podpis	datum

13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
schválil			

13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

14 Rozbor nejistoty měření číslicového teploměru

Než stanovíme nejistotu měření, definujeme si některé základní zdroje nejistoty, které se používají při měření digitálních teploměrů.

Standardní nejistota typu A u_A – je ji možné určit v souladu s dokumentem [L9]. Při měření v oboru teploty je u_A (opakovatelnost měření) prakticky neměřitelná, protože provádíme opakované odečty v ustáleném stavu (opakované ustálení by bylo časově i finančně nerentabilní). Proto je takto stanovená nejistota typu A ve většině případů velmi malá až zanedbatelná v porovnání se standardní nejistotou typu B a může být zahrnuta ve standardní nejistotě typu B (stabilita údaje). Dominantní složkou může být tato nejistota při kalibraci dotykových sond pro povrchová měření teploty.

Majoritní zdroje standardní nejistoty typu B u_B jsou:

- u_{B1} teplotní profil lázně,
- u_{B2} rozlišení etalonového teploměru,
- u_{B3} rozlišení kalibrovaného teploměru,
- u_{B4} nejistota kalibrace etalonu,
- u_{B5} drift etalonu.

Při rozdílné konstrukci snímačů etalonu a kalibrovaného měřidla (rozměry činné částí, rozdílné materiály stonku, odlišnost typu snímače apod.) se může do nejistoty měření promítnout vliv odvodu tepla a rozdílná dynamika obou snímačů. Jestliže měříme teplotu mimo kalibrační body etalonu, může hrát roli i nepřesnost interpolace mezilehlých bodů. Při nedodržení referenčních podmínek může dojít k ovlivnění obou měřidel a musíme respektovat vliv teplotní závislosti indikačních jednotek etalonu i kalibrovaného teploměru. Pokud kalibrovaný teploměr pracuje s termoelektrickým snímačem teploty, může docházet k ovlivnění jeho studeného konce (CJC), který je realizován na vstupní svorkovnici teploměru nebo v připojovacím konektoru.

Teplotní profil lázně u_{B1} – zahrnuje vliv nehomogenity teplotního pole termostatu a vliv nestability teploty zařízení. Vlastnosti termostatů jsou zjišťovány periodickým měřením homogenity a stability, které si může provádět samotná laboratoř. Teplota lázně tajícího ledu je ovlivněna změnami teploty díky nečistotě vody či ledu. Při požití destilované vody nepřekročí teplota tání ledu interval $\pm 0,05$ °C.

Čtení etalonového teploměru u_{B2} – v případě etalonového odporového teploměru zahrnuje vliv nepřesnosti měření odporu snímače. V případě etalonového termoelektrického teploměru zahrnuje vliv nepřesnosti měření napětí snímače a vliv nepřesnosti realizace srovnávacího konce. U digitálních měřidel je uvažována polovina posledního místa (digitu) údaje.

Čtení kalibrovaného teploměru u_{B3} – tento vliv je přímo úměrný rozlišení displeje kalibrovaného teploměru. Uvažujeme polovinu posledního digitu displeje teploměru.

Standardní nejistota kalibrace etalonu u_{B4} – určuje se z kalibračního listu etalonu podle uvedeného koeficientu rozšíření a rozšířená nejistota měření.

$$u_{B4} = \frac{U}{k} \quad (4)$$

kde U je rozšířená standardní nejistota dle kalibračního listu a k je koeficient rozšíření dle kalibračního listu etalonu.

Drift etalonu u_{B5} – dlouhodobá stabilita je určena např. ze změn chování etalonu v rámci jednotlivých kalibrací (změny odchylek jednotlivých teplot od pravé hodnoty v rámci kalibrační lhůty). Ze zjištěných odchylek je stanovena max. hodnota driftu s uplatněním rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti.

14.1 Příklad výpočtu nejistoty měření při kalibraci číslicového teploměru

Příklad se týká kalibrace digitálního teploměru se snímačem teploty Pt 100 při teplotě 200 °C metodou přímého porovnání s etalonovým digitálním teploměrem, Rozlišení kalibrovaného teploměru je 0,1 °C, rozlišení etalonového digitálního teploměru je 0,01 °C. Kalibrace je provedena v klimatizované laboratoři, teplota (23 ± 3) °C je během měření dodržena. Měření je realizováno v blokové kalibrační píce s homogenizačním blokem. Chyba údaje měřené teploty kalibrovaného snímače E_X je definována:

$$E_X = t_M - t_E - \delta_{B1} - \delta_{B2} + \delta_{B3} - \delta_{B4} + \delta_{B5} + \delta_{B6} + \delta_{B7} + \delta_{B8} + \delta_{B9}$$

$t_M \dots$ údaj teploty kalibrovaného měřidla

$t_E \dots$ údaj teploty etalonu

$\delta_{B1} \dots$ korekce na nejistotu kalibrace etalonu

$\delta_{B2} \dots$ korekce na drift etalonu

$\delta_{B3} \dots$ korekce na rozlišení kalibrovaného teploměru

$\delta_{B4} \dots$ korekce na rozlišení etalonu

$\delta_{B5} \dots$ korekce na stabilitu pícky

$\delta_{B6} \dots$ korekce radiální nehomogenitu pícky

$\delta_{B7} \dots$ korekce axiální nehomogenitu pícky

$\delta_{B8} \dots$ korekce na odvod tepla

$\delta_{B9} \dots$ stabilita odečtu (nahrazuje nejistotu typu A)

14.1.1 Nejistota kalibrace etalonu u_{B1}

Při teplotě 200 °C je na kalibračním listu uvedena rozšířená nejistota měření $U = 0,03$ °C, koeficient rozšíření $k = 2$. Standardní nejistota je tedy:

$$u_{B1} = \frac{U}{k} = \frac{0,03}{2} = 0,015^\circ\text{C} \quad (5)$$

14.1.2 Drift etalonu u_{B2}

Z dosavadních kalibrací byl stanoven maximální drift etalonu při teplotě 200 °C jako $\delta_{B2} = 0,02$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B2} = \frac{\delta_{B2}}{\chi_2} = \frac{0,02}{\sqrt{3}} \cong 0,012^\circ\text{C} \quad (6)$$

Drift byl určen jako max. změna hodnoty mezi třemi posledními kalibracemi etalonu.

14.1.3 Rozlišení kalibrovaného teploměru u_{B3}

Pro výpočet nejistoty uvažujeme polovinu rozlišení teploměru (nejmenšího digitu), tj. $\delta_{B3} = 0,05$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B3} = \frac{\delta_{B3}}{\chi_3} = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \cong 0,029^\circ\text{C} \quad (7)$$

14.1.4 Rozlišení etalonu u_{B4}

Stejně jako u kalibrovaného měřidla uvažujeme polovinu rozlišení teploměru, tj. $\delta_{B4} = 0,005$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B4} = \frac{\delta_{B4}}{\chi_4} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} \cong 0,003^\circ\text{C} \quad (8)$$

14.1.5 Stabilita píčky u_{B5}

Vlastnosti píčky byly proměřeny a při kalibraci vykazovala píčka standardní chování. Stabilita píčky na teplotě 200 °C byla určena jako $\delta_{B5} = 0,01$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B5} = \frac{\delta_{B5}}{\chi_5} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} \cong 0,006 \text{ °C} \quad (9)$$

14.1.6 Radiální nehomogenita píčky u_{B6}

Radiální nehomogenita reprezentuje rozdíl teplot mezi dvěma otvory homogenizačního bloku v ustáleném stavu a při plném ponoru snímačů. Při teplotě 200 °C byla naměřena hodnota max. $\delta_{B6} = 0,01$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B6} = \frac{\delta_{B6}}{\chi_6} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} \cong 0,006 \text{ °C} \quad (10)$$

14.1.7 Axiální nehomogenita píčky u_{B7}

Axiální nehomogenita reprezentuje rozdíl teplot mezi dvěma otvory homogenizačního bloku při rozdílném ponoru snímačů. Patří mezi největší složky nejistoty typu B blokových píček. U odporových snímačů se axiální homogenita projevuje i v případě plného ponoru obou snímačů, jestliže snímače mají různou velikost (délku) snímacího rezistoru. Axiální nehomogenita se proměřuje posouváním jednoho ze dvou zkušebních snímačů stejného průměru vložených do příslušných otvorů bloku. Posouvání do jednotlivých ustálených stavů se provádí např. po 10 mm. Pro výpočet uvažujeme hodnotu měřenou při rozdílu výšek max. 20 mm, která při teplotě 200 °C představuje max. $\delta_{B7} = 0,07$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B7} = \frac{\delta_{B7}}{\chi_7} = \frac{0,07}{\sqrt{3}} \cong 0,040 \text{ °C} \quad (11)$$

14.1.8 Odvod tepla u_{B8}

Etalonový snímač má průměr stonku 6 mm, snímač kalibrovaného teploměru má průměr stonku 4 mm. Díky různé velikosti snímačů dochází k rozdílnému vlivu zátěže bloku odvodem tepla z píčky. Dle specifikace výrobce je pro teplotu 100 °C uváděna hodnota maximálního vlivu 0,05 °C, pro teplotu 350 °C hodnota 0,15 °C. Vliv odvodu tepla se u píček obtížně měří, protože při povytažení snímačů se na rozdílu hodnot uplatňuje více vlivů. Z údajů výrobce uvažujeme pro teplotu 200 °C hodnotu $\delta_{B8} = 0,10$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Odpovídající složka nejistoty je:

$$u_{B8} = \frac{\delta_{B8}}{\chi_8} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \cong 0,060 \text{ °C} \quad (12)$$

14.1.9 Stabilita odečtu („nejistota typu A“) u_{B9}

Při kalibraci byly odečteny následující údaje měřidla x_i : 200,1 °C; 200,0 °C; 200,0 °C; 200,1 °C; 200,1 °C. Průměrná hodnota je tedy $\bar{x} = 200,06$ °C, nejistota typu A je stanovena podle vzorce:

$$u_{B9} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 0,025 \text{ °C} \quad (13)$$

Měření etalonu bylo stabilní na hodnotě 200,00 °C, opakovatelnost údaje etalonu je tedy nulová.

14.1.10 Určení rozšířené nejistoty

Pro celkovou standardní kombinovanou nejistotu platí:

$$u = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 + u_{B5}^2 + u_{B6}^2 + u_{B7}^2 + u_{B8}^2 + u_{B9}^2} = 0,084 \text{ °C} \quad (14)$$

Protože opakovatelnost byla stanovena z 5 měření (počet měření < 10), je vhodné zvážit spolehlivost stanovení standardní nejistoty dle přílohy E dokumentu [L9]. Pro standardní nejistotu typu A je počet stupňů volnosti definován $\nu_A = n - 1 = 4$ (n ... počet měření). Nejistoty typu B byly stanoveny z limitních chyb a jejich stupně volnosti se blíží dle přílohy E dokumentu [L9] nekonečnu (podíl čtvrté mocniny příspěvku nejistoty u_i^4 a složky ν_i je tedy blízký nule). Welch – Satterthwaitův vztah pro určení efektivních stupňů volnosti má tedy v našem případě tvar:

$$\nu_{eff} = \frac{u^4}{\frac{u_{B9}^4}{\nu_A}} = 463 \quad (15)$$

Dle tabulky E1 dokumentu [L9] je počet efektivních stupňů volnosti $\nu_{eff} > 50$, dokonce větší než 200, pro rozšířenou standardní nejistotu tak můžeme spolehlivě zvolit koeficient rozšíření $k = 2$. Rozšířená kombinovaná nejistota je tedy

$$U = k \cdot u = 2 \cdot 0,084 = 0,168 \text{ °C}$$

Údaj kalibrovaného teploměru při jmenovité teplotě 200 °C je tedy **(200,06 ± 0,17) °C**.

Kalibrovaný teploměr má rozlišení 0,1 °C, přesto je hodnota i nejistota uvedena o řád výše. Hodnota je určena jako průměr z více odečtů a dle příkladu S9 podle [L9] je možné uvádět hodnoty i nejistoty měření max. o jeden řád vyšší oproti indikaci měřidla. Pokud bychom měřené údaje zaokrouhlili na rozlišení měřidla, byla by odpovídající hodnota **(200,1 ± 0,2) °C**.

PŘEHLED NEJISTOT:

Veličina X_i	Odhad x_i	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodob- nostní rozdě- lení	Citlivostní koeficient c_i	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$t_M (\delta_{B9})$	200,06 °C	0,025 °C	Normální	1	0,025 °C
$t_E (\delta_E)$	200,00 °C	0,000 °C	Normální	-1	0,000 °C
δ_{B1}	0,0 °C	0,015 °C	Rovnoměrné	-1	-0,015 °C
δ_{B2}	0,0 °C	0,012 °C	Rovnoměrné	-1	-0,012 °C
δ_{B3}	0,0 °C	0,029 °C	Rovnoměrné	1	0,029 °C
δ_{B4}	0,0 °C	0,003 °C	Rovnoměrné	-1	-0,003 °C
δ_{B5}	0,0 °C	0,006 °C	Rovnoměrné	1	0,006 °C
δ_{B6}	0,0 °C	0,006 °C	Rovnoměrné	1	0,006 °C
δ_{B7}	0,0 °C	0,040 °C	Rovnoměrné	1	0,040 °C
δ_{B8}	0,0 °C	0,060 °C	Rovnoměrné	1	0,060 °C

δ_M	0,060 °C	Kombinovaná	standardní	nejistota	0,084 °C
------------	----------	-------------	------------	-----------	----------

Při kalibraci může být požadován závěr, zda teploměr vyhovuje nebo nevyhovuje specifikované přesnosti, která musí být definována. Při rozhodování o shodě s metrologickou specifikací se řídíme dokumentem [L10], ve kterém je definováno tzv. ochranné pásmo. Ochranné pásmo může být nulové (měřidlo vyhovuje, jestliže naměřená odchylka je $\leq$ dovolené chybě) nebo může být definováno zákazníkem. Nejčastěji bývá velikost ochranného pásma rovna nejistotě měření, přičemž rozhodování může být binární (vyhovuje x nevyhovuje) nebo nebinnární. Bližší údaje o vyhodnocování dle [L10], viz webový odkaz v seznamu literatury (stažitelné v češtině).

14.1.11 Uvádění přesnosti digitálních teploměrů

Na přání zákazníka lze vyhodnotit shodu se specifikací digitálního teploměru. Specifikace těchto měřidel je uváděna mnoha způsoby. Digitální teploměry by měly mít uvedeny vždy min. dvě složky dovolené chyby – dovolená chyba snímače dle typu snímače a dovolená chyba indikační jednotky. Dovolené chyby snímačů vyplývají nejčastěji z předmětné normy. Odporové snímače teploty mohou mít toleranční třídu AA až C dle [L4], termoelektrické snímače teploty nejčastěji toleranční třídu 1 nebo 2 dle [L5]. Vyhodnocovací digitální jednotky mají chybu uvedenou ve specifikaci výrobce, přičemž vyjadřování chyb je prováděno několika způsoby:

- u nejjednodušších teploměrů je uváděna absolutní chyba ve °C (např. $\pm 0,5$ °C);
- místo absolutního vyjádření je možné relativní v procentech (např. $\pm 0,5$ %), musí být ale vždy definováno, k čemu se procenta vztahují (rozsah nebo měřená hodnota), při uvedení % z měřené hodnoty není navíc známa chyba v 0 °C, která nemůže být nulová;
- kombinace relativní a absolutní chyby (např. $\pm 0,5$ % MH $\pm 0,5$ °C);
- kombinace dvou relativních chyb (např. $\pm 0,5$ % MH $\pm 0,1$ % FS).

Uvedená vyjádření chyb se mohou navíc vztahovat k dílčí částí měřicího rozsahu teploměru. Základní chyba dle uvedených způsobů bývá u přesných teploměrů rozšířena o doplňkové chyby (dlouhodobá stabilita = drift, teplotní závislost mimo referenční podmínky definována např. ve °C nebo % na jeden Kelvin, hystereze použitého snímače apod.).

Jestliže je vyhodnocována shoda s metrologickou specifikací, musí být vztažná dovolená chyba určena jednoznačně a odsouhlasena zákazníkem. Zákazník si může velikost dovolené chyby definovat podle svých požadavků, tato chyba ale nemůže být menší, než umožňuje specifikace teploměru.

14.1.12 Možnosti nastavení digitálních teploměrů

Požadavkem zákazníka při kalibraci může být také nastavení teploměru v případě překročení dovolených chyb. V takovém případě je nutné uvádět na kalibrační list hodnoty před nastavením (lze provést zkrácenou kalibraci) a hodnoty po nastavení (úplná kalibrace). Nastavování digitálních teploměrů se provádí několika způsoby – mechanicky, pomocí HW indikační jednotky nebo pomocí SW aplikace. Mechanický způsob nastavení představuje:

- nejjednodušší digitální teploměry bez možnosti nastavení (elektronika obsahuje obvykle konektor na připojení k PC, kde se provádí tovární nastavení vzorku, které je následně používáno pro sériovou výrobu);
- nastavení pomocí jednoho potenciometru (obvykle nastavení offsetu pro celý rozsah);
- nastavení pomocí dvou potenciometrů (obvykle nastavení offsetu v nule a na hodnotě rozsahu);
- více nastavovacích potenciometrů, záležitost výrobce, linearizace závislosti dle typu snímače.

HW způsob nastavení se obvykle provádí v kalibračním menu, které je uloženo jako jedna z funkcí multifunkčních tlačítek, Možnosti jsou podobné jako u mechanického nastavení:

- vložení hodnoty offsetu;
- vložení hodnoty offsetu v nule a ve zvoleném bodě rozsahu;
- vložení hodnoty offsetu v nule a strmosti kalibrační přímky;
- vložení několika dvojic kalibračních bodů, mezi kterými přístroj proloží křivku různým způsobem (linearizace, metoda nejmenších čtverců, snímače dle normy);
- vložení spočtených konstant odporového snímače dle normy nebo dle ITS 90.

U dataloggerů se nastavení obvykle provádí v ovládacím programu, který současně slouží ke zpracování uložených naměřených údajů

15 Validace

Metody použité v tomto kalibračním postupu byly validovány. Doklad o validaci je uložen u České metrologické společnosti.

Upozornění:

Tento kalibrační postup byl zpracován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeného pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem PRM/VII/1/25. Šíření a využívání tohoto kalibračního postupu nebo jeho částí jakýmkoli komerčním způsobem je nepřipustné.

Tento kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům a doplnila s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky kalibrace. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA). Uvedené vzorové výpočty jsou příkladem závislosti či vlastností konkrétního měření a slouží jako návod pro uživatele. Jeho povinností je proměřit si vlastnosti svých zařízení obdobným způsobem, který je naznačen ve výpočtu.