



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 3.1.3/09/14

TEPLOMĚR S DOTYKOVOU SONDOU

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

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na elektronické, převážně číslicové teploměry, jejichž sonda teploty je speciálně upravena k měření povrchových teplot materiálů (předeheřev před svařováním, měření teplot potrubí, kontrola teploty povrchů přístrojů v oboru délky nebo hmotnosti, měření teploty tvarových součástí, pomocný prostředek pro stanovení emisivity materiálu, magnetické sondy atd.). Sondy s vestavěným snímačem teploty jsou vesměs používány pro měření teploty pevných materiálů, v některých případech umožňuje konstrukce sondy měřit i teplotu tekutin ponorem. V takovém případě je elektronická jednotka teploměru opatřena přepínačem měřicího módu (ponor / dotyk), který umožňuje kompenzaci odvodu tepla stonkem sondy při měření teplot povrchů. Kompenzace je navržena výrobcem podle jeho zkušeností a platí pouze pro konkrétní typ sondy. Dotykové sondy mohou tvořit kompaktní celek s indikační jednotkou nebo mohou být připojeny kabelem (odnímatelně nebo neodnímatelně). Většina dotykových sond pracuje s termoelektrickými snímači teploty různého provedení, použití odporových snímačů je výjimečné (rychlejší odezva termoelektrického článku na změnu teploty po přiložení sondy).

Rozsah měřených teplot bývá nejčastěji v rozmezí (0 až 500) °C. U vyšších teplot je nutné dbát na odolnost stonku sondy příp. včetně plastové rukojeti. Některé sondy mají sice deklarovaný rozsah až do 900 °C, ale při délce sondy (150 až 200) mm není možné měření této teploty bez rizika pro uživatele. Vedením tepla je současně ohroženo i držadlo sondy. Při měření teplot nižších než 0 °C dochází k namrzání měřených ploch a měření je zatíženo velkou chybou. Povrchová měření teplot nižších než (-20 až -30) °C jsou díky tomu diskutabilní. Přesnost měření teploty povrchu nelze jednoznačně specifikovat, vždycky závisí na typu a konstrukci použité sondy, způsobu použití, měřeném předmětu, zkušenostem pracovníka atd. Měření teplot povrchů ale rozhodně nepatří mezi exaktní metody, ovlivňující veličiny mají často subjektivní charakter a měřidla jsou určena především k přibližným, orientačním měřením nebo tam, kde jiný způsob není možný.

1.1 Princip kalibrace

Kalibrace je prováděna metodou přímého porovnání údajů kalibrovaného měřidla s údaji etalonu (etalonový termoelektrický snímač nebo odporový snímač teploty). Jestliže má kalibrace odpovídat způsobu použití sondy, měla by být prováděna na povrchu dotykového bloku, jehož teplota je měřena etalonovým snímačem. Kalibrace ponorem sondy v lázni není správná, zkreslení měřené teploty může být i více než 10 °C. V rozsahu kapalných lázní se někdy používá měření na povrchu hladiny této lázně. Jestliže má etalonový teploměr standardní ponor (200 až 400) mm, neodpovídá jeho údaj teplotě povrchu lázně. Přiložením sondy na povrch homogenizačního bloku dojde ke změně teplotního pole, kterou se snažíme zahrnout do výsledku měření (viz stanovení nejistot). Přiložením sondy na povrch lázně ke změně poměrů obvykle nedochází (velký objem lázně, míchání náplně). Teplotu hladiny ale nejsme schopni objektivně změřit. Lázně mohou být využívány ke stabilizaci teploty homogenizačního bloku vloženého do lázně, častěji se používají speciální dotykové bloky přenosných kalibračních pícek. Existují také speciální kalibrátory povrchových teplot (výrobci ISOTECH, FLUKE – HART SCIENTIFIC, OMEGA aj., viz obr. 1 a obr. 2).



Obr. 1: 3125 Surface Probe Calibrator (FLUKE) a CL 1600 Surface Probe Tester (OMEGA)



Obr. 2: Příklad použití dotykového homogenizačního bloku kalibrační pícky (ISOTECH)

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN 60584-1, ed. 2	Termoelektrické články - Část 1: Údaje napětí a tolerance	[1]
ČSN IEC 584-2, Z1, Z2	Termoelektrické články. Část 2: Tolerance	[2]
ČSN EN 60751	Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové teplotní senzory	[3]
ČSN ISO 80000-1, opr.1, Z1	Veličiny a jednotky - Část 1: Obecně	[4]
ČSN ISO 80000-5, Z1	Veličiny a jednotky - Část 5: Termodynamika	[5]
ČSN EN 61298-2, ed. 2	Zařízení pro měření a řízení průmyslových procesů - Obecné metody a postupy pro hodnocení vlastností - Část 2: Zkoušky při referenčních podmínkách	[6]
ČSN EN 60770-1, ed. 2	Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů - Část 1: Metody hodnocení vlastností	[7]
ČSN EN 60359	Elektrická a elektronická měřicí zařízení - Vyjadřování vlastností	[8]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří.	[9]

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[10]
Dokument EA-04/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci (Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration, September 2013). Vyd. 05/2014	[11]
Dokument ILAC-G08: 03/2009	Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification). Vyd. 10/2009	[12]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci teploměrů s dotykovými sondami 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 uvedených normách, zejména v [10] a v normách jednotlivých typů snímačů [1, 2 a 3].

Ostatní pojmy:

Dotyková sonda – ruční, kabelový, fóliový, magnetický nebo speciální snímač teploty, který je zabudován do kovového stonku způsobem, který umožňuje měření teplot povrchů různých konstrukčních dílů. Základem je obvykle dotyková ploška se zabudovaným snímačem nebo volný snímač teploty ve formě tenkého pružného pásku. Tento senzor je umístěn u ručních sond na konci stonku nebo je součástí kabelového příp. tvarového snímače.

Kalibrační blok – homogenizační blok přenosné kalibrační pícky, který je speciálně upraven pro generování a měření teploty na volném konci bloku (snímač teploty je nejčastěji zavrtán těsně pod povrchem). U jednoúčelových povrchových kalibrátorů je blok nahrazen vytápěnou deskovou plochou, pod kterou je umístěn měřicí a regulační snímač teploty.

Homogenita bloku – při povrchovém měření jde o homogenitu teploty mezi středem a obvodem vymezené měřicí plochy.

Stabilita bloku – při povrchovém měření jde o stabilitu teploty na vymezené měřicí ploše bloku.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

5.1 Etalonová zařízení

Etalony použité při kalibraci se liší podle použitého zařízení. Jestliže používáme kompaktní zařízení (např. dle obr. 1), musí být kalibrovaný kontrolér kalibrační desky s příslušným snímačem. Ideální je možnost vyjmutí snímače teploty a kalibrace měřidla jako měřícího řetězce teploty. Možné je použití referenční dotykové sondy s externím teploměrem. Firma ISOTECH vyrábí také speciální měřicí systém 944 True Surface Temperature Measurement System. Jde o dva termoelektrické snímače typu N posunuté o (2 až 3) mm. Delší snímač indikuje teplotu kalibrační desky, kratší vyrovnává teplotní rozdíl tak, aby odvod tepla stonkem byl minimální (nulový teplotní rozdíl mezi snímači). Nejistota tohoto zařízení s odpovídající návazností je výrobcem uváděna ± 2 °C. Při použití referenčního snímače není nutná kalibrace kontroléru topné desky.

Při použití homogenizačního dotykového bloku dle obr. 2 používáme jako etalon úhlový snímač teploty (termoelektrický nebo odporový), který je zasunutý těsně pod povrch měřicí plochy bloku. Snadné je použití plášťového termoelektrického snímače, který lze natvarovat podle otvoru. Výhodou je také možnost použití malých průměrů pláště s rychlou odezvou na změnu teploty. Snímače jsou připojeny na vhodný digitální teploměr příp. datalogger se záznamem průběhu teploty.

Rozlišení etalonových měřidel musí být nejméně 0,1 °C.

5.2 Ostatní zařízení

Do pomocných prostředků patří např.:

- měřidlo teploty a vlhkosti okolí s platnou návazností,
- izolační vata (sibral), která je používána k izolaci obvodu bloku v případě, že část bloku vyčnívá z otvoru kalibrační píčky,
- napájecí zdroje nebo baterie (zdroje obvykle 24 VDC),
- souprava jemného náradí (pinzety, kleště),
- ruční multimetr (pomocné měřidlo),
- stopky s platnou návazností (při použití loggerů),
- čisticí prostředky,
- stojánek pro uchycení snímačů (existují i speciální stojánky, které generují konstantní přítlačnou sílu na sondu); při uchycení do stojánku musíme dbát na dlouhodobou zátěž sondy teplotou, protože při vyšších teplotách je často doba měření omezena výrobcem v řádu max. desítek sekund.

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

Jmenovitá teplota prostředí laboratoře by měla být pro elektronické analogové přístroje v rozmezí (23 ± 2) °C, elektronická digitální měřidla mají obvykle specifikaci referenční teploty (23 ± 5) °C. Změna teploty okolního vzduchu by neměla překročit po

dobu jedné série měření ± 1 °C. Relativní vlhkost vzduchu musí být v rozmezí 20% až 80% nebo dle specifikace měřidla.

Referenční podmínky jsou ovlivněny především vlastnostmi indikačních jednotek teploměrů, které lze zjistit v podkladech od výrobce. Sonda je zatěžována měřenou teplotou, pozor na možnost překročení referenčních teplot u kompaktních měřidel, u kterých je indikační jednotka během měření blízko měřené plochy (viz obr. 3).

Atmosférický tlak patří mezi ovlivňující veličiny pouze výjimečně a jeho obvyklé rozmezí činí 85 kPa až 105 kPa absolutního tlaku.



Obr. 3: Kompaktní dotykový teploměr KT-251

7 Rozsah kalibrace

Rozsah kalibrace stanovíme vždy po dohodě se zákazníkem v souladu s jeho použitím, příp. podle toho, zda se jedná o první kalibraci, kalibraci po opravě nebo výměně částí měřidla nebo o periodickou kalibraci. Obvyklý rozsah měření je uveden v kap. 1 a je ovlivněn dostupným zařízením laboratoře. Kalibraci při ponoru lze provést pouze na písemnou žádost zákazníka u takových sond, jejichž konstrukce umožňuje ponoření do lázně. Zákazník musí být prokazatelně informován o tom, že výsledky takové kalibrace nelze bezvýhradně vztáhnout na měření povrchových teplot. 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 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), přesnost sondy odpovídá toleranční třídě použitého snímače. Při vyjádření shody se specifikací musíme respektovat pravidla [12]. Nejistota kalibrace při dotykovém měření je podstatně horší, než při klasickém měření v termostatických lázních. Vyjádření shody se specifikací není často reálné. Předmětem kontroly jsou také následující údaje:

- značka výrobce,
- rok výroby,
- model měřidla,
- rozlišení displeje,
- rozsah apod.

Nejsou-li však na kalibrovaném teploměru tyto údaje vyznačeny, nejedná se o důvod k vyřazení měřidla z dalšího postupu kalibrace. Pokud si uživatel přeje nastavení měřidla, přesvědčíme se při převzetí o možnostech nastavení (mechanické nastavení potenciometrem, nastavení pomocí multifunkčních tlačítek teploměru, SW nastavení). 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 (stav a čistota měřicí plošky 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 baterií měřidla,
- 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 atd.

Pokud některý z údajů není vyznačen na měřidle, uvede se tato okolnost do kalibračního listu. Pokud zjištěná závada znemožní další zkoušky a její odstranění není v silách laboratoře, dále se nepokračuje.

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).

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

8.3 Příprava měřidla

Zkoušený teploměr se musí stabilizovat v ustálených okolních podmínkách minimálně 6 hodin před započítáním zkoušek (teplota a vlhkost podle odstavce 6, týká se hlavně indikační jednotky), případně jinou dobu, stanovenou v technické dokumentaci měřidla.

Snímač teploměru se upevní do držáku (pokud je používán) nebo je sonda ručně přikládána na povrch dotykového bloku. Je-li vyžadována stabilizace měřidla po zapnutí, provádíme měření dle podkladů výrobce a teploměr mezi jednotlivými body nevypínáme. Obvykle stačí stabilizace 5 minut po zapnutí indikační jednotky.

U elektronických analogových měřidel je nutné kontrolovat nulový údaj ukazatele. Mechanická nula bývá nastavována před zapnutím přístroje (speciální nulovací tlačítko nebo mechanické nastavení nuly a tlačítko k nastavení rozsahu stupnice).

9 Postup kalibrace

Vlastní kalibrace se provede přímým porovnáním s etalonem na dotykové ploše bloku nebo jednoúčelového zařízení. Po nastavení teploty necháme údaj teploty stabilizovat, odečet provádíme, pokud je údaj etalonu min. 15 minut v ustáleném stavu. U zařízení dle obr. 1 jde o stabilní údaj regulátoru teploty, u homogenizačních bloků dle obr. 2 jde o stabilní údaj externího etalonu. U některých bloků jsou používány dva snímače těsně pod povrchem, které jsou zavrtány proti sobě. Jeden může být použitý k regulaci teploty, druhý k její indikaci. Odečet provedeme, pokud jsou oba údaje stabilní po uvedenou dobu. Přiložením dotykové sondy se povrch plochy ochladí a dojde ke změně poměrů odvodem tepla sondy. Čas, potřebný ke novému ustálení teploty, závisí na vlastnostech bloku a konstrukci sondy. Odečet by měl být proveden v ustáleném stavu po přiložení sondy. U vyšších teplot ale může být výrobcem omezena doba styku s měřeným povrchem (několik sekund, max. desítek sekund). V tom případě je vhodné dodržet doporučení výrobce, protože prodloužením odečtu by mohlo dojít k poškození konstrukce sondy. Po odečtu oddálíme sondu, necháme znovu ustálit teplotu a měření opakujeme. Sondu přikládáme kolmo k povrchu a přitlačujeme přiměřenou silou. Přítlak obvykle není výrobcem definován a je jedním ze zdrojů nejistoty měření.



Obr. 4: Teplotní sondy s vymezením přitlačné síly



Obr. 5: Teplotní sondy příložené

Na obr. 4 jsou znázorněny příklady sond, jejichž přítlačná síla je vymezena deformací termoelektrického snímače ve formě pružného pásku. Správného přítlaku je dosaženo tehdy, jestliže se měřené plochy lehce dotýkají všechny distanční hroty nebo obě mezikruží po obvodě činné části sondy. U konstrukcí dle obr. 5 není přítlačná síla vymezena, je zvětšena dotyková plocha a závisí na citu a zkušenosti pracovníka. Pokud se provádí nastavení teploměru, měli bychom přednostně používat konstrukce sond dle obr. 4; opakovatelnost a reprodukovatelnost příložných sond je příliš závislá na obsluze. Při nastavení teploměru se nejprve změří dolní a horní mez požadovaná zákazníkem, na základě dosažených odchylek od etalonu provedeme seřízení teploměru a následnou kalibraci ve všech bodech požadovaných zákazníkem. Seřízení se provádí vždy se souhlasem zákazníka, který by si měl určit i max. velikost akceptovatelné odchylky. Hodnoty nastavovacích konstant uvedeme na kalibrační list spolu s měřenými hodnotami (obojí před a po nastavení). Na závěr měření je vhodné znovu zkontrolovat údaj nejnižší měřené teploty.

Při měření dotykových sond neměříme více teploměrů najednou (prostorové omezení nad měřenou plochou, extrémní odvody tepla, sondu obvykle přikládáme rukou). Pro zjištění odvodu tepla je vhodné odečítat ustálenou teplotu etalonu před přiložením sondy a po přiložení provést kalibrační odečet. Vzhledem k velkému množství individuálních vlivů se odečty provádějí 6x až 10x a stanoví se průměrná hodnota.

10 Vyhodnocení kalibrace

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

- Vyhodnocení shody se specifikací se neprovádí, pokud není uvedena přesnost teploměru nebo pokud ji zákazník nepožaduje.
- Pokud teploměr na všech úrovních vyhovuje, vyhovuje i celkově.
- Pokud minimálně na jedné úrovni nevyhovuje, nevyhovuje i jako celek.
- Pokud na jednotlivých úrovních vyhovuje a minimálně na jedné nelze rozhodnout, žádné hodnocení se v kalibračním listu neuvádí.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 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:

- název a adresu kalibrační laboratoře,
- pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- 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 3.1.3/09/14),
- 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)



Obr. 6: Dotykový blok použitý pro příklad výpočtu nejistoty měření

Pro příklad jsme zvolili dotykový homogenizační blok kalibrační přenosné pícky (viz obr. 6). Na dotykovém bloku o průměru 34 mm a délce 162 mm jsou umístěny dva plášťové termoelektrické snímače teploty typu K o průměru 1 mm. Prvý je zasunutý v drážce na povrchu, druhý zavrtaný 1 mm pod povrchem bloku slouží k určení nejistoty povrchové teploty, stability bloku a odvodu tepla. Příklad je zpracován pro kalibraci teploměru, jehož sonda je opatřena čtyřmi distančními hroty průměru 10 mm, mezi nimiž jsou klenuté pásky jednotlivých větví termoelektrického snímače šířky 1,5 mm (viz obr. 4). Měření bylo provedeno při 300 °C a naším cílem je stanovit nejistoty plynoucí z vlastního principu měření.

Chyba údaje teploty kalibrovaného snímače E_X by mohla být definována např. takto:

$$E_X = T_M - T_E - \delta T_K - \delta T_D + \delta T_{SB} + \delta T_O + \delta T_P + \delta T_H + \delta T_N + \delta T_S + \delta T_{RM}$$

T_M ...	údaj měřidla
T_E ...	údaj etalonu
δT_K ...	korekce na nejistotu kalibrace etalonu
δT_D ...	korekce na drift etalonu
δT_{SB} ...	korekce na stabilitu bloku
δT_O ...	korekce na odvod tepla
δT_P ...	korekce na ochlazování povrchu bloku
δT_H ...	korekce na homogenitu teploty na povrchu bloku
δT_N ...	korekce na správný sklon sondy (kolmost přitlaku)
δT_S ...	korekce na správný přitlak sondy (síla přitlaku)
δT_{RM} ...	korekce na rozlišitelnost kalibrovaného teploměru

14.1 Měřené hodnoty

Hodnota etalonu (termoelektrický snímač v drážce) byla odečtena 8x s následujícím výsledkem:

- měřené hodnoty (°C): 295,3 / 295,9 / 294,8 / 296,6 / 295,7 / 296,2 / 295,5 / 296,4,
- průměrná teplota ... $T_E = 295,8$ °C,
- výběrová směrodatná odchylka (nejistota typu A) ... $u_{AE} = 0,21$ °C,
- Stejným způsobem byla určena z 8 odečtů průměrná teplota na kalibrovaném teploměru:
 - Měřené hodnoty (°C): 282,6 / 282,0 / 283,3 / 281,8 / 283,6 / 283,8 / 284,2 / 282,9,
 - Průměrná teplota ... $T_M = 283,0$ °C,
 - Výběrová směrodatná odchylka (nejistota typu A) ... $u_{AM} = 0,30$ °C,
 - Výběrová směrodatná odchylka je stanovena v souladu s EA-4/02 podle známého vzorce (T_p ... průměrná teplota, T_i ... jednotlivé odečty):

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (T_i - T_p)^2}$$

14.2 Zdroje nejistoty typu B

14.2.1 Nejistota kalibrace etalonu (u_K)

Digitální teploměr s plášťovým termočlánkem v drážce bloku byl kalibrován jako měřicí řetězec s rozšířenou nejistotou při teplotě 300 °C ... $U_K = 0,5$ °C, normální rozdělení pravděpodobnosti, koeficient rozšíření $k = 2$, standardní nejistota je tedy $u_K = 0,25$ °C.

14.2.2 Drift etalonu (u_D)

Z historie termoelektrického snímače, používaného v rozmezí teplot (0 až 600) °C výhradně pro kalibrace dotykových sond, lze určit, že maximální hodnota driftu během kalibračního intervalu je $\delta_D = 0,6$ °C, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Složka nejistoty je tedy:

$$u_D = \frac{\delta_D}{\sqrt{3}} = 0,35 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

14.2.3 Stabilita bloku (u_{SB})

Během měření kolísala teplota na měřeném povrchu v mezích max. $\pm 0,8$ °C, jak vyplývá z měřených hodnot. Změny teploty na povrchu bloku jsou zahrnuty jak v jednotlivých odečtech, tak v dalších složkách nejistot. Druhý termoelektrický snímač zavrtaný pod povrchem styčné plochy indikoval změny teploty v rozmezí $\pm 0,5$ °C, což uvažujeme jako stabilitu samotného bloku. Složka nejistoty (rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti) je tedy:

$$u_{SB} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

14.2.4 Vliv odvodu tepla (u_O)

Po ustálení teploty bez přiložené kalibrované sondy se na povrchu bloku nastavily následující poměry: teplota v drážce ... 297,3 °C; teplota pod povrchem ... 297,9 °C. Rozdíl obou teplot je tedy 0,6 °C.

Po přiložení sondy se tytéž teploty snížily na hodnoty 295,8 °C (drážka) resp. 296,9 °C (pod povrchem). Rozdíl teplot po přiložení stoupl na hodnotu 1,1 °C, zvýšil se tedy o $\delta_O = 0,5$ °C. Toto zvýšení můžeme důvodně považovat za vliv odvodu tepla způsobený přiloženou sondou. Tato složka nejistoty je výrazně závislá na typu kalibrované sondy. Zvýšení uvažujeme jako max. možnou chybu odvodu tepla s rovnoměrným rozdělením pravděpodobnosti. Složka nejistoty je tedy:

$$u_O = \frac{\delta_O}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

14.2.5 Vliv ochlazování povrchu bloku (u_P)

Rozdíl údajů obou termočlánků, který je patrný v předchozím odstavci, demonstruje skutečnost, že i v nepatrné vrstvě pod povrchem je teplota vyšší. Tento rozdíl stoupá s rostoucí teplotou a se vzdáleností od povrchu bloku (lze zjistit zavrtáním několika snímačů, které se rovnoměrně vzdalují od povrchu směrem ke středu výšky bloku). Povrchová teplota je velmi citlivá na proudění vzduchu kolem bloku (např. otevření okna nebo dveří výrazně mění ustálené teplotní pole). Rozdíl ustálené teploty v této nepatrné

povrchové vrstvě zahrneme jako max. hodnotu ochlazení o velikosti $\delta_p = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Složka nejistoty (rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti) je tedy:

$$u_p = \frac{\delta_p}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ } (^\circ\text{C})$$

14.2.6 Vliv homogenity povrchu bloku (u_H)

Homogenita prostředí hraje při měření teploty významnou roli bez ohledu na druh kalibrovaného snímače (homogenita termostatické lázně, vnitřního prostoru teplotní komory apod.). Ani při relativně malém průměru není povrchová část dotykového bloku zcela homogenní. Blok vyčnívá cca 5 mm z topného lože a jeho ochlazování po obvodu je intenzivnější. Abychom dosáhli rovnoměrnější rozložení teploty, je vyčnívající část bloku dodatečně izolována sibalovou vatou (viz obr. 6). Přesah délky bloku je vhodný z více důvodů: usnadňuje vyjmutí bloku, usnadňuje vložení etalonů do vývrtů a umožňuje optimální kontakt i u krátkých úhlových sond.

Pro měření homogenity byla použita sonda, jejíž konstrukce je podobná sondě kalibrované a u které již bylo provedeno několik kalibrací (sonda se známou historií). Na povrchu našeho bloku bylo provedeno měření v 5 bodech – v geometrickém středu bloku a ve 4 bodech po 90° v blízkosti obvodové kružnice – s následujícím výsledkem:

- Měřené teploty ($^\circ\text{C}$): 281,7 / 282,0 / 281,1 / 282,4 / 281,5
- Průměrná teplota ($^\circ\text{C}$): 281,74
- Výběrová směrodatná odchylka ($^\circ\text{C}$): 0,22 – hodnota směrodatné odchylky je použita jako složka nejistoty $u_H = 0,22 \text{ } (^\circ\text{C})$, normální rozdělení pravděpodobnosti.

14.2.7 Vliv sklonu sondy (u_N)

U sond s distančními hroty je správná poloha definována tehdy, jestliže se všechny hroty dotýkají měřené plochy. U ostatních typů sond (např. sondy s malou dotykovou ploškou) správnou polohu sondy resp. kolmost styčných ploch odhadujeme. Pro zjištění vlivu sklonu jsme sondou opisovali kružnici, která vymezuje základnu obráceného kuželu, jehož vrcholový bod tvoří dotyková ploška sondy a vrcholový úhel je cca 5° . Při pohybu sondy jsme zaznamenávali 6 hodnot teploty po obvodu základny ($^\circ\text{C}$): 278,4 / 282,6 / 280,1 / 276,7 / 278,3 / 276,5. Výběrová směrodatná odchylka průměrné hodnoty ($278,8 \text{ } ^\circ\text{C}$) činí $0,94 \text{ } ^\circ\text{C}$ – hodnota směrodatné odchylky je použita jako složka nejistoty $u_N = 0,94 \text{ } (^\circ\text{C})$, normální rozdělení pravděpodobnosti.

14.2.8 Vliv přítlaku sondy (u_S)

Při měření jsme odečetli dvě hodnoty – první z nich byla teplota zjištěná při zatížení sondy pouze vlastní hmotností (ruka jen vede kolmý směr přítlaku) ... naměřená hodnota $281,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Při měření druhé teploty jsme sondu přitlačili silou, která byla citem odhadnuta jako maximální možná vzhledem ke konstrukci sondy (lehký přítlak při dosednutých hrotech sondy) ... naměřená hodnota $283,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Rozdíl obou měření je $1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$. Správný přítlak sondy v technických dokumentech nikdy nenajdeme (někdy bývá uvedena časová konstanta sondy, ale bez upřesnění podmínek měření). Odhadneme tedy, že nesprávným přítlakem můžeme způsobit chybu, která nepřekročí 50 % naměřeného rozdílu tj. $\delta_S = 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Složka nejistoty je tedy:

$$u_s = \frac{\delta_s}{\sqrt{3}} = 0,52 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

14.2.9 Rozlišení kalibrovaného měřidla (u_{RM})

Rozlišení kalibrovaného měřidla je $1 \text{ }^\circ\text{C}$, rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Složka nejistoty je tedy:

$$u_{RM} = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0,29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

14.3 Určení rozšířené nejistoty

Celková standardní kombinovaná nejistota činí:

$$u = \sqrt{u_{AE}^2 + u_{AM}^2 + u_K^2 + u_D^2 + u_{SB}^2 + u_O^2 + u_P^2 + u_H^2 + u_N^2 + u_S^2 + u_{RM}^2} = 1,36 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Protože opakovatelnost byla stanovena ze 8 měření (počet měření < 10), homogenita z 5 měření a sklon sondy ze 6 měření, je vhodné zvážit spolehlivost stanovení standardní nejistoty dle přílohy E dokumentu EA 4/02. Pro standardní nejistotu stanovenou z n měření je počet stupňů volnosti definován $\nu_A = n - 1$. Ostatní složky nejistoty byly stanoveny z limitních chyb a jejich stupně volnosti se blíží dle přílohy E 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 tvar:

$$\nu_{eff} = \frac{u^4}{\frac{u_{AE}^4}{\nu_{AE}} + \frac{u_{AM}^4}{\nu_{AM}} + \frac{u_H^4}{\nu_H} + \frac{u_N^4}{\nu_N}} = 21,6$$

Dle tabulky E.1 dok EA-4/02 [L11] je počet ef. stupňů volnosti < 50 a koeficient rozšíření pro vypočtený počet efektivních stupňů volnosti je $k = 2,13$.

Rozšířená kombinovaná nejistota je tedy

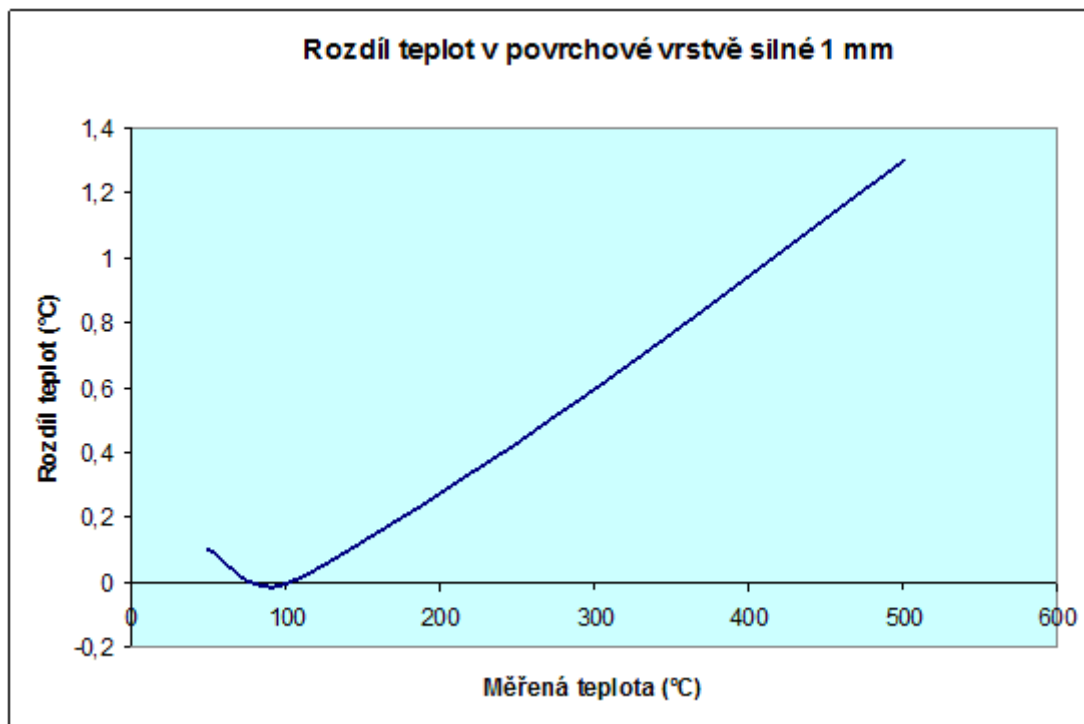
$$U = k \cdot u = 2,13 \cdot 1,36 \sim 2,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Odchylka měřidla povrchové teploty je tedy ... $- 12,8 \pm 2,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$.

PŘEHLED NEJISTOT:

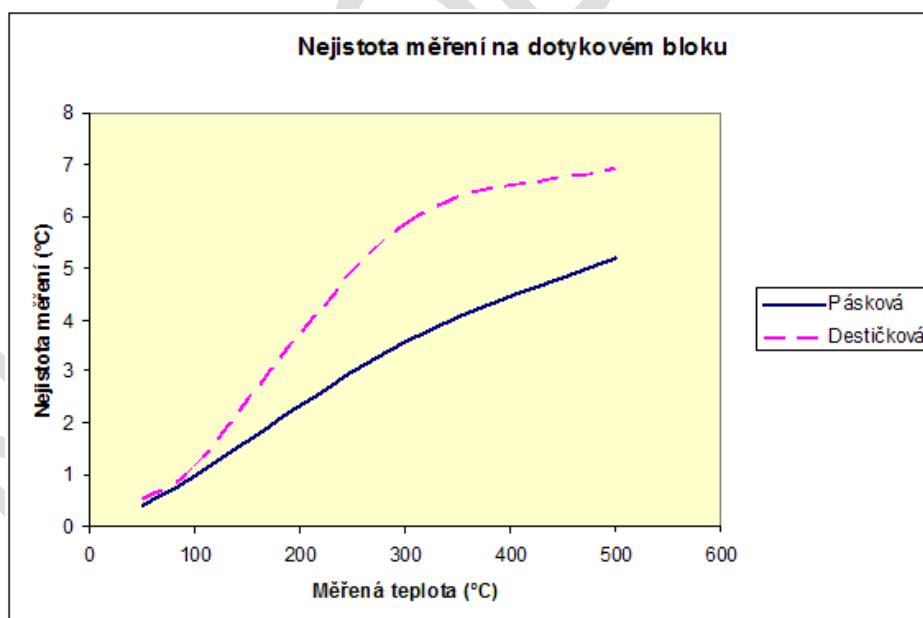
Veličina X_i	Odhad x_i	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodob- nostní rozdělení	Citlivostní koeficient c_i	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
T_M	283,0 °C	0,30 °C	Normální	1	0,30 °C
T_E	295,8 °C	0,21 °C	Normální	-1	-0,21 °C
δT_K	0,00 °C	0,25 °C	Normální	-1	-0,25 °C
δT_D	0,00 °C	0,35 °C	Rovnoměrné	-1	-0,35 °C
δT_{SB}	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δT_O	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δT_P	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δT_H	0,00 °C	0,22 °C	Normální	1	0,22 °C
δT_N	0,00 °C	0,94 °C	Normální	1	0,94 °C
δT_S	0,00 °C	0,52 °C	Rovnoměrné	1	0,52 °C
δT_{RM}	0,00 °C	0,29 °C	Rovnoměrné	1	0,29 °C
δ_m	-12,8 °C				1,36 °C

Odhad velikosti dílčích nejistot, které se týkají odvodu tepla a nedokonalého kontaktu sondy, bude vždy záviset na zkušenosti pracovníka provádějícího měření. Většinu sond pro měření povrchových teplot lze zobecnit do některé ze zobrazených variant (obr. 4 nebo obr. 5). Proto je vhodné zpracovat vlastnosti dotykových bloků pro uvedené typy sond např. ve formě typických průběhů jednotlivých vlivů, a používat je jako pomůcku pro určování nejistot při všech prováděných kalibracích. U kalibračních zřízení, jejichž konstrukce odpovídá provedení podle obr. 1, nejsme schopni zjistit gradient teploty topné destičky směrem k jejímu povrchu. Kontrolér reguluje a měří teplotu jediným snímačem v definované hloubce, možnost umístění dvou (nebo více) snímačů jako na obr. 6 zde není. Pro odhad gradientu je přiložen graf závislosti rozdílu teplot mezi povrchem bloku a otvorem v hloubce 1 mm pod povrchem u bloku dle obr. 6.



Obr. 7: Příklad rozdílu teplot povrchové vrstvy dotykového bloku

Příklad zpracování nejistoty pro oba základní typy sond je uveden na obr. 8.



Obr. 8: Příklad zpracování nejistoty měření teploty povrchové vrstvy dotykového bloku

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). Uvedené grafy jsou příkladem závislostí či vlastností jednoho konkrétního bloku a slouží jako návod pro uživatele, jehož povinností je proměřit si své zařízení obdobným způsobem.