

Kalibrácia povrchových teplomerov

Ing. Petra Virtel'ová

Metrologia Holding s.r.o.

Kalibrácia elektronických teplomerov s dotykovými snímačmi na meranie teploty povrchov pevných telies je trvalo predmetom mnohých diskusií. Pri kalibrácii sa bežne zistí, že napríklad chyba dotykového snímača pri 250 °C je ± 7 °C, hoci výrobca snímača deklaruje pri tejto teplote chybu len $\pm 2,5$ °C. Vysvetlenie tohto rozporu je jednoduché - kalibráciu vykonávame tak, aby čo najviac zodpovedala reálnemu používaniu snímačov v praxi.

Meranie teploty povrchu (obr. 1) je jedna z najnáročnejších a najdiskutabilnejších oblastí merania teploty. Povrch pevného telesa možno definovať ako rozhranie medzi pevnou látkou (teplotu jej povrchu chceme odmerať) a plynným prostredím (vzduchom). Toto rozhranie je teoreticky nekonečne tenké a pomocou povrchového teplomera meriame teplotu tohto rozhrania. V skutočnosti sa tak vždy jedná iba o zistenie odhadu teploty povrchu pri teplote plynného prostredia, ktoré je v tesnej blízkosti povrchu. **Pri meraní je ponor teplomera do daného prostredia vždy nulový a v žiadnom prípade neprichádza do úvahy kalibrácia, pri ktorej by došlo k ponoreniu sondy do akéhokoľvek média.** Tieto a ďalšie skutočnosti spôsobujú zlé opakovateľnosť a veľké neistoty merania.



Obr. 1 - Meranie teploty povrchovým teplomerom

Konštrukcie dotykových snímačov na meranie povrchovej teploty sú rôzne. Najčastejšie sa v časti snímača, ktorý sa prikladá nameraný povrch ukrýva termoelektrický snímač teploty typu K, nakoľko má malé rozmery a má veľmi malú časovú konštantu (reaguje veľmi rýchlo na zmenu teploty). Konštrukčne je to riešené tak, že merací spoj termočlánku je umiestnený v blízkosti miesta dotyku teplomera s povrchom, ktorého teplotu chceme odmerať. Merací spoj môže byť zaliaty napr. v striebornom valčeku pre lepšiu tepelnú vodivosť (obr. 2). (stenčená krátka časť stonky za valčekom slúži na minimalizovanie odvodu tepla z meraného povrchu do stonky snímača) alebo priamo privarený na stred pružného kovového pásika (obr. 3). V tomto



Obr. 2 - Povrchový teplomer so zaliatym meracím spojom

prípade je po oboch stranách spojeného termočlánku vystužovací prvok, ktorý bráni prehnutiu termočlánku. Samozrejme, ani vystužovací prvok nie je zárukou toho, aby nedošlo k jeho prehnutiu alebo roztrhnutiu (obr. 4). Okrem vystužovacieho prvku tento snímač disponuje aj radiačným krytom (štítom), ktorý chráni povrchový teplomer pred vplyvmi okolia (prúdenie vzduchu) a jeho prudkým ochladením.

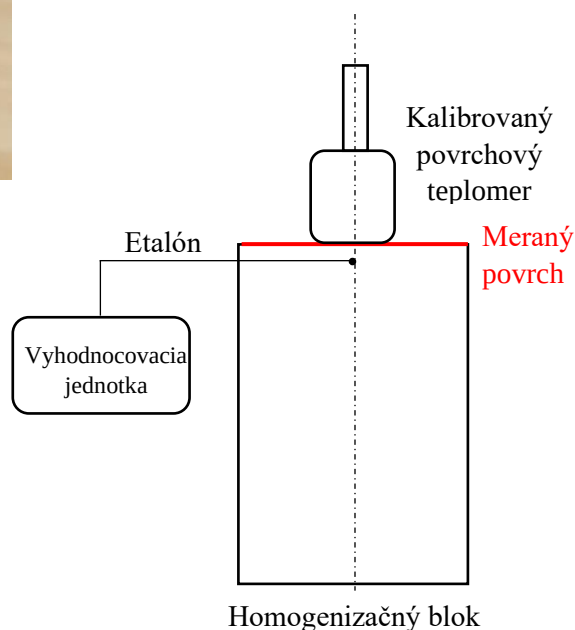


Obr. 3 - Povrchový teplomer s viditeľným meracím spojom



Obr. 4 - Poškodené povrchové teplomery

Kalibráciu povrchových teplomerov v našom kalibračnom laboratóriu Metrologia Holding vykonávame pomocou špeciálneho homogenizačného bloku, do ktorého je vložený etalónový teplomer a následne sa blok spolu s týmto etalónom vloží do kalibračnej piecky. Etalónový snímač má špičku priemeru cca 0,5 mm, ktorá je zasunutá do stredu homogenizačného bloku cca 0,5 mm pod jeho povrch. Schematický obrázok kalibrácie povrchového teplomera je na obr. 5. Pri dosiahnutí a ustabilizovaní nastavenej teploty sa pristúpi ku kalibrácii. Kalibrovaný povrchový teplomer sa priloží na povrch bloku a odčíta sa teplota etalónu a kalibrovaného meradla tak, ako sa aj v praxi tento teplomer používa. Priložením studeného kalibrovaného snímača (napr. 20 °C) na povrch bloku, ktorý je teplejší (napr. 150 °C) dochádza k preštupu tepla z bloku a rýchlemu zohrievaniu kalibrovaného snímača. Meraný povrch sa tým zároveň čiastočne ochladí. Samozrejme, výsledok merania je ovplyvnený množstvom ďalších faktorov, napr.:



Obr. 5 - Schéma kalibrácie povrchových teplomerov

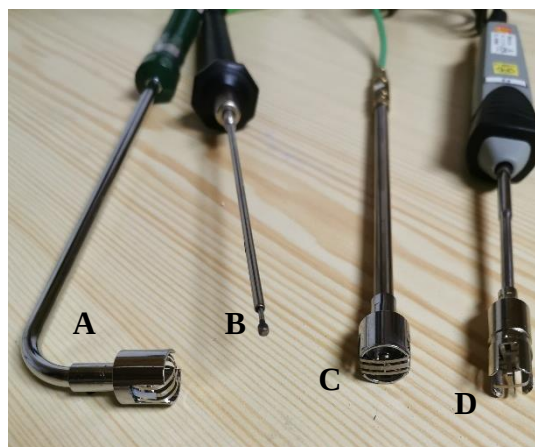
- Sila, ktorou je snímač pritlačený na meraný povrch,
- orientácia snímača voči povrchu (naklonenie spôsobí zlý kontakt povrchu snímača a meraného povrchu),
- rýchlosť a smer prúdenia okolitého vzduchu a pod.

S týmito a s množstvom ďalších vplyvov rátame, čo sa prejaví na rozšírenej neistote, ktorá je mnohonásobne väčšia, ako pri kalibrácii iných, presnejších snímačov teploty.

Pre zdokumentovanie a ilustráciu veľkých rozdielov medzi chybou a neistotou merania dotykovými snímačmi teploty pri ich kalibrácii na povrchu homogenizačného bloku a na druhej strane chybou a neistotou merania pri kalibrácii ponorným spôsobom v suchej piecke, termostate či klimatickej komore, sme vykonali niekoľko experimentov.

Cieľom testovania rôznych typov povrchových teplomerov bolo ukázať, aký veľký je rozdiel medzi kalibráciou povrchového teplomera na povrchu a pri ponore v piecke. Pre testovanie boli vybrané 4 typy povrchových teplomerov (obr. 6):

- Povrchový teplomer T07 (KingTill) s vyhodnocovacou jednotkou Almemo 710 (Ahlborn), merací rozsah teplomera: $(-50 \div 500) ^\circ\text{C}$
- Povrchový teplomer T 120-2 (Ahlborn) s vyhodnocovacou jednotkou Almemo 710 (Ahlborn), merací rozsah teplomera: $(-40 \div 400) ^\circ\text{C}$
- Povrchový teplomer FTA109P (Ahlborn) s vyhodnocovacou jednotkou Almemo 710 (Ahlborn), merací rozsah teplomera: $(-50 \div 500) ^\circ\text{C}$
- Povrchový teplomer 0602 0394 (Testo) s vyhodnocovacou jednotkou Testo 925, merací rozsah teplomera: $(-50 \div 350) ^\circ\text{C}$



Obr. 6 - Testované povrchové teplomery

Obe vyhodnocovacie jednotky (Almemo 710, Testo 925) počítajú teplotu z meraného termoelektrického napätia podľa normy STN EN 60584-1 Termočlánky – Časť 1: Špecifikácie a tolerancie elektromotorických napätí (EMF), a teda vplyv vyhodnocovacej jednotky je zanedbateľný. Rozlíšenie kalibrovaných teplomerov bolo $0,1 ^\circ\text{C}$, pri povrchovom teplomere 0602 0394 (Testo) bolo rozlíšenie nad $200 ^\circ\text{C}$ len $1 ^\circ\text{C}$.

Kalibrácia bola vykonaná v kalibračnom laboratóriu Metrologia Holding v piatich kalibračných bodoch ($50, 100, 150, 200, 250 ^\circ\text{C}$), podľa pracovného postupu RPK-702-T01. Najskôr sa vykonala štandardná kalibrácia pre povrchové teplomery, ako je opísaná vyššie (obr. 5). Výsledky tejto kalibrácie pre jednotlivé teplomery sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Výsledky kalibrácie na povrchu

Údaj kalibrovaného teplomera pri kalibrácii na povrchu					
Meraná teplota	50,0	100,0	150,0	200,0	250,0
A	46,4	95,8	145,1	194,5	243,8
B	48,3	97,4	146,4	195,5	244,5
C	49,9	99,5	149,0	198,6	248,2
D	48,4	97,0	145,5	194,0	243

Následne sa vykonalo meranie s jednotlivými sondami tak, že sa ponorili do kalibračnej piecky. Výsledky z tohto merania pre jednotlivé teplomery sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Výsledky kalibrácie pri plnom ponore v piecke

Údaj kalibrovaného teplomera pri kalibrácii pri plnom ponore					
Meraná teplota	50,0	100,0	150,0	200,0	250,0
A	49,4	99,7	149,9	200,2	250,5
B	50,7	100,7	150,8	200,8	250,8
C	50,4	100,3	150,2	200,0	249,9
D	50,1	100,2	150,2	200,2	250

Už na prvý pohľad je jasné, že ak teplomer kalibrujeme na povrchu, odchýlka je omnoho väčšia ako udávajú výrobcovia povrchových teplomerov. Pre lepšiu ilustráciu je vytvorená tabuľka 3.

Tabuľka 3 Chyby kalibrovaných meradiel pri kalibrácii na povrchu

Chyby kalibrovaných meradiel pri kalibrácii na povrchu						
Meraná teplota	50,0	100,0	150,0	200,0	250,0	Chyba deklarovaná výrobcom
A	-3,6	-4,2	-4,9	-5,5	-6,2	$\pm 2,5\text{ °C}$
B	-1,7	-2,6	-3,6	-4,5	-5,5	$\pm 2,5\text{ °C}$
C	-0,1	-0,5	-1,0	-1,4	-1,8	$\pm 2,5\text{ °C}$
D	-1,6	-3,0	-4,5	-6,0	-7	$\pm (0,5\text{ °C} + 0,3\text{ \% z mv})$

Z tabuľky vidíme, že už chyba teplomera A pri 50 °C presahuje chybu, ktorú deklaruje výrobca v celom meracom rozsahu teplomera. V prípade teplomera D výrobca deklaruje pre teplotu 250 °C chybu $\pm 1\text{ °C}$, ale pri kalibrácii sa zistila chyba až -7 °C. Vysvetlenie, prečo je tomu tak, môže byť rôzne. Buď výrobcovia používajú chybu pre použitý termočlánok na základe normy STN EN 60584-1 Termočlánky – Časť 1: Špecifikácie a tolerancie elektromotorických napätí (EMF), pre termočlánok typu K a triedy 2, kde platí chyba $\pm 2,5\text{ °C}$ alebo v horšom prípade udávajú chybu, akú by mal termočlánok, ak by sa kalibroval pri ponore v piecke / komore.

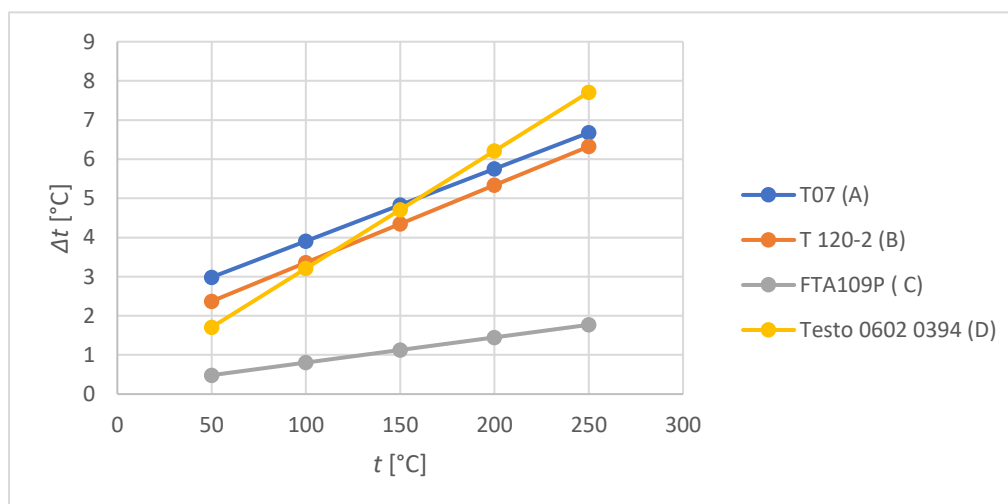
V tabuľke 4 sú chyby kalibrovaných meradiel pri kalibrácii pri plnom ponore.

Tabuľka 4 Chyby kalibrovaných meradiel pri kalibrácii pri plnom ponore

Chyby kalibrovaných meradiel pri kalibrácii pri plnom ponore						
Meraná teplota	50,0	100,0	150,0	200,0	250,0	Chyba deklarovaná výrobcom
A	-0,6	-0,3	-0,1	0,2	0,5	$\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
B	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	$\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
C	0,4	0,3	0,2	0,0	-0,1	$\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
D	0,1	0,2	0,2	0,2	0	$\pm (0,5\text{ }^{\circ}\text{C} + 0,3\text{ \% z mv})$

*mv – meraná hodnota teploty

Z výsledkov je jasný rozdiel chyby Δt medzi kalibráciou na povrchu a kalibráciou pri ponorení. To, aký je to veľký rozdiel možno vidieť na grafe 1:



Graf 1 Rozdiel medzi kalibráciou v piecke a kalibráciou na povrchu

Na základe experimentálneho merania sa jednoznačne preukázalo, že je veľký rozdiel, či sa kalibruje na povrchu alebo pri ponore. Pri meraní dotykovým teplomerom na povrchu je bežné, že chyba je násobne väčšia ako pri meraní pri ponore, čo si treba uvedomiť a akceptovať aj pri povrchovým meraniach v praxi. V laboratóriu sa chceme čo najviac priblížiť kalibráciou dotykových teplomerov tomu, akým spôsobom sa používajú pri meraní, a preto ich výhradne kalibrujeme na povrchu. Veľakrát sa nás pýtate, či teplomer, ktorý pri teplote $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ vykazuje chybu $\pm 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ je „dobrý“ alebo „zlý“. Na túto otázku nemôžeme odpovedať (na základe dodržiavania normy STN EN 17 025 Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií, ktorou sa naše kalibračné laboratórium riadi), pokiaľ nám nedáte špecifikáciu na maximálnu dovolenú chybu, ktorú ste si stanovili podľa Vášho interného predpisu, normy alebo iných dokumentov. Výsledok kalibrácie (súčet absolútnej hodnoty chyby a neistoty) môže slúžiť ako pomôcka pre tvorbu takýchto interných predpisov.