

# Neistoty merania teploty okolia

Zora Mlýnková

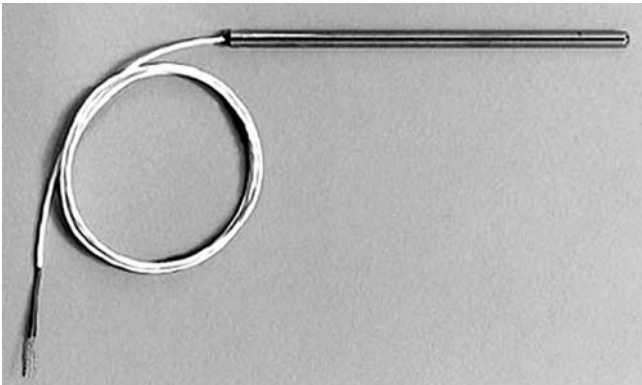
## Úvod

Výsledky meraní sú často základným oporným bodom pri našom rozhodovaní, a teda ovplyvňujú reťazovo aj javy, ktoré s nimi zdanlivo nesúvisia. Tento príspevok rozoberá problematiku neistôt merania, ich význam a zároveň chce poukázať na nevyhnutnosť ich akceptovania vo výsledkoch technických meraní.

Ak chceme vyjadriť výsledok merania fyzikálnej veličiny, treba, aby niektoré kvantitatívne indikácie kvality výsledkov boli udané tak, aby bola prípustná miera ich spoľahlivosti. Bez príslušnej neistoty výsledok merania nemožno porovnať s ďalším výsledkom merania alebo s referenčnými hodnotami danými v špecifikáciách alebo štandardoch. A to je dôvod, prečo je potrebný všeobecne akceptovaný proces určovania výsledku merania a stanovenia jeho neistoty [2], [4].

## Meranie teploty okolia odporovým snímačom

Meranie teploty v priemysle je najčastejšie realizovaným meraním. Na to sa používa široké spektrum snímačov, ktoré menia veličinu na svojom výstupe (el. odpor, objem, dĺžku atď.) v závislosti od meranej teploty. Podľa konkrétnej aplikácie sa volí



Obr.1 Odporový snímač teploty s prírodnými vodičmi

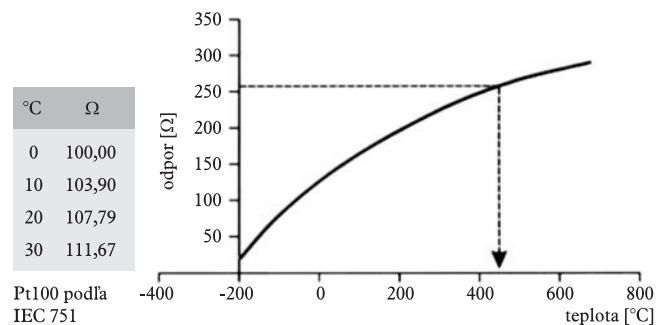


Obr.2 Priemyselný odporový snímač teploty s hliníkovou hlavicou

vhodný druh snímača. Na priemyselné účely sa najčastejšie používajú odporové snímače teploty. Na väčšinu odporových snímačov teploty sa používajú čisté kovy (platina, nikel, meď) alebo polovodiče. Výhodné vlastnosti platiny (pomerné veľký, časovo stály teplotný koeficient) umožňujú ich používanie na metrologické účely rozsahu od -190 do +630 °C.

Odporové snímače teploty sa používajú na široké spektrum aplikácií a podľa toho sa volí aj konkrétny druh snímača. Na trhu sú k dispozícii v základných verziách s prírodnými vodičmi (obr. 1). Na priemyselné aplikácie, a to najmä v chemicky agresívnom prostredí, možno používať sondy s puzdrom a hliníkovou hlavicou (obr. 2). Používajú sa aj špeciálne upravené nalepovacie, poteflované a iné sondy s odporovým snímačom teploty.

Odporový snímač teploty je z fyzikálneho hľadiska prevodníkom veličín teplota – elektrický odpor. Využíva sa teda závislosť zmeny elektrického odporu a  $k$  nej sa pomocou známej závislosti (vyjadrenej tabuľkou v príslušnej norme STN 28 8306 a IEC751) priradí hodnota meranej teploty. Podľa toho, ako meriame hodnotu elektrického odporu snímača, môžeme hovoriť o jeho priamom alebo nepriamom meraní. Na určenie príslušnej teploty, ktorá zodpovedá nameranému elektrickému odporu snímača, je prevodová tabuľka daná normou IEC 751. Tieto hodnoty možno zobraziť grafickou závislosťou (obr. 3).



Obr.3 Závislosť elektrického odporu snímača teploty Pt100 podľa IEC 751 [8]

Hodnoty, ktoré udáva [7] sú zobrazené na obr. 1, pričom je z nich evidentné, že túto závislosť možno aproximovať polynómom. Pri určovaní výsledku merania teploty sa používa spomínaná tabuľka, ktorá obsahuje len konečný počet hodnôt elektrického odporu a jemu prislúchajúcu hodnotu teploty. Je veľká pravdepodobnosť, že meraná hodnota teploty nebude uvedená v spomínanej tabuľke. V tom prípade možno hľadanú hodnotu teploty určiť lineárnou interpoláciou.

Teplota okolia sa teda určí na základe modelu:

$$T_{OKOLIA} = T_1 + x \quad (1)$$

kde  $T_1$  je teplota určená z tabuľky v [4], [7] ako najbližšia teplota prislúchajúca nameranej hodnote elektrického odporu snímača  $R_S$ ,  
 $x$  – interpolačný (teplotný) prírastok určený lineárnou interpoláciou podľa údajov v tabuľke v [4], [7].

Interpolačný (teplotný) prírastok je funkciou

$$x = f(R_S, R_1, k_{RT})$$
$$x = \frac{R_S - R_1}{k_{RT}} \quad (2)$$

kde  $k_{RT}$  je prevodový koeficient, totožný so smernicou priamky vedenej bodmi so súradnicami diskretných hodnôt teplôt a príslušných hodnôt elektrického odporu snímača teploty.

$$k_{RT} = f(R_1, R_2, T_1, T_2)$$
$$k_{RT} = \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

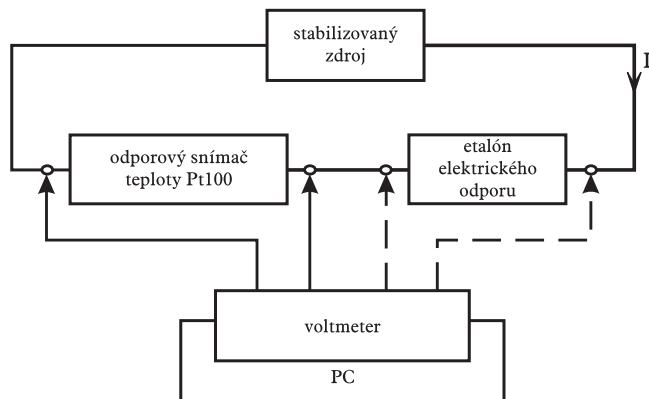
$R_S$  – elektrický odpor snímača teploty,  
 $R_1, R_2$  – tabuľkové hodnoty elektrických odporov snímača v [7], medzi ktorými sa nachádza vypočítaná hodnota  $R_S$ ,

$T_1, T_2$  – tabuľkové hodnoty teplôt prislúchajúce v [7] hodnotám elektrických odporov snímača  $R_1$  a  $R_2$ .

## Určenie teploty okolia meraním elektrického odporu snímača

Model meracieho reťazca (obr. 4) tvoria:

- odporový snímač Pt100 pre rozsah teplôt 0 – 600 °C; maximálna nepresnosť použitého snímača  $U_S = -0,2 \Omega$ ,
- voltmeter s PC; maximálna nepresnosť pre celý rozsah 0,000004 V,
- etalón elektrického odporu s menovitou hodnotou  $R_E = 10 \Omega$ , ktorého maximálna nepresnosť je  $U_{RE} = -0,01 \Omega$ ,
- zdroj elektrického napätia so stabilizáciou elektrického prúdu.



Obr.4 Schéma nepriameho merania elektrického odporu snímača Pt100

Odporový snímač teploty je zapojený v sérii s etalónom elektrického odporu. Pri meraní prechádza cez tieto prvky konštantný elektrický prúd s hodnotou 1 mA. Princíp merania spočíva v súčasnom meraní úbytku elektrického napätia na odporovom snímači teploty a úbytku elektrického napätia na etalóne elektrického odporu. Voltmeter s PC je realizovaný tak, že na meranie sa využíva osobný počítač so štandardným rozhraním RS232 a prípravok umožňujúci súčasné štvorkanálové meranie elektrického napätia. Prípravok je zložený z výučbovej stavebnice a využíva štyri komparátory elektrického napätia, RC člen a zdroj referenčného napätia.

Program na obsluhu merania sa pri zapnutí automaticky nastaví na nulu a v priebehu merania realizuje linearizáciu nameraných údajov a ich vizualizáciu.

Na určenie elektrického odporu snímača Pt100 použijeme vzťah, ktorý vyjadruje pomocou Ohmovho zákona:

$$V_S = R_S \cdot I \quad (4)$$

$$V_E = R_E \cdot I \quad (5)$$

Po úprave môžeme napísať:

$$R_S = \frac{V_S}{V_E} \cdot R_E \quad (6)$$

kde  $V_S$  je úbytok elektrického napätia na snímači Pt100,

$V_E$  – úbytok elektrického napätia na etalóne elektrického odporu,

$R_E$  – elektrický odpor etalónu,

$R_S$  – elektrický odpor snímača Pt100.

Rovnice (3) – (6) tvoria matematický model merania teploty okolia odporovým snímačom teploty Pt100.

Z uvedeného je zrejmé, že ide o nepriame meranie teploty na základe zmeny elektrického odporu snímača, resp. úbytku elektrického napätia na snímači teploty.

## Spracované namerané hodnoty opakovaných meraní

Vykonalo sa 10 meraní úbytku napätia na etalóne elektrického odporu a na odporovom snímači teploty Pt100, z ktorých odhady veličín sú:

$$\bar{V}_E = 11,1844 \text{ mV} \quad \bar{V}_S = 122,45 \text{ mV}$$

Ich smerodajné odchýlky sú:

$$S_{\bar{V}_E} = 0,0000045 \text{ V} \quad S_{\bar{V}_S} = 0,000072 \text{ V}$$

Odhad veličiny  $R_S$  podľa (6) je

$$\bar{R}_S = 109,48 \Omega$$

Dosadením odhadov hodnôt do vzťahov (1) – (6) sme ich vyčíslením dostali hodnotu teploty okolia:

$$T_{OKOLIA} = 24,33 \text{ °C}$$

Keďže výpočet neistôt merania je neoddeliteľnou časťou spracovania a vyhodnotenia nameraných údajov, v ďalšej časti sa bude venovať ich určeniu.

## Určenie neistoty merania okolia

Neistota určenia teploty okolia bude závisieť od neistoty jednotlivých členov meracieho reťazca a neistoty prevodového koeficienta.

Kombinované štandardné neistoty pri meraní napätia:

$$u_{CVS} = \sqrt{u_{AVS}^2 + u_{BVS}^2} = 0,000027 \text{ V} \quad (7)$$

$$u_{CVE} = \sqrt{u_{AVE}^2 + u_{BVE}^2} = 0,0000051 \text{ V} \quad (8)$$

Ako sme už uviedli, veličinu  $R_S$  sme získali nepriamym meraním, teda jej neistota je funkciou neistôt veličín, ktorých je funkciou a neistotou samotného snímača.

$$u_{RS} = f(u_{CVS}, u_{CVE}, u_{BE}) \quad (9)$$

Uplatnením zákona šírenia neistôt pre nepriamo merané veličiny bez zohľadnenia ich vzájomnej korelovanosti môžeme napísať:

$$u_{RS} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u_i^2} \quad (10)$$

kde  $A_i$  sú citlivostné koeficienty jednotlivých veličín,

$u_i$  sú príslušné neistoty priamo meraných veličín.

Neistota určenia hodnoty odporu snímača Pt100 je:

$$u_{RS} = 0,0844 \Omega \quad (11)$$

Ako je zrejmé z uvedeného modelu merania, neistota určenia teploty okolia bude závisieť aj od neistoty prevodového koeficienta a neistoty interpolačného (teplotného) prírastku (vzťah 2, 3).

$$u_{k_{RT}} = f(u_{BR1}, u_{BR2}, u_{BT1}, u_{BT2}) \quad (12)$$

Takže neistota prevodového koeficienta  $k_{RT}$  má hodnotu:

$$u_{k_{RT}} = 0,00682 \Omega / \text{°C}$$

Podobne neistota  $u_x$  interpolačného (teplotného) prírastku bude (vzťah 2, 3):

$$u_x = f(u_{RS}, u_{R1}, u_{k_{RT}}) \quad (13)$$

Po vyčíslení je:

$$u_x = 0,247 \text{ °C}$$

zdroj neistoty	označenie neistoty	hodnota neistoty
etalón elektrického odporu	$u_{BE}$	0,0058 $\Omega$
voltmeter, PC	$u_{AVS}$	0,000027 V
	$u_{AVE}$	0,0000045 V
	$u_{BVS}$	0,000003 V
	$u_{BVE}$	0,000003 V
prevodový koeficient	$u_{Bk_{RT}}$	0,0068 $\Omega / \text{°C}$
tabulkové hodnoty Pt100 $R_1, R_2$	$u_{BR1}, u_{BR2}$	0,0346 $\Omega$
tabulkové hodnoty Pt100 $T_1, T_2$	$u_{BT1}, u_{BT2}$	0,0866 $\text{°C}$

Tab.1 Tabuľka neistôt pri meraní teploty okolia



Výsledná neistota určenia teploty okolia pomocou odporového snímača Pt100 bude na základe uvedeného matematického modelu merania závisieť:

$$u_{T_{OKOLIA}} = f(u_x, u_{BT1}) \quad (14)$$

Po vyčíslení jej hodnota bude:

$$u_{T_{OKOLIA}} = 0,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Rozšírená neistota určenia teploty okolia odporovým snímačom teploty Pt100 je

$$U_{T_{OKOLIA}} = k \cdot u_{T_{OKOLIA}} = 0,589 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (15)$$

pričom koeficient rozšírenia  $k$  pri aproximácii rovnomerným rozdelením je:

$$k = \sqrt{3}$$

Výsledok merania teploty okolia pri nepriamom meraní aj s uvedením príslušnej rozšírenej neistoty je:

$$T_{OKOLIA} = (24,3 \pm 0,6) \text{ } ^\circ\text{C}$$

## Záver

Pri každom meraní sa vyžaduje určitá úroveň jeho presnosti, je teda nevyhnutné zistenie, akú neistotu bude mať výsledok merania a či táto neistota vyhovuje vyžadovanej úrovni presnosti. Na druhej strane vyžadovaná presnosť merania musí byť vždy účelovo zdôvodnená [6].

Meranie teploty okolia sa realizovalo voltmetrom s výstupom na počítač. Ak by sme grafickú závislosť elektrického odporu a teploty (obr. 1) aproximovali polynómom, možno celý výpočet vložiť do vyhodnocovacieho algoritmu programu počítača, čím sa zjednoduší celé meranie a bude možný aj automatický záznam meranej teploty okolia. Na základe výsledkov tohto merania môže počítač súčasne realizovať riadenie ďalších systémov [7], [8].

## Literatúra

[1] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.

[2] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

[3] ŠIMŠÍK, D., GMITERKO, A.: Bezdotykový merací systém. Zborník z konferencie katedier merania, Ostrava, 1989.

[4] ŠIMŠÍK, D., GMITERKO, A.: Bezdotykový merací systém. Zborník z konferencie katedier merania, Ostrava, 1989.

[5] MLÝNKOVÁ, Z., MAŤAŠOVSKÁ, T.: Neistoty výsledkov technických meraní. Acta Avionica, 3/2001, s. 111 – 113.

[6] SLOSARČÍK, S., GMITERKO, A.: Jednotka pre snímánie teploty v číslicovom regulačnom obvode. 11. Celostátní konferencie o elektronické mēřící technice ELMEKO 86. DT ČSVTS, Brno, 1986, s. 132 – 135.

[7] GMITERKO, A., DOVICA, M., GÓTS, I., KELEMEN, M., CAPÁK, M.: Zobrazenie vlastností mechatronického systému na etape jeho koncipovania. International symposium Mechatronika 99, Vrátna 1. – 3. 6. 1999, s. 43 – 48, ISBN 80-227-1258-2.

[8] GMITERKO, A., GMITERKO, I., SOLANKA, J.: Číslicový teplomer pre meranie povrchových teplôt kontaktnou metódou. Zborník prednášok zo 4. seminárneho školenia katedier mechaniky tekutín a termomechaniky. Pobočka ČSVTS pri Sjf Košice, 1984, s. 131 – 136.

[9] MOLNÁR, V., GMITERKO, A.: Základy technickej kybernetiky. Laboratórne cvičenia. Elfa, s. r. o., Košice 1994.

[10] GMITERKO, A., MOLNÁR, V.: Vybrané kapitoly zo základov technickej kybernetiky. Elfa, s. r. o., Košice, 1995.

**Ing. Zora Mlýnková**

**Technická Univerzita v Košiciach**

**Strojnícka fakulta**

**Katedra prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva**

**Letná 9, 042 00 Košice**

**e-mail: zora.mlynkova@tuke.sk**