

# Bezdotykové meranie teploty – IR teplomery testo 830 (1)

Dušan Kisel

Je známe, že všetky telesá emitujú elektromagnetické vlny alebo žiarenie v závislosti od ich teploty. Počas rozptylu žiarenia sa prenáša energia, ktorá umožňuje bezdotykovu meranie teploty s využitím radiácie.

Energia žiarenia a jej charakteristické vlnové dĺžky primárne závisia od teploty žiariaceho telesa.

Svetlo je elektromagnetické vlnenie, ktoré sa šíri priamočiarko rýchlosťou svetla. Viditeľné svetlo je len viditeľná časť elektromagnetického žiarenia, ktorá sa nazýva viditeľné (VIS) a zahŕňa vlnové dĺžky od 380 nm (fialová) až po 750 nm (červená). Táto oblasť je definovaná citlivosťou ľudského oka.

Na bezdotykové meranie teploty sa využíva dlhovlnné žiarenie, tzv. infračervené svetlo. Poznáme tzv. blízke infračervené svetlo (Near IR), charakterizované vlnovými dĺžkami 750 nm až 2,5  $\mu\text{m}$ , nasleduje stredné infračervené pásmo (Middle IR alebo jednoducho IR) s rozsahom od 2,5  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$  a vzdialené infračervené pásmo (Far IR) zahŕňajúce žiarenie s vlnovými dĺžkami od 25  $\mu\text{m}$  do asi 3 mm.

Na správne meranie pomocou IR žiarenia sa využívajú tzv. atmosférické okná, charakterizované nulovou alebo veľmi malou absorpciou alebo emisiou elektromagnetického žiarenia vzduchom medzi meraným telesom a meracím prístrojom.

Na merania v rozsahu nízkych a stredných teplôt (kde sa ponúka aj merací prístroj testo) sa využíva rozsah vlnových dĺžok od 8 do 14  $\mu\text{m}$ . Ide o tzv. pásmové pyrometre alebo fotoelektrické pyrometre, ktoré využívajú pevnú šírku vlnových dĺžok vysielaného žiarenia. Pri teplote nad 1000  $^{\circ}\text{C}$  sa využíva spektrálne okno 2 – 2,5  $\mu\text{m}$  (tzv. druhé atmosférické okno) alebo 3,5 – 4,2  $\mu\text{m}$  (tzv. tretie atmosférické okno).

Každé teleso s teplotou vyššou, ako je absolútna nula (0 K = -273,15  $^{\circ}\text{C}$ ), vyžaruje elektromagnetické žiarenie. Žiarenie telesa dopadajúce na meraciu hlavu meracieho prístroja pozostáva z emisie vlastného meraného telesa a externého žiarenia vplyvom odrazu – reflexie a prechodu cez teleso – transparentie. Súčet celkového žiarenia sa označuje ako 100 % alebo 1.

A je stupeň pohltivosti, absorpcie; vyjadruje schopnosť telesa pohlcovať dopadajúce elektromagnetické žiarenie na teleso. Rovnako platí, že stupeň pohltivosti A je rovný stupňu emisivity telesa, pre ktorú sa používa koeficient sálenia alebo stupeň čiernosti telesa  $\epsilon$ . Teda  $A = \epsilon$ .



Obr.1 Princíp merania pomocou IR teplomera

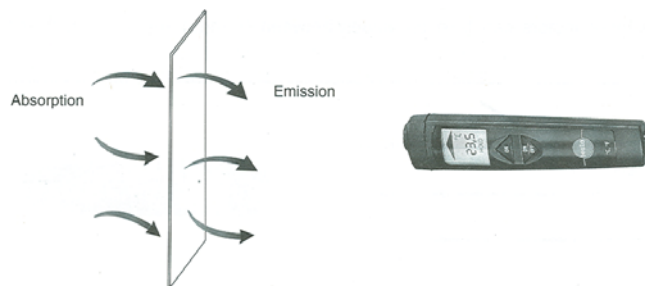
R – je stupeň odrazivosti (reflexie); vyjadruje schopnosť telesa odrážať elektromagnetické žiarenie. Stupeň reflexie závisí od kvality povrchu a typu materiálu.

T – je stupeň priepustnosti (transmisie) – vyjadruje schopnosť prepúšťať elektromagnetické žiarenie, závisí od hrúbky a typu materiálu.

Tieto tri faktory môžu dosahovať hodnotu 0 až 1 (teda 0 až 100 %). Platí, že  $A + R + T = 1$ .

Pre merané teleso možno podľa uvedených faktorov definovať tri prípady:

1.  $A = 1, R = 0, T = 0$  – v tomto prípade ide o dokonale čierne teleso (obr. 2). Meraný objekt absorbuje všetku energiu (tzv. absorpcia) a premieňa ju na vlastné žiarenie (tzv. emisia). Emisivita čierneho telesa  $\epsilon = 1$ .
2.  $A = 0, R = 1, T = 0$  – v tomto prípade ide o dokonale biele teleso. Meraný objekt odráža všetku energiu (ideálna odrazivosť) a nič nepohlcuje.
3.  $A = 0, R = 0, T = 1$  – v tomto prípade ide o dokonale priepustné teleso. Meraný objekt prepúšťa všetko žiarenie dopadajúce naň.

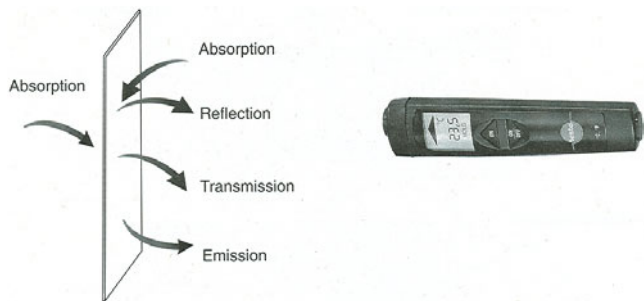


Obr.2 Absolútne čierne teleso

Pre IR bezdotykové meranie je definícia čierneho telesa mimoriadne dôležitá. Reálne sa však teleso nikdy nechová ako úplne čierne, nakoľko sa vyznačuje aj odrazom dopadajúcej energie (tzv. reflexiou) od telesa a priepustnosťou dopadajúcej energie (tzv. transparentnosťou) cez teleso. Telesá sa označujú aj ako sivé telesá. Majú mnohé vlastnosti ako čierne telesá, len intenzita ich žiarenia je nižšia. To je spôsobené nižšou hodnotou emisivity. Emisivita sivého telesa je  $\epsilon < 1$ .

Aby sme dosiahli spoľahlivé bezdotykové meranie teploty, je nevyhnutné identifikovať emisivitu, odrazivosť a transparentnosť telesa, a tak eliminovať ich vplyv na meranie.

To možno realizovať napr. pomocou referenčného merania s kontaktným teplomerom alebo zámernou zmenou kvality vyžarovaného povrchu telesa, napr. nanosením farebného náteru alebo nalepením špeciálnej pásky alebo papierovej či plastovej nálepky s presne definovanou emisivitou. Takto zmeriame povrchovú tep-



Obr.3 Sivé teleso

lotu meraného povrchu so známou emisivitou (nálepka, farba, páska ap.) a na IR pyrometri si nastavíme emisivitu neznámeho povrchu (vedľa nálepky) tak, aby boli merané teploty rovnaké.

Okrem pojmu čierne a sivé teleso poznáme aj pojem farebné teleso. Farebné telesá sú materiály, ktorých emisivita závisí od teploty povrchu, a teda od vlnovej dĺžky meraného žiarenia. Zmenená to, že takéto teleso má inú emisivitu (monochromatickú emisivitu  $\epsilon_\lambda$ ) pre teploty napr. 200 °C, 600 °C.

Platí to pre väčšinu kovových materiálov. V tomto prípade treba určiť emisivitu  $\epsilon_\lambda$  pre správnu meranú teplotu.

### Emisivita čiernych kovov

Kovy majú v rozsahu vlnových dĺžok 8 – 14  $\mu\text{m}$  (rozsah aj meracích prístrojov testo) nízku hodnotu emisivity, a preto je náročné presne merať ich teplotu. Presné meranie možno realizovať len použitím pomocného náteru s definovanou emisivitou, napr. farby, olejového filmu alebo nalepovacej pásky (napr. testo 0554.0051) na povrchu meraného objektu alebo meraním pomocou kontaktného teplomera.

### Oxidované kovy

Nevyznačujú sa konštantnými vlastnosťami; ich emisivita sa pohybuje v rozmedzí 0,3 až 0,9 a závisí od vlnovej dĺžky. Na presné meranie teploty povrchu treba určiť monochromatickú emisivitu

pomocou kontaktného teplomera alebo aplikovaním náteru s definovanou emisivitou.

Približný vzťah pre monochromatickú emisivitu kovov je:

$$\epsilon_\lambda \approx K \sqrt{\frac{\rho}{\lambda}}$$

kde konštanta  $K = 0,365 (\Omega^{1/2})$ ,

$\rho$  je merný odpor materiálu ( $\Omega\text{-cm}$ ),

$\lambda$  – vlnová dĺžka (cm).

Vzťah platí pre vlnové dĺžky  $\lambda > 2 \mu\text{m}$ .

### Lesklé nekovové/tmavé nekovové materiály/plasty/potraviny

Papier, keramika, sadra, drevo, guma, tmavé drevo, kameň, tmavé farby a nátery atď. majú emisivitu asi 0,95 pri vlnových dĺžkach nad 8  $\mu\text{m}$ .

Pri väčšine organických materiálov (napr. potraviny) má emisivita približnú hodnotu 0,95, preto je táto hodnota vložaná ako štandardná v menu prístroja, aby sa zamedzilo chybám merania nesprávnym nastavením emisivity (testo IR pyrometre série testo 826 pre potravinársky priemysel).

*Pokračovanie v budúcom čísle.*

# K TEST

**K – TEST, s. r. o.**

**Letná 40**

**042 60 Košice**

**Tel./fax: 055/625 36 33, 625 51 50**

**e-mail: ktest@kbc.sk**

**http://www.ktest.sk**

30



# Bezdotykové meranie teploty – IR teplomery testo 830 (2)

Dušan Kiseľ

## Účinok farby na výsledky merania

Svetlé a tmavé nekovové povrchy sa silne líšia svojou emisívnou závislou od vlnovej dĺžky – monochromatickou emisívnou. Nie je však dôvod robiť rozdiely, či je farba čierna, modrá, červená, zelená alebo biela. Svetlo nafarbený radiátor s teplotou od +40 do +70 °C vyžaruje rovnako ako tmavo nafarbený radiátor, keďže ich energia je vyžarovaná najmä vlnovými dĺžkami > 6 µm (okrem VIS).

Nekovové materiály, plasty, guma atď. vyžarujú pri ich procesných teplotách od +50 do +300 °C s vlnovými dĺžkami nad > 5 µm (kde je ich emisivita veľmi vysoká).

Podobná situácia nastáva pri kovoch, ako sú zliatiny, ktorých procesná teplota je nad +650 °C. To znamená, že vyžarujú na kratších vlnových dĺžkach, kde je ich emisivita najväčšia.

## Účinok emisivity na výsledok merania

Čím väčší je rozdiel medzi teplotou meraného telesa a teplotou okolia a čím nižšiu emisívnosť má teleso, tým väčšie chyby merania vznikajú pri nesprávne nastavenej emisívite prístroja!

## Chyby spôsobené okolitým prostredím

Keďže ide o bezdotykové meranie, okrem vlastnosti meraného telesa vplyva na meranie aj prostredie medzi telesom a meracím prístrojom. Najväčší vplyv na meranie majú prachové častice, vlhkosť (dážď), para, plyny.

materiál	teplota	emisivita
hliník (leštený)	170 °C	0,04
bavlna	20 °C	0,77
betón	25 °C	0,93
ľad (lesklý)	0 °C	0,97
železo (korodované)	20 °C	0,24
železo (odlievané)	100 °C	0,80
železo (valcované)	20 °C	0,77
sadza	20 °C	0,90
sklo	90 °C	0,94
guma (tvrdá)	23 °C	0,94
guma (mäkká)	23 °C	0,89
drevo	70 °C	0,94
korok	20 °C	0,70
chladič (eloxovaný)	50 °C	0,98
meď (lesklá)	20 °C	0,04
meď (oxidovaná)	130 °C	0,76
plasty (PE, PP, PVC)	20 °C	0,94
mosadz (oxidovaná)	200 °C	0,61
papier	20 °C	0,97
porcelán	20 °C	0,92
tmavý náter (matný)	80 °C	0,97
oceľ (tepelné upravený povrch)	200 °C	0,52
oceľ (oxidovaná)	200 °C	0,79
hlina (vypálená)	70 °C	0,91
časti transformátora	70 °C	0,94
tehly, malta, omietka	20 °C	0,93

Tab.1 Emisivity vybraných materiálov

Ďalším zdrojom nepresného merania môže byť čistota optiky. Optiku meracieho prístroja treba udržiavať čistú, nezaprášenú a napr. zarosenú.

Pri bezdotykovom meraní teploty treba dbať aj na kvalitu meraného povrchu, t. j. na čistotu, pretože prach, námraza, ľad, rôzne nečistoty sú povrchové vrstvy, na ktorých sa meria teplota. Na správne meranie treba povrch meraného telesa očistiť!

Ďalším dôležitým faktorom správneho merania pomocou pyrometrov je vzdialenosť medzi meraným telesom a meracím prístrojom. Ak je vzdialenosť veľmi veľká, t. j. merací bod optiky IR teplomera je väčší ako merané teleso, meráme integrálnu teplotu telesa a okolia.

Na správne meranie je nevyhnutné používať IR teplomer tak, aby bolo merané teleso (vždy väčšie ako predpokladaná meraná plocha) v zornom poli optiky, aby sme vylúčili chyby spôsobené okrajovými oblasťami. Čím je väčší rozdiel medzi teplotou meraného telesa a okolím, tým väčšie chyby nastanú pri nesprávnej vzdialenosti IR teplomera od telesa.

**Testo AG**, nemecký výrobca prenosných prístrojov fyzikálnych a chemických veličín prichádza na trh s novou generáciou bezdotykových infračervených (IR) teplomerov série testo 830, ktoré postupne nahrádzajú modely série testo 825.

**Testo 830-T1** je IR teplomer s jedným laserovým lúčom, ktorý uľahčuje zameranie meraného objektu. Optika pyrometra je s ohniskom 1 : 10 a umožňuje presne merať teplotu aj na vzdialenom povrchu (na vzdialenosť 5000 mm je priemer meranej plochy 500 mm). Je to rýchly a prenosný teplomer v tvare pištole. Má možnosť nastaviť limitné hodnoty, po ktorých prekročení sa spúšťa akustický/optický alarm (na displeji). Meranie sa vyznačuje rýchlou časovou reakciou. Je to ideálny teplomer na meranie povrchov pod napätím, rotujúcich predmetov alebo predmetov na ťažko dostupných miestach.



**Testo 830-T2** je IR teplomer s dvomi laserovými lúčmi, ktoré vymedzujú vonkajší priemer meraného povrchu (zhodný s aktuálne meranou plochou). Optika pyrometra je s ohniskom 1 : 12, čo je o niečo lepšie ako pri testo 830-T1. Rovnako, ako testo 830-T1, umožňuje nastaviť emisívnosť meraného povrchu, ktorého hodnotu možno získať kontaktným meraním pomocou externého snímača teploty typu K. Použitie externého snímača teploty rozširuje oblasť použitia pyrometra aj na meranie teploty vzduchu či v kvapalinách a sypkých materiáloch pomocou vpichovacích snímačov.

výrobok	testo 830-T1	testo 830-T2
merací senzor	IR senzor	IR senzor termočlánok K pripojiteľný
merací rozsah	-30 až +400 °C	-30 až +400 °C IR senzor -50 až +500 °C typ K
rozlíšenie	0,5 °C	0,5 °C IR senzor 0,1 °C typ K
presnosť	±1,5 °C al. 1,5 % of. m. v. (0,1 až 400 °C) ±2 °C al. 2 % of. m. v. (-30 až 0 °C)	±1,5 °C al. 1,5 % of. m. v. (0,1 až 400 °C) 0,1 °F/ ±2 °C al. 2 % of. m. v. (-30 až 0 °C) (±0,5 až ±0,5 % of. m. v.) typ K
emisivita	nastaviteľná 0,2 – 1,0	nastaviteľná 0,2 – 1,0
vlnová dĺžka	8 – 14 μm	8 – 14 μm
optika	1 : 10 (priemer : vzdialenosť)	1 : 12 (priemer : vzdialenosť)
počet laserových lúčov	1	2
časová konštanta	0,5 s	0,5 s IR senzor 1,75 s typ K
alarm	optický/akustický	optický/akustický
prevádzková teplota	0 až +50 °C	-20 až +50 °C
napájanie	9 V AIMn	9 V AIMn
displej	s podsvietením	s podsvietením
životnosť batérie	20 h (trvalá prevádzka)	15 h (trvalá prevádzka)
kryt	ABS (čierny)	ABS (čierny)
rozmery	190 x 75 x 38 mm	190 x 75 x 38 mm
hmotnosť	200 g	200 g

Tab.2

V tab. 2 sú uvedené základné technické parametre nových pyrometrov.

Obsluha teplomera je veľmi jednoduchá a realizuje sa pomocou dvoch tlačidiel a menu na displeji. Ako príslušenstvo možno k teplomerom dodať ochranné kožené puzdro a externé snímače typu K pre model testo 830-T2. Veľkou prednosťou uvedenej série IR teplomerov je ich priaznivá cena, ktorá je v prípade testo 830-T1 4 900,- Sk bez DPH a 6 900,- Sk bez DPH pre testo 830-T2. Pri zakúpení zostavy testo 830-T2 s dotykovým snímačom K je cena 9 900,- Sk bez DPH.

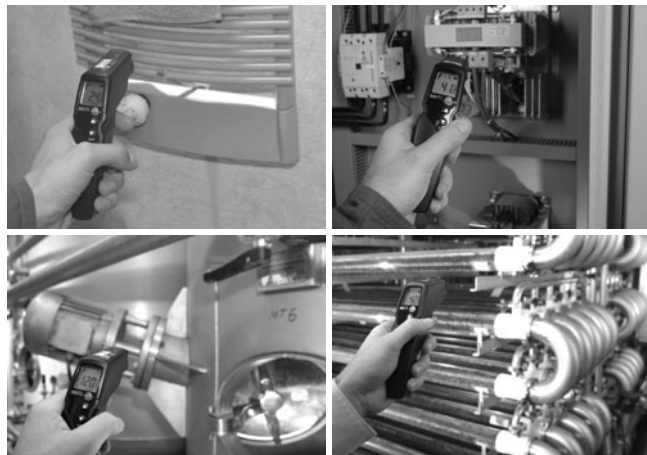
### Oblasti použitia IR teplomerov

IR meracia technológia zjednodušuje meranie teploty: meranie je rýchle vďaka krátkym reakčným časom senzorov a systémov. Hlavná oblasť použitia nových teplomerov je meranie v klimatizácii, strojárskom priemysle, vo vykurovaní, ale aj v ďalších oblastiach priemyslu na rovných a nerovných povrchoch.

Na obr. 4 sú zobrazené niektoré aplikácie nových IR teplomerov testo 830.

IR teplomery sú vhodné najmä pre zle tepelne vodivé povrchy, ako sú keramika, guma, plasty atď. Dotykový snímač meria teplotu povrchu, len ak ho priložíme na meraný povrch. V prípade slabo tepelne vodivých povrchov je čas reakcie veľmi dlhý.

IR meranie nemá vplyv na meraný objekt, t. j. možno ho vykonať aj na sterilných či korozívnych povrchoch, resp. povrchoch pod na-



Obr.4 Príklady použitia IR teplomerov testo 830

pätím, ako sú transformátory, pripojovacie pásnice, na rotujúcich a pohybujúcich sa povrchoch, ako aj ťažko dostupných miestach. Takto možno ľahko merať povrchovú teplotu prevodoviek, krytov a ložiskových skriň malých aj veľkých motorov, ďalej na papierenských valcoch, valcovacích stoličiach atď.

**K TEST**

**K - TEST, s. r. o.**

Letná 40

042 60 Košice

Tel./fax: 055/625 36 33, 625 51 50

e-mail: ktest@kbc.sk

www.ktest.sk

25