

EMISIVITA – DEFINÍCIA A VPLYV NA BEZKONTAKTNÉ MERANIE TEPLoty

Pri bezkontaktnom meraní teploty pyrometrom dochádza k detekcii množstva tepelnej energie alebo infračerveného žiarenia vyžarovaného objektom. Zo zaznamenaných intenzít žiarenia následne pyrometer vypočíta teplotu na základe Planckovho zákona žiarenia. Množstvo energie vyžarovanej objektom závisí od emisivity materiálu. Lenže čo presne máme na mysli, keď hovoríme o emisivite, a aký vplyv má na meranie teploty? Ako môžeme určiť hodnotu emisivity a od čoho táto hodnota závisí? Aký druh odchýlok sa môže z dôvodu nesprávneho nastavenia emisivity v prepočte na teplotu vyskytnúť a ako môžeme týmto odchýlkam predísť? Tento článok si kladie za cieľ zodpovedať tieto a ďalšie otázky týkajúce sa emisivity.

Definícia emisivity

Množstvo tepelnej energie vyžarovanej objektom nie je iba funkciou teploty, ale závisí aj od materiálu samotného, napríklad od jeho fyzikálnej podstaty, lesklosti, farby atď. Emisivita opisuje schopnosť materiálu vyžiariť alebo uvoľniť tepelnú energiu, ktorú absorboval. Ideálny žiarič, známy pod pojmom čierne teleso, dokáže vyžiariť všetku absorbovanú energiu, avšak reálne teleso nebude nikdy schopné vyžiariť rovnaké množstvo energie ako čierne teleso pri rovnakej teplote. Emisivita ϵ je pomer emitovaného žiarenia daného objektu (reálneho telesa) Φ_r a čierneho telesa Φ_b pri rovnakej teplote.

$$\epsilon = \frac{\Phi_r}{\Phi_b}$$

Teda emisivita je bezrozmernou veličinou alebo faktorom s rozsahom 0 až 1 alebo 0 až 100 %.

Žiarenie z prostredia, ktoré dopadne na povrch telesa, sa čiastočne odrazí, avšak len do tej miery, aká je schopnosť reflexie daného materiálu. Rovnaké zákony žiarenia, ktoré sa aplikujú na viditeľné svetlo, sa vzťahujú aj na tepelnú energiu. V prípade priehľadných objektov, ako sú sklenené alebo plastové fólie, môže do zaznamenaných hodnôt žiarenia prispieť dodatočná tepelná energia spod povrchu objektu alebo z jeho pozadia. Priepustnosť opisuje percento žiarenia, ktoré môže byť prepustené cez objekt. Celková hodnota žiarenia zaznamenaného senzorom pyrometra Φ_Σ je súčtom niekoľkých komponentov, ako je zobrazené v nasledujúcej rovnici.

$$\Phi_\Sigma = \epsilon * \Phi_{obj} + \rho * \Phi_{amb.} + \tau * \Phi_{back.}$$

ϵ – emisivný faktor,

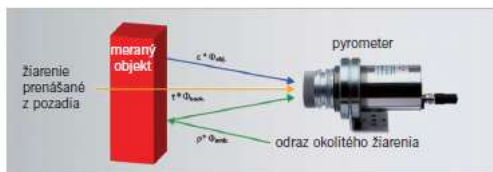
ρ – faktor odrazu,

τ – faktor priepustnosti,

Φ_{obj} – žiarenie z cieľového objektu,

$\Phi_{amb.}$ – okolité žiarenie (v popredí),

$\Phi_{back.}$ – žiarenie z pozadia.



Obr. 1 Zložky žiarenia zaznamenané senzorom pyrometra

Radiačné koeficienty sú prepojené v jednoduchšej rovnici:

$$1 = \epsilon + \rho + \tau$$

Nakoľko pri nepriehľadných objektoch nedochádza k transmisii, netreba aplikovať faktor priepustnosti.

$$1 = \epsilon + \rho$$

Faktory, ktoré ovplyvňujú emisivitu

Emisivita objektu závisí predovšetkým od typu materiálu a jeho povrchových vlastností. Nekomové a nepriehľadné objekty sú všeobecne dobré žiariče s emisivitou > 80 %. Emisivita kovov sa môže pohybovať medzi 5 až 90 %, no vysoko reflexné kovové povrchy majú hodnotu emisivity nižšiu. Okrem toho sa môže emisivita meniť v závislosti od vlnovej dĺžky žiarenia, čo platí najmä pre kovy. Nakoľko schopnosť kovu vyžarovať tepelné žiarenie stúpa pri kratších vlnových dĺžkach, je pre kovové objekty najlepšie zvoliť pyrometer, ktorý meria v krátkych vlnových dĺžkach. Pri priehľadných pevných materiáloch, ako sú sklo či plastové fólie, alebo pri plyných vyžarovanie menej závisí od vlnovej dĺžky. Aby sa zabezpečilo presné meranie teploty rôznych telies, treba zvoliť pyrometer so špeciálnymi senzormi a filtrami citlivými na príslušnú vlnovú dĺžku, najvhodnejšiu pre daný objekt, príklad je uvedený v tab. 1.

materiál	vlnová dĺžka
sklo	4,8 μm
plastové fólie vyrobené z PE, PP, PS	3,43 μm
plastové fólie z PET, PA, PUR	7,9 μm
chladné spaliny	4,27 μm
horúce spaliny	4,5 μm

Tab. 1

Emisivita kovov a skla sa môže meniť aj so zmenou ich teploty. Hodnota emisivity môže byť značne ovplyvnená oxidáciou povrchu roztaveného kovu a prechodom z kvapalnej do pevnej fázy. Čím vyššiu teplotu kov dosiahne, tým viac sa zvýši emisivita. V prípade skla vyššia teplota umožňuje pyrometru „nahliadnuť“ hlbšie do vnútra skla, z čoho vyplýva, že pyrometer je za týchto podmienok schopný vykonať meranie pod povrchom telesa, a tak zaznamenať tepelnú energiu pochádzajúcu zvnútra objektu.

Ako ovplyvňuje emisivitu prostredie

V prostredí, v ktorom meranie prebieha, sa často vyskytuje aj iné žiarenie, ako je žiarenie emitované meraným objektom. Klasickým príkladom je meranie teploty povrchu studenej kovovej tabule v rozpálenej ohrievacej peci. Tu pyrometer zaznamená nielen tepelnú energiu, ktorá vyžaruje priamo z kovovej tabule, ale tiež tepelnú energiu pece, ktorá sa od tabule odráža. Čím menší je rozdiel teplôt medzi dvoma zdrojmi žiarenia (objekt a pec), tým väčšia je presnosť merania. Aby sme zistili presnú hodnotu teploty objektu, treba použiť vodou chladenú pozorovaciu rúrku, ktorá slúži na ochranu pyrometra pred žiarením pochádzajúcim zo steny pece. Aby sa zabránilo vstupu odrazeného žiarenia do dráhy zamerania, priemer rúrky by mal byť prinajmenšom šesťnásobkom vzdialenosti rúrky od objektu.

Spôsoby určovania emisivity

Priemyselná literatúra či návody často obsahujú údaje o emisivite rôznych materiálov. Tieto informácie sa však musia využívať s istou obozretnosťou, nakoľko je dôležité, aby sa zohľadnili aj hodnoty teploty a vlnovej dĺžky, na ktoré sa emisivita vzťahuje. Udané teoretické hodnoty emisivity boli získané za ideálnych podmienok, no v skutočnosti sa celková hodnota emisivity cieľového objektu môže meniť. Tieto zmeny závisia od množstva cudzieho žiarenia preneseného na objekt z jeho pozadia, prípadne odrazeného na objekt z jeho popredia. Ak by ste preto na nastavenie pyrometra použili teoretické hodnoty emisivity získané z literatúry, namerané hodnoty teploty môžu byť nesprávne.

Aby sme získali presnú hodnotu teploty, treba nastaviť pyrometer na miere vyššiu hodnotu emisivity, ako sa deklaruje. Tento krok by sme mohli nazvať simulovaným nárastom emisivity. Keďže veľmi precízne meranie môže byť zabezpečené aj prostredníctvom kontaktného teplomera, môže sa týmto zariadením vykonať porovnávacie meranie, a tak možno získať skutočnú hodnotu emisivity objektu, ktorá môže byť použitá na správne nastavenie pyrometra. Alternatívne pri teplote približne do 250 °C môže byť na meraný objekt nalepený štítko alebo nanosená farba s definovanou hodnotou emisivity.



Obr. 2 Meranie teploty pomocou emisnej nálepky s definovanou emisivitou

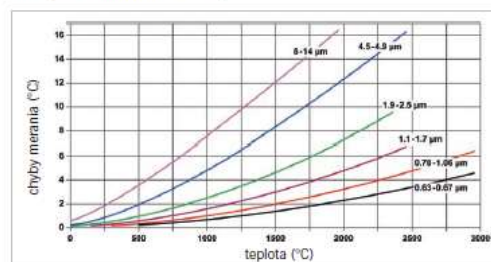
Pri tomto postupe sa meria teplota na nálepke (alebo nastriekanom emisnom laku) s nastavenou emisivitou nálepky (najčastejšie 0,95) a vedľa nej priamo na objekte. Na prístroji sa nastavuje emisivita pri meraní na objekte dovtedy, kým nezobrazuje rovnakú teplotu ako na nálepke pri jej emisivite. Meranie sa musí vykonávať až po vytemperovaní nálepky na teplotu samotného objektu.

Vzhľadom na to, že vplyv emisivity má tendenciu zvyšovať sa spolu s teplotou, porovnávacie meranie by sa malo vždy vykonať pri vyššej teplote. Pri meraní vysokej teploty alebo v prípade, že je cieľ ťažko dosiahnuteľný, k čomu môže dôjsť napríklad vo vákuovej peci, odporúča sa vykonanie merania použitím pyrometra s krátkou vlnovou

dĺžkou. Z fyzikálnych dôvodov bude presnosť merania pri krátkej vlnovej dĺžke väčšia.

Pyrometer pracujúci na princípe miznúceho žeraveného vlákna alebo moderný pyrometer porovnávania intenzity je veľmi dobrý na meranie vysokej teploty. Metóda týchto prístrojov je založená na vizuálnom porovnaní farby žeraveného vlákna a meraného objektu pri vlnovej dĺžke 0,67 μm , účinnosť tejto metódy nezávisí od veľkosti cieľového objektu.

Graf na obr. 3 zobrazuje efekt nesprávneho nastavenia pyrometra či zmeny v hodnotách emisivity.



Obr. 3 Zmena nameranej teploty pri 1 % zmene emisivity v závislosti od teploty a vlnovej dĺžky

Dvojfarebná pyrometria

– meranie nezávislé od emisivity?

Pred niekoľkými rokmi boli na trh uvedené pyrometre so schopnosťou detekcie tepelného žiarenia na dvoch rôznych vlnových dĺžkach súčasne. Tieto prístroje sa nazývajú aj dvojfarebné pyrometre. Pomer dvoch meraní intenzity tepelného žiarenia pri rôznej vlnovej dĺžke je úmerný teplote meraného cieľa. Ak sa hodnota emisivity cieľového materiálu zmení a tak vyvolá zmeny v hodnote žiarenia, ktorá je zaznamenávaná jednotlivými kanálmi, pomer alebo kvocient týchto hodnôt a tým aj teplota ostane konštantná. To však platí iba vtedy, keď zmena emisivity nastane v identickom pomere pre oba kanály a v praxi sa ukázalo, že pri kovoch sa táto situácia vyskytne iba zriedka. Pri „kovových“ aplikáciách tak môže použitie pyrometra schopného dvojfarebného merania viesť k ešte väčším chybám merania ako pri jednokanálových pyrometroch. Z tohto dôvodu sa pri zaobchádzaní s touto technikou, často označovanou ako „nezávislou od emisivity“, odporúča zvýšiť opatnosť.

Pyrometre schopné dvojfarebného merania na druhej strane ponúkajú jasné výhody v situáciách, keď dochádza k istému stupňu oslabenia signálu prichádzajúcemu k obojm kanálom, napríklad v momentoch, keď prach, para alebo dym na šošovke či v zornom poli prístroja čiastočne bránia prenosu vyžarovanej energie k senzoru pyrometra. Aj za týchto okolností bude teplotné čítanie pyrometra, ktorý je schopný dvojfarebného merania, správne. Pri obzvlášť nepriaznivých alebo zložitých podmienkach merania sa odporúča, aby sa do úvahy zobrali obe spektrálne hodnoty teploty, ako aj teplotné čítanie založené na dvojfarebnom pomere. V závislosti od výsledku môže neskôr používateľ zvoliť metódu, ktorá spĺňa jeho potreby najlepšie, a podľa toho upraviť pyrometer.

Záver

Keď sa posudzujú vlastnosti pyrometra, názory sa často sústreďujú na pochybnosti o neistote merania teploty týmto prístrojom. Avšak pri bezkontaktnom meraní teploty sa pravdepodobnosť výskytu chýb vzťahuje viac na správne zohľadnenie vlastností meraného objektu a podmienok okolitého prostredia. Len zriedka ide o metrologické chyby prameniace z prístroja. Preto či už ide o výber pyrometra, meracej polohy, či inštaláciu systému, vždy je potrebné, aby mal človek na pamäti riziká a zásady opísané v tomto článku.

Ing. Rudolf Košťál