

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:

5

Název úlohy:

Měření hustoty tepelného toku, emisivita materiálů

Úkol měření

- a) Změřte hustotu tepelného toku sálavého panelu (infrazářiče) v ose sálání v závislosti na vzdálenosti od zdroje sálání a závislost vynesete do grafu. Měření proved'te při výkonu panelu 400 W a 800 W.
Změřte směrovou závislost hustoty tepelného toku při výkonu 800 W v horizontální a vertikální rovině.
- b) Pomocí Leslieho kostky stanovte a graficky znázorněte závislost celkové hustoty vyzařovaného tepelného toku na teplotě pro jednotlivé stěny Leslieho kostky při jejím chladnutí.
IR teploměrem změřte při různém nastavení emisivity měřeného povrchu teplotu jednotlivých stěn Leslieho kostky a porovnejte s teplotou změřenou skleněným teploměrem.

Obecná část

Tepelný tok Φ je podíl tepla procházejícího danou plochou a doby, po kterou teplo prochází: $\Phi = dQ / dt$. Za stacionárních podmínek platí $\Phi = \Delta Q / \Delta t$, kde ΔQ je teplo, které projde nějakou plochou ΔS v čase Δt . Při rovnoměrně rozložené tepelné energii po ploše ΔS je hustota tepelného toku φ vázána s tepelným tokem $\Delta \Phi = \varphi \cdot \Delta S$.

Vyzařování těles popisuje Stefanův – Boltzmannův zákon ve tvaru $W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, kde W je intenzita vyzařování [$W \cdot m^{-2}$], ε je emisivita, σ je Stefanova – Boltzmannova konstanta a T je termodynamická teplota. V případě černého tělesa (někdy označovaného také jako absolutně černé těleso) je emisivita $\varepsilon = 1$. Černé těleso je definováno jako objekt, který absorbuje veškeré záření, které na něj dopadá, bez ohledu na vlnovou délku. Reálné objekty jsou tzv. šedá (tj. nečerná) tělesa a u nich je situace složitější. Existují tři jevy, které mohou odlišovat reálný objekt od černého tělesa: část dopadajícího záření α může být pohlcena, část záření ρ může být odražena a část τ může tělesem prostoupit. Tyto složky jsou obecně závislé na vlnové délce, a proto je nutné k jejich vyjádření použít spektrální veličiny. Zavádí se proto spektrální pohltivost α_λ , spektrální odrazivost ρ_λ a spektrální propustnost τ_λ . Tyto veličiny jsou definované vždy jako poměr pohlcené, odražené, resp. propuštěné energie k celkové energii dopadající na těleso. Součet hodnot těchto tří spektrálních veličin musí být pro jakoukoliv vlnovou délku roven jedné, tedy $\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$.

Každé šedé těleso je charakterizováno svoji emisivitou ε , která je definována jako poměr mezi vyzařováním objektu a černého tělesa. Hodnoty emisivity se pro šedá tělesa pohybují v intervalu 0 až 1. Také emisivita se v obecném případě může měnit s vlnovou délkou, pak se označuje jako spektrální emisivita ε_λ . Příkladem běžného materiálu, jehož emisivita se radikálně mění s vlnovou délkou, je sklo, které je pro vlnové délky pod zhruba 2,6 μm vysoce transparentní (emisivita se blíží k nule), pro vlnové délky větší než 2,6 μm je s rostoucí vlnovou délkou sklo stále méně propustné. Pro vlnové délky větší než 4 μm je sklo prakticky nepropustné (emisivita je nad 0,97). Podle zákonů vyzařování se u každého materiálu

spektrální emisivita a spektrální pohltivost rovnají a to při jakékoli teplotě a vlnové délce, tedy $\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$.

Emisivita tělesa je prakticky nejdůležitější parametr, jehož volba ovlivňuje správnost výsledků při IR bezkontaktním měření teploty a termovizních měřeních. Obecně povrchy materiálů vykazují emisivitu v rozmezí 0,1 – 0,95. Vysoce vyleštěný povrch má emisivitu pod 0,1. Neoxidující kovy vykazují téměř dokonalou nepropustnost a vysokou spektrální odrazivost, která se příliš nemění s vlnovou délkou, jejich emisivita je tedy nízká, a roste pouze s teplotou. Pro nekovy je naopak emisivita větší a klesá s teplotou. Lidská pokožka má emisivitu blízkou jedné.

Použité přístroje

Úkol a)

Vodou chlazený radiometr SBG01, datalogger ALMEMO 2590S4, sálavý panel s držákem, laboratorní stojan, ocelové pravítko, úhломěr.

Úkol b)

Leslieho kostka, termobaterie, digitální teploměr GERHARDT s termočláňkovou sondou pro měření povrchové teploty, multimetr TESLA BM518, IR teploměr OMEGA OS643E-LS, multimetr HHM 290 s IR teploměrem, skleněný teploměr, rychlovarná konvice.

Postup práce

Úkol a)

POZOR! Sálavý panel má vysokou povrchovou teplotu a může způsobit popáleniny, vznícení hořlavých předmětů a poškození předmětů sálavým teplem a to i po vypnutí (až do vychladnutí). Ve vzdálenosti do 40 cm před sálavým panelem se nesmí nacházet žádné předměty. Nedotýkejte se sálavého panelu a to ani po jeho vypnutí. Neponechávejte horký sálavý panel bez dozoru. Po vypnutí otočte sálavý panel tak, aby nedošlo k náhodnému dotyku s procházející osobou.

Čelní plocha radiometru SBG01 je opatřena černým nátěrem s vysokou emisivitou. Nedotýkejte se této plochy rukou ani předměty, jinak dojde k poškození radiometru.

1. Zkontrolujte zapojení radiometru a funkčnost jeho napojení na vodní chlazení, vodní chlazení spusťte otevřením ventilu umístěného vpravo na vodovodní baterii, chlazení nechejte zapnuté. Voda z chladicího okruhu musí pomalým proudem volně vytékat do výlevky.
2. Polohu sálavého panelu nastavte pomocí sklopného držáku tak, aby rovina proložená topnými tyčemi panelu byla svislá. Umístěte radiometr do osy maxima vyzařování sálavého panelu tak, aby čelní plocha radiometru byla ve vzdálenosti 1,0 m od roviny vyhřívacích tyčí v panelu. Zapněte spodní topnou tyč s výkonem 400 W. Po zahřátí panelu (ustálení hustoty tepelného toku) zaznamenejte hodnotu hustoty tepelného toku a radiometr přiblížte o 0,2 m. Posunování provádějte po 0,2 m až do vzdálenosti 0,4 m. Panel vypněte. Po vychladnutí panelu měření opakujte při zapnuté horní topné tyči s výkonem 400 W a potom při výkonu 800 W (zapnuty obě topné tyče současně). Hodnoty zaznamenejte a vynesete do grafu.
3. Panel nechejte vychladnout, neměňte jeho výchozí polohu. Radiometr umístěte do vzdálenosti 0,5 m od roviny vyhřívacích tyčí v panelu a sálavý panel zapněte na výkon 800 W (zapnuty obě topné tyče). Po zahřátí panelu (ustálení hustoty tepelného toku) zaznamenejte hodnotu hustoty tepelného toku a panel pootočte kolem svislé osy o 15° od osy stolu směrem ke stěně (úhel pootočení můžete odečíst přímo na točně držáku). Po ustálení hustoty tepelného toku jeho hodnotu zaznamenejte a panel pootočte o dalších 15°.

Takto pokračujte až do natočení panelu o 60° . Panel vypněte. Hodnoty zaznamenejte a vynesete do grafu.

4. Polohu sálavého panelu nastavte tak, aby rovina proložená topnými tyčemi panelu byla svislá. Radiometr umístěte do osy maxima vyzařování sálavého panelu tak, aby čelní plocha radiometru byla ve vzdálenosti 0,5 m od roviny vyhřívacích tyčí v panelu a sálavý panel zapněte na výkon 800 W. Po ustálení hustoty tepelného toku jeho hodnotu zaznamenejte a změňte nastavení polohy panelu (jeho náklon) pomocí sklopného držáku tak, aby osa maxima vyzařování směřovala pod úhlem 10° vzhůru. Pro nastavení úhlu sklonu použijte vhodně přiloženého úhloměru. Po ustálení hustoty tepelného toku jeho hodnotu zaznamenejte a panel nakloňte o dalších 10° . Takto pokračujte až do náklonu panelu o 30° . Hodnoty zaznamenejte a vynesete do grafu.

Úkol b)

POZOR! Při práci s rychlovarnou konvicí a horkou vodou dbejte zvýšené opatrnosti.

Rychlovarnou konvicí po ohřátí vody postavte mimo podstavec tak, aby nemohlo dojít k popálení a převržení konvice. Leslieho kostky naplněné horkou vodou se nedotýkejte a neberte ji do ruky. Při otáčení kostky se opatrně dotýkejte svislé části otočného stojanu a ne přímo kostky. Při obsluze multimetru TESLA BM518 postupujte podle přiloženého stručného návodu, v případě nejasností prostudujte kompletní návod.

1. Držák s termobaterií umístěte do vzdálenosti 40 mm od stěny Leslieho kostky ve výšce jejího středu. Na výstup termobaterie připojte multimetr TESLA BM518 přepnutý na rozsah 30 mV. Do Leslieho kostky opatrně nalijte horkou vodu o teplotě cca 95°C a kostku uzavřete víkem se skleněným teploměrem a míchadlem. Vodu v kostce promíchejte a vyčkejte cca 2 minuty na vyrovnání teploty vody a stěn Leslieho kostky.
2. Vodu v kostce promíchejte a změřte teplotu vody v kostce a relativní hodnotu hustoty tepelného toku (vyjádřené napětím na výstupu termobaterie) u jednotlivých stěn kostky (vždy po pootočení kostky o 90°). Rozsahy na multimetru přepínejte podle potřeby tak, aby odečet probíhal pokud možno kolem $2/3$ rozsahu stupnice.
3. Měření opakujte tak, abyste mohli sestavit graf závislosti relativních hodnot hustot tepelného toku jednotlivých stěn Leslieho kostky na teplotě při jejím chladnutí z počáteční teploty cca 95°C na teplotu cca 70°C .
4. Sestavte graf závislosti relativní hustoty tepelného toku jednotlivých stěn Leslieho kostky na teplotě a okomentujte průběh jednotlivých křivek.
5. Po ukončení měření podle bodu 3 proveďte měření povrchové teploty stěn kostky IR teploměrem a termočláňkovou sondou pro měření povrchové teploty.
6. Na IR teploměru nastavte hodnotu emisivity pro některou ze stěn Leslieho kostky (tabulky emisivity jsou u úlohy přiloženy).
7. Vodu v kostce promíchejte, skleněným teploměrem změřte teplotu vody v kostce a termočláňkovou sondou změřte povrchovou teplotu zvolené stěny kostky. IR teploměrem změřte teplotu zvolené i ostatních stěn kostky. Měření provádějte ze vzdálenosti cca 15 až 20 cm, IR teploměr zaměřte na střed stěny kostky.
8. Body 6. a 7. opakujte pro nastavení emisivity všech stěn Leslieho kostky. Po ukončení měření a vychladnutí vody v Leslieho kostce na teplotu pod 40°C vodu z Leslieho kostky vylijte a kostku ponechte otevřenou (pokud nedojde do konce cvičení k vychladnutí vody v kostce na teplotu pod 40°C , ponechte vodu v kostce a upozorněte na tuto situaci pedagoga vedoucího cvičení).
9. Přehledně uveďte naměřené hodnoty a okomentujte rozdíly mezi teplotou vody v Leslieho kostce, naměřenou povrchovou teplotou termočláňkovou sondou a naměřenou teplotou jednotlivých stěn kostky IR teploměrem v závislosti na rozdílu mezi emisivitou stěny kostky a hodnotou emisivity nastavené na IR teploměru.

Výsledky - tabulky naměřených hodnot