

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:	Název úlohy:
5	Měření hustoty tepelného toku, emisivita materiálů

Úkoly měření

- Změřte hustotu tepelného toku dopadajícího na radiometr v ose sálání sálavého panelu (infrazářiče) v závislosti na vzdálenosti od zdroje sálání a závislost vynesete do grafu. Měření proveďte při výkonu panelu 400 W (spodní tyč, horní tyč) a 800 W (obě tyče). Změřte směrovou závislost hustoty tepelného toku při výkonu 800 W v horizontální a vertikální rovině a závislosti vynesete do grafů.
- 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 a povrchovou teplotou změřenou termočláňkovou sondou.

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 $W = \varepsilon \cdot \sigma T^4$, 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 měření. 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) Měření hustoty tepelného toku sálavého panelu

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

Úkol b) a c) Stanovení hustoty tepelného toku pomocí Leslieho kostky a multimetru TESLA

Leslieho kostka, termobaterie, multimetr HHM 290 s IR teploměrem (obrázek 1), digitální teploměr GERHARDT s termočláňkovou sondou (obrázek 2), multimetr TESLA BM 518 (obrázek 3), skleněný teploměr, rychlovarná konvice, ocelové pravítko.



Obrázek 1 Multimetr HHM 290 s IR teploměrem



Obrázek 2 Digitální teploměr GERHARDT s termočláňkovou sondou



Obrázek 3 Multimetr TESLA BM 518

Postup práce

Úkol a) Měření hustoty tepelného toku sálavého panelu

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 spustíte** otevřením ventilu umístěného vpravo na vodovodní baterii, chlazení nechejte zapnuté. Voda z chladicího okruhu musí pomalým proudem volně vytékat do výlevky.
2. **Sundejte z radiometru krytku (bílé pouzdro), viz obrázek 4 a 5!!!**

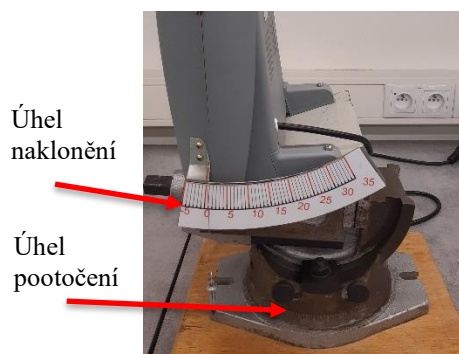


Obrázek 4 Radiometr s bílou krytkou, krytka se musí sundat!!!



Obrázek 5 Radiometr bez krytky připraven na měření

3. 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. Zapněte tlačítkem ON dataloger ALMEMO s připojeným radiometrem.
4. **Po zahřátí panelu**, po 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 **zapnutí horní i spodní topné tyče** o celkovém výkonu 800 W. Panel vypněte. Hodnoty vždy zaznamenávejte do připravené tabulky.



Obrázek 6 Úhloměry pro pootočení sálavého panelu do stran a jeho naklonění



Obrázek 7 Přiblížení úhloměru pro pootočení

5. 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 ustálení hustoty tepelného toku** jeho hodnotu zaznamenejte a **panel pootočte kolem svislé osy o 15° od osy stolu směrem ke stěně**. Úhel pootočení můžete odečíst přímo na točně držáku (viz obrázek 6 a 7). Po ustálení hustoty tepelného toku jeho hodnotu zaznamenejte a **panel pootočte o dalších 15°**. **Takto pokračujte až do úhlu pootočení o 60°**. Panel vypněte.

6. 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 panel nakloňte pomocí sklopného držáku tak, aby osa maxima vyzařování směřovala pod úhlem **10° vzhůru**. Pro nastavení úhlu sklonu použijte vhodně přiloženého úhломěru. Po ustálení hustoty tepelného toku jeho hodnotu zaznamenejte a **panel nakloňte o dalších 10°**. **Takto pokračujte až do úhlu naklonění 30°**. Panel vypněte.
7. Vypněte dataloger ALMEMO; zastavte přívod vody k radiometru; nasad'te zpět na radiometr krytku.
8. **Naměřené hodnoty vynesete do grafu** tak, že vytvoříte:
 - 8.1. závislost hustoty tepelného toku na vzdálenosti od zdroje sálání;
 - 8.2. závislosti hustoty tepelného toku na úhlu pootočení zdroje sálání kolem svislé osy;
 - 8.3. závislost hustoty tepelného toku na úhlu naklonění zdroje sálání kolem vodorovné osy.

Úkol b) Stanovení hustoty tepelného toku pomocí Leslieho kostky a multimetru TESLA

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 BM 518 postupujte podle přiloženého stručného návodu, v případě nejasností prostudujte kompletní návod.

1. **Nastavte multimetr TESLA BM 518** dle stručného návodu k tomuto multimetru.
2. 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**, kterou si předem uvaříte v rychlovarné konvicí, 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.
3. **Změřte teplotu vody** v kostce a **relativní hodnotu hustoty tepelného toku**, která je vyjádřena 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.
4. **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 90 °C na teplotu cca 70 °C. **Okomentujte průběh jednotlivých křivek** (tj. závislosti napětí na teplotě skleněného teploměru pro jednotlivé stěny kostky).

Úkol c)

5. Po ukončení měření podle bodu 4 **proved'te měření povrchové teploty stěn kostky IR teploměrem a termočlávkovou sondou** pro měření povrchové teploty.
6. **Vodu** v kostce **promíchejte** a **změřte teplotu vody** v kostce **skleněným teploměrem**, a hodnotu si zaznamenejte.
7. **Na IR teploměru nastavte hodnotu emisivity** pro některou ze stěn Leslieho kostky. Emisivitu zvolte dle tabulky emisivit pro různé druhy materiálů, která je k úloze přiložena. IR teploměr zaměřte na střed stěny kostky, změřte teplotu této stěny ze vzdálenosti cca 5 cm a hodnotu si zaznamenejte.

8. **Změřte povrchovou teplotu zvolené stěny** kostky pomocí **termočlánkové sondy** a hodnotu si zaznamenejte.
9. Body 7. a 8. **opakujte pro nastavení emisivity jednotlivých 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 dohlížejícího pedagoga.
10. Přehledně uveďte naměřené hodnoty a **okomentujte rozdíly** mezi teplotou vody v Leslieho kostce, povrchovou teplotou naměřenou termočlánkovou sondou a teplotou jednotlivých stěn kostky naměřených IR teploměrem v závislosti na rozdílu mezi emisivitou stěny kostky a hodnotou emisivity nastavené na IR teploměru.

Výsledky – tabulky naměřených hodnot