

Výtažky z odborné literatury k infravytápění

autor: Ing. Pavel Šilar, Ph.D.

Infraenergie a její vliv na tepelnou pohodu tepelná pohoda vliv oken určení hranic tepelné pohody možnosti zvyšování sálavé složky přenosu tepla radiační vlastnosti lidského těla

Infraenergie a její vliv na tepelnou pohodu

Tepelná pohoda je pojmem čistě relativní. Závisí nejen na vnějších fyzikálních podmínkách v dané místnosti, jako jsou především teploty, rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost, ale i na druhu činnosti člověka.

Snad největší vliv na tepelnou pohodu člověka má teplota vzduchu a teplota okolních stěn místnosti. Na tepelnou pohodu má vliv i množství oken. Z technického hlediska pro návrh topení nebo klimatizačního zařízení nás bude zajímat především určení hranic tepelné pohody.

Z příložených textových článků vyplývá, že na tepelnou pohodu má zcela zásadní vliv účinná teplota okolních ploch, kterou velmi ovlivňuje velikost sálavé složky přenosu tepla mezi lidským tělem a okolními stěnami. Z toho důvodu je velmi žádoucí zvyšovat velikost sálavé složky přenosu tepla od topných těles.

Pokud zhodnotíme aspekty,

- rozšiřující se zónu tepelného komfortu v Ralčukově diagramu tepelné pohody
- hospodárnosti provozu a efektivního využití exergie
- radiačních vlastností lidského těla
- skutečnost, že se zvýšením teploty vzduchu o 1°C vzrostou tepelné ztráty objektu o cca 6%
- roztoucí ztráty se zvyšující se teplotou topného média

dojdeme k závěru, že pokud chceme zvyšovat hospodárnost topného systému a zároveň zlepšovat tepelný komfort je třeba,

- zvyšovat sálavou složku přenosu tepla na úkor konvekce
- snižovat teplotu topného média
- zlepšovat radiační vlastnosti topných a okolních ploch v požadované oblasti spektra tepelné infračervené energie

Požadované vlastnosti splňují především nízkoteplotní infračervené topné systémy.

Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je pojmem čistě relativní. Závisí nejen na vnějších fyzikálních podmínkách v dané místnosti, jako jsou především teploty a relativní vlhkost, ale i na druhu činnosti člověka.. Hranice tepelné pohody se bude u jednotlivých lidí lišit nejen podle jejich otužilosti či zvyku na určitou teplotu - schopnosti snášet teplo či chlad, (což je dáno klimatickými poměry v oblasti života dané skupiny lidí a jejich způsobem života). Rozhodující vliv má také únava, zdravotní stav a psychický stav jedince. Vzhledem k zaměření této práce, bude tepelná pohoda dále zjednodušeně popisována pouze jako funkce teplot.

Množství tepla vznikající při látkových výměnách v těle jednotlivce závisí na více vlivech. Nejpodstatnější z nich je výše uvedená fyzická námaha, kterou člověk produkuje při své činnosti. Čím více je organismus namáhaný, tím více produkuje tepla. Tepelná rovnováha je dosažena tehdy, když okolí odebírá lidskému tělu právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje. Člověk odevzdává teplo do okolního prostoru vedením, konvekcí

a sáláním. Kromě toho odevzdává teplo vypařováním potu a dýcháním, představující z velké části latentní teplo. Pro určení hranic tepelné pohody je podstatný stav, ve kterém je dosaženo rovnováhy a dochází v něm pouze k suchému ochlazení (pokožka zůstává suchá, bez kapiček potu). K mokrému ochlazení, to znamená k odevzdání přebytečného tepla pocením, dochází při zvýšené teplotě a vlhkosti okolního vzduchu nebo ploch, které ohraničují daný prostor. Tento stav vyvolává pocit horka. Jsou-li teploty vzduchu tv a okolních ploch tu nižší než hodnoty potřebné k dosažení rovnováhy, dochází k pocitu chladu.

Pokud člověku není příliš velké teplo, ani nepocítuje chlad, lze říci, že se nachází ve stavu tepelné pohody. V živém organismu dochází k přeměně chemicky vázané energie na ostatní druhy energie, především na mechanickou práci a teplo. Protože účinnost přeměny energie na práci vykonanou lidským organismem je velmi malá, tak se převážná část energie přemění na teplo, které je z organismu různými způsoby odvedeno. Na intenzitě a způsobu odvodu tohoto tepla závisí, jestli se daný jedinec nachází v tepelné pohodě, nebo jestli vnímá chlad či vedro.

Je možné říci, bez ohledu na optimální hranice tepelné pohody, že teploty tv a tu ve vytápěných místnostech budou záviset na ceně tepla a způsobu jeho placení, závisující na cenové politice v dané oblasti. Například ve Švýcarsku a dalších zemích západní Evropy je tato požadovaná hranice tepelné pohody pro většinu lidí nižší, než v České republice. V mnoha bytech u nás po namontování poměrových měřidel tepla téměř okamžitě klesly teploty určující dolní hranici tepelné pohody.

Vliv oken

Je zajímavé sledovat vliv skleněných oken na tepelnou pohodu z hlediska jejich sálání. V místnosti, kde je pokojová teplota, t.j. okolo 20°C bude maximum vyzařované energie při vlnových délkách vyšších než 6 μm.

Z tabulky pro monochromatickou propustnost záření nebo z uvedených grafů (Obr. LXXIII) je vidět, že pro vlnové délky od $\lambda = 2 \mu\text{m}$ prudce klesá monochromatická propustnost skleněných tabulí. Monochromatická propustnost skla tloušťky 2 mm pro vlnovou délku 6 μm je pouze 0,02. Výsledným efektem je, že spektrum záření s malou vlnovou délkou (např. ve světelném spektru) projde uvedenou selektivní vrstvou bez podstatných ztrát a je většinou pohlceno tělesy za selektivní vrstvou. Tato tělesa vzhledem ke své teplotě emitují tepelné záření o vyšší vlnové délce, které selektivní vrstva už zpět nepropustí. To znamená, že z dopadající energie ve formě monochromatického záření o uvedené vlnové délce, které obsahuje emitované spektrum tepelného záření těles v obytné místnosti, projde sklem 2 mm silným pouze 2% energie. Jedná se tedy o hodnotu, která v energetické bilanci není podstatná. Tepelné ztráty konvekcí podstatně přesáhnou ztráty způsobené radiací.

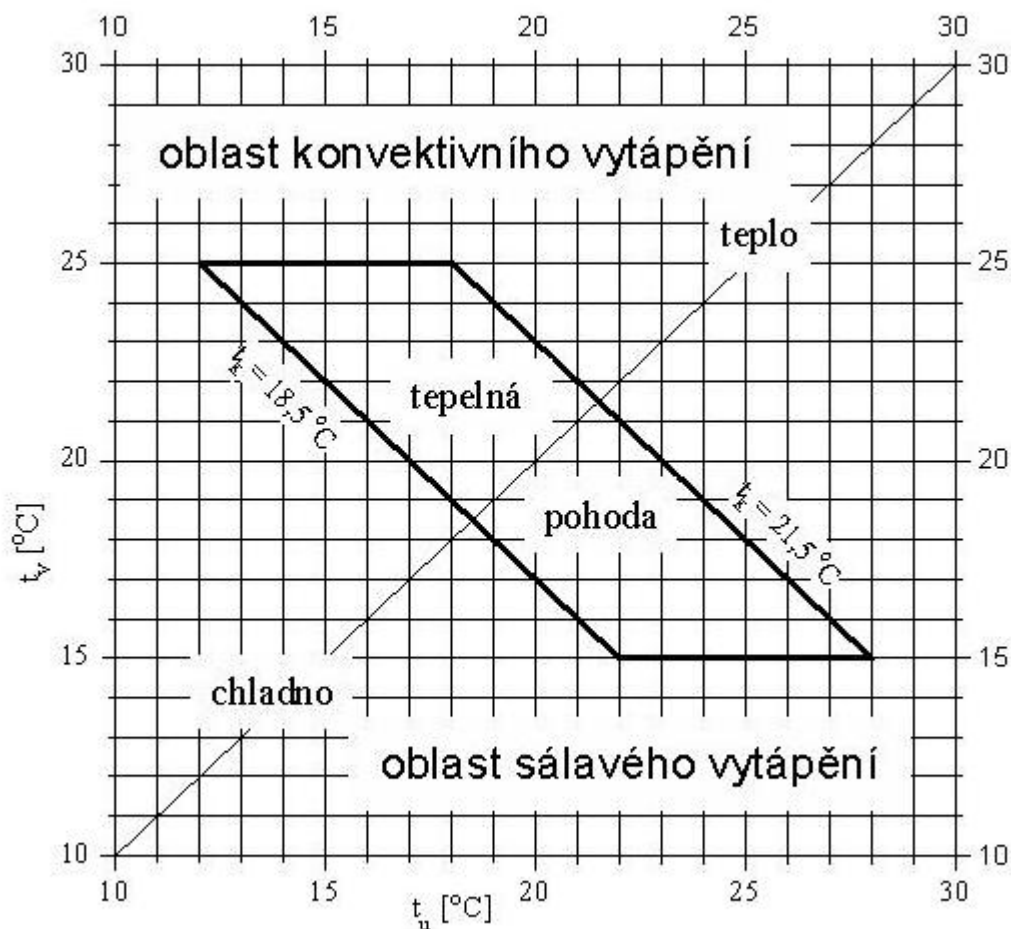
Výše popsaný jev je podstatou skleníkového efektu. Dochází k němu nejen při průchodu slunečního záření sklem (okna, skleníky). Může nastat při průchodu paprsků jinou vhodnou selektivní vrstvou, např. atmosférou Země.

Z předešlého odstavce ovšem nevyplývá, že skleněná okna, která jsou v místnosti, neovlivní podstatněji tepelnou pohodu v místnosti. Vzhledem k nižším izolačním schopnostem bude mít povrch okna nižší teplotu, než okolní zdi. Pro vysoké vlnové délky λ bude pohltivost A velmi vysoká. Tím pádem ovlivní i účinnou

teplotu okolních ploch tu (kapitola 4.2). Proto je nutné při výpočtu zahrnout okna nejen do konvektivního přenosu tepla, ale také i do účinné teploty okolních ploch tu. Pro vyšší vlnové délky značně vzrůstá monochromatická pohltivost skla ϵ_λ , která velmi ovlivní tepelný tok zářením mezi teplejšími předměty v místnosti a studenějším povrchem okna. Předměty v místnosti o pokojové teplotě budou vyzařovat maximum záření o vlnových délkách 5 – 12 μm . Tepelné záření o uvedených vlnových délkách bude skly v oknech snadno pohlceno. Z toho důvodu se vzhledem k nižší teplotě okenních skel sníží účinná teplota okolních ploch a ovlivní se tepelná pohoda v místnosti.

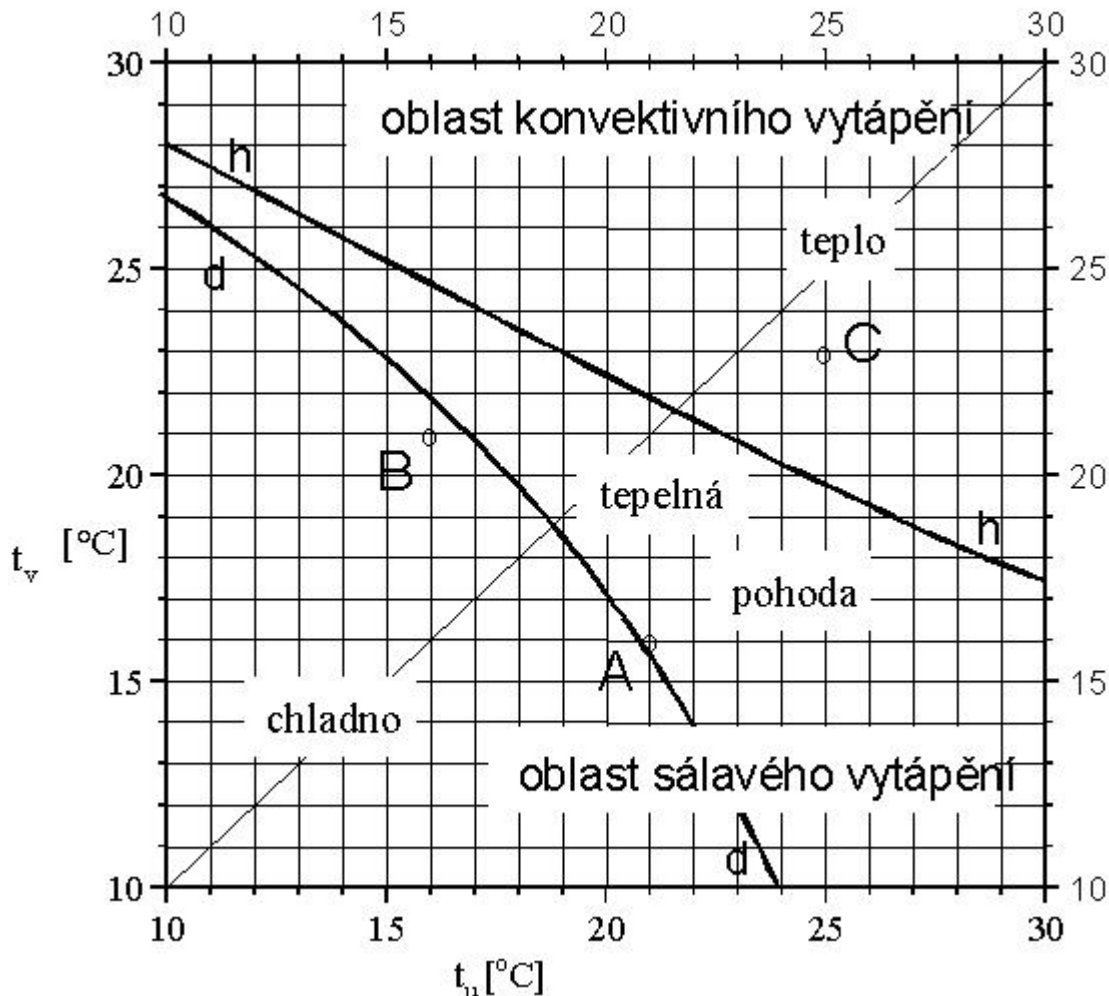
Určení hranic tepelné pohody

Určení tepelné pohody podle Doc. Cihelky [2] je velmi jednoduché a dostačující pro řešení většiny technických problémů. Je možné použít následující diagram. Na vodorovné ose diagramu je nanášena účinná teplota okolních ploch tu a na svislé ose teplota vzduchu tv. Uprostřed diagramu je znázorněna oblast, ve které dochází k tepelné pohodě (tepelnému komfortu). Diagram je rozdělen úhlopříčkou na dvě zóny. U spodní zóny převládá při vytápění přenos tepla zářením. U horní zóny dochází během vytápění převážně k přenosu tepla konvekcí. Na uvedené úhlopříčce je možné vynášet celkovou teplotu tk .



Obr. 4.3. Diagram určování tepelné pohody podle Cihelky

Pro detailnější rozbor a určení tepelné pohody je vhodnější diagram sestavený Ralčukem [42], který vychází z experimentálně zjištěných statisticky zpracovaných poznatků. Diagram je obdobný, jako (4.3), ale oblast tepelné pohody má jiný tvar.



Obr. 4.4. Diagram určování tepelné pohody podle Ralčuka

Z grafu (Obr.4.4) je vidět, že v oblasti, kde převládá sálající složka přenosu tepla se zóna tepelného komfortu velmi rozšiřuje. To ukazuje velké přednosti a perspektivu vytápění způsoby, při kterých je pokud možno co nejvyšší sálavá složka přenosu tepla. Přenos tepla sáláním mezi povrchem lidského těla a okolními plochami místnosti má podstatný vliv na tepelnou pohodu. Z grafu je vidět, že hranice tepelné pohody ohraničená křivkami d a h není určena pouze na výslednou teplotou podle rovnice (4.6). Závislost je složitější. Je vidět vyšší vliv celkové účinné teploty okolních ploch.

Při vyšším podílu přenosu tepla sáláním, nebo-li při vyšší účinné teplotě okolních ploch, leží hranice pro tepelný komfort na nižší výsledné teplotě t_k (podle 4.6), než v případě, kdy se účinná teplota okolních ploch nachází v obvyklých hodnotách pro většinu místností ($t_u = 16$ až 20°C). Přenos tepla sáláním, související s účinnou teplotou okolních ploch t_u má podle uvedeného grafu na tepelnou pohodu větší vliv, než přenos tepla konvekcí, plynoucí z teploty vzduchu t_v v místnosti. Tato skutečnost je ukázána na grafu (Obr.4.4) pomocí dvou zobrazených bodů:

- Bod A při účinné teplotě okolních ploch $t_u = 21^\circ\text{C}$ a teplotě vzduchu $t_v = 16^\circ\text{C}$ leží na spodní hranici tepelného komfortu
- Teplota okolního vzduchu $t_v = 21^\circ\text{C}$ a účinná teplota okolních ploch $t_u = 16^\circ\text{C}$ přísluší bodu B, který leží pod spodní hranicí tepelné pohody. Při pobytu v oblasti, kterou charakterizuje bod B, bude pocíťován chlad
- Bod C leží nad horní hranicí tepelného komfortu a to při účinné teplotě okolních ploch $t_u = 25^\circ\text{C}$ a teplotě vzduchu $t_v = 22,5^\circ\text{C}$

Pokles výsledné teploty na hranici tepelného komfortu pro oblast, kde převládá sálavý způsob vytápění, lze usoudit podle sklonu křivky d , která ohraničuje dolní oblast pro tepelnou pohodu. Velká plocha v dané oblasti umožňuje snadnější dosažení tepelného komfortu a snižuje náročnost regulace topného zařízení.

Možnosti zvyšování sálavé složky přenosu tepla

Zvýšení tepelného toku infraenergií

Z předchozích kapitol vyplývá, že z důvodu úspory tepla je velmi výhodné dosáhnout co nejvyššího přestupu tepla sáláním. Proto je třeba při vytápění hledat všechny dostupné cesty, které povedou ke zvýšení sálavé složky přenosu tepla.

Ze vztahu pro přenos tepla zářením (1.5) vyplývá, že zvýšení toku tepla sáláním je možné dosáhnout následujícími způsoby:

- zvýšením teploty topných těles T_1
- zlepšením radiačních vlastností těles ϵ_1
- zvětšením plochy topných těles S_1
- Zvýšením součinitele vzájemného osálení

Poslední dva způsoby lze shrnout do jednoho pojmu: „vliv geometrie těles“.

Vliv teploty na velikost infraenergetického toku

Teplota topného tělesa má na množství vyzářené energie poměrně velký vliv. Sálavé topné systémy se vyznačují vysokou teplotou (topného) sálavého povrchu – až několik set stupňů Celsia. Velikost vyzařovaného tepelného toku roste s teplotou - roste se čtvrtou mocninou absolutní teploty. Současně však roste i konvektivní složka přenosu tepla.

S vysokou teplotou topných těles se objevují i některé nevýhody. Především s rostoucí teplotou klesá teplotní účinnost (3.9) a tím i celková exergetická účinnost přenosu tepla sáláním (3.11). Při použití světlých zářičů, v některých případech i tmavých zářičů (Obr.7.5), je třeba z důvodu vysoké teploty je dbát bezpečnostních opatření. Z hlediska radiačních vlastností lidského těla (kapitola 4.5), z hlediska využití exergie (kapitola 3) není příliš vhodné použití topných těles s velmi vysokou teplotou povrchu. V poslední době je tedy z hygienických i ekonomických důvodů trend u sálavých topných systémů snižování teploty povrchu.

Vliv radiačních vlastností topných ploch

Poměrně efektivní a nepříliš nákladnou cestou ke zvyšování radiačního tepelného výkonu je účelné využívání radiačních vlastností materiálů. V případě vlastní topné plochy se jedná o zvyšování emisivity.

Většina materiálů používaných k výrobě topných těles se vyznačuje selektivními vlastnostmi. Tato topná tělesa se od náhradního šedého (případně od černého tělesa) různě liší průběhem monochromatické plošné hustoty tepelného toku E_λ v závislosti na vlnové délce λ . Selektivnost různých materiálů lze účelně využít.

U topných těles* bude maximum vyzařované energie v podobě elektro-magnetického vlnění λ_{max} (podle Wienova (Z.9) a Planckova (Z.3) zákona) o délce 6 až 10 μm . Z hlediska množství vyzařené energie je λ materiálu právě pro tu oblast důležitá, aby byla velká emisivita vlnových délek, která odpovídá oblasti kolem hodnoty λ_{max} černého tělesa o stejné teplotě jako emitující plocha S1 (oblast můžeme ohraničit vlnovými délkami (λ_1 a λ_2)). Potom vlastní topné těleso bude vyzařovat maximální plošnou hustotu tepelného toku pro oblast mezi vlnovými délkami λ_1 a λ_2 :

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{0,\lambda} \varepsilon_\lambda d\lambda$$

kde E je plošná hustota emitovaného záření pro interval vlnové délky

* Platí pro topná tělesa s nižší teplotou povrchu vhodná do obytných místností. Neplatí pro sálavá topná tělesa s vysokou teplotou, např. světlé zářiče.

Velikost tepelného toku přenosu tepla sáláním je dána nejen materiálovými vlastnostmi emitujícího (topného) povrchu, ale i vzájemnou vazbou mezi spektrem přenášeného radiačního toku a spektrální pohltivostí A_λ absorbujícího povrchu.

Tělesa, která mají být ohřívána, jsou skutečná reálná tělesa, tudíž ve většině případů selektivní, jejich pohltivost A_λ bude pro různé vlnové délky rozdílná. Je důležité, aby byla vysoká především pro ty vlnové délky, kterým budou odpovídat maxima vyzařené energie. Pokud bude v těchto vlnových délkách λ_{Max} i maximální pohltivost (emisivita) povrchu tělesa, na který má tepelné záření dopadat, pak bude i přenos tepla zářením podstatně efektivnější. Vlnovou délku vyzařovaného tepelného záření lze měnit teplotou emitujícího povrchu, nebo vhodným výběrem selektivního povrchu. Sladění maximální pohltivosti A_λ s vlnovými délkami, při kterých je vyzařováno největší množství energie se využívá např. v textilním průmyslu při sušení textilií. V oblasti vytápění je toto sladění značně problematické a v současnosti se tento jev nebere v úvahu.

Vliv radiačních vlastností povrchů za různých podmínek je možné určit na měřicím přístroji Hélios a vyhodnotit za pomoci programu Persé.

Vliv geometrie tělesa na velikost vyzařovaného toku

Celková vyzařená energie závisí na tvarech těles, mezi kterými dochází ke sdílení tepla sáláním. Celkový tepelný tok předávaný zářením se určí ze vztahu (1.5). Geometrické vlastnosti obou těles určuje člen:

Přesný výpočet v případě tvarově složitých povrchů je poměrně složitý. Určení poměru vzájemného osálení od topných ploch ϕ_{12} je popsáno v kapitole (1.2.2). Pokud se jedná o plochy, které nejsou geometricky příliš složité, je možné pro výpočet použít uvedených vztahů (1.6 až 1.11).

Mnohdy nejvhodnějším a často jediným účinným opatřením, jak dosáhnout zvýšení tepelného toku záření, je zvýšení součinitele $Se_{1\phi 12} 1\phi 12$ (5.2). Toho lze dosáhnout zvětšením topné plochy S_1 , nebo vhodným navržením a rozložením topných těles.

Zvětšování rozměrů topných těles je omezeno především z hlediska pořizovacích nákladů. Je nutné uvažovat i s estetickými požadavky.

Konstrukce topných ploch

Z poznatků uvedených v této práci vyplývá možnost úspor energie zvětšením sálavé složky přenosu tepla. Jsou zde uvedeny způsoby zvýšení radiační složky tepla.

Pokud mají navrhovaná tělesa sloužit pro zahřívání a sušení materiálů, které se vyznačují výraznými selektivními vlastnostmi, je možné podstatně zlepšit radiační vlastnosti topných těles výběrem optimálního selektivního povrchu a tím zefektivnit přenos tepla zářením mezi topným tělesem a daným materiálem. V oblasti vytápění je v současné době výzkum a zlepšování radiačních vlastností vhodných selektivních povrchů pro topné plochy neefektivní. Jedná se nejen o poměrně náročný a pracný výzkum, ale i potřebu řešit složité technologické problémy. Je to ale cesta, která může vést k podstatným úsporám energie na vytápění. Při projektování vytápěné místnosti je třeba postupovat tak, aby části místnosti s nižší teplotou měly nízkou emisivitu ϵ_λ , tím pádem i pohltivost a části místnosti s vyšší teplotou (otopná tělesa) měly emisivitu ϵ_λ ve vlnových délkách λ co nejvyšší (dle Wienova zákona Z.9). Při výběru vhodných selektivních povrchů není vždy nutné zjišťovat závislost emisivity ϵ_λ na vlnové délce, ale je možné použít např. přístroj Hélios a zjistit celkové hodnoty emisivity ϵ_T pro provozní podmínky, ve kterých bude rovněž probíhat měření.

Optimální projekční uspořádání a vhodná konstrukce topných ploch zvyšující sálavou složku přestupu tepla, má při vytápění největší vliv na úsporu energie.

Radiační vlastnosti lidského těla

Na lidské tělo působí jednotlivá spektra tepelných záření různě. Záleží především na vlnových délkách, ze kterých je tvořeno spektrum dopadajícího záření. Lidské tělo se z hlediska záření chová jako těleso se selektivním povrchem.

V příloze na Obr. LXXV můžeme sledovat průběh propustnosti τ_λ pokožky a oční rohovky v závislosti na vlnové délce λ .

Z uvedené závislosti je vidět, že záření o vyšších vlnových délkách hůře prostupuje oční rohovkou a tím pádem nevyvolává nepříjemné pocity způsobené intenzivním zářivým tokem, který prochází oční rohovkou, případně pokožkou. Pro člověka je příjemnější, když většina energie ze spektra tepelného záření, která na něj dopadá, má vyšší vlnovou délku λ . Je tedy vhodné, aby λ_{\max} byla co nejvyšší. Záření o vyšších vlnových délkách lidé lépe snášejí.

Obdobná situace nastává u průchodu tepelného záření pokožkou. Zde je ale funkční závislost propustnosti τ_λ v závislosti na vlnové délce λ složitější. Výrazné minimum nastává při vlnové délce $\lambda = 7,1$ až $7,3 \mu\text{m}$ (to odpovídá $t_{\lambda_{\max}} 130^\circ\text{C}$), kdy hodnota propustnosti $\tau_{\approx\lambda}$ klesne až na 0,12. Při snižování nebo zvyšování vlnové délky hodnota propustnosti roste. Při $10 \mu\text{m}$ (to odpovídá $t_{\lambda_{\max}} \gg 16,6^\circ\text{C}$) stoupne na 0,3 a při $6,2 \mu\text{m}$ ($t_{\lambda_{\max}} \gg 194^\circ\text{C}$) na 0,58. Další výrazné lokální minimum je na $2,9 \mu\text{m}$ (to odpovídá $t_{\lambda_{\max}} \gg 726^\circ\text{C}$), kdy hodnota propustnosti τ_λ klesne na 0,16.

S rostoucími vlnovými délkami klesá reflexní koeficient povrchu lidského těla a roste jeho absorpční koeficient. To způsobí, že při vyšších vlnových délkách záření je méně energie povrchem lidského těla odraženo. Větší část tepelného záření je pokožkou pohlcena. To přispívá k dosažení tepelné pohody při nižších nákladech vynaložených na energii potřebnou při vytápění.

Z hlediska efektivního využití toku tepelného záření emitovaného činným povrchem tepelného zářiče je důležité, aby absorpční koeficient A pro povrch, na který se má přenášet energii tepelného záření, byl co nejvyšší.

Z Obr. LXXV je vidět průběh absorpčního koeficientu A_λ pro povrch lidského těla. Lze říci, že od vlnové délky $\lambda = 0,51 \mu\text{m}$ roste absorpce A_λ až do $5 \mu\text{m}$ (odpovídá $t_{\lambda\text{max}} \gg 306^\circ\text{C}$). Potom se ustálí na $A_\lambda = 0,96$.

Pro vyšší vlnové délky, které mají význam z hlediska vytápění, je povrch lidského těla povrchem s velmi vysokou absorpcí tepelného záření, který se svými vlastnostmi blíží povrchu černého tělesa.

autor: Ing. Pavel Šilar, Ph.D.

Použitá literatura:

- [1] Blažek M.: Chlazení detektorů infračerveného záření – Sborník Infračervená radiometrie, infrasystémy – DT ČS VTS Brno 1990.
- [2] Cihelka J.: Vytápění, větrání a klimatizace, SNTL – Praha 1985.
- [3] Cihelka J.: Sálavé vytápění, SNTL – Praha 1957.
- [4] Cihelka J.: Sálavé vytápění, SNTL – Praha 1961.
- [5] Dines G. D.: Radiation effects in solid, INC – New York 1957.
- [6] Dvořák M. O sálavém topení netradičně, Klimatizace (103) – Praha 1998
- [7] Einstein A.: Sbranie naučných trudov /3, Nauka - Moskva 1966.
- [8] Elsner N.: Grundlagen der Technischen Thermodynamik, AKADEMIE – VERLAG, Berlin 1985.
- [9] Feist W., Klien J.: Nízkoenergetický dům, HEL – Ostrava 1994.
- [10] Glück B.: Stralungsheizung – Theorie und Praxis VEB Berlin 1981.
- [11] Gray W.A, Müller R.: Engineering calculations in radiative heat transfer, Pergamon press – Oxford 1974.
- [12] Heitler W.: The Quantum Theory of Radiation , Oxford 1957.
- [13] Heřmanský B., Štoll I.: Energie pro 21. století, skripta ČVUT Praha, 1992.
- [14] Hes L.: Zvláštnosti radiačního měření teploty netkaných textilií – Sborník Infračervená radiometrie, infrasystémy – DT ČS VTS Brno 1985.
- [15] Hollas J. M.: Modern spectroscopy, Wiley – New York 1996.
- [16] Holló J., Kaffka K.J., Gönczy J.L.: Near infrared, Akadémiai Kiadó – Budapest 1987.
- [17] Hottel H. C.: Přenos tepla zářením, SNTL – Praha 1979.
- [18] Hudson R. D.: Infrared system engineering, Wiley – Interscience – New York, 1969.
- [19] Chadson R.: Infrakrasnie sistemy, Mir – Moskva 1972.
- [20] Chyský J.: Sdílení tepla sáláním, Stavomontáže – Praha 1951.
- [21] Kalčík J., Sýkora K.: Technická termodynamika, ČSAV Praha 1973.
- [22] Kalčík J.: Technická termodynamika, NČSAV Praha 1963.
- [23] Karamanolis S.: Sluneční energie, MAC – Praha 1996.
- [24] Karlsson B.: Optical properties of solids for solar energy conversion, Almqvist & Wiksell – Stockholm, 1981.
- [25] Kotrbatý M.: Vytápění velkoprostorových objektů zavěšenými sálavými panely, ČSVTS – Praha 1988.
- [26] Kotrbatý M.: Vytápění zavěšenými sálavými panely – kombinace s větracími systémy, ČSVTS – Praha 1988.
- [27] Kozlov I.G.: Sovremennye problemy elektronnoj spektroskopii, ATOMIZDAT – Moskva 1978.
- [28] Kunin T.: Temperatura, MIR - Moskva 1985.
- [29] Laboutka K., Berounský V., Chyba A.: Význam hliníkových fólií za otopnými tělesy – Zdravotní technika a vzduchotechnika 1987/6
- [30] Láng L.: Absorption spectra in the infrared region, Akadémiai Kiado – Budapest 1978.
- [31] Levitin I. B.: Infračervená technika, ALFA – Bratislava 1979.

- [32] Lunde P. J. Solar thermal engineering : Space heating and hot water systems, Wiley - New York 1980
- [33] Mahlík K.: Využití termovize při bilancích exergie – Sborník Infračervená radiometrie, infrasytémy –DT ČS VTS Brno 1985.
- [34] Maryška J. Základy metody konečných prvků, VŠST Liberec 1992.
- [35] Miler L.J.: Principles of infrared technology, VNR – New York 1994.
- [36] Mittermair F., Sauer W., Weiße G.: Zařízení se slunečními kolektory, HEL – Ostrava,1995.
- [37] Modest M. F.: Radiative heat transfer; Pennsylvania State University1993.
- [38] Montgomery R. H., Miles W. F. The solar decision book of homes
Wiley - New York 1982
- [39] Pecold K.: Raumlufthtemperatur, VEB Verlag Technik – Berlin 1986.
- [40] Pechar F., Rykl D.: Infrared reflection spectra of selected minerals, ACADEMIA – Praha 1988
- [41] Petráš D.: Vliv oblečení člověka na tepelnou pohodu a energetickou náročnost v obytných budovách, sborník ČSVTS – Praha 1985.
- [42] Ralčuk N. T.: Panelnoje otopenije zdaniy, Budibelnik – Kijev 1964.
- [43] Rabiasz R.: Statyczne i dynamiczne własności cieplne grzejników konwekcyjnych, Politechniki Warszawskiej – Warszawa 1981
- [44] Rautuan S.G. a kolektiv: Novye metody spektroskopii, Nauka – Novosibirsk 1982.
- [45] Richter E.: Heating - Practical guidebook, Wiley - New York 1978
- [46] Řeháček J.: Zlepšování užitných vlastností pozemních staveb,
SNTL –Praha 1990.
- [47] Sala A.: Radiant Properties of Materials, PWN – Warszawa 1986.
- [48] Sazima M.: Sdílení tepla, SPN – Praha 1986.
- [49] Sparrow E. M., Cess R. D.: Radiation heat transfer,
HPC – Belmont California 1978.
- [50] Středa I., Sazima M., Doubrava J.: Termomechanika – skripta ČVUT,
Praha 1992.
- [51] Šilar P.: Algor – Stacionární sdílení tepla, TU Liberec 1994.
- [52] Šilar P.: Sálání a jeho vliv na tepelnou pohodu, Seminář – Aktuální problémy mechaniky tekutin '98, Praha 1998.
- [53] Šilar P.: Topná tělesa a jejich sálání – vliv na tepelnou pohodu,
Seminář MOSD98, Perning 1998.
- [54] Šilar P.: Teplotní analýza konstrukčních prvků elektrického stroje užitím metody konečných prvků – Diplomová práce, TU Liberec 1995.
- [55] Šorin S.N.: Sdílení tepla, SNTL / ALFA – Praha 1968.
- [56] Touloukian Y.S., DeWitt D.P., Hemicz R.S.: Thermal radiative properties – Coatings, IFI – New York 1970.
- [57] Touloukian Y.S., DeWitt D.P.: Thermal radiative properties – Metallic elements and alloys, IFI – New York 1972.
- [58] Touloukian Y.S., DeWitt D.P.: Thermal radiative properties – Nonmetallic solids, IFI – New York 1972.
- [59] Tratzscher W., Brodnaskij V. M., Michalek K.: Exergie Theorie und Anwendung, VEB – Leipzig 1984.
- [60] Tratzscher W.: Exergie und Stoffwandlung, Akademie – Verlag
Berlin 1985.
- [61] Trofimov V. P., Agzericho K. S.: Radiacionnyj teploobmen v dvuchfaznyh sredach, Nauka i tehnika – Minsk 1987
- [62] Valchářová J.: Soudobé numerické metody v mechanice kontinua,
Praha 1986.
- [63] Vanasse G. A.: Spectrometric techniques, ACADEMIC PRESS -
– New York 1981.
- [64] Walther L., Gerber D.: Infrarotmesstechnik, VEB – Berlin 1981.
- [65] Termomechanika – tabulky (Pomůcka ke cvičením) –
TU - Liberec Katedra termomechaniky 1999.