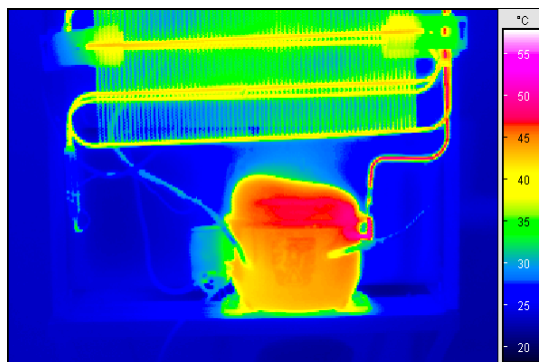


TEORIE TERMOVIZNÍCH MĚŘENÍ

Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc.

Efektivním zařízením pro vizualizaci a bezdotyková měření povrchových teplot je termovizní kamera. Používá se k měření v energetice, v oblasti přenosu tepla, v technice prostředí, v medicíně, při dálkovém výzkumu Země a v mnoha dalších oborech. Poskytuje názorné obrazové záznamy i videozáznamy, umožňující získat kvalitativní i kvantitativní informace pro hlubší poznání tepelných procesů různých zařízení a objektů (obr. 1). Přednáška se zabývá jednak rozdělením *termovizních kamer* a popisem parametrů některých typů (za účelem výběru vhodné kamery pro konkrétní aplikace), ale především *teoretickými základy termovizních měření* včetně rozboru základních vlivů působících při termovizních měřeních. Z takových poznatků lze pak vytvořit jisté *zásady při práci s termovizní kamerou*, které je třeba dodržovat pro získání objektivních výsledků měření. Závěr přednášky je věnován *měření radiální teploty okolního prostředí*, kterou je třeba znát pro přesná termovizní měření a je zde uveden též návrh *protokolu o termovizním měření*, který rovněž vychází ze znalostí teoretických základů.

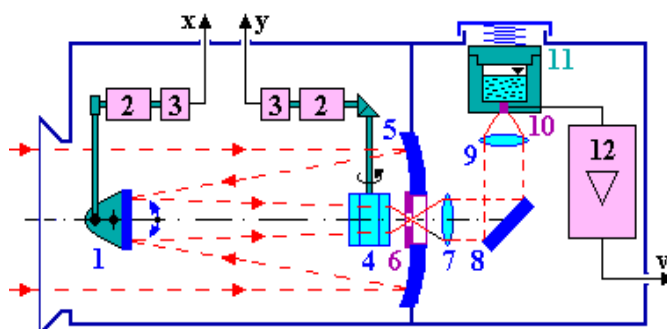


Obr. 1 Termogram kompresorového chladičového zařízení

1. Termovizní kamery

Termovizní kamery lze dělit podle různých kritérií. Dle způsobu zobrazování rozlišujeme kamery s rozkladem obrazu - scannery (obr. 2) a bez rozkladu obrazu - s maticovými detektory. Dle způsobu chlazení existují přesnější kamery s chlazeným detektorem (obr. 2) a kamery s nechlazeným detektorem. Dle jiných kritérií lze termovizní kamery dělit na krátko vlnové a dlouho vlnové, rychlé (pro záznam videosekvencí) a pomalé, kompaktní či více komponentové apod. Dodavatelé či výrobci termovizních systémů jsou např. firmy Jenoptik [4], InfraTec [3] a NEC San-ei Instruments [6] zastoupené firmou NBN Elektronik [5], FLIR systems [2] zastoupená firmou TMV SS [10], ale i Ahlborn [1] a další.

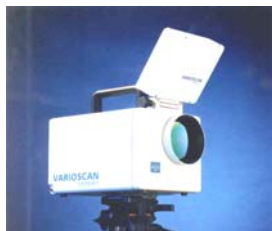
- 1 rozmitací zrcadlo,
- 2 motorky,
- 3 fotoelektrické vysílače polohy x - y
- 4 křemenný osmiboký hranol,
- 5 duté zrcadlo,
- 6 clona,
- 7, 8, 9 optická soustava,
- 10 kvantový detektor,
- 11 kapalný dusík,
- 12 předzesilovač s videovýstupem v



Obr. 2 Schéma termovizní kamery s rozkladem obrazu a chlazeným detektorem

Při výběru termovizní kamery je třeba brát v úvahu dle oblasti použití různé parametry, viz obr. 3. Navíc je třeba uvážit, zda kamera bude na stálém místě nebo má být mobilní, zda má být ovládaná z počítače, notebooku nebo pomocí ovládacích prvků kamery apod.

Obr. 3
Termovizní kamery
Jenoptik [4]



KAMERA	VarioSCAN	VarioCAM	VarioTHERM
Chlazení detektoru	N ₂ či Stirling, [*termoel.]	CCD nechlazený	CCD - chlazení Stirling
Spektrální citlivost	8-12 μm (2-5 μm)	8-13 μm	3,4-5 μm
Rozsah teplot	-40 až 1200 °C (2000 °C)	-40 až 1200 °C (2000 °C)	-25 až 1200 °C (2000 °C)
Rozlišení, nejistota	0,03 K, [*0,12 K]	0,1 K, ± 2 K, ± 2 %	0,1 K, ± 2 K, ± 2 %
Obrazové body a frekvence	360 x 240 bodů, 5 obr./s	320 x 240 bodů, 50 obr./s	256 x 256 bodů, 50 obr./s
Výstupy	CF karta, SRAM	CF karta, FireWire, RS 232 /	CF karta, spec. PC karta,
digitální / analogové		PAL, S-Video	RS 232 / PAL, S-Video,
Objektivy	Elektro-optický ZOOM	3 + 2 předsádky	4 + 2 předsádky

2. Teoretické základy termovizních měření

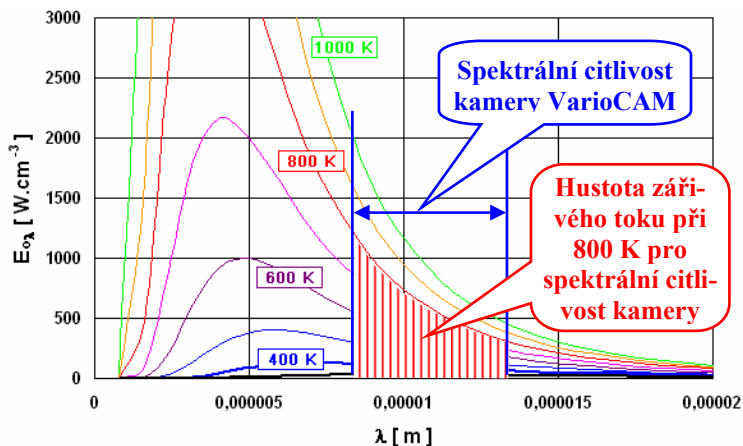
Termovizní měření vyžadují znalost fyzikálních základů této měřicí metody, abychom si mohli vhodně uspořádat měření a získali tak kvalitní záznamy pro kvantitativní vyhodnocení. Mezi základní zákony potřebné pro pochopení termovizních měření patří Planckův vyzařovací zákon, Wienův zákon, Stefanův - Boltzmannův zákon a také 1. a 2. Kirchhoffův zákon. Podrobněji jsou tyto zákony popsány v lit. [8].

Planckův vyzařovací zákon

je možné vyjádřit graficky (viz obr. 4) nebo také matematicky vztahem

$$E_{o\lambda} = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1}, \quad (1)$$

kde $E_{o\lambda}$ [W.m⁻³] je spektrální hustota zářivého toku černých objektů do poloprostoru, T [K] je teplota objektu, λ [m] je vlnová délka záření a konstanty c_1 a c_2 mají hodnoty $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16}$ W.m² a $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$ K.m.



Obr. 4 Planckův vyzařovací zákon

Wienův zákon říká, že s rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku $E_{o\lambda}$ ke kratším vlnovým délkám. Matematicky to lze popsat rovnicí

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} . \quad (2)$$

Stefanův - Boltzmannův zákon lze získat integrací spektrální hustoty zářivého toku černého objektu $E_{o\lambda}$ (1), a to přes celý rozsah vlnových délek λ (od 0 do ∞) a za konstantní teploty. Výsledkem je hustota zářivého toku E_o [W.m⁻²], pro kterou platí:

$$\text{Pro vlastní záření černého tělesa} \quad E_o = \sigma_o \cdot T^4 . \quad (3)$$

$$\text{Pro vlastní záření šedého tělesa} \quad E = \sigma_o \cdot \varepsilon \cdot T^4 . \quad (4)$$

V rovnicích (3) a (4) představuje $\sigma_o = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ Stefanovu - Boltzmannovu konstantu a $\varepsilon [-]$ je emisivita povrchu tělesa. U reálných tepelných zdrojů je emisivita funkcí vlnové délky, teploty a směru vyzařování. V tabulkách lze nalézt emisivitu do poloprostoru a ve směru normály. Zdroje, které září rovnoměrně do všech směrů poloprostoru se nazývají Lambertovy. Protikladem jsou laserové zdroje, které vyzařují jen úzký svazek paprsků.

První Kirchhoffův zákon se zabývá interakcí záření s objektem a říká, že součet reflektance r , absorptance a a transmittance t daného objektu je vždy roven jedné

$$r + a + t = 1. \quad (5)$$

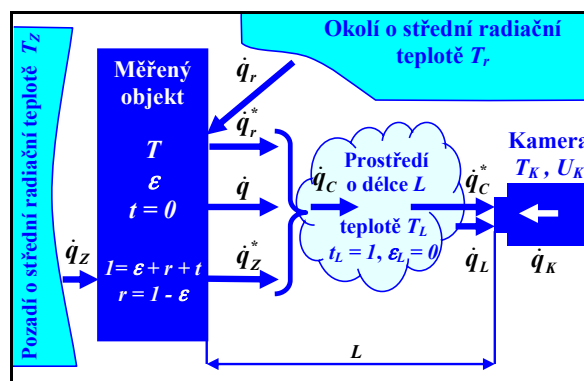
Druhý Kirchhoffův zákon konstatuje, že objekt je tak dokonalým zářičem, jak dovede záření pohlcovat, a proto platí

$$\varepsilon = a. \quad (6)$$

Při interakci záření s povrchem je třeba také uvažovat kvalitu povrchu, která má vliv na šíření záření po odrazu. Z tohoto pohledu rozlišujeme dva mezní typy povrchů, a to zrcadlový povrch, kdy úhel dopadu záření je roven úhlu odrazu a difúzní povrch, který dopadající záření odráží rovnoměrně do všech směrů a projevuje se pak jako sekundární Lambertův zdroj.

2.1 Rozbor záření při měření termovizní kamerou

Při vlastním termovizním měření dochází k vzájemnému přenosu a ovlivňování zářivých toků nejen mezi kamerou a měřeným objektem, ale prakticky vždy je třeba brát v úvahu i vliv záření okolního prostředí. Je-li transmittance měřeného objektu $t \neq 0$, musíme navíc uvažovat i vliv záření pozadí (za měřeným objektem) a je-li emisivita prostředí mezi kamerou a objektem $\varepsilon_L \neq 0$, je třeba uvažovat i vliv záření prostředí o délce L [m], viz obr. 5. Další rozbor bude proveden pro nejčastější případy termovizních měření, kdy $t = 0$ a $\varepsilon_L = 0$.



Obr. 5 Uspořádání objektů při termovizním měření

Jelikož kamera snímá záření pouze v omezeném rozsahu vlnových délek (viz spektrální citlivost na obr. 3) a čidlo reaguje na dopadající záření jen s určitou účinností, budeme v dalším textu místo hustoty zářivého toku E [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] dle vztahu (4) používat hodnotu úměrnou, která může být u čidel reagujících na tepelný tok zářením ztotožněna s hustotou tepelného toku zářením \dot{q} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]. Pro vlastní hustotu tepelného toku zářením měřeného objektu \dot{q} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] o teplotě T [K] a emisivitě povrchu $\varepsilon [-]$ platí

$$\dot{q} \approx \varepsilon \cdot \sigma_o \cdot T^4. \quad (7)$$

Pro vlastní hustotu tepelného toku zářením okolí \dot{q}_r [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] o teplotě T_r [K] (označované též jako radiční teplota) a pro hustotu tepelného toku zářením z okolí odraženou od měřeného objektu \dot{q}_r^* [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] můžeme psát

$$\dot{q}_r \approx \sigma_o \cdot T_r^4, \quad \dot{q}_r^* \approx (1 - \varepsilon) \cdot \sigma_o \cdot T_r^4. \quad (8)$$

Pro vlastní hustotu tepelného toku záření z pozadí \dot{q}_z [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] o teplotě T_z [K] a hustotu tepelného toku zářením prošlou měřeným objektem \dot{q}_z^* [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] o transmittanci $t = 0$ platí

$$\dot{q}_Z \approx \sigma_o \cdot T_Z^4, \quad \dot{q}_Z^* \approx t \cdot \sigma_o \cdot T_Z^4 = 0. \quad (9)$$

Pro vlastní hustotu tepelného toku zářením prostředí \dot{q}_L [W.m⁻²] o teplotě T_L [K] a pro $\varepsilon_L = 0$ platí

$$\dot{q}_L \approx \varepsilon_L \cdot \sigma_o \cdot T_L^4 = 0. \quad (10)$$

V soustavě je třeba uvažovat i vlastní hustotu tepelného toku detektoru kamery \dot{q}_K [W.m⁻²] o teplotě T_K [K], která se z pohledu objektu jeví podobně, jako okolní prostředí a platí vztah

$$\dot{q}_K \approx \sigma_o \cdot T_K^4. \quad (11)$$

Hustoty tepelných toků všech objektů před kamerou, pro $\dot{q}_L = 0$ a $\dot{q}_Z^* = 0$, lze vyjádřit vztahem

$$\dot{q}_C^* = \dot{q}_C = \dot{q} + \dot{q}_r^* \approx \varepsilon \cdot \sigma_o \cdot T^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma_o \cdot T_r^4. \quad (12)$$

Pro vzájemnou hustotu tepelného toku zářením mezi objekty před kamerou a kamerou platí

$$\dot{q}_{CK} \approx \sigma_o [\varepsilon \cdot T^4 + (1 - \varepsilon) \cdot T_r^4 - T_K^4]. \quad (13)$$

Z tohoto vztahu lze vyjádřit teplotu povrchu měřeného objektu T [K] ve tvaru

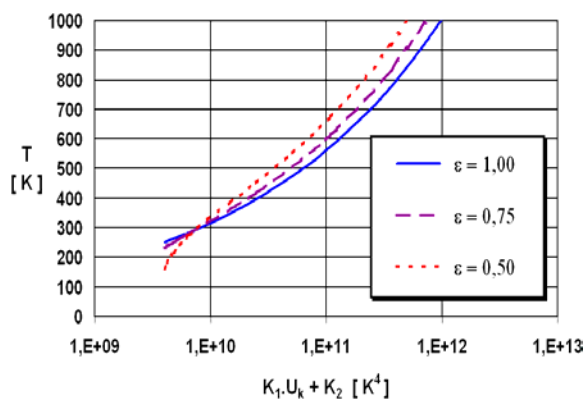
$$T \approx \sqrt[4]{\frac{\dot{q}_{CK} + T_K^4 - (1 - \varepsilon) \cdot T_r^4}{\sigma_o \cdot \varepsilon}}. \quad (14)$$

Je-li napětí U_K [V] na čidle termovizní kamery úměrné tepelnému toku \dot{q}_{CK} [W.m⁻²], lze teplotu určit z rovnice

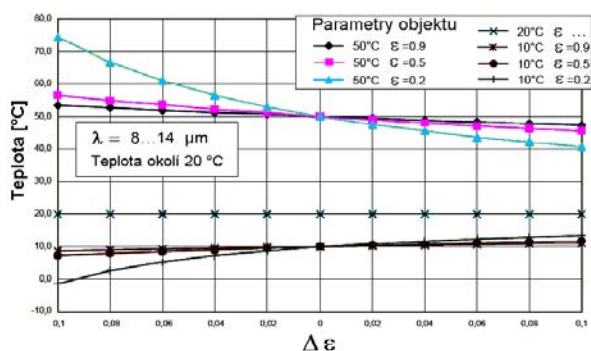
$$T = \sqrt[4]{\frac{K_1 \cdot U_K + K_2 - (1 - \varepsilon) \cdot T_r^4}{\varepsilon}}, \quad (15)$$

kde K_1 a K_2 jsou cejchovní konstanty kamery. Pro nelineární závislost $U = f(\dot{q}_{CK})$ může být cejchovních konstant i více.

Graficky je rovnice (15) zobrazena na obr. 6, a to pro teplotu $T_r = 300$ K. Je zřejmé, že při určitém konkrétním signálu v kameře, daném napětím na detektoru a cejchovními konstantami, je teplota povrchu objektu závislá na emisivitě povrchu. Pro $T > T_r$ vyhodnocená teplota objektu s klesající emisivitou roste a pro $T < T_r$ vyhodnocená teplota objektu s klesající emisivitou klesá. Tato skutečnost je zřejmá i z obr. 7, který ukazuje vliv chybného nastavení emisivity na naměřenou teplotu objektu.



Obr. 6 Určení teploty z napětí na čidle kamery



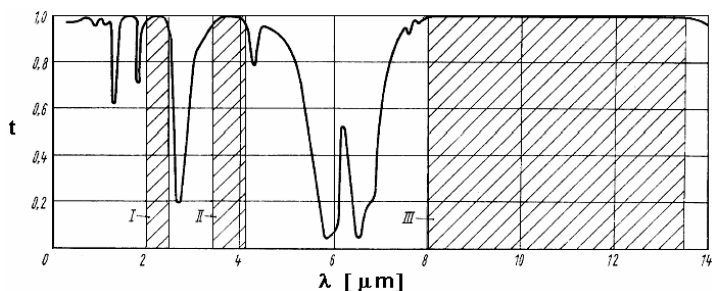
Obr. 7 Vliv chybného nastavení emisivity

2.2 Vliv spektrální citlivosti kamery na termovizní měření

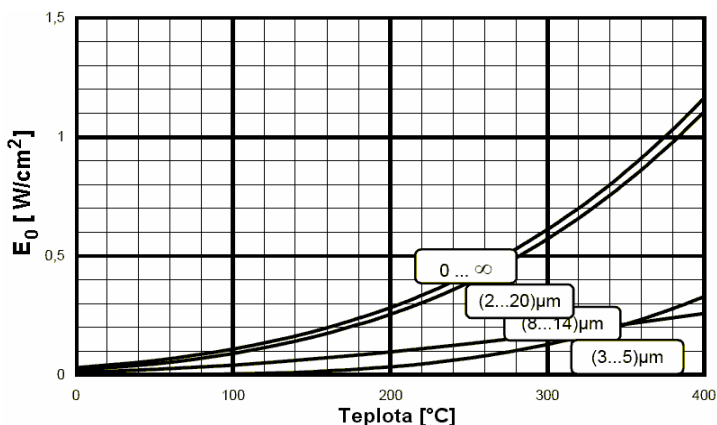
Spektrální citlivost kamery byla již zmíněna v předchozím textu při zavedení hustoty tepelného toku zářením \dot{q} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] úměrné zářivému toku E_o [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]. Na obr. 4 je naznačena plocha představující vlastní hustotu zářivého toku objektu při teplotě 800 K, a to v rozsahu spektrální citlivosti kamery. Je zřejmé, že kamera reaguje na signál úměrný ploše vyznačené v obr. 4 a pro dokonale černé objekty může tomuto signálu přímo přiřadit teplotu. Pro dokonale šedé objekty (v oblasti spektrální citlivosti kamery) je pak třeba teplotu objektu vyjádřit ze signálu registrovaného kamerou (z napětí U_K [V] na čidle termovizní kamery) pomocí rovnice (15). Skutečné objekty mohou mít však i v oblasti spektrální citlivosti kamery proměnnou emisivitu a pak je třeba použít v rovnici (15) střední hodnotu emisivity.

Při pořizování kamery je třeba volit spektrální citlivost dle požadovaného rozsahu měřených teplot (pro vyšší teploty jsou vhodné kratší vlnové délky, pro nižší teploty větší vlnové délky). Také je přitom třeba dbát na vlastnosti prostředí mezi termovizní kamerou a zkoumaným objektem, aby nedocházelo k pohlcování záření prostředím. Pro termovizní měření v prostoru se vzduchem jsou vhodné rozsahy spektrální citlivosti I, II, III, uvedené na obr. 8.

Na obr. 9 jsou vykresleny vlastní hustoty zářivého toku černých objektů do poloprostoru, a to v různých rozsazích spektrálních citlivostí kamery. Tyto křivky lze získat podobně jako Stefanův - Boltzmannův zákon (3), ale integrace spektrální hustoty zářivého toku černého objektu $E_{o\lambda}$ (1) se provede za konstantní teploty, pouze v rozsahu vlnových délek λ odpovídajících spektrální citlivosti kamery.



Obr. 8 Závislost transmittance vzduchu t na vlnové délce záření λ pro vzdálenost $L = 10$ m, teplotu 25 °C, tlak 1013 mbar a relativní vlhkost 85 %



Obr. 9 Vlastní hustota zářivého toku černých objektů pro různé spektrální citlivosti kamery

2.3 Určování tepelného toku mezi povrchem objektu a okolím

Je-li sledovaný povrch objektu umístěn ve vakuu nebo v prostoru vyplněném tekutinou a okolní povrchy či tekutina mají odlišné teploty od teploty tohoto povrchu, dochází k různým způsobům přenosu tepla. Výsledný tepelný tok daný součtem jednotlivých druhů přenosu tepla bývá označován jako tepelné ztráty nebo zisky. Mezi povrchem objektu a okolím dochází především k přenosu tepla zářením a v případě, že objekt je obtékán tekutinou (kapalinou, plynem), je třeba k tepelnému toku zářením přičíst i tepelný tok konvekcí¹.

¹ V pohybující se tekutině zahrnuje přenos tepla konvekcí též přenos tepla vedením, v tekutině bez proudění je konvekce nahrazena vedením tepla z povrchu do tekutiny. V částečně neprůteplivých tekutinách ($t_L < 1$, $\varepsilon_L \neq 0$) se tekutina ohřívá i absorbováním tepelného toku zářením.

Výsledkem termovizních měření je především získání rozložení teplot T [K] na sledovaném povrchu. Tyto teploty mohou pak dále sloužit k vyjádření *tepelného toku zářením* nebo i k vyjádření *tepelného toku konvekcí*.

Vlastní hustotu tepelného toku zářením měřeného povrchu \dot{q} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] lze určovat ze známé teploty povrchu T [K] a známé střední emisivity povrchu ε [-] v požadovaném rozsahu vlnových délek. Tento rozsah nemusí být však shodný se spektrální citlivostí kamery. Pro vyjádření vlastní hustoty tepelného toku zářením v rozsahu vlnových délek $\lambda = 0$ až ∞ lze použít vztah (4) nebo (7). Pro vyjádření vlastní hustoty tepelného toku zářením v jinak definovaném rozsahu vlnových délek lze integrovat přímo vztah (1) a výsledek vynásobit střední emisivitou objektu. Pro některé rozsahy vlnových délek a černá tělesa je možné použít také obr. 9. K termoviznímu systému firmy Jenoptik [4] lze zakoupit software *IRBIS-Professional* [3], který dokáže zobrazit přímo rozložení vlastní hustoty tepelného toku zářením na sledovaném povrchu ve zvoleném rozsahu vlnových délek.

Pro stanovení tepelných zisků či ztrát musíme však použít tzv. výslednou hustotu tepelného toku zářením mezi měřeným povrchem a všemi ostatními povrchy v daném prostoru, jelikož i tyto povrchy jsou zdrojem záření působících na měřený povrch.

Výsledná hustota tepelného toku zářením z objektu do okolí či obráceně je vždy menší než vlastní hustota tepelného toku zářením. Určení výsledné hustoty tepelného toku zářením je však podstatně složitější. Kromě teploty T [K] a emisivity ε [-] měřeného povrchu je pro výpočet třeba znát i uspořádání dalších povrchů v okolním prostoru včetně jejich teploty T_r [K], případně i emisivity ε_r [-], nebo též vlastnosti tekutiny v tomto prostoru, je-li tekutina částečně neprůteplivá ($t_L < 1$, $\varepsilon_L \neq 0$). Některé způsoby výpočtu výsledné hustoty tepelného toku zářením najdeme v lit. [7].

Hustota tepelného toku konvekcí mezi měřeným povrchem a tekutinou je dána jednak teplotou povrchu naměřenou termovizí T [K], ale také teplotou tekutiny v prostředí T_L [K] a tzv. součinitelem přestupu tepla α [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. Určení součinitele přestupu tepla bývá složité, lze jej stanovit měřením, pomocí teorie podobnosti [7], ale i jinak.

3. Zásady při práci s termovizní kamerou

Kameru s objektivy je třeba vždy chránit před agresivním prostředím (včetně dotyků prstů), extrémními teplotami, znečištěním, prachem, nárazy, nepřízní počasí apod. Při vlastních termovizních měřeních je pak třeba dodržovat jisté zásady, abychom minimalizovali chyby a nejistoty měření. V dalším textu budeme rozlišovat měření neprůteplivých objektů (s transmitancí $t = 0$) či částečně průteplivých objektů ($t > 0$) a měření v průteplivém prostředí (s transmitancí $t_L = 1$) či v částečně neprůteplivém prostředí ($t_L < 1$, $\varepsilon_L \neq 0$). Pokud jsou potřebné parametry známy, lze je u novějších systémů nastavit přímo na termovizní kameře nebo ve vyhodnocovacím programu a systém automaticky zobrazí žádané teploty měřeného objektu.

3.1 Měření neprůteplivých objektů v průteplivém prostředí

Před měřením je třeba obvykle na kameře nastavit *vhodný rozsah teplot* T [K], přičemž je nutné měřit *dostatečné změny teplot* ΔT [K]. Např. při výzkumu tepelných ztrát budov je vhodné provádět měření, je-li rozdíl mezi vnitřní a vnější teplotou minimálně 20 K. Rovněž je třeba dbát na to, aby sledovaný objekt byl v zorném poli kamery co největší, což lze zajistit umístěním kamery do vhodné vzdálenosti, použitím vhodného objektivu či předsádek, nebo u některých kamer také transfokátorem. Dále je třeba znát *emisivitu* ε [-] měřeného objektu (z tabulek, nebo z vlastního měření použitím např. dotykového teploměru), a to pokud možno i jako funkci teploty, směru, či vlnové délky. Velice důležitá je znalost *střední radiační teploty*

T_r [K] okolního prostředí (obr. 5) nebo i radiačních teplot z určitého směru (především u povrchů s malou emisivitou, které odrážejí záření částečně zrcadlově). Pokud se v okolí vyskytují horké či chladné povrchy, plameny, žárovky, Slunce, lidé apod., je třeba odclonit záření okolí přepážkami či umístit objekt do speciální komory. Také je možné provést záznamy objektu z několika směrů, u laboratorních měření i v různých polohách a v různém natočení vůči okolí. U venkovních experimentů je vhodné provádět měření brzy ráno či pozdě odpoledne, bez slunečního záření.

3.2 Měření neprůteplivých objektů v částečně neprůteplivém prostředí

Při měření v částečně neprůteplivém prostředí mezi měřeným objektem a kamerou (s větším množstvím par H_2O , plynů CO_2 , CO , aerosolů apod.) dochází k jistému pohlcování záření prostředím. Kromě zásad uvedených v předchozím textu je v takových případech třeba znát i parametry prostředí (obr. 5), a to vzdálenost L [m] objektu od kamery, *transmitanci prostředí* t_L [-] a *teplotu prostředí* T_L [K] měřenou teploměrem stíněným vůči záření. Měření v částečně neprůteplivém prostředí zmenšuje přesnost měření, a proto není vhodné, měřit např. v mlze, dešti nebo při sněžení.

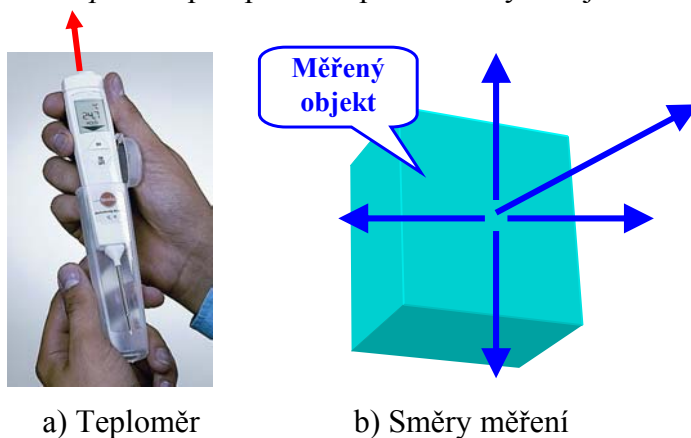
3.3 Měření částečně průteplivých objektů

Pokud je měřený objekt částečně průteplivý, projevuje se při vyhodnocování termogramu také záření z pozadí, viz obr. 5. Pak je třeba znát exaktně i *transmitanci objektu* t [-] v rozsahu spektrální citlivosti kamery a teplotu pozadí objektu T_Z [K]. Záření pozadí se však může projevovat i při měření příliš malých objektů, srovnatelných s velikostí obrazových bodů kamery. Pak je třeba objekt zvětšit, a to přiblížením kamery, jiným objektivem, předsádkou objektivu či transfokátorem.

4. Měření radiační teploty okolního prostředí

Přesná termovizní měření vyžadují přesnou znalost radiační teploty T_r [K]. Pokud je okolní prostředí homogenní, je postačující znát *střední radiační teplotu*. V nehomogenním prostředí je vhodné pak znát *rovinnou radiační teplotu* z poloprostoru před měřeným objektem.

Pro detailnější zmapování poloprostoru před měřeným objektem je vhodné měřit radiační teploty pomocí *radiačních teploměrů* nebo též *termovize*, a to při nastavení přístroje na $\varepsilon = 1$. Při měření radiačními teploměry můžeme postupně měřit lokální radiační teploty všech důležitých povrchů, nebo efektivněji střední radiační teploty v jistém prostorovém úhlu, např. pomocí radiačního teploměru firmy TESTO z obr. 10 v prostorovém úhlu 30° . Při měření radiačních teplot pomocí termovize snímáme



Obr. 10 Měření radiačních teplot radiačním teploměrem firmy TESTO [9]

rovněž postupně poloprostor před objektem, přičemž z termogramů lze vyhodnotit jak lokální radiační teploty, tak průměrné radiační teploty z jisté části prostoru (např. stanovením průměrné teploty z celého termogramu). Radiační teploty získané radiačními teploměry nebo termovizí lze při zkoumání objektů typu Lambertových zdrojů zprůměrovat.

Zkoumání zrcadlových povrchů je velice náročné, jelikož se na povrchu více či méně odráží záření z okolního prostředí. Máme-li však k dispozici termovizi s možností diferenčního zpracování obrazu, lze vliv okolí eliminovat. Nejlépe je však provádět termovizní měření ve speciální laboratoři s difúzně zářícími stěnami a s konstantními teplotami povrchů.

Uvedené způsoby určování radiační teploty a vyhodnocování termogramů jsou postačující při výzkumu teplot vypuklých povrchů (konvexních). Chceme-li zkoumat duté povrchy (konkávní), je třeba si uvědomit, že kromě záření okolního prostředí působí na jednotlivé body povrchu i záření jiných bodů tohoto povrchu a vyhodnocování teplot je složitější. Hluboké dutiny s matným povrchem se v praxi používají i jako referenční černá tělesa.

5. Protokol o termovizním měření

Z teoretického rozboru termovizních měření vyplývá, které veličiny je třeba při termovizních měřeních zaznamenávat. Před měřením je obvykle třeba vyhotovit si vhodnou tabulku pro zápis naměřených hodnot, která bude sloužit po vyplnění jako součást protokolu o termovizním měření. Příklad takové tabulky je uveden na obr. 11. Pro konkrétní případy termovizních měření lze tabulku zjednodušit. U složitějších termovizních experimentů je třeba doplnit uvedenou tabulku o údaje popisující měřený objekt apod.

TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ		Objekt:							Číslo listu:	
Kamera:	VarioCAM	Rozsah:	až	[°C]	Objektiv:				Datum:	
Záběr:	Okolí	T_r [K]	Prostředí	Pozadí	T_z [K]	Část objektu	T [K]	ε [-]	t [-]	Poznámka:
	Vpředu		$T_L =$ [K]							
	Vpravo		$\varphi_L =$ [%]							
	Vlevo		$t_L =$ [-]							
	Nahoře		Vzdálenost							
	Dole		$L =$ [m]							
Záběr:	Okolí	T_r [K]	Prostředí	Pozadí	T_z [K]	Část objektu	T [K]	ε [-]	t [-]	Poznámka:
	Vpředu		$T_L =$ [K]							

Obr. 11 Tabulka k protokolu o termovizním měření

6. Seznam literatury

- [1] AMR-Ahlborn - firemní materiály. <http://ahlborn.cz/>.
- [2] FLIR systems. - firemní materiály. <http://www.flir.com/>.
- [3] InfraTec, Dresden, Deutschland - firemní materiály. <http://www.InfraTec.de/>.
- [4] Jenoptik. Jena, Deutschland - firemní materiály. <http://www.jenoptik-los.de/>.
- [5] NBN Elektronik. - firemní materiály. <http://www.nbn.cz/>.
- [6] NEC San-ei Instruments - firemní materiály. <http://www.necsan-ei.co.jp/osd/>.
- [7] Pavelek, M. a kol.: Termomechanika. Skripta. VUT FSI, Brno 2003.
- [8] Pavelek, M. - Janotková, E. - Štětina, J.: Vizualizační a optické měřicí metody. Hyper-textová skripta, FSI VUT Brno 2001. <http://dt.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/>.
- [9] TESTO – firemní materiály. <http://testo.cz/>.
- [10] TMV SS - firemní materiály. <http://tmvss.cz/>.