

Termovízne merania v odovzdávacej stanici tepla

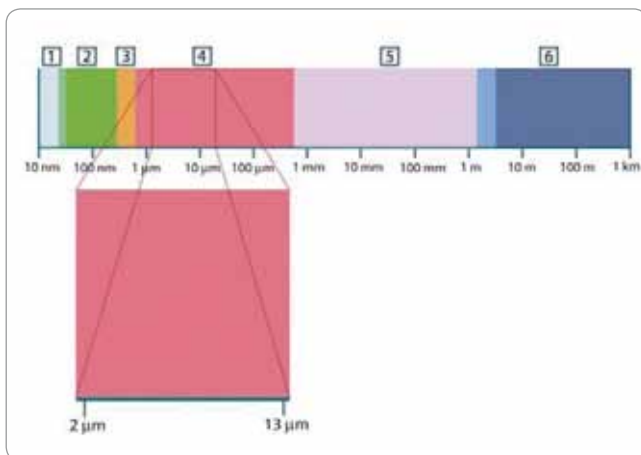
Príspevok je zameraný na teoretické základy termovízie, na opis štruktúry termovízneho meracieho systému a merania (diagnostikovanie) teplotných polí technologických zariadení OST systému CZT R-STU Bratislava pomocou termovízneho systému FLIR SC 660.

Príspevok nás uvádza do problematiky teórie a použitia termovíznych systémov. Úvodná časť stručne opisuje teoretické základy termovízie a štruktúry termovízneho meracieho systému. V ďalšej časti príspevku sú uvedené ukážky použitia termovízneho systému FLIR SC660 pri meraní (diagnostikovanie) teplotných polí technologických zariadení OST systému CZT R-STU Bratislava so zameraním na špecifikovanie údajov potrebných na korektné meranie s termovíznym systémom, ako aj na spôsob vyhodnotenia termogramov.

V oblasti stavebníctva možno termovízne systémy využiť hlavne na detekciu vlhkosti, porúch izolácie, netesností fasád budov a prenikania vzduchu do budov. Okrem toho možno termovízne merania účinne využiť aj na diagnostiku a monitorovanie tepelných procesov (vykurovacích a vzduchotechnických sústav) ako prostriedok energetického auditu budov. Pri prevádzkovaní vykurovacích a vzduchotechnických sústav hrá rozloženie povrchových teplôt strojov a technologických zariadení dôležitú úlohu. Je to indikátor stavu zariadenia aj celej prevádzky a umožňuje predvídať a odhaliť isté nežiaduce stavy (napr. nadmerné opotrebenie, poruchy, prestoje strojov) v dôsledku príliš veľkého zahriatia zariadenia.

Teoretické základy termovízie

Termovízia je bezkontaktná nedeštruktívna metóda merania teplotných polí rôznych objektov, ktorá sa využíva v energetike, stavebníctve, medicíne a v ďalších odvetviach priemyslu. Termovízia využíva vlnové pásmo infračerveného žiarenia (IR) elektromagnetického spektra:



Obr. 1 Rozdelenie elektromagnetického spektra (1 – röntgenové žiarenie, 2 – ultrafialové žiarenie, 3 – viditeľné žiarenie, 4 – infračervené žiarenie, 5 – mikrovlnné žiarenie, 6 – rádiové žiarenie)

Vlastnosti infračerveného žiarenia sú vyjadrené tromi zákonmi:

1. Planckov zákon určuje závislosť spektrálnej hustoty žiarenia absolútne čierneho telesa od teploty a vlnovej dĺžky.
2. Wienov zákon posuvu vyjadruje závislosť vlnovej dĺžky žiarenia absolútne čierneho telesa od teploty. Je dokázané, že čím je vyššia teplota telesa, tým je vlnová dĺžka žiarenia kratšia (pri vyššej teplote sa maximá kriviek žiarenia posúvajú doľava).
3. Stefanov-Boltzmannov zákon vyjadruje závislosť intenzity vyžarovania čierneho telesa od teploty.

Čierne teleso je definované ako objekt, ktorý pohlcuje akékoľvek žiarenie dopadajúce na jeho povrch. Reálne objekty (sivé telesá) sa od čierneho telesa odlišujú v troch zložkách žiarenia: časť

dopadajúceho žiarenia je pohlcovaná, časť žiarenia je odrazená a časť žiarenia teleso prepustí. Tieto zložky sú závislé od vlnovej dĺžky, avšak súčet všetkých troch zložiek je vždy rovný jednej, bez ohľadu na vlnovú dĺžku.

Emisivita ϵ udáva pomer medzi energiou infračerveného žiarenia objektu a energiou žiarenia čierneho telesa pri rovnakej teplote a vlnovej dĺžke. Jej hodnota je v rozmedzí 0 až 1. Čierne teleso má emisivitu 1, biele teleso má emisivitu 0 a väčšina nekovových materiálov (tzv. sivé telesá, ako drevo, guma, betón) hodnotu blízku 0,95. Súčasné termokamery umožňujú nastavenie emivity používateľom.

Termovízny systém využíva princíp Štefanovho-Boltzmannovho zákona a vykonáva transformáciu tepelného (infračerveného) žiarenia v rozsahu vlnových dĺžok 2 až 13 μm na viditeľný obraz v podobe viacfarebného termogramu. Termovízna snímka (termogram) je farebný grafický záznam teplotného obrazu povrchu meraného objektu. Teplotám priraduje farby podľa spojitej farebnej stupnice.

Termovízny systém zahŕňa niekoľko prvkov: objekt merania, okolie, atmosféru, termovíznu kameru a vyhodnocovacie zariadenie so softvérom. Do meracieho termovízneho systému vstupujú tri zložky žiarenia: žiarenie z objektu, žiarenie odražené od okolitých zdrojov a žiarenie z atmosféry. Aby bolo meranie termovíznym systémom korektné, treba dodať do kamery hodnoty niektorých parametrov: emisivitu objektu, relatívnu vlhkosť a teplotu okolitého prostredia, vzdialenosť meracieho prístroja od objektu a teplotu atmosféry.

Pre objektívne určovanie teplôt treba poznať emisivitu meraného objektu. Emisivitu materiálu konkrétneho objektu môžeme určiť buď odčítaním z tabuliek (omietka: 0,86, betón: 0,92, ľudské telo: 0,97 atď.), alebo experimentálne porovnávacou metódou, pomocou samolepiacich štítkov (ThermaSpot) alebo sprejových farieb (ThermaSpray) so zaručenou emisivitou.

Štruktúra termovízneho systému

Prevažná väčšina termovíznych systémov sa skladá z nasledujúcich častí:

1. Modul optiky – zameriava infračervené žiarenie na detektor a vykonáva optický rozklad obrazu.
2. Modul detektora – fotoelektrický detektor (CCD snímač, obr. 2) je základným stavebným prvkom termovízneho systému. Je to prvok citlivý na dopadajúce infračervené žiarenie, ktorý prevádza infračervené žiarenie na elektrický signál.
3. Elektronika a softvér – prevádza analógový signál detektora na digitálny, digitálny signál na obraz a vyhodnocuje obraz.



Obr. 2 Termokamera SC 660 a detektor

Na experimentálne meranie teplotných polí technologických zariadení OST systému CZT R-STU bola použitá termovízna kamera FLIR SC 660 švédskej firmy FLIR Systems (obr.2). Jej základné technické údaje sú: objektív 120, ohnisková vzdialenosť 76 mm, digitálny zoom 8x, detektor – nechladený mikrobolometer FPA, spektrálny rozsah 7,5 – 13 μm , optické rozlíšenie 640 x 480 pixelov, merací rozsah -40 až 1 500 $^{\circ}\text{C}$, presnosť 0,02 $^{\circ}\text{C}$, pamäťová SD karta 1 GB.

Termovízne kamery FLIR Systems umožňujú presné a kvalitné nasnímanie teplotného pola meraného objektu v podobe termogramu. Nasnímané termogramy možno priamo prenášať z kamery do počítača prostredníctvom USB kábla, alebo ukladať na pamäťovú SD-kartu, odkiaľ ich možno načítať do počítača prostredníctvom čítačky pamäťových kariet. Po načítaní termogramov do počítača ich treba analyzovať a vyhodnotiť. Vhodné softvérové nástroje na analýzu termogramov sú: FLIR QuickReport, FLIR Reporter a FLIR ResearchIR od spoločnosti FLIR Systems.

FLIR QuickReport je jednoduchý softvérový nástroj, voľne dostupný, s obmedzenými možnosťami na spracovanie termogramov.

FLIR Reporter je platený softvérový nástroj na podrobné spracovanie termogramov a na vytváranie analýz. V tomto softvérovom prostredí sa dajú plnohodnotne meniť všetky parametre snímky.

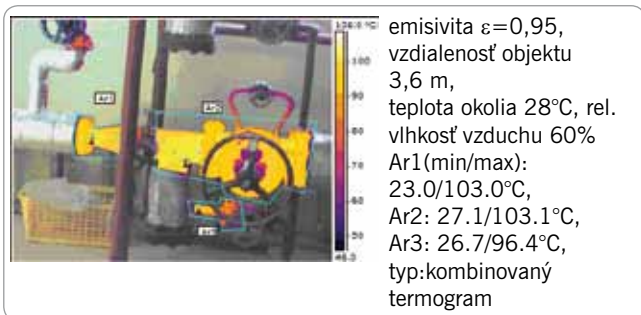
FLIR ResearchIR je platený softvérový nástroj na vedecko-výskumné účely, umožňujúci diaľkové riadenie termovízneho merania z počítača, grafické vyhodnotenie a export termogramov do číselnej formy.

Okrem termogramov termovízny systém umožňuje aj snímanie a ukladanie sekvencií termogramov nastaviteľnou frekvenciou, ako aj videoklipov.

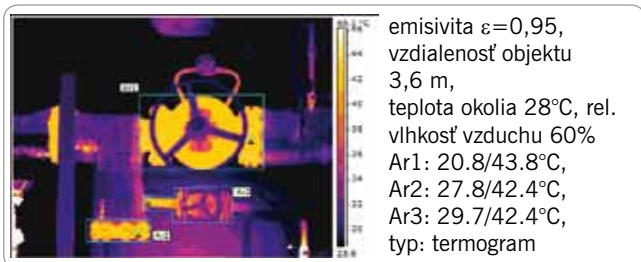
Termovízne meranie teplotných polí zariadení OST

Cieľom bolo zmerať teplotu jednotlivých technologických zariadení na primárnej a sekundárnej strane výmenníkov tepla a zároveň porovnať namerané hodnoty teploty s hodnotami zobrazenými riadiacim systémom OST. Miesta, kde sa vykonávali merania s termovíznou kamerou: 1 – prívodná vetva primárneho okruhu, 2 – vratná vetva primárneho okruhu, 3 – zónové čerpadlá, 4 – hlavné obehové čerpadlo, 5 – rozvádzač MaR (fy. Sauter).

Ukážkové termogramy (nasledujúce obr.) technologických zariadení OST systému CZT R-STU boli namerané termokamerou FLIR SC 660. V termogramoch boli softvérovými prostriedkami firmy FLIR Systems vytvorené meracie oblasti Ar1, Ar2, Ar3. Oblasti maximálnej teploty boli označené červenými trojuholníkmi.



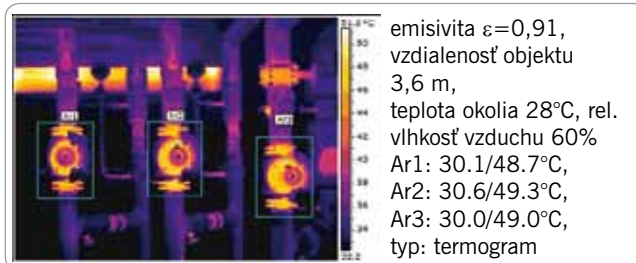
Prívodná vetva primárneho okruhu



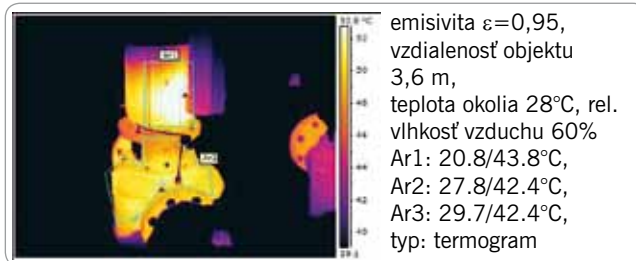
Vratná vetva primárneho okruhu

Záver

Príspevok sa venuje teórii termovízie, štruktúre termovízneho systému a meraniu (diagnostikovaníu) teplotných polí zariadení OST systému CZT rektorátu STU pomocou termovízneho systému FLIR SC 660. Termovízne merania boli zamerané na diagnostikovanie nadmerného zahrievania zariadení OST s cieľom zníženia disponibilít zariadení a šetrenia finančných prostriedkov rektorátu STU na ich údržbu. Hodnoty namerané termovíznym systémom sa porovnávali s teplotami z riadiaceho systému OST systému CZT rektorátu STU. Ukážkové termogramy s vyhodnotením podľa jednotnej metodiky sú uvedené v záverečnej časti príspevku.



Zónové čerpadlá



Hlavné obehové čerpadlo

Podakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu ASFEU OPVaV-2008/4.1/01-SORO Centrum excelencie STU Smart technológie, systémy a služby.

Literatúra

- [1] Šimko, M. – Chupáč, M.: Termovízia a jej využitie v praxi. Žilina: EDIS 2007.
- [2] Používateľská príručka FLIR 600 series. Publ. No. 1558546, 2009.
- [3] Kachaňák, A. – Végh, P.: Modelovanie, riadenie a optimalizácia procesov vykurovania. Zborník medzinárodnej konferencie Vykurovanie 2006, Tatranské Matliare.
- [4] Pidanič, R.: Diagnostikovanie stavu strojov a procesov pomocou termovízie (BP). SJF STU Bratislava, 2010.

doc. Ing. Peter Végh, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta
Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky