

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

Rektor: Dr.h.c. prof. Ing. Peter Bielik, PhD.

TECHNICKÁ FAKULTA

Dekan: prof. Ing. Zdenko Tkáč, PhD.

Posúdenie kvality monitorovania teplôt termovíziou

Diplomová práca

Študijný program: **Informačná a automatizačná technika v kvalite produkcie**

Študijný odbor: **2386800 Kvalita produkcie**

Školiace stredisko: **Katedra**

Školiteľ: **Ing. Bohumír Brachtýr**

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Stanislav Šimko**

Študijný odbor: Kvalita produkcie

Študijný program: Informačná a automatizačná technika v kvalite produkcie

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2008 Vám zadávam tému diplomovej práce:

Posúdenie kvality monitorovania teplôt termovíziou

Cieľ práce:

Meraním povrchovej teploty dotykovou metódou a termokamerou vyhodnotiť kvalitu monitorovania teplôt metódou termovízie.

Rámcová metodika práce:

1. Získanie prehľadu o súčasnom stave riešenej problematiky.
2. Voľba koncepcie merania so zameraním na poruchy vnášajúce chybu.
3. Voľba objektov na vykonanie meraní, voľba meracích prístrojov a pomôcok.
4. Realizácia meraní na vybraných objektoch.
5. Spracovanie nameraných hodnôt.
6. Vyhodnotenie získaných výsledkov a záver.

Rozsah grafických prác: 8 - 10 strán
Rozsah textovej časti: 40 - 45 strán

Literatúra:

1. ŠIMKO, M. – ŠEBOK, M. – CHUPÁČ, M. Využitie infračervenej techniky v diagnostike. In: Medzinárodná konferencia. TD-2000 DIAGO, Zlín
2. SVOBODA, J. 1999. Využívanie infračervenej techniky v procese diagnostického sledovania strojov a zariadení v prediktívnej údržbe. Dni novej Techniky, Žilina, 1999
3. CHUPÁČ, M. 2002. Diagnostika anténových systémov rozhlasových vysieláčov s využitím termovízie. (Doktorandská dizertačná práca). ŽU Žilina, 2002
4. ŠIMKO, M. – CHUPÁČ, M. 2007. Termovízia a jej využitie v praxi. Monografia, EDIS Žilina, 2007
5. www.termovizia.szm.sk
6. www.bibus.sk
7. <http://senzorspektrum.automatizacia.sk>

Vedúci diplomovej práce: Ing. Bohumír Brachtýr
Konzultant diplomovej práce:

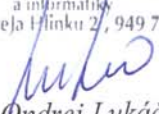
Dátum zadania diplomovej práce: december 2009

Harmonogram postupu prác:

1. Štúdium literatúry do 31. 10. 2010
2. Realizácia meraní objektov a predmetov vo vybraných oblastiach do 31. 1. 2011
3. Spracovanie údajov meraní do 28. 2. 2011
4. Vypracovanie dokumentácie do 31. 3. 2011
5. Spracovanie DP do 15. 4. 2011

Dátum odovzdania diplomovej práce: 30. 4. 2011

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODARSKÁ
UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA ①
Katedra elektrotechniky, automatizácie
a informatiky
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 NITRA


Ing. Ondrej Lukáč, PhD.
vedúci katedry

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODARSKÁ
UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA ①
DEKANÁT
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 NITRA


prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.
dekan

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá posúdením kvality merania povrchovej teploty termovíznou kamerou, pričom poukazujeme najskôr na všeobecnú terminológiu, potom popisujeme metódy a charakterizujeme prístroje bezdotykového merania teploty, ktorými boli termovízna kamera a bezdotykový teplomer. Osobitne charakterizujeme princíp termovízneho merania a popisujeme jeho využitie v rôznych oblastiach činnosti. Súčasťou práce bolo vlastné meranie povrchových teplôt vybraných vzoriek materiálov, ktorými boli smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla a sadrokartón. Výsledné hodnoty sme zaznamenali do príslušných tabuliek a porovnávali sme výsledky v záujme posúdenia kvality monitorovania teplôt termovíziou.

Kľúčové slova: termovízia, emisivita, infračervené spektrum, termografia, povrchová teplota, meranie, termogram.

ABSTRACT

This Diploma work deals with assessment of surface temperature measurement quality by a thermovision camera, whereas first we pointed at the general terminology and then we described the methods and characterized the devices for non-contact measurement of temperature, which is the thermovision camera and a non-contact thermometer. Specifically we characterized the principle of thermovision measurement and we described its usage in different fields of activity. A part of the work was also the measurement of surface temperatures of selected material samples like spruce wood, zinc-coated sheet, extruded brick and plasterboard. We recorded the result values to the appropriate charts and we compared the results in order to assess the quality of temperature monitoring by thermovision.

Key words: thermovision, emissivity, infra-red spectrum, thermography, surface temperature, measurement, thermogram.

PREHLÁSENIE

Čestne prehlasujem, že som predloženú diplomovú prácu spracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry a ďalších informačných zdrojov.

V Nitre, 29. 04. 2011

.....

podpis autora práce

POĎAKOVANIE

Ďakujem všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli pri spracovaní tejto diplomovej práce. Moje poďakovanie patrí najmä školiteľovi práce,

Ing. Bohumírovi Brachtýrovi, za jeho cenné pripomienky a rady pri záverečnom spracovaní.

POUŽITÉ OZNAČENIE

ε	Emisivita
°C	Stupeň celzia
μm	Mikrometer
CD	Compact Disc
NTC	Negative Temperature Coefficient
OPN	Oblasť Priestorového Náboja
PC	Personal Computer
PTC	Positive Temperature Coefficient
SD	Secure Digital
VN	Vysoké Napätie
VVN	Veľmi Vysoké Napätie
ZVN	Zvlášť Vysoké Napätie

OBSAH

ÚVOD	10
1. PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENIA PROBLEMATIKY	12
1.1 Zobrazovacie metódy bezdotykového merania teploty	12
1.1.1 <i>Fotografické metódy merania teploty (fotometria)</i>	12
1.1.2 <i>Termovízne metódy merania teploty</i>	13
1.2 Prístroje na bezdotykové meranie teploty	13
1.2.1 <i>Detektory žiarenia</i>	14
1.2.2 <i>Rozdelenie bezkontaktných meracích prístrojov</i>	16
1.2.3 <i>Charakteristika pyrometrov</i>	18
1.3 Charakteristika termovíznej diagnostiky	20
1.3.1 <i>Definícia princípu termografie</i>	20
1.3.2 <i>Emisivita, vplyvy na meranie a chyby merania</i>	21
1.4 Termovízna technika	22
1.4.1 <i>História vývoja termovíznych kamier</i>	22
1.4.2 <i>Druhy termovíznych kamier</i>	23
1.5 Odvetvia aplikácie termovíznej diagnostiky	23
1.5.1 <i>Energetika</i>	23
1.5.2 <i>Telekomunikácie</i>	24
1.5.3 <i>Stavebníctvo</i>	25
1.5.4 <i>Teplovodné a parovodné systémy</i>	25
1.5.5 <i>Medicína</i>	26
1.5.6 <i>Ekológia</i>	26
1.5.7 <i>Priemysel</i>	26
1.5.8 <i>Výskum a vývoj</i>	27
1.5.9 <i>Špeciálne aplikácie</i>	27
2. CIEĽ PRÁCE	28
3. METODIKA PRÁCE	29
4. MERANIE TEPLOTY VYBRANÝCH VZORIEK MATERIÁLOV	30
4.1 Zadanie	30
4.1.1 <i>Určenie emivity</i>	30
4.1.2 <i>Zistenie rušivých vplyvov na výstup termokamery</i>	31

4.1.3	<i>Zistenie závislosti výsledkov merania termokamerou od okolitej teploty</i>	31
4.2	Meranie povrchovej teploty	31
4.2.1	<i>Meranie parametrov potrebných pre nastavenie termokamery</i>	32
4.2.2	<i>Zistenie správnej emisivity povrchu meranej vzorky materiálu</i>	32
4.2.3	<i>Meranie povrchovej teploty materiálov termokamerou</i>	33
4.3	Spracovanie merania	34
4.4	Použité prístroje	34
4.5	Výsledky meraní teploty vybraných vzoriek materiálov	35
4.5.1	Smrekové drevo	36
4.5.2	Pozinkovaný plech	36
4.5.3	Pálená tehla	37
4.5.4	Sadrokartón	37
4.6	Posúdenie kvality merania teploty termovíziou	38
5.	ZÁVER	40
	POUŽITÁ LITERATÚRA	42
	PRÍLOHY	43

ÚVOD

Jedným zo sledovaných parametrov všeobecnej činnosti (technologickej, priemyselnej, ľudskej) je teplota, ktorá je javom charakterizujúcim určitý fyzikálny stav sledovaného objektu. Meranie teploty sa využíva pri rôznych technologických operáciách, v meteorológii, v lekárstve a v mnohých ďalších oblastiach každodenného života.

Podľa metódy sa meranie teploty rozlišuje na:

- kontaktné,
- bezkontaktné.

Kontaktné dotykové meranie sa uskutočňuje dotykovými teplomermi s použitím rôznych teplotných senzorov, ktoré sa vyrábajú rôznymi technológiami (napr. polovodičová, hrubo vrstvomá) a pri ich konštrukcii sa používajú najrôznejšie materiály (kovy, polovodiče, polymérne materiály, kvapaliny a iné).

Kontaktné dotykové senzory teploty sú rozdelené na:

- elektrické,
- dilatačné,
- špeciálne.

Najväčšiu skupinu dotykových senzorov merania teploty tvoria elektrické dotykové senzory, ktoré sa členia na:

- kovové odporové senzory teploty,
- polovodičové odporové senzory teploty (termistory NTC a PTC, monokryštalické),
- monokryštalické PN senzory teploty,
- termoelektrické senzory teploty,
- alternatívne senzory teploty a prevodníky.

Všetky hmoty vyžarujú pri teplotách vyšších než je absolútna nula tepelné žiarenie vo viditeľnom i neviditeľnom pásme spektra. Intenzita žiarenia zodpovedá teplote hmoty. Príčinou je vnútorný pohyb molekúl, ktorého intenzita závisí od teploty objektu.

Pohyb molekúl predstavuje premiestňovanie náboja, pri ktorom je vyžarované elektromagnetické žiarenie. Zachytávaním a vyhodnocovaním tepelného žiarenia je preto možné merať teplotu aj bez dotyku. Takýto spôsob merania uskutočňujú dva druhy bezdotykových meračov teploty:

- priamo merajúce bezdotykové merače tepla – pyrometre,
- zobrazovacie bezdotykové merače tepla – termovízne kamery.

Vzhľadom k tomu, že sme v odbornej literatúre nezískali dostupný materiál o porovnaní kvality monitorovania teploty termovíziou a dotykovým meraním, rozhodli sme sa posúdiť túto kvalitu monitorovania na základe porovnania údajov získaných vlastným meraním, pričom za vzorky materiálov sme si určili - smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla a sadrokartón. Meranie bolo vykonané termovíznou kamerou zn. FLIR, pričom zaznamenávanie teplôt sa vykonalo pod rôznymi uhlami, pri rôznej vzdialenosti a pri odlišnej emisivite. Pre porovnanie správnosti merania sme použili dotykový teplomer. Vlastné merania, výsledné údaje a hodnotenia sme uviedli na konci práce.

1. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENIA PROBLEMATIKY

Rozvojom rôznych technologických a výrobných procesov vznikali aj rozličné spôsoby merania teploty týchto procesov. Nie vždy je možné využiť priame kontaktné meranie, a preto postupne vznikli zariadenia schopné zmerať teplotu objektu diaľkovo, bez kontaktu. Vznikli bezkontaktné metódy merania teploty a vyvinul sa odbor zaoberajúci sa bezdotykovým meraním teploty, ktorý sa nazýva pyrometria. Jej základy položil v roku 1731 holandský fyzik Pieter van Musschenbroek vynálezom pyrometra. S postupným vývojom nových technológií nastal aj vývoj zariadení určených na bezkontaktné meranie teploty, od prvých porovnávacích, kde bolo detektorom žiarenia ľudské oko cez bodové teploměry, až k termovízii schopnej zobrazovať plošné teplotné snímky.

Teplota sa dá bezdotykovo merať rozličnými spôsobmi, ktoré sa odlišujú použitím detektora, optiky, zobrazením výsledku merania, teplotným rozsahom a i. Vlastnosti zariadenia pre bezdotykové meranie sú dané hlavne použitým detektorom, ten určuje presnosť a merací rozsah zariadenia.

1.1 Zobrazovacie metódy bezdotykového merania teploty

Zobrazovacie metódy bezdotykového merania teploty sa členia na:

- fotografické metódy,
- termovízne metódy.

1.1.1 Fotografické metódy merania teploty (fotometria)

Fotometria patrí medzi plošné spôsoby merania teploty. Využíva citlivosť fotografického materiálu na infračervené žiarenie. Mieru teploty určuje stupeň čiernosti materiálu. Aby bolo možné priradiť určitému sčernaniu negatívnu teplotu, vkladajú sa do zorného poľa aparátu pomocné body so známou teplotou.

Povrchové teploty meraného objektu sa následne určujú pomocou fotometra. Dôležité je vytvoriť teplotné meradlo v rozsahu (250÷1000)°C. Presnosť merania je potom závislá na emisivite povrchu a meraného predmetu.

1.1.2 Termovízne metódy merania teploty

Meranie teploty plochy telesa termovíziou sa vykonáva dvoma metódami:

- mechanickým rozkladom obrazu,
- elektrickým rozkladom obrazu.

Mechanický rozklad obrazu

Pri mechanickom rozklade je plocha meraného objektu snímaná (skenovaná) postupne, po riadkoch alebo stĺpcoch, hovoríme o tzv. skenovacích systémoch. Skenovaná plocha sa sníma pomocou rýchlo sa pohybujúcej úzko smerovej optickej sústavy, ktorá privádza obraz na detektor s jedným elementom alebo so sériou elementov.

V praxi sa preto častejšie využívajú detektory so sériou elementov. Tie sú skenované ako blok pozdĺž celého riadku a vtedy hovoríme o sériovom skenovaní elementov. V termovíznych kamerách je využívané i paralelné skenovanie elementov. V takomto systéme je na riadok jeden element, ale skenuje sa niekoľko riadkov súčasne. Účinnejšou metódou je využitie SPRITE (Signal Processing In The Element) detektoru. SPRITE detektor bol prvým krokom k integrácii vo vývoji termovíznych kamier. Pred jeho vyvinutím boli matice prvkov tvorené z jednotlivých častí a každý mal svoje vývody. SPRITE detektor spracováva signál na čípe, čím sa znížil počet vývodov, zjednodušila sa konštrukcia a znížil sa vplyv okolitého šumu.

Elektronický rozklad obrazu (maticový detektor)

Pri elektronickom rozklade obrazu dopadá žiarenie na maticu tvorenú prvkami snímajúcimi toto žiarenie. Môžu byť z oblasti tepelných i kvantových detektorov. Signál spracováva elektronika, ktorá je u novších technológií umiestnená na jednom čípe spolu so snímacími prvkami. Prvé termovízne kamery s elektronickým rozkladom využívali na snímanie tepelného obrazu telesa pyroelektrický vidikón. V dnešnej dobe sa najčastejšie používajú nechladené mikrobolometrické FPA detektory.

1.2 Prístroje na bezdotykové meranie teploty

Vlastnosti bezkontaktných meracích prístrojov sú dané predovšetkým použitým detektorom. Na základe detektora použitého v prístroji je možné určiť presnosť meracieho prístroja. Presnosť objektívnych detektorov je daná použitým materiálom detektora a technológiou spracovania infračerveného žiarenia. Dôležitú úlohu pri bodových alebo plošných teplomeroch zohráva hlavne správne nastavenie emisivity. Bezkontaktné meracie prístroje môžeme porovnať aj z hľadiska zobrazenia nameraných údajov. Pri termovízných systémoch je výsledok merania zobrazený a uložený na pamäťovom médiu ako obrázok v rôznych formátoch. Môžeme ich rozdeliť aj podľa rozsahu teplôt a konštrukčného vyhotovenia, zameriavacieho systému a vlastností detektora.

1.2.1 Detektory žiarenia

Detektory žiarenia pre bezdotykové meranie možno rozdeliť do dvoch skupín:

- **subjektívne** - ľudské oko,
- **objektívne** - elektronika.

Rozdelenie objektívnych detektorov, ktoré predstavuje elektronika je nasledovné:

- **Tepelné**
 - termoelektrické (termobatérie, infratermočlánky),
 - bolometrické (termistory),
 - pyroelektrické.
- **Kvantové** (fotoelektrické)
 - fotorezistory,
 - fotodiódy.

a) Tepelné detektory

Využívajú zmenu niektorej vlastnosti materiálu na základe absorpcie energie infračerveného žiarenia.

1. Termoelektrické detektory

Termoelektrické detektory, inak nazývané aj infračervené termočlánky, využívajú zmenu termoelektrického napätia dvojice vodičov vplyvom rozdielu teplôt medzi

meracím (ožiareným) a porovnávacím spojom. Základ termoelektrického detektoru tvorí skupina termočlánkov, ktorých aktívne konce sú umiestnené do jedného miesta a sú pokryté čierne sfarbeným materiálom pohlcujúcim infračervené žiarenie.

2. Bolometrické detektory

Fungujú na princípe teplotne závislého odporového materiálu. To v praxi znamená, že detektorom pohltené žiarenie spôsobí zmenu teploty odporového čidla a tým aj zmenu jeho elektrického odporu. Aby bola zmena teploty meranej bolometrom úmerná len absorbovanému žiareniu, musí byť bolometer tepelne izolovaný od svojho okolia. Sensory bývajú usporiadané riadkovo alebo plošne. Plošne usporiadané mikrobolometre sa využívajú v termovíznych kamerách. Matice bežne obsahujú 320x240 elementov, v novších už bývajú zabudované aj matice s 640x480 elementmi.

3. Pyroelektrické detektory

Využívajú teplotnú zmenu elektrostatickej polarizácie. Hovoríme o tzv. pyroelektrickom jave, ktorý sa vyskytuje u pyroelektrík s trvalou polarizáciou alebo u niektorých feroelektrík, pri ktorých sa orientácia domén vytvorí silným elektrickým poľom. Pyroelektrický detektor predstavuje kondenzátor, na ktorého elektródach sa pri zmene polarizácie naindukujú elektrický náboj. Náboj sa odvádza cez zvodový odpor pyroelektrika a vstupný odpor predzosilňovača.

b) Kvantové detektory

Kvantové detektory merajú elektromagnetické žiarenie v príslušnej oblasti spektra. Podstatou týchto detektorov je fyzikálny jav, v ktorom pri interakcii dopadajúcich fotónov dochádza v polovodiči ku generácii páru elektrón – diera. Elektrón sa dostane z valenčného pásu do vodivostného a v elektrónovom obale ionizovaného atómu, po ňom zostane diera. Elektrón aj diera sa môžu v polovodiči voľne pohybovať. Diera preberá do elektrónového obalu elektrón z vedľajšieho neutrálneho atómu. Tento sa ionizuje a stáva sa nositeľom kladného náboja. Tepelný pohyb elektrónov a dier v polovodiči je náhodný. Podľa typu použitého polovodiča sa delia na intrinzické (čistý alebo vlastný polovodič) a extrinzické (nevlastný polovodič).

1. Fotorezistor

Je intrinzičný detektor využívajúci zmenu pohyblivosti nosičov náboja pri dopade fotónov na polovodičovú vrstvu. Vodivosť fotorezistora je funkciou fotónového toku, hovoríme, že pracuje v tzv. fotovodivostnom režime. Tento stav vyžaduje elektrické pole, ktoré sa dosahuje privedením napätia z vonkajšieho zdroja. Elektrické pole spôsobí unášanie náboja a vonkajším obvodom preteká elektrický prúd.

2. Fotodióda

Je extrinzičný detektor, u ktorého je hustota nosičov náboja v PN prechode daná koncentráciou prímiesí. V prípade nadbytku valenčného elektrónu sa nazýva dotovaný polovodič typu N a naopak, v prípade, ak atóm prímiesi bude elektrón polovodiča viazať a majoritnými nosičmi náboja sú diery, hovoríme o polovodiči typu P. Na oboch stranách PN prechodu sa nosiče náboja snažia dosiahnuť termodynamickú rovnováhu a vyrovnanie koncentrácie elektrónov a dier na oboch stranách rozhrania. Výsledkom tejto difúzie na prechode je elektrická dvojvrstva nábojov označovaná ako oblasť priestorového náboja (OPN), v ktorej sa nachádzajú v rovnovážnom stave voľné nosiče náboja. V prípade ožiarenia prechodu a následnej absorpcii žiarenia PN prechodom, dôjde v oblasti OPN k rozdeleniu páru elektrón – diera. Diery následne driftujú do oblasti P a elektróny do oblasti N.

Fotodióda môže pracovať v dvoch režimoch:

- fotovodivostnom,
- fotovoltaickom.

Fotovodivostný režim – dióda sa chová ako pasívny prvok, ktorého odpor klesá v závislosti od intenzity ožiarenia.

Fotovoltaický režim – dióda sa správa ako zdroj energie; pri ožiarení PN prechodu sa na kontaktoch diódy objaví napätie.

1.2.2 Rozdelenie bezkontaktných meracích prístrojov

a) Podľa spôsobu snímania (merania) teploty:

1. Priamo merajúce – pyrometre

- subjektívne pyrometre:

- jasové,
- na špeciálne rozloženie (farbové):
- porovnávacie,
 - pomerové.
 - objektívne pyrometre:
 - pomerové (podielové, dvojfarbové),
 - energetické:
 - monochromatické,
 - pásmové,
 - pyrometre celkového žiarenia (úhrnné, radiačné).

2. Zobrazovacie

- termovízne metódy s rozkladom obrazu:
 - mechanickým,
 - elektronickým.
- fotografické metódy

b) Podľa meracieho rozsahu:

- jasové (650÷3500°C),
- pásmové (300÷2000°C),
- farbové (700÷2000°C),
- radiačné (50÷2300°C; 5000 °C),
- fotometrické (-50÷650°C),
- termovízne (-50÷1000°C; 1500 °C).

c) Podľa rozsahu spektra:

- monochromatické,
- pásmové,
- úhrnné.

d) Podľa konštrukčných častí:

- optický systém:
 - clonkový,
 - šošovkový,

- zrkadlový,
- svetlovodný.
- zameriavací systém:
 - optický cez objektív,
 - svetelný (napr. laserový lúč),
 - mieridlový (puškový).

e) Podľa meranej oblasti spektra:

- ultrafialové,
- optické,
- rádiové,
- infračervené.

1.2.3 Charakteristika pyrometrov

a) Subjektívne pyrometre

1. *Jasové (monochromatické) pyrometre*

Pracujú na princípe porovnávania žiarenia na jednej vlnovej dĺžke (najčastejšie $0,65\mu\text{m}$) v oblasti viditeľného žiarenia; môže prebiehať dvoma spôsobmi:

- zmenou jasú porovnávacieho zdroja
- obmedzovaním jasú pomocou šedého klinového filtra pri rovnakom jase porovnávacieho zdroja.

2. *Pyrometre na špeciálne rozloženie (farbové)*

Sú spektrálne selektívne viacpásmové subjektívne pyrometre, založené na teplotnej závislosti spektrálneho rozloženia žiarivosti telesa. Využívajú žiarenie vo viditeľnej oblasti. Sú vhodné na meranie teploty šedých žiaričov, u ktorých nepoznáme emisivitu, alebo u ktorých sa emisivita mení. Teplota sa takýmto pyrometrom udáva farbou a je vždy vyššia ako čierna teplota. Farebná teplota sa určuje pomocou:

- farebného vnemu, vzniknutého zmiešaním dvoch jednofarebných žiarení
 - *porovnávacie pyrometre:*
 - porovnávací pyrometer sa skladá zo šedého a červeného klinového filtra a bichromatického (červenozeleného) filtra,

- pyrometrickej žiarovky a regulačného obvodu, ktorý žeraví žiarovku na stálu teplotu
 - šedý filter slúži na zrovnávanie jasů žiariča a žiarovky
 - červeným filtrom sa nastavuje zhodná farba žiarenia meraného objektu a pyrometrickej žiarovky
- pomeru jasů v dvoch rôznych spektrálnych oblastiach
 - *pomerové pyrometre*
 - tento druh pyrometra pracuje ako dva samostatné jasové pyrometre s dvoma vlnovými dĺžkami 0,65 m (červený filter) a 0,55 m (zelený filter)
 - filterami sa určujú dve jasové teploty porovnaním jasů meraného žiariča a jasů pyrometrickej žiarovky pomocou šedého klinu

b) Objektívne pyrometre

1. *Pomerové pyrometre*

Pracujú na rovnakom princípe ako subjektívne pomerové pyrometre. Rozdiel je vo vyhodnocovaní merania. Zatiaľ čo pri subjektívnych pyrometroch je detektorom ľudské oko, u objektívnych vyhodnocovanie uskutočňuje elektronika a ako detektor je tu použitá fotodióda.

2. *Energetické pyrometre - monochromatické*

Pracujú so žiarením jednej alebo dvoch vlnových dĺžok. Platí pre ne to isté ako pre subjektívne jasové. Rozdielny je len detektor.

3. *Energetické pyrometre - pásmové*

Vyhodnocujú teplotu v širšej spektrálnej oblasti ako monochromatické pyrometre. Optický systém máva pevnú ohniskovú vzdialenosť (fixfokus). Veľkosť ohniskovej vzdialenosti udáva veľkosť snímanej plochy, ktorá je detektorom meraná na objekte.

Spôsob zamerania snímanej plochy u prenosných pyrometrov môže byť:

- jednoduchý laser,
- dvojité laser,
- krížový laser,
- optický zameriavač.

4. *Pyrometre celkového žiarenia (radiačné, úhrnné)*

Pracujú so žiarením v celom spektre vlnových dĺžok, vyhodnocujú teplotu podľa Stefan-Boltzmannovho zákona ($0 < \lambda < \infty$). Pri takomto druhu pyrometrov sa používajú tepelné detektory (infračervené termočlánky, bolometre, termoelektrické a pyroelektrické detektory). Využitie radiačné pyrometre našli hlavne pri meraní teploty v peciach.

1.3 Charakteristika termovíznej diagnostiky

V súčasnosti sa rozvíja nový vedný odbor – termografia, ktorý sa zaoberá analýzou tepelného pola na povrchu telesa a to bezkontaktným spôsobom. Termografia ako metóda diagnostiky je zaradená do odboru technickej diagnostiky.

Úlohou termografie je analýza infračervenej energie vyžarovanej telesom, resp. materiálom. Odbor termografie sa rozvinul spoločne s rozšírením infračervených kamier, pre ktoré sa všeobecne vžil názov termovízne kamery, resp. termovízia. Výstupom termovíznej kamery je infračervený snímok – termogram, resp. termovízny snímok. Rádiomagnetické termogramy umožňujú určiť teplotu v jednotlivých bodoch termogramu.

Termografická diagnostika je určenie a znázornenie rozloženia povrchovej teploty pomocou merania hustoty infračerveného žiarenia z povrchu a vyhodnotenie mechanizmov spôsobujúcich nepravidelnosti v tepelných obrazoch. Je to bezkontaktné meranie teplôt na povrchu predmetov alebo materiálov. Termografické meranie sa vykonáva prístrojom, ktorý nazývame termovízna kamera. Z tohto dôvodu sa pre termografické meranie používa aj termín termovízia, čo je registrovaná ochranná značka výrobcu termovíznych kamier spoločnosti FLIR.

Výsledkom termografického merania je termogram, ktorý predstavuje digitálny obraz teplotného pola, kde je rôznym teplotám priradená určitá farba.

1.3.1 *Definícia princípu termografie*

Termografické meranie je založené na princípe premeny elektromagnetickej energie vyžarovanej objektom alebo materiálom, na elektronický videosignál, ktorý je ďalej zosilnený a spracovávaný pomocou riadiacej elektroniky a mikroprocesora.

Termografia využíva meranie časti elektromagnetického spektra na určenie teplôt na povrchu. Elektromagnetické spektrum je rozdelené podľa vlnových dĺžok do niekoľko vlnových pásiem. Termografia využíva meranie infračervenej časti elektromagnetického spektra, ktoré je rozdelené na štyri menšie pásma, ktoré sú infračervenej časti:

- blízke (0,75 – 3 μm),
- stredné (3 – 6 μm),
- vzdialené (6 – 15 μm),
- veľmi vzdialené (15 – 100 μm).

Hodnota infračervenej časti elektromagnetického spektra je daná emisivitou objektu.

1.3.2 Emisivita, vplyvy na meranie a chyby merania

K bezdotykovému meraniu teploty je potrebné poznať emisivitu objektu, t.j. schopnosť odrážať tepelný lúč. Emisivita je rovná pomeru intenzít žiarenia reálneho povrchu a absolútneho čierneho telesa. Intenzitu vyžarovania z reálnych povrchov zistíme, ak súčin uvedený v Stefanovom-Boltzmannovom zákone vynásobíme emisivitou daného povrchu. Stefanov-Boltzmannov zákon hovorí, že intenzita vyžarovania z povrchu čierneho telesa (emitovaný tok žiarenia delený obsahom vyžarujúcej plochy) je rovná násobku Stefanovej-Boltzmannovej konštanty ($\sigma = 5,67\text{E}^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$) a štvrtej mocniny (absolútnej) teploty telesa.

Meranie infračervenej časti elektromagnetického spektra (infračerveného žiarenia) ovplyvňuje atmosféra, pričom dochádza k oslabeniu toku žiarenia. Na proces merania infračerveného žiarenia pôsobia okrem emisivity i vonkajšie vplyvy:

- odrazy slnečných lúčov,
- teplota okolia,
- koncentrácia vody v ovzduší (hmla, dážď),
- rýchlosť vetra.

Pri termovíznom meraní sníma termovízna kamera tepelné žiarenie objektu i odrazené žiarenie z okolia na jeho povrch. Termovízne meranie preto vyžaduje určité parametre, bez ktorých nie je možné teplotu vyhodnotiť a je nutné namerané parametre korigovať.

1.4 Termovízna technika

Termografické meranie sa vykonáva termovíznou technikou, ktorú nazývame termovízna kamera. Je to ľahké prenosné zariadenie pre kvantitatívne meranie teploty. Pracuje v infračervenej oblasti elektromagnetického spektra, ktoré je dané vlnovými dĺžkami 0,8 až 1 000 μm (1 mm) a umožňuje bezdotykové meranie teploty na povrchu meraného objektu alebo materiálu. Termovízna kamera nemeria priamo povrchovú teplotu, ale táto sa dopočítava na základe zmeraného infračerveného žiarenia a zadaných okrajových údajov.

Výsledkom merania je obraz povrchového rozloženia teploty snímaného objektu. Snímaný obraz môže byť priamo vizuálne sledovaný, môže sa zaznamenávať vo forme obrázkov na počítačovú kartu, kde môže byť ďalej upravovaný a vyhodnocovaný. Termovízne kamery umožňujú zobrazenie tepelných polí na povrchu meraného objektu v rozsahu teplôt - 20 až + 2 000 $^{\circ}\text{C}$, s citlivosťou lepšou ako je 0,1 $^{\circ}\text{C}$, pri teplote meraného objektu 35 $^{\circ}\text{C}$.

Rozdelenie elektromagnetického spektra podľa vlnových dĺžok do niekoľko vlnových pásiem si vyžaduje v každom pásme použitie špecifickej termovíznej techniky, ktorá sa odlišuje predovšetkým použitím modulov optiky a detektora.

1.4.1 História vývoja termovíznych kamier

Vývoj termovíznych kamier sa dá rozdeliť do troch etáp:

I. Etapa vývoja (sedemdesiate a osemdesiate roky minulého storočia)

Termovízne kamery z tohto obdobia vo svojej konštrukcii obsahovali jednoduché diskrétné detektory s maximálne 100 prvkami, neskôr až so 180 prvkami. Výrazný rozvoj termokamier prinieslo v 80-tych rokoch vynájdenie SPRITE detektoru, ktorý spracovával žiarenie v pásme 8 ÷ 12 μm .

II. Etapa vývoja

Termovízne kamery z druhej etapy vývoja vo svojej konštrukcii mali použitý skenovací systém spolu s lineárnymi detektormi s počtom 100÷1000 elementov alebo multiprvkové SPRITE detektory. Integrácia snímacích elementov a základnej čítacej logiky na jeden čip umožnilo zmenšiť rozmery a hmotnosť a začala sa výroba komerčnej verzie. Najrozvinutejšie z tejto generácie boli multilineárne FPA detektory s 288x4 elementmi a sú určené pre pásma 3 ÷ 5 μm a 8 ÷ 10,5 μm.

III. Etapa vývoja

Termovízne kamery tretej vývojovej etapy používajú na spracovanie signálu chladené 2D FPA detektory, nechladené mikrobolometrické FPA detektory alebo technológiu QWIP. Počet elementov sa zvýšil na jeden a viac miliónov. Spracovanie signálu je plne digitálne a je realizované na jednom čipe.

1.4.2 Druhy termovíznych kamier

- Priemyselné,
- Záchranárske,
- Stavebnícke,
- Špeciálne.

1.5 Odvetvia aplikácie termovíznej diagnostiky

Termovízna diagnostika sa používa v súčasnosti v rôznych odvetviach a pri rôznych aplikáciách ako sú údržba a diagnostika zariadení a strojov, riadenie technologických procesov, výskum a vývoj, ekológia, priemysel, medicína, výskum a vývoj.

Odvetví aplikácie termovíznej diagnostiky je veľmi veľa, preto sme v nasledujúcom texte popísali iba tie, kde sa termovízna diagnostika uplatňuje v rozhodujúcej miere.

1.5.1 Energetika

Pravidelné kontroly a vykonávanie údržby, diagnostiky a monitorovania energetických distribučných zariadení má nielen bezpečnostný význam, ale aj

významný ekonomický efekt. Z poznatkov termovíznej diagnostiky a kontroly je možné určiť predikciu výpadku VVN a VN zariadení až na niekoľko hodín.

Distribútor elektrickej energie využíva termovízu diagnostiku ako prostriedok na identifikovanie a hľadanie problémových oblastí pri prenose a distribúcii elektrickej energie. Meraním, postupným sledovaním a porovnávaním s archivovanými hodnotami predchádzajúcich meraní možno rozhodnúť o kvalite sledovaného spoja.

V energetike sa termovízna diagnostika využíva v týchto oblastiach výroby a distribúcie elektrickej energie:

- kontrola vedení elektrickej energie,
- kontrola rozvodní VN a VVN,
- kontrola elektrických strojov a prístrojov,
- kontrola zariadení zaisťujúcich napájanie,
- kontrola úsekových rozvádzačov.

Kontrola stavu vonkajších rozvodov vedenia VVN a ZVN sa uskutočňuje z vrtuľníka, ktorý má zabudovanú termovízu techniku. Metóda je rýchla a efektívna. Pravidelnou diagnostikou sa v energetike predchádza opravám veľkého rozsahu. U elektrických strojov a generátorov sa kontroluje i magnetický obvod. Pri kontrole transformátorov sa zisťuje, či nedochádza k otepleniu jeho častí a kontrolujú sa i priechodky transformátora.

Termovízna technika sa v oblasti energetiky používa i pri kontrole elektrických strojov a prístrojov, budiacich sústav, generátorov, silových častí elektrických strojov. Uplatňuje sa i na meranie teploty elektrických spojových prvkov rozvodných a distribučných zariadení rôznych napäťových úrovní.

1.5.2 Telekomunikácie

V posledných desaťročiach nastal veľký rozmach aj v tejto oblasti. Anténové systémy sú pomerne zložité a sú veľmi citlivé na zhoršenie prechodových odporov anténových uzlov, na základe ktorých klesá emitovaný výkon vysielača a na prechodoch vznikajú straty. Využitie termovízie umožňuje zjednodušiť revízie týchto zariadení. Vo väčšine prípadoch ide o nebezpečné práce vo výškach, ktoré sú nákladné a viac časovo náročné. S pomocou termokamery sa revízia stáva jednoduchšou a z čoho vyplývajú aj značné finančné úspory.

Kontrola antén sa zameriava na:

- údržbu napájacieho rozvodu antény,
- údržbu vlastnej antény,
- údržbu fázovača.

1.5.3 Stavebníctvo

V oblasti stavebníctva je uplatnenie termovíznej diagnostiky zamerané predovšetkým na zabránenie nežiaducim únikom energie cez plášť budov. Termovízia meraním lokalizuje miesta a príčiny vzniku energetických strát. Účelom termovíznych meraní v stavebníctve je stanovenie rozloženia povrchových teplôt na plášti budovy a zistenie, či toto rozloženie povrchovej teploty je štandardné, alebo nasvedčuje chybne prevedeným stavebným prácam, poruche izolácie, netesnosti okien a dverí, kondenzácii vlhkosti a pod. Hlavným účelom použitia termografie v stavebníctve je vyhľadávanie porúch v tepelnej izolácii stien a určenie ich druhu a rozsahu.

Zlé izolácie a tepelné anomálie môžu mať za následok aj vznik rôznych funkčných porúch stavebnej konštrukcie, ktoré je nutné v predstihu zistiť a odstrániť.

Ďalšie využitie termografie v stavebníctve je pri:

- zisťovaní miest tepelných strát budov ako podklad pre projektovanie izolácie,
- zisťovaní kvality prevedených prác pri kolaudácii,
- vyhľadávaní porúch podlahového kúrenia,
- kontrolách technologického vybavenia budov,
- vyhľadávaní prasklín v plášti budovy.

1.5.4 Teplovodné a parovodné systémy

Teplovodné rozvody, či už miestne alebo diaľkové, v súčasnosti nie sú v stave, ktorý by zaisťoval prenos tepelnej energie s minimálnymi stratami. Hlavne miestne tepelné podzemné siete sú nedostatočne izolované. Životnosť takéhoto systému sa odhaduje zhruba na 30 až 35 rokov. Podstatne sa zvýšili požiadavky na dennú údržbu a opravu. Z uvedených poznatkov vyplynula potreba vhodnej a predovšetkým dostupnej metódy inšpekcie. Pre túto potrebu je vhodná termovízna diagnostika. Jej použitie je zamerané na identifikáciu poruchových miest v podzemných teplovodných vedeniach,

kontrolu stavu izolácie (u pozemných alebo nadzemných teplovodných sietí) ako aj na kontrolu bez kanálových teplovodných sietí, u ktorých je potrebné rešpektovať i hľadisko bezpečnosti.

1.5.5 Medicína

Termovízia sa v medicíne využíva na základe predpokladu, že chorobou postihnuté miesto vydáva do okolia iné množstvo tepla ako okolité zdravé tkanivo. V mnohých krajinách sa využíva ako jedna z diagnostických metód vo vedecko-výskumnej oblasti, v niektorých krajinách je presadzovaná ako vyšetrovacia metóda (screening). Uplatnenie nachádza pri vyšetovaní cievnych ochorení, vyšetrení očí, reumatických ochoreniach kĺbov, kožných ochoreniach, ako doplnková metóda sa používa pri vyšetreniach štítnej žľazy, pri vyhľadávaní metastáz v krčných a axiálnych lymfatických uzlinách a i.

1.5.6 Ekológia

Pomocou termovízie sa v tejto oblasti získavajú informácie o teplote vody vo vodných nádržiach a odhaľujú sa teplejšie miesta, ktoré vznikajú v dôsledku nedostatočného prúdenia vody, a sú nebezpečné pre rastliny a živočíchy. Na základe leteckých meraní vykonávaných nad obývanými oblasťami sa získavajú poznatky o mikroklimách a na základe snímok sa zisťuje množstvo naakumulovanej a odovzdanej tepelnej energie rôznymi objektmi ale i časťami terénu. Následne možno vhodnými prostriedkami regulovať tepelnú záťaž. Termovízia sa používa aj na sledovanie atmosféry (hurikány, búrky a i.).

1.5.7 Priemysel

V priemysle má termovízia veľmi široké uplatnenie. Používa sa napríklad pri výrobe automobilov, v metalurgii pri zlievaní a tepelnej úprave kovov, výrobe papiera, pri meraní rozloženia teploty na plášťoch priemyselných pecí, pri kontrole izolačných vlastností skriň chladiarenských zariadení a vozidiel, pri meraní rozloženia teploty plameňa horákov, požiarnych prevenciách, pri lokalizácii potrubí v zemi, pri meraní tepelných únikov z budov a i. Veľké rozšírenie v priemysle umožnilo niekoľko

aspektov ako napríklad veľká presnosť merania, dokonalá lokalizácia meraného miesta; do merania sa nezanáša systémová chyba spôsobená kapacitou kontaktného teplomera, eliminuje sa chyba spôsobená tepelnou vodivosťou materiálu a prostredia. Termovízia ďalej umožňuje zobrazit' teplotu plameňa a merať cez určité transparentné materiály ako napr. sklo.

1.5.8 Výskum a vývoj

V tejto oblasti sa používa pri nedeštruktívnej defektoskopii, kontrole kvality, vývoji materiálov, kontrole výrobných procesov. Uplatnenie nachádza hlavne pri nedeštruktívnych skúškach materiálov a vytváraní tepelných obrazov skúšaných materiálov v reálnom čase, kde zaznamenáva statické a dynamické deje.

Termovízne meranie pomáha pri určovaní chybných súčiastok a mnohých iných činnostiach súvisiacich s vývojom a výskumom v elektrotechnike, strojnícve a iných priemyselných oblastiach ako aj zdravotníctve a mnohých iných oblastiach, či už technického alebo netechnického charakteru.

1.5.9 Špeciálne aplikácie

Špeciálne aplikácie sa používajú v oblasti bezpečnosti, v oblasti armády, kriminalistiky, ochrany objektov, vyhľadávania osôb a sledovania ich pohybu, sledovania pohybu techniky a vozidiel. Umožňuje určiť, či bolo vozidlo použité aj niekoľko hodín po jeho odstavení.

2. CIEĽ PRÁCE

Cieľom práce bolo meraním povrchovej teploty dotykovou metódou a termovíznou kamerou vyhodnotiť kvalitu monitorovania teplôt metódou termovízie. V súvislosti s tým zabezpečiť vlastným meraním získanie údajov potrebných pre vyhodnotenie kvality monitorovania povrchových teplôt metódou termovízie. Výsledky vlastných meraní získaných dotykovou metódou a metódou termovízie spracovať a porovnať.

V záujme získania prehľadu o súčasnom stave riešenia predmetnej problematiky bolo oboznámiť sa s rôznymi druhmi i metódami dotykového a bezdotykového merania. Spracovať prehľad zobrazovacích metód a meracích prístrojov bezdotykového merania povrchovej teploty. Charakterizovať termovíznou diagnostiku a spracovať prehľad možností jej aplikácií v praxi.

3. METODIKA PRÁCE

Predmetom objektu skúmania bolo porovnanie presnosti určenia teplôt povrchov vybraných vzoriek materiálov získaných meraním dotykovou i bezdotykovou metódou.

Koncepcia merania bola zvolená so zameraním na poruchy vnášajúce chybu a posúdenie rôznych vplyvov na výsledky ako sú merania: pod rôznymi uhlami, pri rôznych vzdialenostiach, pri zmene okolitej teploty, pri odlišnej emisivite.

Ako metóda bolo zvolené porovnanie výsledkov vlastných meraní a vyhodnotenie získaných pozitívnych a negatívnych prvkov oboch metód merania teplôt.

4. MERANIE TEPLoty VYBRANÝCH VZORIEK MATERIÁLOV

Pre posúdenie kvality monitorovania teplôt termovíziou sme realizovali merania povrchovej teploty na vybraných vzorkách štyroch nasledovných materiálov:

- smrekové drevo
- pozinkovaný plech
- pálená tehla
- sadrokartón

Merania povrchovej teploty boli vykonané dvomi metódami:

- termovíznou, bezdotykovou prostredníctvom termovíznej kamery,
- dotykovou, prostredníctvom dotykového teplomera.

Podklady k hodnoteniu kvality monitorovania teplôt termovíziou sme zabezpečili (v zmysle zadania) získaním nasledovných hlavných údajov:

- teplota povrchu vybraných vzoriek materiálov dotykovým teplomerom,
- emisivita povrchu vybraných vzoriek materiálov,
- rušivé vplyvy na výstup termovíznej kamery (nastavená emisivita, uhol a vzdialenosť merania),
- závislosť výsledkov meraní vybraných vzoriek materiálov termovíznou kamerou od okolitej teploty.

4.1 Zadanie

Vlastným meraním zabezpečiť podklady a získať údaje pre vykonanie posúdenia kvality monitorovania teplôt termovíznou kamerou. Získanie údajov zabezpečiť plnením nasledovných úloh:

4.1.1 *Určenie emisivity*

Zadanie: Pomocou termovíznej kamery určiť emisivitu povrchu vzoriek vybraných materiálov a výsledky meraní porovnať s tabuľkovými hodnotami.

4.1.2 Zistenie rušivých vplyvov na výstup termovíznej kamery

Zadanie: Termovíznou kamerou zmerať povrchovú teplotu vzoriek vybraných materiálov vo vzdialenostiach merania 1m, 2m, 5m, pod uhlom merania 45°, 90°, 135° a pri rôznej emisivite. Teplotu povrchu vybraných materiálov porovnať dotykovým teplomerom.

4.1.3 Zistenie závislosti výsledkov merania termovíznou kamerou od okolitej teploty

Zadanie: Termovíznou kamerou a dotykovým teplomerom zmerať teplotu vzoriek vybraných materiálov pri troch rôznych teplotách okolia.

4.2 Meranie povrchovej teploty

Pre vykonanie merania a získanie pomocných údajov a údajov vlastného merania o povrchovej teplote skúmaných vzoriek materiálov bolo potrebné zhotoviť pracovný panel s testovacími vzorkami materiálov. Pre porovnanie a vykonanie testovacích meraní boli vybrané 4 druhy materiálov: smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla a sadrokartón. Pracovný panel štvorcového tvaru o rozmere 1m x 1m bol zhotovený z kartónu. Na plochu pracovného panelu sme pripevnili vybrané vzorky materiálov a pracovný panel sme umiestnili do vertikálnej polohy voči termovíznej kamere. Termovíznou kameru sme osadili do pevného statívu a v tejto polohe sme vykonali všetky merania povrchov vybraných vzoriek materiálov.

Okolitú teplotu a vlhkosť prostredia sme zmerali multifunkčným meracím zariadením značky KESTREL osobitne pred každým súborom meraní povrchovej teploty vybraných vzoriek materiálov.

Povrchovú teplotu sme pre porovnanie odmerali aj dotykovým teplomerom u všetkých zvolených vzoriek materiálov pri troch rôznych teplotách okolia. Vzdialenosti meraní sme určili laserovým digitálnym metrom značky BOSCH.

Z dostupnej odbornej literatúry sme zistili tabuľkové hodnoty emisivity nami skúmaných vzoriek materiálov.

Pre prípravu a realizáciu vlastného merania povrchovej teploty vybraných vzoriek materiálov bolo potrebné zabezpečiť:

- zistenie parametrov potrebných pre nastavenie termovíznej kamery,
- zistenie správnej emisivity povrchu meraných vzoriek materiálu,
- vykonanie vlastného merania povrchovej teploty vzoriek materiálov.

4.2.1 Meranie parametrov potrebných pre nastavenie termovíznej kamery

Príprava termovíznej kamery na meranie sa vykonala vložení a nastavením pomocných parametrov, ktoré vyžaduje výrobcom predpísaný postup merania. Tieto parametre zabezpečujúce pripravenosť kamery na meranie povrchovej teploty bolo potrebné najprv zistiť osobitným meraním na zodpovedajúcich meradlách. Po vložení pomocných parametrov bola termovízna kamera pripravená na meranie.

Pomocné parametre, ktoré boli vložené do termovíznej kamery boli:

- okolitá teplota (atmosférická teplota)
- vlhkosť vzduchu
- vzdialenosť merania objektov vzoriek materiálu

Údaje o okolitej teplote ovzdušia a vlhkosti vzduchu boli namerané externým meračom teploty (KESTREL). Vzdialenosť meraných vzoriek materiálov bola určená laserovým meračom vzdialenosti. Dotykovým teplomerom bola zmeraná povrchová teplota vybraných vzoriek materiálov, pri nameraných parametroch okolitej teploty, vlhkosti vzduchu a vzdialenosti. Všetky získané údaje boli zapísané do tabuľky.

Podľa nameraných hodnôt (teplota okolia, vlhkosť vzduchu, vzdialenosť) boli následne nastavené parametre termovíznej kamery.

4.2.2 Zistenie správnej emisivity povrchu meranej vzorky materiálu

Emisivita povrchu materiálu bola rozhodujúci parameter pre prípravu a nastavenie termovíznej kamery na meranie povrchovej teploty materiálov. Z tohto dôvodu bola po nameraní pomocných materiálov a príprave termovíznej kamery na vlastné meranie povrchovej teploty zistená správna emisivita povrchu meranej vzorky každého skúmaného materiálu.

Pre porovnanie hodnoty povrchovej teploty nameranej termovíznou kamerou sme pomocou dotykového teplomera zistili povrchovú teplotu skúmanej vzorky materiálu.

Správna emisivita bola zistená tak, že termovíznou kameru sme osadili v pevnom statíve a nasmerovali pomocou laserového zameriavača, ktorý je súčasťou vybavenia termovíznej kamery, na testované vzorky vybraných materiálov. Parameter emisivity sme nastavili na hodnotu 0.01. Na displeji termovíznej kamery sa zobrazila výsledná výstupná teplota povrchu vzorky testovaného materiálu. Túto hodnotu sme porovnali s hodnotou povrchovej teploty nameranej dotykovým teplomerom. Nakoľko porovnávané hodnoty neboli rovnaké, pristúpili sme k zisteniu správnej emisivity postupnou zmenou nastavenia parametru emisivity v termovíznej kamere.

Postupne sme menili parameter emisivita v termovíznej kamere, odpočítaním alebo pripočítaním hodnoty 0.01, pričom platila podmienka, že nastavovaná emisivita musí mať minimálnu hodnotu 0.01 a nesmie presiahnuť hodnotu 1.00 ($\epsilon \leq 1.00$), až pokým sa zobrazovaná teplota v termovíznej kamere vyrovnala teplote nameranej dotykovým teplomerom na povrchu meranej vzorky materiálu. Takýmto postupom bola získaná správna emisivita povrchu jednotlivých vzoriek materiálov.

Získané výsledky sme zapísali do tabuľky a boli použité aj pri ďalších druhoch meraní. Správnosť získaných výsledkov sme overili porovnaním s tabuľkovými hodnotami emisivity rôznych druhov materiálov.

4.2.3 Meranie povrchovej teploty materiálov termovíznou kamerou

Vlastné meranie povrchovej teploty materiálov termovíznou kamerou bolo vykonané po príprave termovíznej kamery na vlastné meranie povrchovej teploty materiálov a vložení požadovaných pomocných parametrov ako sú okolitá teplota, vlhkosť vzduchu, dotyková teplota zmeraná externými meracími prístrojmi a rôzna emisivita. Termovízna kamera bola pripravená na vlastné meranie povrchovej teploty po naplnení postupu uvedeného v predchádzajúcich dvoch bodoch. Pre jednotlivé súbory vlastného merania povrchovej teploty skúmaných materiálov bola vytýčená určená vzdialenosť merania a uhol merania. Zameraním termovíznej kamery pomocou laseru na meranú vzorku sme vykonali záznamy u všetkých materiálov, ktoré nám vytvorili termosnímkou a uložili do pamäťového zariadenia kamery. V našom prípade sa ukládali na SD kartu, s ktorou sme následne mohli spolupracovať na PC a softvérovo vyhodnocovať záznamy. Správnosť emisivity sme pri každej vzorke určili postupnou zmenou náhodných údajov emisivity nastavených v termovíznej kamere, aby sme zistili rozdiely na výstupnej hodnote teploty termovíznej kamery. Pre náhodnú zmenu

emisivity sme určili hodnotu 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00. Takýmto postupom sme zmerali postupne všetky vzorky materiálov pri rôznych uhloch merania, pri rôznych vzdialenostiach merania a rôznej emisivite. Meranie povrchovej teploty bolo vykonané zo vzdialenosti 1, 2 a 5m pod uhlom 45°, 90°, 135°. Získané údaje boli zapísané do tabuliek.

Pre posúdenie závislosti výsledkov merania termovíznou kamerou od okolitej teploty boli vykonané vlastné merania povrchovej teploty termovíznou kamerou, pri troch hodnotách okolitej teploty a to 12°C, 21°C a 30°C.

4.3 Spracovanie merania

Hodnoty zistené jednotlivými meraniami boli zapracované do výsledných tabuliek. Tabuľky boli spracované osobitne pre pomocné parametre a osobitne pre údaje povrchovej teploty namerané termovíznou kamerou a osobitne pre údaje povrchovej teploty namerané dotykovým teplomerom .

Hodnoty povrchovej teploty namerané prostredníctvom termovíznej kamery sú spracované v tabuľke č. 4 pre materiál – smrekové drevo, v tabuľke č.5 pre materiál – pozinkovaný plech, v tabuľke č. 6 pre materiál – pálená tehla a v tabuľke č. 7 pre materiál – sadrokartón.

Hodnoty okolitej teploty a vlhkosti prostredia boli spracované v tabuľke č. 1. Hodnoty povrchovej teploty namerané dotykovým teplomerom boli spracované v tabuľke č. 2. Hodnoty tabuľkovej emisivity boli spracované v tabuľke č. 3.

Poradové čísla jednotlivých snímok zhotovených termovíznou kamerou sú uvedené v tabuľkovom prehľade (viď. Príloha [A], [B], [C], [D]), ktoré zároveň korešpondujú s tabuľkami č. 4, 5, 6 a 7. Jednotlivé snímky meraní zaznamenané termovíznou kamerou sú uložené na dátovom médiu (CD nosič) priloženom k práci.

4.4 Použité prístroje

- termovízna kamera zn. FLIR B200,
- dotykový teplomer zn. TFA 1105,
- multimeter zn. KESTREL 4000 Pocket Weather Tracker,
- laserový merač vzdialenosti zn. BOSCH typ. DLE70 Professional

4.5 Výsledky meraní teploty vybraných vzoriek materiálov

Vlastnými meraniami sme získali údaje o pomocných parametroch pre nastavenie termovíznej kamery, ktorými sú okolitá teplota a vlhkosť ovzdušia. Výsledky troch súborov meraní okolitej teploty a vlhkosti prostredia sme spracovali to tabuľky č.1.

Tieto údaje boli následne využité pre spracovanie meraní vplyvov na výsledok merania termovíznej kamery a merania povrchovej teploty termovíznou kamerou u všetkých štyroch vzoriek materiálov.

Tabuľka č. 1 Okolitá teplota a vlhkosť vzduchu

SÚBOR MERANIA	OKOLITÁ TEPLOTA [°C]	VLHKOSŤ VZDUCHU [%]
<i>I.</i>	12.0	55
<i>II.</i>	21.0	32
<i>III.</i>	30.0	25

Získali sme vlastné údaje z merania povrchovej teploty všetkých vzoriek skúmaných materiálov dotykovým teplomerom, ktoré boli použité pre porovnanie údajov o povrchovej teplote materiálov získaných meraním termovíznou kamerou.

Tabuľka č. 2 Meranie povrchovej teploty dotykovým teplomerom

VZORKY MATERIÁLOV	OKOLITÁ TEPLOTA [°C]		
	12.0	21.0	30.0
	POVRCHOVÁ TEPLOTA VZORIEK MATERIÁLOV [°C]		
<i>Smrekové drevo</i>	9.9	20.2	35.0
<i>Pozinkovaný plech</i>	8.8	20.0	29.5
<i>Pálená tehla</i>	9.7	19.5	31.1
<i>Sadrokartón</i>	11.2	19.0	29.7

Pre porovnávacie úkony sme na základe odbornej literatúry priradili každej zo skúmaných vzoriek materiálu tabuľkovú hodnotu emisivity.

Tabuľka č.3 Tabuľková emisivita skúmaných materiálov

MATERIÁL	TABUĽKOVÁ EMISIVITA MATERIÁLOV - ϵ
Smrekové drevo	0.89
Pozinkovaný plech	0.28
Pálená tehla	0.93
Sadrokartón	0.85

Na základe vlastných meraní povrchovej teploty vybraných materiálov termovíznou kamerou sme dospeli u jednotlivých vzoriek materiálov k výsledkom, ktoré sú uvedené v nasledujúcich bodoch.

4.5.1 Smrekové drevo

Tabuľka č. 4 Termovízne meranie povrchovej teploty vzorky materiálu – smrekové drevo (vid'. Príloha [A])

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
	VÝSTUP MERANIA TERMOVÍZNEJ KAMERY [°C]																	
0.20	4.9	36.2	34.7	36.2	35.0	37.4	25.6	60.5	20.1	60.5	48.4	42.3	-40<	110.0	-40<	110.0	114.0	112.0
0.40	7.3	19.5	18.6	19.5	19.0	20.9	22.5	36.0	19.6	36.0	30.9	29.4	-40<	64.5	-27.6	64.5	67.7	65.9
0.60	8.4	13.6	12.9	13.6	13.2	14.0	21.9	26.6	19.9	26.6	24.5	24.3	6.3	47.1	11.4	47.1	47.8	48.5
0.80	8.7	10.2	10.0	10.2	10.2	10.7	21.4	21.5	19.8	21.5	21.1	21.5	26.7	37.4	26.4	37.4	38.6	38.2
1.00	8.8	8.2	7.8	8.2	8.3	8.8	21.2	18.6	19.9	18.6	18.6	19.5	36.4	30.7	39.1	30.7	32.5	32.4
0.89	8.8	9.0	9.0	9.0	9.3	9.7	21.3	20.2	20.0	20.2	19.9	20.4	30.2	34.3	35.2	34.3	35.3	35.4

4.5.2 Pozinkovaný plech

Tabuľka č. 5 Termovízne meranie povrchovej teploty vzorky materiálu – pozinkovaný plech (vid'. Príloha [B])

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
	VÝSTUP MERANIA TERMOVÍZNEJ KAMERY [°C]																	
0.20	12.6	10.0	8.7	10.0	10.2	10.5	19.2	20.9	19.2	20.9	21.0	19.2	23.9	31.0	18.9	31.0	26.1	28.9
0.40	10.2	9.2	8.6	9.2	9.6	9.9	20.9	19.6	18.8	19.6	19.4	19.8	32.3	31.7	33.7	31.7	31.6	32.3
0.60	10.0	9.3	9.0	9.3	9.2	9.4	20.9	19.2	19.7	19.2	19.8	19.5	34.4	38.5	38.5	38.5	31.1	33.0
0.80	9.8	9.1	8.9	9.1	9.0	8.9	21.1	18.6	19.8	18.6	19.0	20.0	34.6	43.1	43.1	43.1	32.3	33.3
1.00	9.6	9.2	8.9	9.2	8.7	8.8	21.1	18.7	19.8	18.7	18.9	20.0	35.7	44.2	44.2	44.2	33.0	33.0
0.28	10.8	9.2	8.7	9.2	9.9	9.1	20.2	20.1	19.9	20.1	20.2	19.5	30.6	29.5	29.7	29.5	29.4	29.4

4.5.3 Pálená tehla

Tabuľka č. 6 Termovízne meranie povrchovej teploty vzorky materiálu – pálená tehla (viď. Príloha [C])

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
	VÝSTUP MERANIA TERMOVÍZNEJ KAMERY [°C]																	
0.20	4.7	3.6	39.9	3.6	2.0	6.1	-40<	60.7	-40<	60.7	10.9	42.6	-40<	35.9	-40<	35.9	23.5	-40<
0.40	7.6	8.3	21.6	8.3	7.6	9.3	-16.7	35.8	-0.1	35.8	17.4	28.8	-40<	33.5	-40<	33.5	28.2	-21.4
0.60	9.4	9.7	14.9	9.7	9.1	10.1	6.4	26.6	12.0	26.6	19.1	23.9	-26.4	32.7	-40<	32.7	29.8	14.0
0.80	10.0	9.9	11.3	9.9	9.8	10.6	15.9	21.6	17.2	21.6	19.3	21.3	16.4	31.7	8.1	31.7	30.7	27.0
1.00	10.4	10.6	9.2	10.6	10.4	10.9	21.1	18.4	20.4	18.4	19.0	19.8	35.4	31.5	40.0	31.5	32.3	34.0
0.93	10.3	10.4	9.7	10.4	10.2	10.7	19.4	19.4	19.3	19.4	19.5	20.1	31.3	31.7	31.4	31.7	31.3	31.3

4.5.4 Sadrokartón

Tabuľka č. 7 Termovízne meranie povrchovej teploty vzorky materiálu – sadrokartón (viď. Príloha [D])

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
	VÝSTUP MERANIA TERMOVÍZNEJ KAMERY [°C]																	
0.20	13.4	10.0	13.1	10.0	10.0	14.2	-40<	28.4	-13.2	28.4	12.4	12.4	-40<	12.9	-40<	12.9	20.1	-40<
0.40	12.7	10.6	13.1	10.6	11.6	12.7	2.3	22.5	9.2	22.5	16.8	17.2	-11.2	16.0	-40<	16.0	15.5	2.6
0.60	12.2	10.3	12.4	10.3	11.7	13.1	13.2	20.6	15.5	20.6	18.2	18.7	16.7	25.2	-6.9	25.2	24.4	20.8
0.80	12.3	11.1	12.5	11.1	11.8	12.6	18.2	19.3	18.5	19.3	19.1	19.3	28.0	29.2	25.1	29.2	28.9	28.5
1.00	12.2	11.5	12.3	11.5	12.0	12.8	20.9	18.8	20.1	18.8	19.1	19.8	34.4	31.9	40.4	31.9	31.9	32.5
0.85	12.1	11.3	12.5	11.3	12.0	12.4	19.1	19.0	19.2	19.0	18.9	19.0	29.2	29.6	30.1	29.6	29.3	29.5

4.6 Posúdenie kvality merania teploty termovíziou

Vlastné merania povrchovej teploty dotykovou metódou boli vykonané pri troch teplotách okolia (12 °C, 21 °C, 30 °C) u štyroch vybraných vzoriek materiálov (smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla a sadrokartón), čo bolo celkom 12 meraní a získali sme 12 údajov o povrchovej teplote. U jednej vzorky materiálu to predstavuje 3 merania.

Vlastné merania povrchovej teploty bezdotykovou termovíznou metódou boli vykonané pri troch teplotách okolia (12 °C, 21 °C, 30 °C), pod tromi uhlami merania (45°, 90°, 135°), pri troch vzdialenostiach merania (1m, 2m, 5m), pri šiestich emisivitách štyroch vybraných vzoriek materiálov (smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla, sadrokartón), čo bolo celkom 432 meraní a získali sme 432 údajov o povrchovej teplote. U jednej vzorky materiálu to predstavuje 108 meraní.

Porovnaním údajov získaných vlastným meraním sme zistili, že získané údaje o povrchovej teplote vykazovali zhodu:

- pri správnej emisivite,
- pri meraní zo vzdialenosti 1m,
- pri meraní pod uhlom 90°.

Údaje získané pod inými uhlami merania a pri inej vzdialenosti merania vykazovali veľké rozdiely oproti údajom získaným dotykovou metódou.

Pri termovíznej metóde rozhodujúci vplyv na správnosť údajov o povrchovej teplote vzorky materiálu má správnosť emisivity. Tento údaj vyvoláva veľkú nepresnosť nameranej hodnoty povrchovej teploty materiálu.

Dotykovou metódou pre každý skúmaný materiál stačilo pri každej teplote okolia jedno meranie. Pre správnosť údajov o povrchovej teplote musela byť pri termovíznej metóde emisivita nastavovaná až 6x pri jednej vzorke materiálu a jednej okolitej teplote.

Na získanie správneho údajov o povrchovej teplote jednej vzorky materiálu bolo pri termovíznej metóde potrebných 432 meraní a pri dotykovej metóde iba 12 meraní, čo nasvedčuje veľkej práci termovíznej metódy.

Na základe vlastných výsledkov získaných porovnaním meraní možno konštatovať, že termovízne meranie bolo oproti dotykovej metóde zdĺhavejšie (malo veľa úkonov a bolo potrebných vykonať mnoho meraní k dosiahnutiu presného údajov o povrchovej teplote). Pri termovíznej metóde vplývalo veľmi veľa faktorov na

presnosť jej merania a nameraných údajov. Rozhodujúce boli predovšetkým správna emisivita, správny uhol a vzdialenosť merania.

5. ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo meraním povrchovej teploty dotykovou metódou a termovíznou kamerou vyhodnotiť kvalitu monitorovania teplôt metódou termovízie. V súvislosti s tým zabezpečiť vlastným meraním získanie údajov potrebných pre vyhodnotenie kvality monitorovania povrchových teplôt metódou termovízie. Výsledky vlastných meraní získaných dotykovou metódou a metódou termovízie spracovať a porovnať. V záujme získania prehľadu o súčasnom stave riešenia predmetnej problematiky bolo potrebné oboznámiť sa s rôznymi druhmi i metódami dotykového a bezdotykového merania, ako i spracovať prehľad zobrazovacích metód, meracích prístrojov bezdotykového merania povrchovej teploty, charakterizovať termovíznou diagnostiku a spracovať prehľad možností jej aplikácií v praxi.

Z tohto dôvodu sa jej prvá časť zameriavala na prehľad o súčasnom stave riešenia problematiky, v ktorej bol spracovaný prehľad a charakteristika zobrazovacích metód bezdotykového merania teploty. Uvádzala prehľad a charakteristiku prístrojov na bezdotykové meranie teploty. Charakterizovali sme termovíznou diagnostiku, uviedli sme prehľad a charakteristiku termovíznej techniky. V závere prvej časti sme uviedli aplikáciu termovíznej diagnostiky v rôznych oblastiach ľudskej činnosti.

Rozhodujúcu časť práce tvorilo získanie údajov pre vyhodnotenie kvality monitorovania teplôt termovízie vlastnými meraniami bezdotykovou metódou prostredníctvom termovíznej kamery a dotykovou metódou prostredníctvom dotykového teplomeru.

Koncepcia merania bola zvolená so zameraním sa na poruchy vnášajúce chybu. Merania boli realizované na vybraných vzorkách štyroch materiálov: smrekové drevo, pozinkovaný plech, pálená tehla a sadrokartón. Pri metóde termovízneho merania sa ako rozhodujúca zložka tejto činnosti ukázala emisivita povrchu skúmaných vybraných vzoriek materiálov a jej správne nastavenie v termovíznej kamere. Chyby do termovízneho merania vnášali aj niektoré ďalšie zložky ako boli okolitá teplota, vlhkosť vzduchu, vzdialenosť meranej vzorky materiálu.

Porovnaním údajov oboch metód merania sme získali výsledky, ktoré poukazovali na nepresnosť údajov povrchovej teploty nameraných termovíznou metódou a veľa faktorov ovplyvňujúcich kvalitu jej merania. Na základe štúdia súčasného stavu vývoja termovíznej metódy v odbornej literatúre sme dospeli k záveru, že termovízna metóda

má rad predností ako sú: relatívne bezpečnejšie meranie voči dotykovej metóde, väčší záber meranej plochy, meranie z väčšej vzdialenosti od objektu, výlučné použitie bezdotykovej metódy. Prevažujúce sú ale negatívne prvky termovíznej metódy, ktorými sú najmä: dlhý proces merania, veľa úkonov potrebných pre prípravu merania, množstvo údajov potrebných pre nastavovanie termovíznej kamery, finančne náročná meracia technika a zložitá technológia. Ďalší vývoj a skvalitňovanie termovíznej metódy si vyžaduje postupné odstraňovanie hlavných nedostatkov, najmä faktorov ovplyvňujúcich kvalitu a presnosť meraní. Medzi rozhodujúce patrí správne nastavovanie emisivity. Jej údaj podľa našich dosiahnutých výsledkov zásadne ovplyvňuje negatívne výsledky merania povrchovej teploty. Povrchová teplota vykazuje veľké rozdiely v nameraných hodnotách. Veľký vplyv má i uhol a vzdialenosť merania.

Na základe meraní získaných údajov a ich porovnania možno konštatovať, že v súčasnom období kvalita monitorovania teplôt metódou termovízie je nižšia v porovnaní s dotykovou metódou, nakoľko jej výsledky boli stálejšie a bola preukázaná v našom meraní nižšia chybovosť v jej meraní. Dotykové meranie je vývojovo podstatne ďalej a nevykazuje nedostatky, ktoré vplývajú na presnosť a kvalitu meraní. Súčasnú kontaktnú teplomery ponúkajú rýchlu odozvu merania a laboratórnu presnosť ($0,05\text{ °C} + 0,3\text{ °C}$). Naproti tomu termovízne meranie vykazuje veľa vplyvov, ktoré negatívne ovplyvňujú presnosť meraní.

6. POUŽITÁ LITERATÚRA

1. ŠIMKO, M. - ŠEBOK, M. - CHUPÁČ, M.: 2000: Využitie infračervenej techniky v diagnostike: In. Medzinárodná konferencia: TD-2000 DIAGO: Zlín
2. SVOBODA, J.: 1999: *Využívanie infračervenej techniky v procese diagnostického sledovania strojov a zariadení v prediktívnej údržbe*: Dni novej Techniky, Žilina
3. CHUPÁČ, M.: 2002: *Diagnostika anténových systémov rozhlasových vysieláčov s využitím termovízie*: Doktorská dizertačná práca: Žilina: Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26599>
4. ŠIMKO, M., - CHUPÁČ, M.: 2007: *Termovízia a jej využitie v praxi*: vyd. Žilinská univerzita: 110 s.: ISBN 80-807-0654-8
5. KOVÁČ, M.: 2008: *Termovízia v lekárskej praxi*, vyd. SAV: Bratislava: ISBN 978-80-224-0963-6
6. KADLEC, K.: 2011: *Bezdotykové teploměry*: Dostupné na internete: <<http://www.vscht.cz/ufmt/kadleck.html>>
7. KREIDL, M.: 2005: *Měření teploty. Senzory a měřicí obvody*: vyd. BEN: Praha: ISBN 80-7300-145-4
8. LYSENKO, V.: 2006: *Detektory pro bezdotykové měření teplot 2*: vyd. BEN: Praha: ISBN 80-7300-180-2
9. ŠIMKO M. a kol.: 2011: *Aplikačné možnosti termovízie v praxi*: Dostupné na internete: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26599>
10. VOJÁČEK, A.: 2005: *Co jsou bolometry a mikrobolometry?*: Dostupné na internete: <<http://automatizace.hw.cz/merenia-regulace/ART196-co-jsou-bolometry-a-mikrobolometry-.html>>
11. VOJÁČEK, A.: 2007: *Infračervené kvantové detektory a termokamery – Úvod*: Dostupné na internete: <<http://automatizace.hw.cz/infracervene-kvantove-detektory-termokamery-uvod>>
12. ÚNMS SR: 2011: *Termovízna diagnostika pomáha predísť poruchám zariadení*: Dostupné na internete: <http://www.unms.sk/?termovizna_diagnostika>
13. BRACHTÝR, B.: 2011: *Možnosti využitia termovízie*: Dostupné na internete: <<http://www.termovizia.szm.com/vyuzitie.pdf>>

PRÍLOHY

ZOZNAM PRÍLOH

- [A] Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 4)
- [B] Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 5)
- [C] Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 6)
- [D] Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 7)
- [E] CD médium obsahujúce digitálnu formu práce + praktickú časť

Príloha [A]: Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 4)

Tabuľka č.8: Názvy meraných snímkov uložených na CD médiu pre vzorku materiálu – smrekové drevo

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
0.20	IR_001.jpg	IR_007.jpg	IR_013.jpg	IR_019.jpg	IR_025.jpg	IR_031.jpg	IR_037.jpg	IR_043.jpg	IR_049.jpg	IR_055.jpg	IR_061.jpg	IR_067.jpg	IR_073.jpg	IR_079.jpg	IR_085.jpg	IR_091.jpg	IR_097.jpg	IR_103.jpg
0.40	IR_002.jpg	IR_008.jpg	IR_014.jpg	IR_020.jpg	IR_026.jpg	IR_032.jpg	IR_038.jpg	IR_044.jpg	IR_050.jpg	IR_056.jpg	IR_062.jpg	IR_068.jpg	IR_074.jpg	IR_080.jpg	IR_086.jpg	IR_092.jpg	IR_098.jpg	IR_104.jpg
0.60	IR_003.jpg	IR_009.jpg	IR_015.jpg	IR_021.jpg	IR_027.jpg	IR_033.jpg	IR_039.jpg	IR_045.jpg	IR_051.jpg	IR_057.jpg	IR_063.jpg	IR_069.jpg	IR_075.jpg	IR_081.jpg	IR_087.jpg	IR_093.jpg	IR_099.jpg	IR_105.jpg
0.80	IR_004.jpg	IR_010.jpg	IR_016.jpg	IR_022.jpg	IR_028.jpg	IR_034.jpg	IR_040.jpg	IR_046.jpg	IR_052.jpg	IR_058.jpg	IR_064.jpg	IR_070.jpg	IR_076.jpg	IR_082.jpg	IR_088.jpg	IR_094.jpg	IR_100.jpg	IR_106.jpg
1.00	IR_005.jpg	IR_011.jpg	IR_017.jpg	IR_023.jpg	IR_029.jpg	IR_035.jpg	IR_041.jpg	IR_047.jpg	IR_053.jpg	IR_059.jpg	IR_065.jpg	IR_071.jpg	IR_077.jpg	IR_083.jpg	IR_089.jpg	IR_095.jpg	IR_101.jpg	IR_107.jpg
0.89	IR_006.jpg	IR_012.jpg	IR_018.jpg	IR_024.jpg	IR_030.jpg	IR_036.jpg	IR_042.jpg	IR_048.jpg	IR_054.jpg	IR_060.jpg	IR_066.jpg	IR_072.jpg	IR_078.jpg	IR_084.jpg	IR_090.jpg	IR_096.jpg	IR_102.jpg	IR_108.jpg

Príloha [B]: Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 5)

Tabuľka č.9: Názvy meraných snímkov uložených na CD médiu pre vzorku materiálu – pozinkovaný plech

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
0.20	IR_109.jpg	IR_115.jpg	IR_121.jpg	IR_127.jpg	IR_133.jpg	IR_139.jpg	IR_145.jpg	IR_151.jpg	IR_157.jpg	IR_163.jpg	IR_169.jpg	IR_175.jpg	IR_181.jpg	IR_187.jpg	IR_193.jpg	IR_199.jpg	IR_205.jpg	IR_211.jpg
0.40	IR_110.jpg	IR_116.jpg	IR_122.jpg	IR_128.jpg	IR_134.jpg	IR_140.jpg	IR_146.jpg	IR_152.jpg	IR_158.jpg	IR_164.jpg	IR_170.jpg	IR_176.jpg	IR_182.jpg	IR_188.jpg	IR_194.jpg	IR_200.jpg	IR_206.jpg	IR_212.jpg
0.60	IR_111.jpg	IR_117.jpg	IR_123.jpg	IR_129.jpg	IR_135.jpg	IR_141.jpg	IR_147.jpg	IR_153.jpg	IR_159.jpg	IR_165.jpg	IR_171.jpg	IR_177.jpg	IR_183.jpg	IR_189.jpg	IR_195.jpg	IR_201.jpg	IR_207.jpg	IR_213.jpg
0.80	IR_112.jpg	IR_118.jpg	IR_124.jpg	IR_130.jpg	IR_136.jpg	IR_142.jpg	IR_148.jpg	IR_154.jpg	IR_160.jpg	IR_166.jpg	IR_172.jpg	IR_178.jpg	IR_184.jpg	IR_190.jpg	IR_196.jpg	IR_202.jpg	IR_208.jpg	IR_214.jpg
1.00	IR_113.jpg	IR_119.jpg	IR_125.jpg	IR_131.jpg	IR_137.jpg	IR_143.jpg	IR_149.jpg	IR_155.jpg	IR_161.jpg	IR_167.jpg	IR_173.jpg	IR_179.jpg	IR_185.jpg	IR_191.jpg	IR_197.jpg	IR_203.jpg	IR_209.jpg	IR_215.jpg
0.28	IR_114.jpg	IR_120.jpg	IR_126.jpg	IR_132.jpg	IR_138.jpg	IR_144.jpg	IR_150.jpg	IR_156.jpg	IR_162.jpg	IR_168.jpg	IR_174.jpg	IR_180.jpg	IR_186.jpg	IR_192.jpg	IR_198.jpg	IR_204.jpg	IR_210.jpg	IR_216.jpg

Príloha [C]: Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 6)

Tabuľka č.10: Názvy meraných snímkov uložených na CD médiu pre vzorku materiálu – pálená tehla

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
0.20	IR_217.jpg	IR_223.jpg	IR_229.jpg	IR_235.jpg	IR_241.jpg	IR_247.jpg	IR_253.jpg	IR_259.jpg	IR_265.jpg	IR_271.jpg	IR_277.jpg	IR_283.jpg	IR_289.jpg	IR_295.jpg	IR_301.jpg	IR_307.jpg	IR_313.jpg	IR_319.jpg
0.40	IR_218.jpg	IR_224.jpg	IR_230.jpg	IR_236.jpg	IR_242.jpg	IR_248.jpg	IR_254.jpg	IR_260.jpg	IR_266.jpg	IR_272.jpg	IR_278.jpg	IR_284.jpg	IR_290.jpg	IR_296.jpg	IR_302.jpg	IR_308.jpg	IR_314.jpg	IR_320.jpg
0.60	IR_219.jpg	IR_225.jpg	IR_231.jpg	IR_237.jpg	IR_243.jpg	IR_249.jpg	IR_255.jpg	IR_261.jpg	IR_267.jpg	IR_273.jpg	IR_279.jpg	IR_285.jpg	IR_291.jpg	IR_297.jpg	IR_303.jpg	IR_309.jpg	IR_315.jpg	IR_321.jpg
0.80	IR_220.jpg	IR_226.jpg	IR_232.jpg	IR_238.jpg	IR_244.jpg	IR_250.jpg	IR_256.jpg	IR_262.jpg	IR_268.jpg	IR_274.jpg	IR_280.jpg	IR_286.jpg	IR_292.jpg	IR_298.jpg	IR_304.jpg	IR_310.jpg	IR_316.jpg	IR_322.jpg
1.00	IR_221.jpg	IR_227.jpg	IR_233.jpg	IR_239.jpg	IR_245.jpg	IR_251.jpg	IR_257.jpg	IR_263.jpg	IR_269.jpg	IR_275.jpg	IR_281.jpg	IR_287.jpg	IR_293.jpg	IR_299.jpg	IR_305.jpg	IR_311.jpg	IR_317.jpg	IR_323.jpg
0.93	IR_222.jpg	IR_228.jpg	IR_234.jpg	IR_240.jpg	IR_246.jpg	IR_252.jpg	IR_258.jpg	IR_264.jpg	IR_270.jpg	IR_276.jpg	IR_282.jpg	IR_288.jpg	IR_294.jpg	IR_300.jpg	IR_306.jpg	IR_312.jpg	IR_318.jpg	IR_324.jpg

Príloha [D]: Prehľad názvov termovíznych snímkov (podľa tabuľky č. 7)

Tabuľka č.11: Názvy meraných snímkov uložených na CD médiu pre vzorku materiálu – sadrokartón

NASTAVENÁ EMISIVITA TERMOVÍZNEJ KAMERY	SÚBOR MERANIA I.						SÚBOR MERANIA II.						SÚBOR MERANIA III.					
	OKOLITÁ TEPLOTA: 12.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 55%						OKOLITÁ TEPLOTA: 21.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 32%						OKOLITÁ TEPLOTA: 30.0 °C VLHKOSŤ VZDUCHU: 25%					
	MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA			MERANIE POD UHLOM			VZDIALENOSŤ MERANIA		
	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m	45°	90°	135°	1m	2m	5m
0.20	IR_325.jpg	IR_331.jpg	IR_337.jpg	IR_343.jpg	IR_349.jpg	IR_355.jpg	IR_361.jpg	IR_367.jpg	IR_373.jpg	IR_379.jpg	IR_385.jpg	IR_391.jpg	IR_397.jpg	IR_403.jpg	IR_409.jpg	IR_415.jpg	IR_421.jpg	IR_427.jpg
0.40	IR_326.jpg	IR_332.jpg	IR_338.jpg	IR_344.jpg	IR_350.jpg	IR_356.jpg	IR_362.jpg	IR_368.jpg	IR_374.jpg	IR_380.jpg	IR_386.jpg	IR_392.jpg	IR_398.jpg	IR_404.jpg	IR_410.jpg	IR_416.jpg	IR_422.jpg	IR_428.jpg
0.60	IR_327.jpg	IR_333.jpg	IR_339.jpg	IR_345.jpg	IR_351.jpg	IR_357.jpg	IR_363.jpg	IR_369.jpg	IR_375.jpg	IR_381.jpg	IR_387.jpg	IR_393.jpg	IR_399.jpg	IR_405.jpg	IR_411.jpg	IR_417.jpg	IR_423.jpg	IR_429.jpg
0.80	IR_328.jpg	IR_334.jpg	IR_340.jpg	IR_346.jpg	IR_352.jpg	IR_358.jpg	IR_364.jpg	IR_370.jpg	IR_376.jpg	IR_382.jpg	IR_388.jpg	IR_394.jpg	IR_400.jpg	IR_406.jpg	IR_412.jpg	IR_418.jpg	IR_424.jpg	IR_430.jpg
1.00	IR_329.jpg	IR_335.jpg	IR_341.jpg	IR_347.jpg	IR_353.jpg	IR_359.jpg	IR_365.jpg	IR_371.jpg	IR_377.jpg	IR_383.jpg	IR_389.jpg	IR_395.jpg	IR_401.jpg	IR_407.jpg	IR_413.jpg	IR_419.jpg	IR_425.jpg	IR_431.jpg
0.85	IR_330.jpg	IR_336.jpg	IR_342.jpg	IR_348.jpg	IR_354.jpg	IR_360.jpg	IR_366.jpg	IR_372.jpg	IR_378.jpg	IR_384.jpg	IR_390.jpg	IR_396.jpg	IR_402.jpg	IR_408.jpg	IR_414.jpg	IR_420.jpg	IR_426.jpg	IR_432.jpg