

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

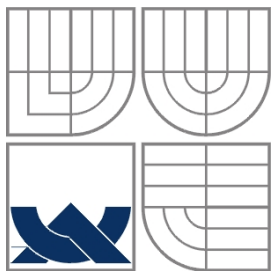
APLIKAČNÍ MOŽNOSTI TERMovIZE V ELEKTROTECHNICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

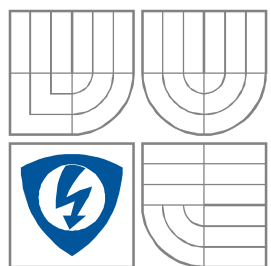
Milan Strmeň

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

APLIKAČNÍ MOŽNOSTI TERMovIZE V ELEKTROTECHNICE

APPLICATION OF IR IMAGINERY IN ELECTRICAL ENGINEERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

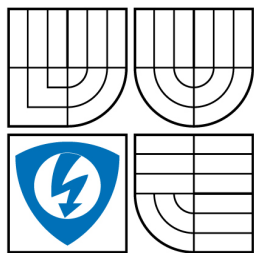
Milan Strmeň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Vladimír Aubrecht CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Milan Strmeň

ID: 76155

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Aplikační možnosti termovize v elektrotechnice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s principy bezdotykového měření teplot.
2. Připravte prezentaci několika praktických ukázek znázorňujících možnosti využití termovizní kamery v elektrotechnice.
3. Termovizní kamerou proměřte oteplení proudovodné dráhy VN odpínače.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího.

Termín zadání: 1.10.2008

Termín odevzdání: 29.5.2009

Vedoucí práce: prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Milan Strmeň

Bytem: Deblín 108, Deblín, 66475

Narozen/a (datum a místo): 21.06.1986 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá

elektrotechnika a elektroenergetika

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☐ diplomová práce

☒ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ústav:

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

☒ tištěné formě — počet exemplářů 1

☒ elektronické formě — počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu se zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Tato práce se zabývá bezdotykovým měřením teploty, jeho principy a rozdělením. Je zaměřena především na termovizi. Dále je zde proveden popis termokamery SH-68 / HY-6800, popsána její funkce a vybavení. K projektu je zpracován stručný manuál s důležitými informacemi pro měření a s příkladem jednoduchého měření rozepsaného do několika kroků. Další část je zaměřena na současné využití termovize. Poslední část je věnována měření oteplení proudovodné dráhy VN odpínače termokamerou a jeho porovnání s dotykovou metodou měření teploty.

Abstract

This work deals with contactless measurement of a temperature, its principles and types. Above all, it is aimed mainly on thermovision. Infrared camera SH-68 / HY-6800 is presented and its functions are described. Brief instruction manual together with important information on a measurement is also presented. An example of a simple measurement, which is itemized to several steps, is worked up in the framework of the project. The last part of the project is devoted to the thermovision applications in a general practice. Temperature rise of a part of high voltage disconnector was measured by IR camera and compared to the contact method of the temperature measurement.

Klíčová slova

Bezdotykové měření teploty; SH-68 / HY-6800; teplota; termokamera; termovize

Keywords

Contactless measurement of a temperature; SH-68 / HY-6800; temperature; infrared camera; thermovision

Bibliografická citace

STRMEŇ, M. *Aplikační možnosti termovize v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 49 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **APLIKAČNÍ MOŽNOSTI TERMOVIZE V ELEKTROTECHNICE** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

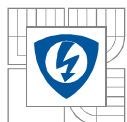
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Vladimíru Aubrechtovi CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

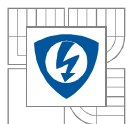
V Brně dne

Podpis autora

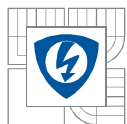


OBSAH

1 ÚVOD	13
2 ZÁKLADNÍ POJMY	14
2.1 TEPLOTA.....	14
2.2 ČERNÉ TĚLESO, ČERNÝ ZÁŘIČ	14
2.3 SENZOR TEPLoty.....	14
3 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLA.....	15
3.1 VÝHODY BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLoty	15
3.2 NEVÝHODY BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLoty	15
3.3 TEPELNÉ DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ.....	16
3.3.1 TERMOELEKTRICKÉ DETEKTORY	16
3.3.2 BOLOMETRICKÉ DETEKTORY	16
3.3.3 PYROELEKTRICKÉ DETEKTORY	16
4 TERMOVIZE	17
4.1 STANOVENÍ HODNOTY EMISIVITY	17
5 TERMOVIZNÍ KAMERA SH-68 / HY-6800	19
5.1 PŘEDSTAVENÍ	19
5.2 POPIS ČÁSTÍ TERMOKAMERY	19
5.3 OVLÁDACÍ TLAČÍTKA	20
5.3.1 TLAČÍTKO "↵" - MENU / POTVRZENÍ	20
5.3.2 TLAČÍTKO "A" - AUTOMATICKÉ NASTAVENÍ	20
5.3.3 SMĚROVÉ TLAČÍTKA „L“, „R“, „+“, „-“	20
5.3.4 TLAČÍTKO „C“ - ZRUŠENÍ/NÁVRAT	21
5.3.5 TLAČÍTKO „S“ - POZASTAVENÍ/UVOLNĚNÍ OBRAZU	21
5.4 PŘÍSLUŠENSTVÍ	21
6 STRUČNÝ MANUÁL.....	22
6.1 ZÁKLADNÍ OVLÁDÁNÍ	22
6.1.1 PŘÍPRAVA K MĚŘENÍ, UPOZORNĚNÍ	22
6.1.2 ZAPNUTÍ PŘÍSTROJE	22
6.1.3 VÝPISY PŘI STARTU	22
6.1.4 INFORMAČNÍ PANELY	23
6.1.5 MĚŘÍTKO TEPLOTNÍHO ROZSAHU	23
6.1.6 INFORMAČNÍ ŘÁDEK	23
6.1.7 PRÁCE S MENU	24
6.1.8 ZAOSTŘENÍ OBRAZU	24
6.1.9 VYVÁŽENÍ/NASTAVENÍ OBRAZU	24
6.1.10 POZASTAVENÍ (ZAMRZNUTÍ) OBRAZU	24
6.2 NASTAVENÍ KAMERY	24
6.2.1 PARAMETRY MĚŘENÍ OBJEKTU	24
6.2.2 AUTOMATICKÉ NASTAVENÍ	25
6.3 TYPY ANALÝZ	25

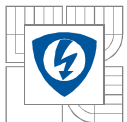


6.3.1 LINEÁRNÍ ANALÝZA.....	25
6.3.2 ZÓNOVÁ ANALÝZA	25
6.3.3 IZOTERMICKÁ ANALÝZA	26
6.3.4 ZVĚTŠENÍ/ZMENŠENÍ OBRAZU	26
6.3.5 ČTYŘ-OBRAZOVÝ REŽIM.....	26
6.4 PRÁCE SE SNÍMKY	27
6.4.1 ULOŽENÍ SNÍMKU.....	27
6.4.2 PRÁCE S ULOŽENÝMI SNÍMKY	27
6.4.3 DALŠÍ MOŽNOSTI PRÁCE SE SNÍMKY	27
7 APLIKAČNÍ MOŽNOSTI TERMOVIZE V ELEKTROTECHNICE	29
7.1 ENERGETIKA	29
7.2 KONTROLA VVN, VN PŘENOSOVÝCH VEDENÍ, STROJŮ A PŘÍSTROJŮ	30
7.3 TELEKOMUNIKACE	31
7.4 STAVEBNICTVÍ.....	31
7.5 TEPLOVODNÉ PAROVODNÉ SYSTÉMY	33
7.6 MEDICÍNA	33
7.7 EKOLOGIE	34
7.8 DALŠÍ ODVĚTVÍ PRŮMYSLU	34
7.9 SPECIÁLNÍ APLIKACE.....	35
8 MĚŘENÍ TERMOKAMEROU	36
8.1 MĚŘENÝ SPÍNACÍ PŘÍSTROJ.....	36
8.2 ZJIŠTĚNÍ HODNOTY TEPLOTY ČÁSTI PŘÍSTROJE Z INFRAČERVENÉHO SNÍMKU POMOCÍ PROGRAMU SRS	37
8.3 ZJIŠTĚNÍ EMISIVITY MATERIÁLU Z PROGRAMU SRS	41
8.4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	41
8.4.1 KOROZIVZDORNÁ OCEL	42
8.4.2 POSTŘÍBŘENÁ MĚĎ	45
8.4.3 SHRUTÍ.....	47
9 ZÁVĚR.....	48
LITERATURA	49



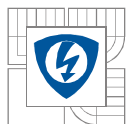
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3.1: Izotermy teploty v tělese a okolí při měření dotykovým snímačem.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5.1: Popis částí kamery.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 5.2: Ovládací tlačítka.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6.1: Informační panely.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 6.2: Program SatReport Standard</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 6.3: Izotermická analýza v programu SRS.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7.1: Kontrola oteplení pláště transformátoru.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7.2: Rozložení teploty na povrchu pláště budovy.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 7.3: Letištní kontrola.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 7.4: Rozložení teploty povrchu spalovacího motoru.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 8.1: Upevnění odpínače na sloupu.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 8.2. a): Odpínač VN, b): korozivzdorná ocel, c): postříbřená měď.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 8.3: Program Sat report Strandard</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 8.4: Obrázek s teplotní stupnicí</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 8.5: Nastavení parametrů měření</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 8.6: Nastavení parametrů bodové analýzy.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 8.7: Možnosti využití analýz.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 8.8: Naměřené hodnoty teplot při oteplování</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 8.9: Naměřené hodnoty teplot při ochlazování.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 8.10: Poloha materiálu při snímání termokamerou</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 8.11: Vliv tvaru materiálu na teplotu měřenou termokamerou</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 8.12: Různé hodnoty emisivity v porovnání s reálnou teplotou (materiál ocel).....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 8.13: Závislost emisivity na teplotě při oteplování (materiál ocel)</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8.14: Různé hodnoty emisivity v porovnání s reálnou teplotou (materiál měď).....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 8.15: Závislost emisivity na teplotě při ochlazování (materiál měď)</i>	<i>46</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>SRS</i>	-Sat Report Standard (program na zpracování SAT souborů z termokamery)
<i>FPA</i>	- Focal plane array (maticově uspořádaný senzor teploty)
Φ	-zářivý tok [-]
t_1	-teplota 1 [°C]
ε	-emisivita [-]
<i>VVN</i>	- velmi vysoké napětí [V]
<i>VN</i>	- vysoké napětí [V]
<i>IVEP</i>	-Inženýrsko-výrobní elektrotechnický podnik, a.s.
<i>PN</i>	-Oblast na rozhraní mezi materiálem typu P a materiálem typu N
<i>PCMCIA</i>	- Personal Computer Memory Cards International Association (rozšiřující slot)
<i>ČSN</i>	-Česká technická norma



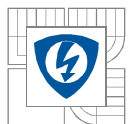
1 ÚVOD

Tato práce se zabývá bezdotykovým měřením teploty. Teplota je jedna z nejdůležitějších termodynamických vlastností, které určují stav hmoty, a objevuje se v mnoha fyzikálních zákonech. Existuje jen velmi málo vlastností látek, které by nebyly teplotně závislé. Ve své podstatě je teplota mírou kinetické energie pohybu molekul a atomů, přičemž molekuly na sebe navzájem narážejí a rychlost jejich pohybu se stále mění v čase. Za nejnižší teplotu se pokládá absolutní teplotní nula, neboli nula termodynamické stupnice (0 K), během níž veškerý pohyb ustává. Pro stanovení teploty se používají teplotní závislosti jiných fyzikálních veličin. Volí se takové fyzikální jevy, u nichž lze závislost veličiny matematicky vyjádřit teplotní stupnicí.

Znalost teploty je nutná ve všech oblastech lidské činnosti. Jednou z prvních aplikací teploměru byl lékařský teploměr (vynalezen roku 1866). Diagnostika ale není jen lékařská disciplína, ale také základní prostředek ke zjišťování technického stavu neživých objektů. Základem bezpečnosti, spolehlivosti v energetice, v letecké, železniční, automobilové dopravě a ve veškeré průmyslové produkci elektrospotřebičů, výpočetní a telekomunikační techniky je technická diagnostika. Přičemž měření teploty patří mezi základní diagnostické veličiny.

Současný trend v teplotních senzorech spočívá v širším využití mikroelektronických technologií jako např. v implementaci polovodičových čidel teploty na jediný čip s analogovými a číslicovými obvody umožňující připojení senzoru k signálovým sběrnicím, ve vývoji nových typů detektorů tepelného záření, v integraci teplotních čidel do inteligentních (tzv. smart) senzorů libovolných fyzikálních veličin pro automatickou korekci odchylek parametrů způsobených kolísáním provozních teplot aj.

Mezi nedílnou součást moderního bezdotykového měření patří termovize. Jejímž principem, vlastnostmi a aplikačním využitím se budu převážně zabývat. Zaměřím se především na výhody, které přináší oproti jiným způsobům měření, na obsluhu takového zařízení a zajištění všech náležitostí potřebných pro přesnou diagnostiku. Dále se budu zabývat praktickým využitím termovize v soušastnosti. Poslední část práce se bude zabývat praktickým měřením termokamerou.



2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Teplota

Teplota je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy. To je stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán, nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy. Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé.[2]

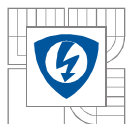
2.2 Černé těleso, černý zářič

Černé těleso je těleso, které dokonale pohlcuje dopadající záření, a to při každém dopadu při libovolné spektrální záři a které naopak při každé vlnové délce vyzařuje maximální energii nezávisle na použitém materiálu. Záře černého tělesa je ve všech směrech v poloprostoru nad zářičem konstantní. Emisivita černého tělesa $\varepsilon = 1$. Pro kalibraci pyrometrů se používá tzv. černý zářič, jehož emisivita $\varepsilon \approx 1$. Černý zářič má hodnotu emisivity v rozmezí $1 > \varepsilon > 0.99$. Obvykle se realizuje tzv. dutinovým zářičem s reflexním, difuzním nebo difuzně reflexním povrchem. Černý zářič je zdrojem záření pro kalibraci všech typů pyrometrů.[2]

2.3 Senzor teploty

Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor teploty je ekvivalentní pojmu snímač teploty (samostatná konstrukční součást teploměrového zařízení, která obsahuje teplotní čidlo), ale také pojmu čidlo teploty (část snímače převádějící teplotu na jinou vhodnou fyzikální veličinu). Stejně tak se jako senzor označuje detektor tepelného zařízení nebo teploměr (zařízení k měření teploty).

- Dle fyzikálního principu se senzory teploty dělí na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické a na další jako jsou např. kapacitní, aerodynamické.
- Dle styku s měřeným prostředím se senzory teploty dělí na dotykové a bezdotykové.
- Dle transformace signálu se senzory teploty dělí na aktivní, které se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie (termoelektrické články) a na pasivní, u kterých je s výjimkou chemických indikátorů teplot nutné elektrické napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu, neboť měření teploty je vždy měřením nepřímým.[2]



3 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLA

Bezdotykové měření teploty (také označované jako infračervená pyrometrie) je měření povrchové teploty těles na základě vysílaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného senzorem (detektorem) záření vlnové délky od $0,4 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$. Rozsah pokrývá oblast viditelného spektra od $0,4 \mu\text{m}$ do $0,78 \mu\text{m}$, oblast blízkého červeného spektra od $0,78 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$, oblast krátkovlnného infračerveného spektra od $2 \mu\text{m}$ do $3 \mu\text{m}$, oblast středovlnného infračerveného spektra od $3 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$ a konečně oblast dlouhovlnného infračerveného spektra od $5 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od $2 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$ se označuje jako tepelné záření. Uvedené rozsahy pokrývají měření teplot v rozsahu od -40°C do $+10\,000^\circ\text{C}$.

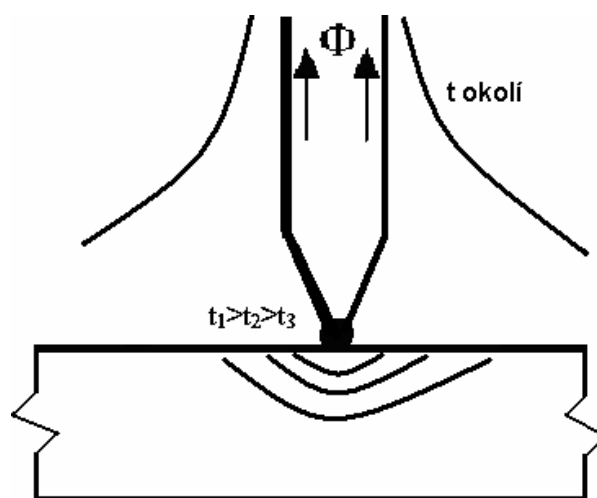
3.1 Výhody bezdotykového měření teploty

- zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
- možnost měření teploty na rotujících nebo pohybujících se objektech
- měření teploty z bezpečné vzdálenosti (elektrická zařízení, hutní objekty aj.)
- možnost měření velmi rychlých změn teploty
- možnost měřit a dále číslicově zpracovat teploty celých povrchů těles (tomografie, termovize)

3.2 Nevýhody bezdotykového měření teploty

- nejistoty měření způsobené neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa
- nejistoty měření způsobené neznalostí správné hodnoty prostupnosti prostředí mezi čidlem a objektem
- nejistoty měření způsobené nepřesnou korekcí parazitního odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt

Rozdíl mezi dotykovým a bezdotykovým měřením teploty je zřejmý z *Obr.3.1*: Při dotykovém měření, např. termoelektrickým článkem, dochází k akumulaci dvou nejistot měření. Jednak zářivý tok Φ proudící do vodičů termoelektrického článku způsobí deformaci izoterm v měřeném místě tělesa a jednak vznikne teplotní rozdíl způsobený zářivým tokem Φ na stykovém tepelném odporu mezi snímačem teploty a tělesem. Hodnoty těchto nejistot mají stejné znaménko, takže se jejich účinek sčítá.[2]



Obr. 3.1: Izotermy teploty v tělese a okolí při měření dotykovým snímačem

3.3 Tepelné detektory infračerveného záření

U tepelných detektorů dochází při absorpci fotonů k oteplení citlivé části detektoru. Pohlčená energie se vyhodnocuje nepřímo prostřednictvím snímačů teploty. Tepelné detektory se dělí na:

- termoelektrické
- bolometrické
- pyroelektrické

3.3.1 Termoelektrické detektory

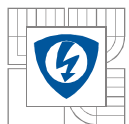
Termoelektrické detektory záření neboli tzv. termoelektrické baterie jsou sériově řazené termoelektrické články, které jsou konstruovány buď jako tenké kovové pásy tl. cca 0,03 mm nebo jako pásy zhotovené technologií tenkých vrstev nebo Si technologií. Jako termoelektrické materiály se používají klasické normované typy termoelektrických větví, ale také materiály jako např. Bi, Sb dopované Se a Te s termoelektrickým koeficientem až $230 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$

3.3.2 Bolometrické detektory

Bolometrické detektory záření snímají oteplení detektoru teplotně závislým odporovým materiálem tj. pohlčené záření způsobí změnu teploty odporového čidla a tím i změnu jeho elektrického odporu. Používají se tenkovrstvé mikroelektronické technologie na bázi odporových materiálů z kysličníků MgO, MnO, NiO, aj. Mikrobolometrické senzory lze uspořádat jako řádkové nebo plošné detektory. Plošné detektory se používají v termovizních kamerách v maticovém uspořádání FPA (Focal Plane Array). Matice obsahují 320×240 až 640×480 elementů.

3.3.3 Pyroelektrické detektory

Pyroelektrická zařízení jsou založena na pyroelektrickém jevu, tj. změně spontánní polarizace při změně teploty. Pyroelektrický jev se vyskytuje u pyroelektrik s trvalou polarizací nebo u některých feroelektrik, u nichž se orientace domén vytvoří silným elektrickým polem.[2]



4 TERMIVIZE

Termovizní systémy se dělí na:

- termovizní systémy s opticko-mechanickým rozkladem obrazu
- termovizní systémy s maticovým detektorem

Opticko-mechanický rozklad obrazu se realizuje snímáním jednotlivých bodů objektu řízenou optickou osou. Okamžité zorné pole termovize se postupně zaměřuje na všechny body (plošky) měřeného objektu. Dráha rozkladu se provádí pohyblivými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla). Výroba těchto systémů pro civilní účely už skončila.

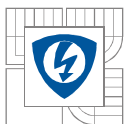
Pro termovizní kamery se nyní používají chlazené a nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové (QWIP) FPA detektory (1 D-řádkové a 2D-plošné). Chlazení FPA matice se provádí Stirlingovým chladičem (hermeticky uzavřený chladicí systém se dvěma písty s plynným heliem, pracující na principu kompresorové mikrochladičky) nebo termoelektrickým chladičem. Zpracování signálů je realizováno přímo na čipu prostřednictvím multiplexorů a 14bitových A/D převodníků v každé řádce matice. Programové vybavení dodávané k termovizím umožňuje kromě základního nastavení parametrů různé způsoby zpracování signálu, jako je vykreslení teplotního profilu v libovolném místě obrazu, vyhodnocení střední a maximální hodnoty teploty ve zvolené oblasti obrazu, vyhodnocení teploty v libovolném místě na obraze, barevné zobrazení zvolených izoterm, nastavení různých hodnot emisivity na zobrazeném objektu, změnu barevné palety aj. V termovizní technice se používají dvě hlavní pásma vlnových délek, krátkovlnné (2 μm až 5 μm) a dlouhovlnné (7 μm až 13 μm). Prostřednictvím amplitudového diskriminátoru videosignálu lze u termovize nastavit pro libovolné rozmezí teplot libovolnou barvu nebo alespoň zvolit některou z volitelných barevných palet. Je nutno si uvědomit, že termovize pracuje v neviditelném spektru záření, kde žádné barvy neexistují, takže přiřazení barev je umělé.

Termovize je základním měřicím zařízením pro infračervenou diagnostiku. Na základě znalosti rozložení teplotního pole diagnostikovaného objektu lze kontrolovat funkce zařízení, jejichž činnost je spojena s vývinem nebo absorpcí tepla. Lze tak lokalizovat různé materiálové vady, opotřebení způsobené třením (např. u ložiska) a jiné takové defekty vnitřních dílů objektu, které ovlivňují rozložení povrchové teploty.

V energetice je možné např. diagnostikovat pod vysokým napětím za provozu izolační stavy izolátorů, spojovacích svorek kontaktů, stavy vypínačů aj., v elektrotechnice sledovat teplotu pláště elektromotoru atd. Existují dvě metody, které umožňují diagnostikovat i defekty uvnitř materiálu, a to jsou: Pulzní termografie, lock-in termografie.[2]

4.1 Stanovení hodnoty emisivity

- použitím vhodných tabulek
- teplota objektu se nejprve změří dotykovým snímačem a pak se po zaměření objektu pyrometrem nastaví emisivita na takovou hodnotu, aby pyrometr ukázal předem změřenou teplotu; nastavená hodnota je pak správná hodnota emisivity povrchu tělesa
- část povrchu objektu lze začernit speciální vrstvou laku nebo sazí se známou hodnotou pohltivosti; po změření správné teploty připravené plochy zaměříme pyrometr na jinou část



plochy a další postup je obdobný jako v předcházejícím případě. Do objektu, pokud je to možné, vyvrtáme otvor, jehož hloubka bude alespoň 6x větší než průměr; průměr otvoru musí být větší než je průměr terče stanovený optikou pyrometru pro danou vzdálenost; při měření teploty v otvoru nastavíme emisivitu pyrometru na hodnotu $\varepsilon = 1$; podmínkou je, aby teplota tělesa byla v otvoru stejná jako na povrchu, jinak se postup opakuje

- emisivitu vzorku materiálu lze změřit spektrometrem [2]

5 TERMIVIZNÍ KAMERA SH-68 / HY-6800

5.1 Představení

Uživateli poskytuje nejen infračervený obraz, ale také jeho bodovou, lineární a zónovou analýzu, a také hlasovou poznámku, kterou je možné nahrát v místě vytvoření snímku. Výsledný snímek můžeme uložit na paměťovou kartu a později ho na PC upravit v programu SatReport Standard, dále jen SRS.

Kamera je vybavena nechlazeným FPA senzorem, je prachu a vlhku odolná, má vysokou teplotní citlivost a rozlišení, menu ve stylu Windows a provedení na obsluhu jednou rukou.

5.2 Popis částí termokamery



Obr. 5.1: Popis částí kamery

1. tělo kamery
2. infračervený objektiv 50 mm – zaostřuje měřené infračervené záření na teplo-citlivý senzor FPA
3. hledáček
4. ovládací tlačítka
5. baterie
6. paměťová karta
7. kryt prostoru pro baterii a paměťovou kartu

5.3 Ovládací tlačítka



Obr. 5.2: Ovládací tlačítka

5.3.1 Tlačítko "↵" - Menu / Potvrzení

Jeho hlavní funkcí je vyvolání hlavního menu, vstup do submenu a potvrzení zvolené funkce. V normálním režimu se po stlačení tlačítka zobrazí hlavní menu. Termokamera tak přejde do tzv. „menu“ režimu.

V menu režimu tlačítka „L“ a „R“ se listuje horizontálně mezi jednotlivými skupinami, tlačítkem "-" se zobrazí vertikální submenu skupiny. Po nalistování požadované volby pomocí „L“ a „R“ tlačítkem "↵" potvrzení. Pokud se daná volba dále člení, zobrazí se příslušné submenu, jestli ne, vyvolá se příslušná funkce.

5.3.2 Tlačítko "A" - Automatické nastavení

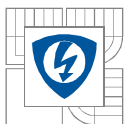
V normálním režimu, t.j. při zobrazení infračerveného snímku objektu se stlačením tlačítka aktivuje automatické nastavení úrovně jasu a kontrastu podle aktuální scény cílového objektu. Nastavení je možné opakovat i vícekrát, než se dosáhne optimálních pozorovacích podmínek.

Při probíhající analýze se stlačením tlačítka analýza pozastaví. Tím se „uvolní“ směrová tlačítka „+“, „-“, „L“ a „R“ a opět je nimi možno ovládat zaostření a zvětšení či zmenšení obrazu.

5.3.3 Směrové tlačítka „L“, „R“, „+“, „-“

Tyto tlačítka je možné chápat ve významu vlevo, vpravo, nahoru a dolů. Využívají se na listování v menu, přesouvání bodů, čar a ohraničení zón v módu analýzy, na zvětšení a zmenšení obrazu, přechod do 4-snímkového zobrazení a zaostření.

V režimu menu tlačítka „L“ a „R“ se nalistuje hlavní skupina menu volba se potvrdí tlačítkem "↵". Pomocí tlačítek „L“ a „R“ se prochází jednotlivými položkami, tlačítka „+“ a „-“ se změní hodnota zvoleného parametru.



V normálním režimu, se kromě použití automatického nastavení rozsahu pomocí tlačítka „A“ dá použít i kombinace tlačítek „C“ + směrové tlačítko na manuální nastavení hodnot jasu a kontrastu:

„C→+“, „C→-“ - nastavení úrovně jasu

„C→L“, „C→R“ - nastavení kontrastu

5.3.4 Tlačítko „C“ - Zrušení/Návrat

V menu režimu se po stlačení tlačítka vrátí kurzor zpět do předešlé úrovně menu, opakovaným mačkáním se postupuje až po ukončení menu a návrat do normálního režimu. Toto tlačítko neukládá předešlý výběr volby v submenu.

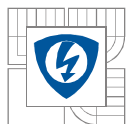
5.3.5 Tlačítko „S“ - Pozastavení/uvolnění obrazu

Krátkým stlačením tlačítka se střídavě pozastaví a uvolní živý obraz. Přidržením tlačítka se aktuální snímek uloží na paměťovou kartu.

V režimu „PC Card read“ stlačením tlačítka se opustí tento režim a obraz se vrátí zpět do reálného měření.

5.4 Příslušenství

- 2 ks Li-Ion baterií
- Nabíječka s adaptérem
- Kabel video signálu
- Konektor video
- Audio sada- sluchátka s mikrofonom
- Paměťová karta 128MB
- PCMCIA adaptér pro paměťovou kartu
- Kryt infračerveného objektivu
- Řemínek na kameru
- Programové vybavení
- Přenosný kufřík



6 STRUČNÝ MANUÁL

6.1 Základní ovládání

6.1.1 Příprava k měření, upozornění

Před použitím kamery zkontrolujte, zda je v ní baterie a paměťová karta.

Nemiřte zbytečně dlouho kamerou na příliš horké zdroje, jako jsou Slunce, svářecí oblouk atd. Může to zničit citlivé senzory kamery.

6.1.2 Zapnutí přístroje

Zmáčkněte vypínač a zapněte kameru. V průběhu startu se v hledáčku zobrazují barevné pásy s logem výrobce. Po cca 30-ti sekundách se v pravé části displeje ukáže teplotní měřítko a v dolní části informační řádek. Start kamery je ukončen. Odstraňte kryt objektivu a zaměřte objektiv na cílový objekt. V hledáčku uvidíte infračervený obraz objektu.

6.1.3 Výpisy při startu

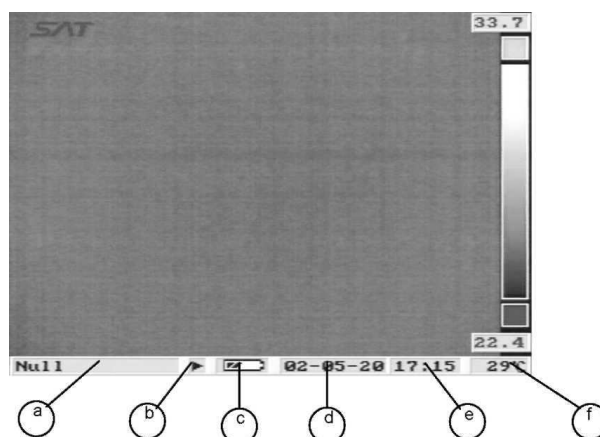
„Initiating PC Card“- Paměťová karta byla rozpoznána

„Initiation Failure“- Paměťová karta nebyla rozpoznána (je nutné kartu vložit nebo vyjmout a znovu vložit)

Poznámka: Kartu lze vložit kdykoliv v průběhu měření, bez karty je v menu „File“ dostupná jen volba „Voice rec“, všechny ostatní jsou zakázané.

6.1.4 Informační panely

Po zapnutí a úvodní inicializaci zařízení se zobrazí standardní obrazovka. Na ní je umístěno několik informačních panelů:



Obr. 6.1: Informační panely

6.1.5 Měřítka teplotního rozsahu

Měřítka teplotního rozsahu je zobrazené v pravé části obrazu. Barevný pás reprezentuje jednotlivé teploty. Nejvyšší a nejnižší teplota je zobrazená nad, resp. pod měřítkem. Rozsah měřítka se mění v závislosti na změně barevné palety a nastavení rozsahu měření.

6.1.6 Informační řádek

Informační řádek se nachází na spodním okraji displeje. Je rozdělený do několika sekcí s následujícím významem:

a) sekce - aktuální režim

Jak je možné vidět na obrázku Obr.6.1: „Null“ znamená, že není vykonávána žádná operace. Při práci se může zobrazit následující definice:

- Null - žádná operace
- Menu - kamera je v menu režimu
- Sp 1 - kamera je v režimu bodové analýzy
- SP 2, SP 3, SP 4, Area, Prof, Isot -další režimy analýz

b) sekce - stav zobrazení scény živý obraz/pozastavený (zamrzlý).

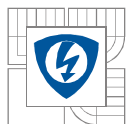
Přepínat je možné tlačítkem „S“.

c) sekce - stav baterie

d) sekce - datum

e) sekce - čas

f) sekce - pracovní teplota senzoru



6.1.7 Práce s menu

Pokud není menu zobrazené, tlačítkem menu " $\leftarrow$ " vyvoláte zobrazení hlavního menu.

Směrovými tlačítky „L“ a „R“ zvolte skupinu a tlačítkem „-“ zobrazte její položky.

Směrovými tlačítky „L“ a „R“ vyberte položku a výběr potvrďte tlačítkem menu " $\leftarrow$ ". Potom stlačte tlačítko „C“ – vraťte se zpět do výběru položky.

Stlačením tlačítka „C“ se vraťte vždy do vyšší úrovně menu; po stlačení v nejvyšší úrovni se režim menu ukončí.

6.1.8 Zaostření obrazu

V režimu „Null“: zaměřte termokameru na cílový objekt a tlačítky „+“ a „-“ obraz zaostřete.

Jestliže jste v jiném režimu než „Null“, tlačítkem „C“ tento režim opustíte a vrátíte se do režimu „Null“.

Když je však potřebné uložit probíhající stav analýzy, stiskněte tlačítko „A“, kamera se přepne do „Null“ režimu. Potom tlačítky „+“ a „-“ obraz zaostřete.

6.1.9 Vyvážení/nastavení obrazu

V režimu „Null“ a nebo „Menu“ tlačítkem „A“ spustíte automatické vyvážení složek obrazu nastavených v „Setup→image“ volbách.

V průběhu jiných režimů buď tlačítkem „C“ režim opustíte, nebo tlačítkem „A“ uložte aktuální stav analýzy. V obou případech se kamera vrátí do režimu „Null“. Potom tlačítkem „A“ spustíte automatické vyvážení složek obrazu.

6.1.10 Pozastavení (zamrznutí) obrazu

Při zobrazení živé scény se tlačítkem „S“ obraz pozastaví - zamrzne. Opětovným stlačením tlačítka se režim ukončí a vrátí se k živému zobrazení scény. Tato funkce je dostupná ve všech pracovních režimech.

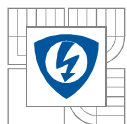
6.2 Nastavení kamery

6.2.1 Parametry měření objektu

Nastavení se provede v „Analysis→Obj. Par“ po potvrzení volby tlačítkem menu " $\leftarrow$ " se v dolní části displeje zobrazí dialogové okno s jednotlivými hodnotami parametrů měření. Tlačítky „L“ a „R“ nalistujte příslušný parametr a tlačítky „+“ a „-“ upravte jeho hodnotu pro dosažení co nejpřesnějšího měření.

Je možné nastavit následující parametry:

- *Emiss* = emisivita prostředí
- *Dist* = vzdálenost měřeného objektu
- *Tamb* = teplota pozadí
- *RelHum* = relativní vlhkost



6.2.2 Automatické nastavení

Volba „Image→Auto adjust“ aktivuje automatické nastavení úrovně teplotního rozsahu podle cílového objektu. Funkce se dá vyvolat i tlačítkem „A“ na ovládacím panelu.

6.3 Typy analýz

6.3.1 Lineární analýza

- Lineární analýza získává z měřené oblasti hodnoty pouze o velikosti úsečky. Současně se zobrazuje i grafická křivka znázorňující hodnoty teplot na úsečce.

- Vstupte do menu a zvolte „Setup→Analysis→Profile“ a zvolte buď horizontální, nebo vertikální polohu úsečky.

- Potvrďte volbu „Analysis→Profile“ tlačítkem menu "↵" a spusťte tak samotnou analýzu. Zobrazí se úsečka s ukazovatelem v jejím středě. Teplota tohoto bodu je zobrazená v pravém dolním rohu displeje (za hodnotou je zobrazená zkratka „pt“). Současně se zobrazuje i grafická křivka znázorňující hodnoty teplot na úsečce.

- Přesouvání úsečky. Úsečku je možné přesouvat pomocí směrových tlačítek „+“ a „-“ v případě horizontální a „L“ a „R“ v případě vertikální orientace. Graf se při přesunu aktualizuje.

6.3.2 Zónová analýza

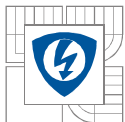
- Zónová analýza měří teplotu z plochy kterou si nastavíte a zobrazuje též hodnoty, které požadujete (max. teplota, průměrná, minimální). Tyto hodnoty se vztahují pouze na vybranou plochu.

- Vstupte do menu a zvolte „Setup→Analysis→Area function“ a zvolte jednu z hodnot zobrazované teploty v zóně: „Maximum“, „Minimum“ nebo „Average“ (průměrnou).

- Potvrďte volbu „Analysis→Area“ tlačítkem menu "↵" a spusťte tak samotnou analýzu. Uprostřed snímku se zobrazí zelený obdélník ohraničující zónu měření. V pravém dolním rohu displeje se zobrazí teplota maximální, minimální anebo průměrná (podle aktuálního nastavení, za hodnotou je zobrazená příslušná zkratka „ah“, „al“ nebo „aa“) naměřená v dané zóně.

- Změna polohy a velikosti zóny. Plochu zóny je možné přesouvat pomocí čtyř směrových tlačítek. Také je možné změnit její velikost současným stlačením dvou směrových tlačítek:

- o „+R“ - horizontální zvětšení
- o „-L“ - vertikální zvětšení
- o „-R“ - horizontální zmenšení
- o „-L“ - vertikální zmenšení



6.3.3 Izotermická analýza

- Vstupte do menu a nastavte následující parametry měření: „*Setup→Analysis→Isotherm type*“ - typ izotermy „*Setup→Analysis→Isotherm width*“ - rozsah intervalu izotermy.
- Barva izotermy „*Setup→Analysis→Isotherm colour*“ potvrďte volbu „*Analysis→isotherm*“ tlačítkem menu „*↵*“ a spusťte tak samotnou analýzu. Zobrazí se zvýrazněný izotermický průběh ve zvolené barvě v závislosti na nastavených parametrech.
- Změna izotermické zóny a její velikosti. Směrovými tlačítky „+“ a „-“ se mění hodnota mediánu (střední teploty) izotermického intervalu, tlačítky „R“ a „L“ opět v příslušném směru jeho teplotní rozsah.

6.3.4 Zvětšení/zmenšení obrazu

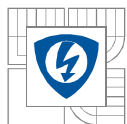
- Zvětšovat/zmenšovat obraz je možné jen v režimu „*Null*“. Pokud se v něm nenacházíte, použijte tlačítka „C“ nebo „A“ na návrat do tohoto režimu.
- Zvětšení/zmenšení SH-68 / 6800 dokáže zvětšit infračervený obraz až 3× oproti normálu. Každé stlačení tlačítka „R“ zvětší obraz o 10%, až po dosažení 300% velikosti. Naopak tlačítkem „L“ se obraz o 10% zmenšuje. Pokud stisknete toto tlačítko „L“ a obraz nebyl zvětšený, přejdete do 4-obrazového režimu (viz. níže).

Zvětšení/zmenšení obrazu nemá žádný vliv na výkon různých analýz.

6.3.5 Čtyř-obrazový režim

- Tato analýza je přístupná jen v režimu „*Null*“. Pokud se v něm nenacházíte, použijte tlačítka „C“ nebo „A“ na návrat do tohoto režimu.
- Při zobrazení v originální velikosti stlačte tlačítko „L“ a přejděte do 4-obrazového režimu. Obrazovka se rozdělí na 4 části. V každé z nich je možné nezávisle vykonávat různé obrazové funkce, jako jsou zamrznutí obrazu, zvětšení, automatické vyvážení.

Aktivní je vždy jen jeden ze snímků, navolit je ho možno směrovými tlačítky „+“ a „-“. Na něj je možno aplikovat výše uvedené funkce. Tento režim nemá vliv na různé celobrazové analýzy. Jeho stav je možné uchovat.



6.4 Práce se snímky

6.4.1 Uložení snímku

- Ukládání snímku. Vstupte do menu, zvolte „File→Save“ a potvrďte tlačítkem menu. Aktuálně zobrazený snímek se uloží na paměťovou kartu. Operace je dostupná při živém zobrazení i při pozastaveném snímku, v termokameře musí být vložena paměťová karta. Operaci je možné vyvolat i delším přidržením tlačítka „S“.

- Záznam hlasové poznámky. Před záznamem hlasové poznámky připojte ke kameře sluchátka s mikrofonom a pozastavte obraz (tlačítkem „S“), případně otevřete uložený snímek volbou „File→Open“. Potom vstupte do menu, zvolte „File→Voice rec“ a potvrďte tlačítkem menu. Uprostřed displeje se vypíše text „Recording voice“ a začne se nahrávat slovní komentář v max. délce 8 sekund. Poznámka se uloží spolu se snímek. Volbou menu „File→Voice play“ je možné poznámku opakovaně přehrát.

6.4.2 Práce s uloženými snímky

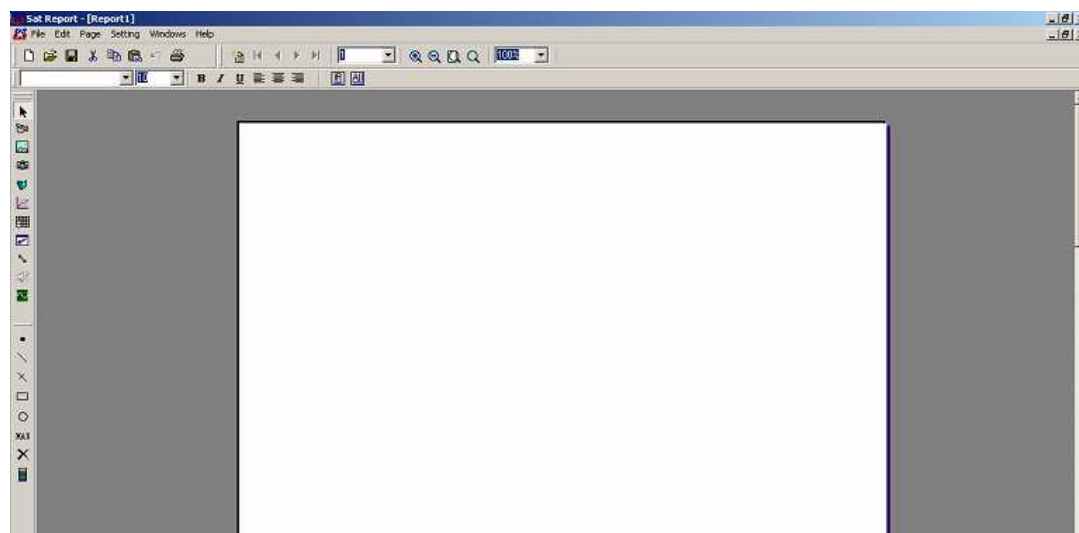
- Otevření snímku. Vstupte do menu, zvolte „File→Open“ a potvrďte tlačítkem menu. Termokamera za krátkou dobu načte obsah paměťové karty, zobrazí názvy souborů se snímky a jejich celkový počet. Směrovými tlačítky „+“ a „-“ nalistujte vybraný soubor se snímek a výběr potvrďte tlačítkem menu „↵“. Uložený snímek se zobrazí. Tlačítka „R“ a „L“ můžete přímo otevřít a zobrazit další resp. předešlý snímek v pořadí.

- Vymazání snímku. Vstupte do menu, zvolte „File→Delete“ a potvrďte tlačítkem menu. Podobně jak při otevření snímku, za krátkou dobu se načte obsah paměťové karty, zobrazí se názvy souborů a jejich celkový počet. Po potvrzení tlačítkem menu se zvolený soubor vymaže.

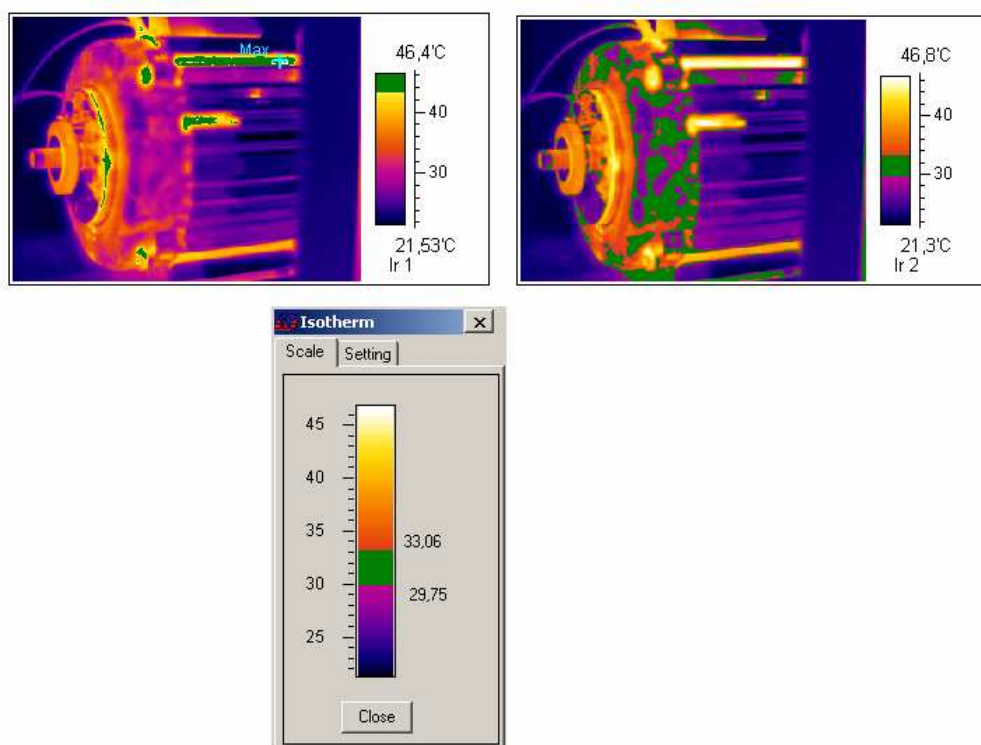
- Změna barevné palety. Vstupte do menu, zvolte „Setup→image→Color Scale“ a změňte barevnou paletu tlačítky „+“ a „-“. Změna se okamžitě aplikuje na zobrazený snímek. Navíc tlačítka „R“ a „L“ můžete přímo zobrazit další resp. předešlý snímek v pořadí.[3]

6.4.3 Další možnosti práce se snímky

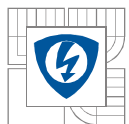
Se snímky lze dále pracovat a upravovat je v programu SRS Obr.6.2: Tento program nabízí celou řadu funkcí, od změny barevné palety přes změnu analýzy, zjištění teploty v konkrétním bodě nebo zóně, nastavení intervalu izoterm Obr.6.3: až po grafické znázornění naměřených hodnot v několika typech grafů.



Obr. 6.2: Program SatReport Standard



Obr. 6.3: Izotermická analýza v programu SRS



7 APLIKAČNÍ MOŽNOSTI TERMovIZE V ELEKTROTECHNICE

7.1 Energetika

Ve smyslu platné legislativy provozovatel distribuční soustavy má povinnost zabezpečit spolehlivý a bezpečný chod soustavy.

Pravidelné kontroly a vykonávání údržby, diagnostiky a monitoringu energetických distribučních zařízení má nejen bezpečnostní význam, ale i významný ekonomický efekt. U některých poznatků kontroly a vyhodnocení naměřených údajů (špatný proudový spoj) je možné předpokládat výpadek VVN nebo VN zařízení až na několik hodin. Poruchový stav těchto zařízení má velký dopad i na ekonomiku jiných sekundárně závislých odběratelů. Poruchy mohou být v různém rozsahu škod, případně mohou souviset s ekonomikou celé země.

Pravidelné kontroly a zkoušky můžeme rozdělit do dvou okruhů.

Kontroly a zkoušky vykonávané na el. zařízeních pod napětím a kontroly a zkoušky vykonávané bez napětí.

Kontroly vykonávané za provozu, tj. pod napětím, se v minulosti vykonávali především jako zrakové prohlídky - kontrola vykonávaná pohledem, při které zodpovědný pracovník vizuální prohlídkou kontroluje určené zařízení, případně jako měření el. veličin - napětí, proud, odpor impedančního uzlu, odpor uzemnění zemniče apod. V tomto případě byl výsledek a kvalita kontroly přímo ovlivněná lidským faktorem.

V současnosti se však stále zvyšuje podíl kontrol vykonávaných diagnostickými bezkontaktními nedestruktivními metodami, mezi kterými dominuje metoda využívající infračervené záření.

Výhodou kontrol vykonávaných pod napětím oproti těm, které se vykonávají bez napětí je, že se neomezí dodávka elektrické energie k spotřebitelům.

Termovizní měření využívá tedy výrobce elektrické energie jako prostředek na identifikování a hledání problémových oblastí při přenosu a distribuci elektrické energie. Další výhodou je, že pomocí termovize můžeme rozpoznat poruchu již v počátečním stadiu, což se opět promítne v ekonomice oprav spojených s touto poruchou. Při měření na elektrických zařízeních se snímá infračervené záření vyzařované z oblasti nedokonalého spojení dvou vodičů, kterými protéká elektrický proud. Hlavním kritériem pro rozhodnutí, zda jde o nedokonalý spoj, není pouze absolutní teplota spoje, ale zejména teplotní rozdíl oproti ostatním spojům, případně jeho rostoucí trend. Měřením, postupným sledováním a porovnáním s archivovanými hodnotami je možné rozhodnout o kvalitě sledovaného spoje. Špičkové technické vybavení umožňuje informovat provozovatele přímo na místě o zjištěné poruše a její závažnosti.

7.2 Kontrola VVN, VN přenosových vedení, strojů a přístrojů

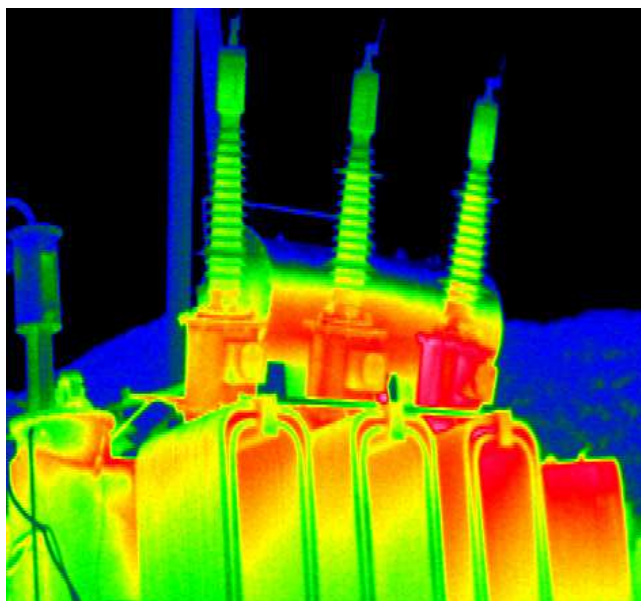
Kontrola stavu venkovních rozvodů vedení VVN a ZVN se provádí z vrtulníku, ve kterém bývá termovizní technika většinou zabudovaná. Postupně se letí podél vedení ve vzdálenosti 10-20 m s převýšením 5-10 m podle daných možností rychlostí 50-80 km/hod. Metoda je rychlá a efektivní, přičemž pomocí termovize se kontroluje vedení a zjišťuje se, jestli jsou jednotlivé spojovací prvky oteplené. Kontrola potenciálních poruchových míst na vzdušných vedeních přenosové a distribuční soustavy (vedení 110–400kV), jejíž délky jsou několik set kilometrů, se bez využití vrtulníku a termovizní kamery nedá efektivněji a kvalitněji realizovat.

Při venkovních rozvodech se při měření provádí korekce na momentální atmosférické podmínky. Výsledný vyhodnocený údaj oteplení se potom (podle jeho velikosti) na základě termogramu klasifikuje do klasifikačních stupňů a pro každý stupeň jsou doporučené stupně opatření.

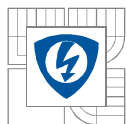
Kontrola elektrických strojů a přístrojů

Pravidelnou diagnostikou a včasným odhalením malých poruch (poruchy v počátečním stádiu) předcházíme opravám velkého rozsahu (např. včasná výměna ložiska předchází jeho shoření nebo havárii elektromotoru, ventilátoru apod.).

U elektrických strojů a generátorů se pomocí termovize kontroluje velmi často i magnetický obvod. Například při odstaveném stroji (vyjmutý rotor) je navinuté okolo statoru magnetizační vinutí. Při zatížení tohoto vinutí se nasycuje magnetický obvod stroje. V případě, že mezi jednotlivými plechy, ze kterých je magnetický obvod složen, jsou ztráty, dochází k oteplování, které můžeme termovizní kamerou velmi dobře změřit. Tyto ztráty nejsou ani tak nebezpečné pro vlastní plechy, jako pro izolaci statorového vinutí, které tak může být nepřiměřeně namáhané. Důsledkem velmi často bývá poškození a v návaznosti na to i havárie stroje.



Obr. 7.1: Kontrola oteplení pláště transformátoru



Při kontrole transformátoru se kontroluje, zda nedochází k oteplení jeho určitých částí
Obr.7.1: Kontrolují se průchodky transformátoru, rozložení tepelného pole na nádobách olejových transformátorů apod.

Termovizní technika nachází široké uplatnění při kontrole elektrických strojů a přístrojů, jako je např. zjišťování teploty na sběrných ústrojích a budících soustavách generátorů, silových částí elektrických strojů, zjišťování teplotních rozdílů na polovodičových ventilech v jednotlivých paralelních větvích zařízení apod. Jinak řečeno všude tam, kde fyzikální veličina teplota nám vypovídá o stavu daného zařízení nebo některé z jeho částí.

7.3 Telekomunikace

Pro správnou činnost vysílačů mimo obnovy a rekonstrukce je stejně důležitá i údržba (údržba samotných anténových systémů a jejich nosičů). Poměrně složité anténové systémy jsou velmi citlivé na zvětšení přechodových odporů dílčích anténových uzlů. Zvětšením přechodových odporů klesá emitovaný výkon vysílače a na přechodech vznikají tepelné ztráty. Pro optimální chod systému jsou potřebné pravidelné revizní kontroly, které jsou poměrně časově i finančně náročné, protože se převážně jedná o práci ve výškách. Právě využitím termovize se práce výrazně zrychlila a zkrátila, čímž se snížily finanční náklady. Při kontrole takovýchto zařízení se kontrolují zejména napájecí rozvody antény, vlastní anténa, údržba fázovače apod.

Měření anténových systémů je vhodné realizovat na jaře a na podzim, přičemž je třeba respektovat stupně oteplení a příslušné opatření vzhledem na bezporuchovou činnost vysílacích středisek.

7.4 Stavebnictví

I v důsledku neustálého nárůstu cen energie se klade důraz na efektivní využití nákladů vynaložených na energii. Pokud chceme zabránit nežádoucím únikům energie, musíme nejprve lokalizovat místa a příčiny vzniku ztrát. Jedna z metod zabývající se úniky tepelné energie je termovize. Účelem většiny termovizních měření v stavebnictví je stanovení rozložení povrchových teplot na plášti budovy a zjištění, jestli toto rozložení povrchové teploty je netypické, tj. jestli je způsobené např. chybným provedením stavebních prací, poruchami izolace, netěsnosti oken a dveří, kondenzací vlhkosti apod.

Nachází využití hlavně při kontrolách zjišťování míst tepelných ztrát budov jako podklad pro projektování izolace, kvality provedených prací při kolaudaci, vyhledávání poruch podlahového vytápění, technologického vybavení budov, vyhledávání prasklin v plášti budov viz. *Obr.7.2:*

Na základě termovizních měření doplněných o tepelně-technické výpočty je možné realizovat návrh na dodatečné zateplení jak z hlediska tloušťky tepelné izolace, tak z hlediska rozsahu zateplení. Při dnešní ceně energie vynaložené na vytápění daného objektu se předpokládá při stavbě úspora 15-35%. Při zateplení průměrného rodinného domu je návratnost vynaložených nákladů 6 až 10 let.

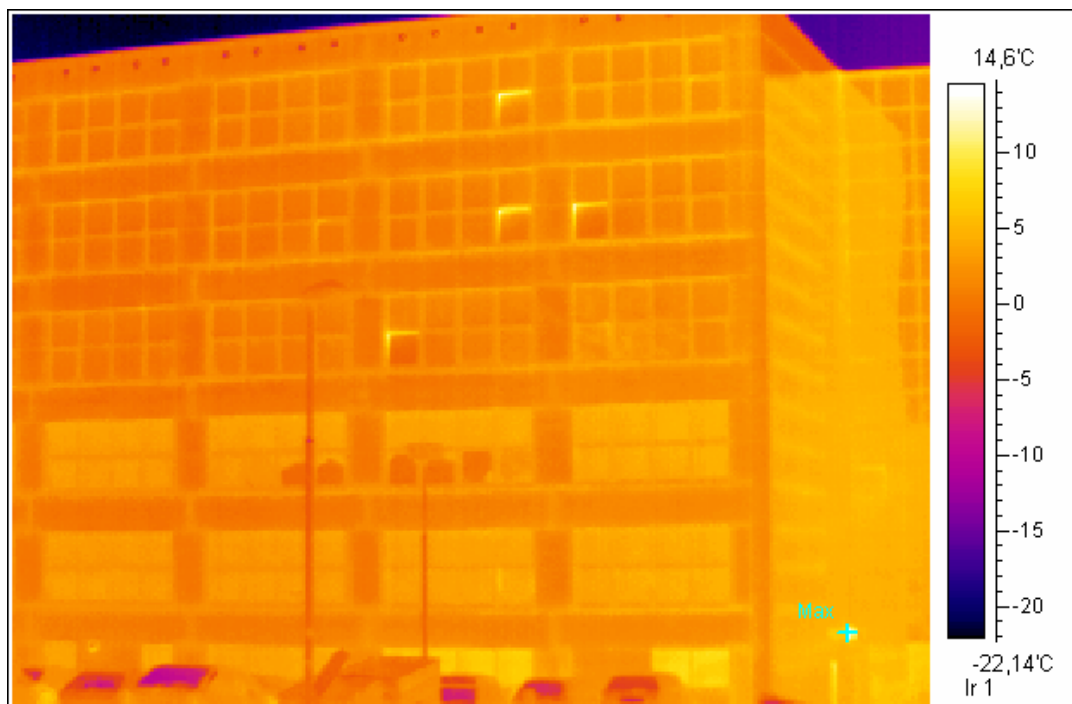
Proto se v poslední době poměrně často objevují odborné publikace, zabývající se odhalováním nedostatků v provedení tepelné izolace, které způsobují tzv. tepelné mosty (zjišťují se termokamerou). Jedná se vlastně o spojení vnitřní stěny s venkovním povrchem pláště

budovy tepelně vodivým materiálem nebo kombinací několika materiálů. Zvyšování důrazu na tepelné mosty je dané také tím, že při realizaci staveb s relativně málo účinnými tepelnými izolacemi tvořili tepelné ztráty tepelnými mosty malé procento veškerých ztrát. Pokud je však stavba tepelně izolovaná vysoce účinnou izolací, potom se každý tepelný most, kterým uniká teplo, stává významnou „dírou“ do tepelného obalu budovy. V praxi se tepelné mosty projevují chladnějším místem v interiéru nebo naopak teplejším místem v exteriéru, pokud je samozřejmě interiér teplejší než exteriér.

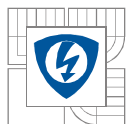
Právě proto, jak už bylo zmiňováno, je možné mapovat tepelné mosty termokamerou. Je možné získat okamžitou představu, kde se vyskytuje anomálie, a jak je velká, případně jaký má tvar. Je třeba upozornit, že použití infrakamery má svoje pravidla a výsledky měření neprovedeného odborníkem pro práci s tímto zařízením mohou vést k velkým omylům při měření.

Termografická měření se normálně vykonávají v jedné nebo dvou etapách. Měření na nezateplených objektech a měření na objektech po zateplení.

Pro zjištění co nejlepších výsledků měření tepelně-izolačních vlastností objektu se doporučuje rozdíl mezi teplotou vzduchu uvnitř a teplotou venkovní rozdíl alespoň 15° C. Nejlepší podmínky pak nastávají, když je venkovní teplota kolem nuly. Měření nesmí být ovlivňované přímým slunečním světlem ani větrem. Proto je nejlepší měřit při bezvětrí před východem slunce slunce.



Obr. 7.2: Rozložení teploty na povrchu pláště budovy



7.5 Teplovodné parovodné systémy

Teplovodné rozvody, jak místní tak dálkové, nejsou všechny ve stavu, který by zajišťoval přenos tepelné energie s minimálními ztrátami. Hlavně místní tepelné podzemní sítě jsou nedostatečně izolované nebo mívají dokonce poškozené či přímo dřevé kondenzátní vratné větve. Teplota vody-páry při výstupu je např. 90-100 °C, při návratu do teplárny je v rozsahu 40-70 °C a znovu se ohřívá. Životnost takového systému se odhaduje na 30-35 roků. Důsledek toho je zvýšení požadavků na denní údržbu a opravy. U již postavených zařízení se vyskytuje opotřebení starých rour a izolací. Přitom od dodavatele tepla se vyžaduje bezpečná dodávka a optimalizace zdrojů za účelem co nejmenších nákladů na přenos energie.

Z toho všeho vyplývá potřeba vhodných a hlavně dostupných metod revize. Právě jednou z nich je použití termovize. Pomocí termovize je možné zaměřovat a identifikovat poruchová místa u podzemních teplovodních sítí, kontrolovat stav izolace u podzemních i nadzemních teplovodních sítí nebo kontrolovat bezkanálové teplovodné sítě, u kterých je třeba respektovat i hledisko bezpečnosti. Sledování stavu teplovodních sítí se provádí nepřetržitě a závisí na konstrukci daného teplovodního systému. Termovize využívá skutečnosti, že při tepelném úniku vlivem trhlinky v potrubí nebo při ztrátách tepla v důsledku vlhké izolace dochází k velkým tepelným ztrátám, které se projeví lokálním zvýšením teploty povrchu v okolí poškozeného místa. Teplovodné rozdíly na povrchu jsou tím větší, čím je větší tepelný únik. Podle velikosti rozdílu v místě se zvýšenou teplotou a teplotou nepoškozené části teplovodu se určuje rozsah poškození. Pravidelná revize má zásadní vliv na ekonomii provozu zařízení, jako i na možnost optimálního plánování oprav.

7.6 Medicína

Využití termovize v medicíně je založené na předpokladu, že nemocí postižené místo vydává jiné množství tepla než okolní zdravá tkáň. Na termogramu se to projeví změnou v rozdělení teploty tělesného povrchu, což je možné hodnotit jako příznak onemocnění. Na mapování rozdělení teploty tělesného povrchu je možné použít metody kontaktní (přímé) a bezkontaktní (nepřímé, elektronické). Spektrum infračerveného záření závisí na teplotě vyzařujícího tělesa a jeho okolí. Infračervené záření, které se vyzařuje z povrchu lidského organismu, má vlnovou délku v rozmezí $1 \cdot 10^{-6}$ až $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ a energii 1 až $1 \cdot 10^{-3} \text{ e} \cdot \text{V}$. Na jeho detekci se používají přístroje, které transformují vyzářenou tepelnou energii na obraz rozdělení povrchové teploty zkoumaného objektu. Nejrozšířenější jsou termovizní zařízení.

Termografie jako jedna z diagnostických metod je rozšířená už v mnoha zemích světa pro tzv. vědecko-výzkumnou práci, ale v některých zemích se prosazuje jako jedna z vyšetřovacích metod. Její diagnostická schopnost se postupným vývojem přístrojů neustále zlepšuje, ale i naproti tomu se zatím pohybuje okolo 75%. V její prospěch hovoří neinvazivnost, jednoduchost, absolutní bezpečnost pro pacienta i obsluhu, jako i poměrně nízká cena vyšetření. Proto je poměrně oblíbenou metodou při cévních onemocněních, nemocí kůže, očí, revmatických onemocněních kloubů, ale i jako doplňková metoda v diagnostice onemocnění štítné žlázy, při vyhledávání metastáz atd. Termografie je vhodná i na sledování úspěšnosti léčebného postupu, nebo jako rychlá a přehledná diagnostika na letišti při riziku šíření epidemie (pandemie)
Obr.7.3: apod.

Pomocí termovize je možné odhalit ložiskové chorobné procesy, což závisí na rozdílu teploty ložiska a okolní zdravé tkáně. Nejširší uplatnění má však při hledání nemocných stavů cévního řečiště, zejména prokrvení horních a dolních končetin.

Termovize poskytuje možnosti uplatnění např. i při rychlé neinvazivní veterinární diagnostice.



Obr. 7.3: Letištní kontrola

7.7 Ekologie

V poslední době se začíná termovize používat v této v současnosti aktuální oblasti, za účelem získání takových informací, na základě kterých můžeme vytvářet podmínky pro zlepšení stavu životního prostředí.

Termovizní systém bývá zabudovaný do vrtulníku nebo letadla a používá se na snímání a následné vyhodnocování tepelných obrazů ve vybraných lokalitách, regionech a oblastech, kde při měření v určité době je možné získat poznatky o mikroklimatu. Měření se doporučuje realizovat v létě, v teplém a slunečném počasí (měření se realizuje v nočních hodinách), přičemž získáme informace o naakumulování a odevzdání tepelné energie různými objekty, ale i částmi terénu. Po vyhodnocení se může následně regulovat tepelná zátěž (např. vysázením porostu).

Dále je možné s pomocí termokamery diagnostikovat, jestli se ve vodních nádržích netvoří místa se zvýšenou teplotou v důsledku nedostatečného proudění vody, která tvoří nebezpečí pro živočichy, rostliny apod.

7.8 Další odvětví průmyslu

Měření povrchové teploty tělesa na celém povrchu současně a zobrazení takového teplotního pole se uplatní např. v slévárenství, při tepelném zpracování výrobků, při optimalizaci konstrukce, při diagnostice chodu strojů, při požární prevenci. Termovizní diagnostikou je možné odhalit všechny kritické místa, v kterých vlivem nesprávného a poruchového chodu dochází k zahřívání a tedy i k zvyšování teploty.

Můžeme ji aplikovat všude tam, kde na základě fyzikální veličiny jako je teplota je možné charakterizovat technický stav daného zařízení, materiálu apod. Termovizní systémy se používají i v sledování takových objektů, kde je důležitá ochrana před vznikem požáru např. skladiště pneumatik, uhlí apod. s rizikem jejich vznícení.

7.9 Speciální aplikace

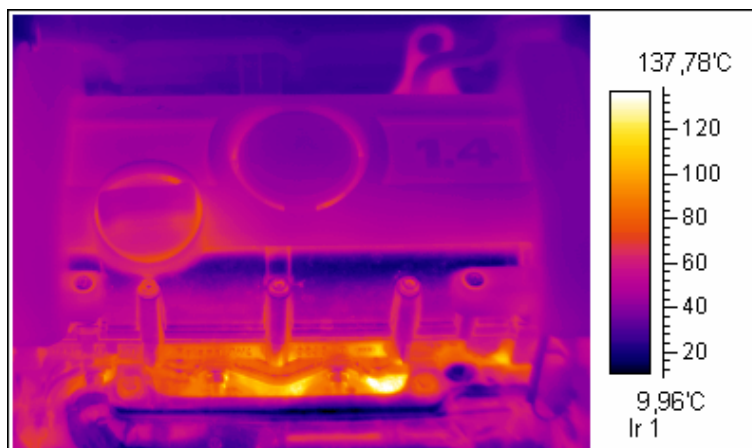
Další významná oblast využití termovizních kamer je v bezpečnostních aplikacích, které zahrnují jak vojenské, tak civilní účely. Pro svoje přednosti se využívá např. k průzkumným účelům v každé moderní armádě. Poskytuje reálný obraz bojiště, který může být přímo vizuálně sledovaný, zaznamenávaný, případně přenášený rádiem na příslušná místa velení k dalšímu využití.

Pozemní bezpečnostní systémy jsou tedy významnou oblastí, pro kterou výrobce nabízí soubor speciálních výrobků a to přenosných, pevně zabudovaných a dále systémů určených pro kontrolu pozemních zařízení.

Termovizní kamery mají tu výhodu, že mohou pracovat i při snížené viditelnosti (např. mlha) a při nulových světelných podmínkách. Princip snímání scény, založený na detekci tepelného záření, umožňuje zviditelnit osobu i za tenkými překážkami. Příčinou je velmi dobré kontrastní vidění i v úplné tmě.

Samozřejmě, že můžeme použít i termovizní kamery určené pro komerční účely, ale některé z nich jsou přímo konstruované pro použití v bezpečnostních aplikacích. Zvláště vhodné je použití stacionárních kamer pro trvalé sledování důležitých objektů s nepovoleným vstupem do nich. V posledních letech se objevují nové vylepšené systémy, které umožňují rozlišit minimální teplotní rozdíl.

V současnosti se termovize stává důležitou součástí zabezpečení ochrany objektů a majetku firem, sledování pohybu techniky, ale i k sledování pohybu osob či vozidel. Je možné ji využít v kriminalistice, umí potvrdit manipulaci s vozidlem ještě několik hodin po jeho jízdě *Obr.7.4:* apod. Díky tomu, že je možné ji propojit s elektronickou zabezpečovací signalizací, můžeme znásobit ochranu hlídaného objektu. Obsluha takového objektu získává tímto propojením nejen informaci o narušení objektu, ale i možnost si celou situaci zpětně prohlédnout.

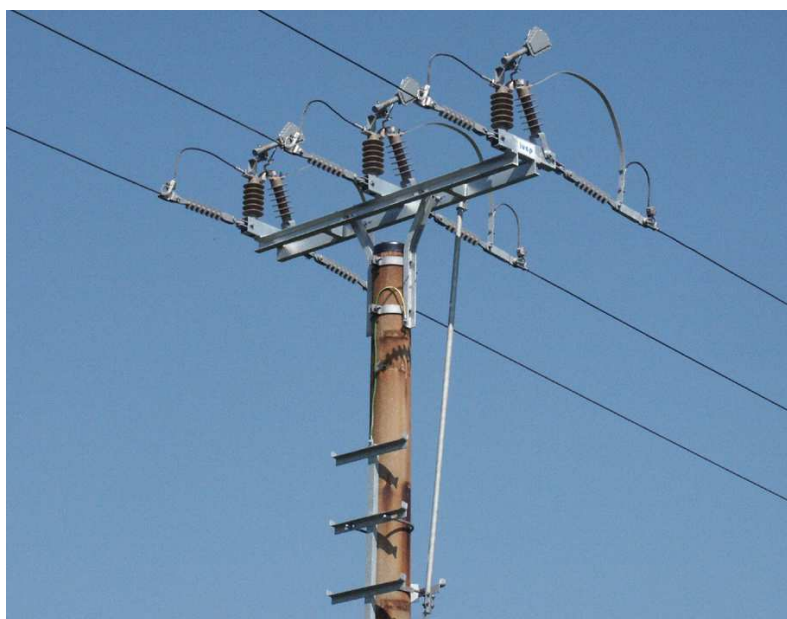


Obr. 7.4: Rozložení teploty povrchu spalovacího motoru

8 MĚŘENÍ TERMOKAMEROU

8.1 Měření spínací přístroj

Pro praktickou ukázkou měření jsem proměřil vysokonapěťový odpínač venkovního vedení od firmy IVEP, a.s. Odpínač patří do skupiny el. přístrojů provozních, je to venkovní spínací přístroj sloužící k vypínání a odpojování úseků sítí VN. Provedení odpínačů je umožňuje využít pro práci pod napětím. Odpínač musí umět zapnout do zkratu a zkratový proud bez poškození přenést. Jsou vybaveny zhasacími zařízeními a slouží ke spínání obvodů pod proudem, tzn. mohou zapínat a vypínat provozní proudy až do velikosti jmenovitého proudu. Upevnění odpínače je vidět na *Obr.8.1*:. Proudovodnou dráhu měřeného přístroje tvoří součásti z galvanicky postříbřené mědi. Kontaktní pružiny, čepy, šrouby a ostatní spojovací součásti v proudovodné dráze, včetně pérových pojistných podložek a jednoho opalovacího růžku jsou z korozi-vzdorné oceli. Izolátory jsou silikonové (epoxidové). [5] Na odpojovači *Obr.8.2.a*): jsem měřil za pomoci termokamery, termočlánu a dotykového teploměru teplotu na dvou typech materiálů a to na korozi-vzdorné oceli *Obr.8.2.b*): a galvanicky postříbřené mědi *Obr.8.2.c*):. Měření bylo prováděno za nastavení konstantní hodnoty emisivity v kameře.



Obr. 8.1: Upevnění odpínače na sloupu



a)



b)

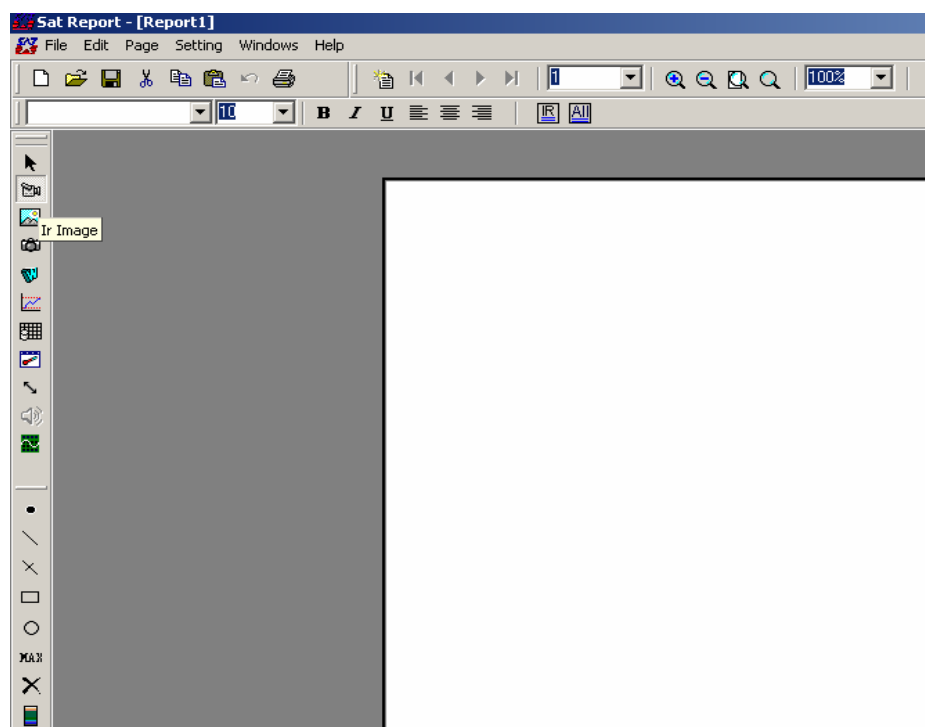
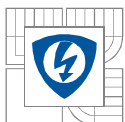


c)

Obr. 8.2. a): Odpínač VN, b): korozivzdorná ocel, c): postříbřená měď

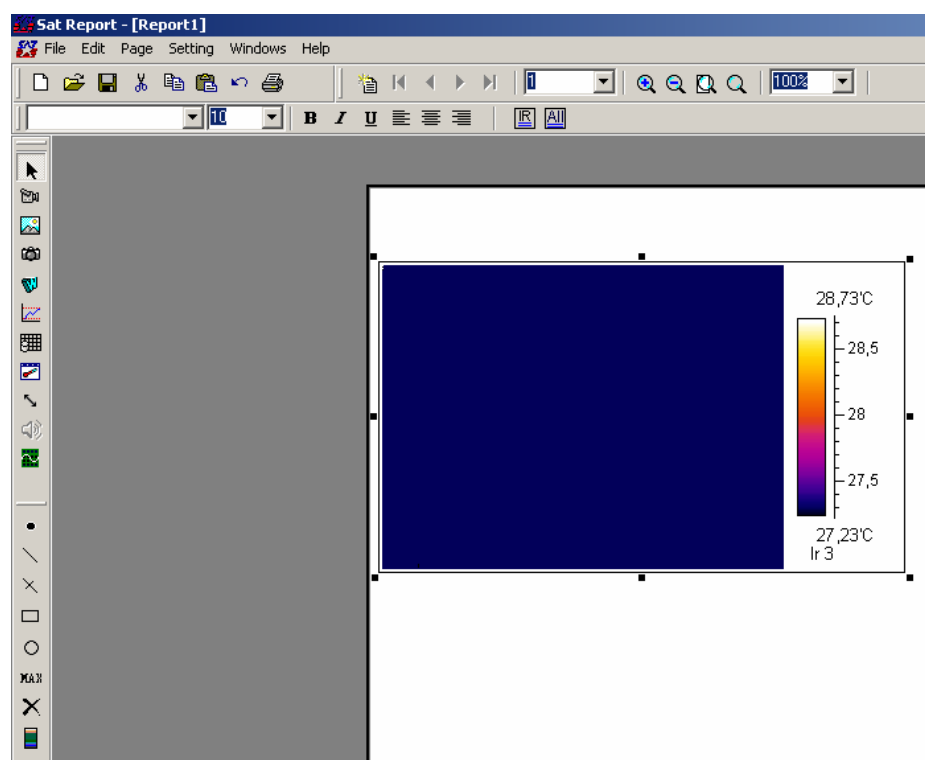
8.2 Zjištění hodnoty teploty části přístroje z infračerveného snímku pomocí programu SRS

Po spuštění programu SRS je třeba označit ikonu kamery (*Ir Image*) Obr.8.3:



Obr. 8.3: Program Sat report Standard

Kliknutím levým tlačítkem myši na „pracovní plochu“ se zobrazí obrázek s teplotní stupnicí
Obr.8.4:



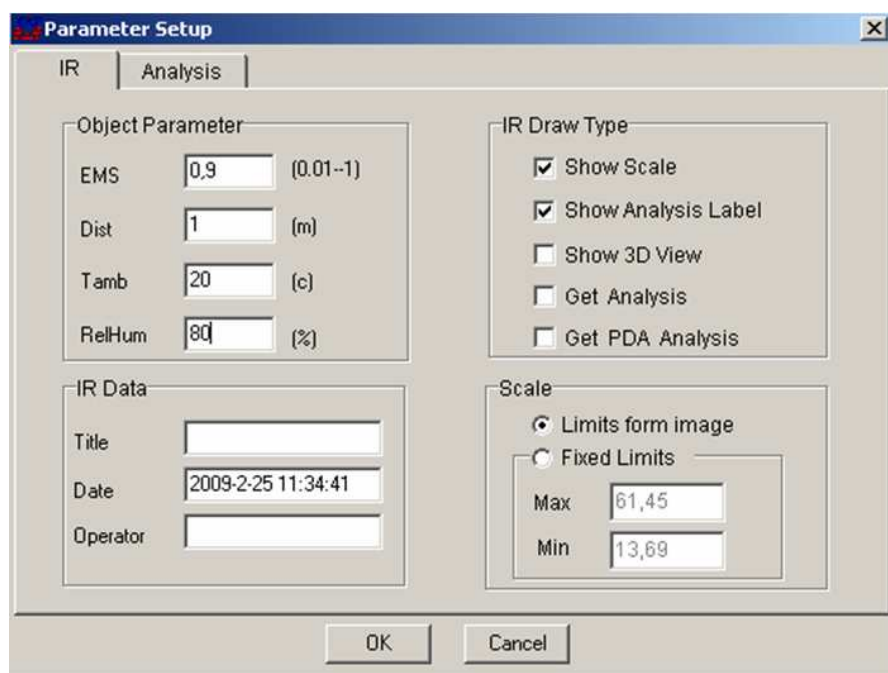
Obr. 8.4: Obrázek s teplotní stupnicí

Kliknutím pravým tlačítkem na tento obrázek se zobrazí nabídka *Obr.8.5. b)*: pomocí níž se nejprve vloží infračervený snímek ve formátu SAT z kamery.

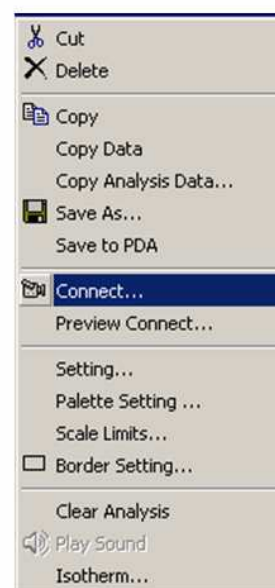
Poté se v levé liště vybere vhodná analýza, která se umístí levým tlačítkem do obrázku, na výběr je buď bodová, zónová, lineární nebo kruhová.

Pravým tlačítkem se opět vyvolá nabídka a tentokrát je třeba označit tlačítko *Setting* pro nastavení parametrů. V okně *IR* se nastaví parametry které byly použity u měření *Obr.8.5. a)*: (emisivita, vzdálenost, teplota okolí, relativní vlhkost).

V okně *Analysis* se označí analýza pro nastavení. Zatrhne se parametr *Own Parameter*, v *Analysis – Label* se nastaví typ teploty která bude zobrazena *Obr.8.6*: (max., min., prům.)

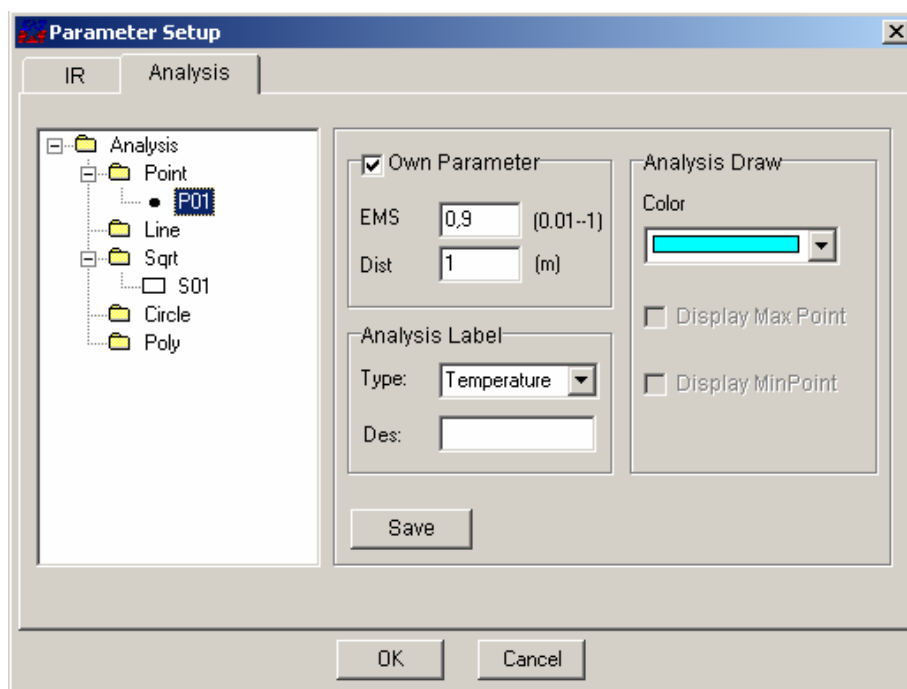


a.)

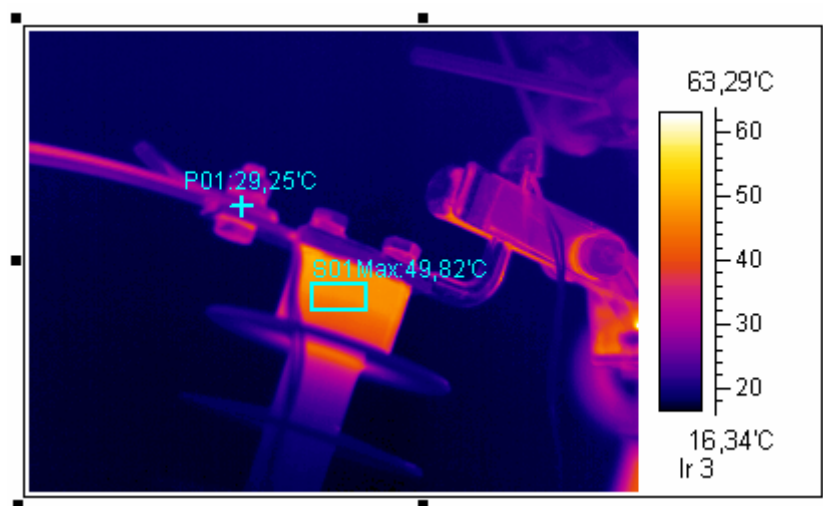


b.)

Obr. 8.5: Nastavení parametrů měření



Obr. 8.6: Nastavení parametrů bodové analýzy



Obr. 8.7: Možnosti využití analýz

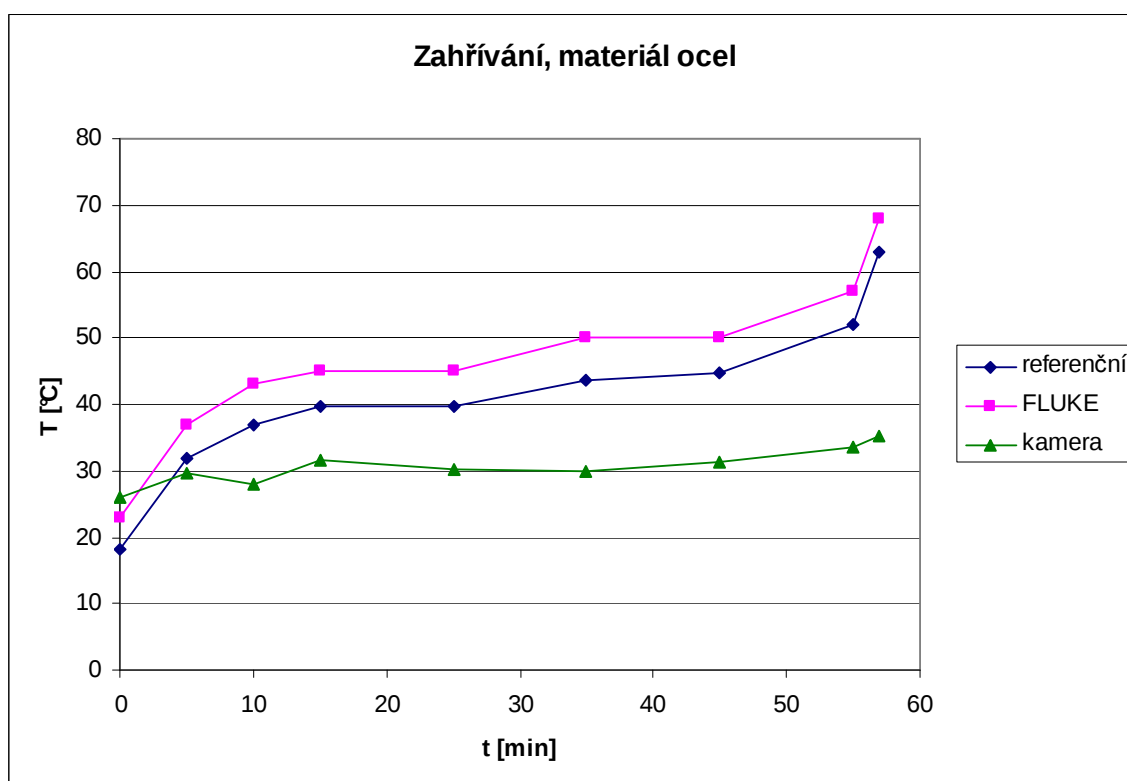
Potvrzení volby tlačítkem **OK**. Na pracovní ploše se objeví vložený infračervený snímek a na něm je patrná hodnota teploty pro nastavenou část materiálu. Nyní je možné analýzu použít na všechny snímky z měření bez opětovného nastavování. Je nutné nastavit pro každý snímek parametry, při kterých byl měřen.

8.3 Zjištění emisivity materiálu z programu SRS

První předpoklad, díky kterému lze určit správnou hodnotu emisivity materiálu v programu SRS je znalost jeho teploty v době pořízení snímku kamerou. Protože jsem při měření odečítal teplotu ze dvou přístrojů a to termočlánu (připojeného na měřicí přístroj Hexagon) a dotykového teploměru (FLUKE), jako referenční hodnotu pro výpočty jsem uvažoval hodnoty termočlánu. Jelikož kontakt termočlánu byl přilepen k měřenému objektu, měnila se teplota „teplého konce“ termočlánu společně s měřeným objektem a nedocházelo tam tedy ke dvěma nejistotám navíc, způsobených u dotykového teploměru jednak rozdílem teplot styčných ploch a dále nerovnoměrnou dobou měření a přítlačnou silou, která nebyla při měření konstantní.

Poté, co je k dispozici teplota materiálu a jeho infračervený snímek pořízený ve stejný okamžik, je možné zjistit hodnotu emisivity v programu SRS. Postup je prakticky stejný jako u zjišťování teploty v programu SRS, s tím rozdílem, že se v kolonce *EMS* (Obr.8.6:) nastaví hodnota emisivity a program přepočítá výslednou teplotu. Pokud teplota referenční a teplota ze snímku jsou shodné, nastavená emisivita odpovídá emisivitě materiálu.

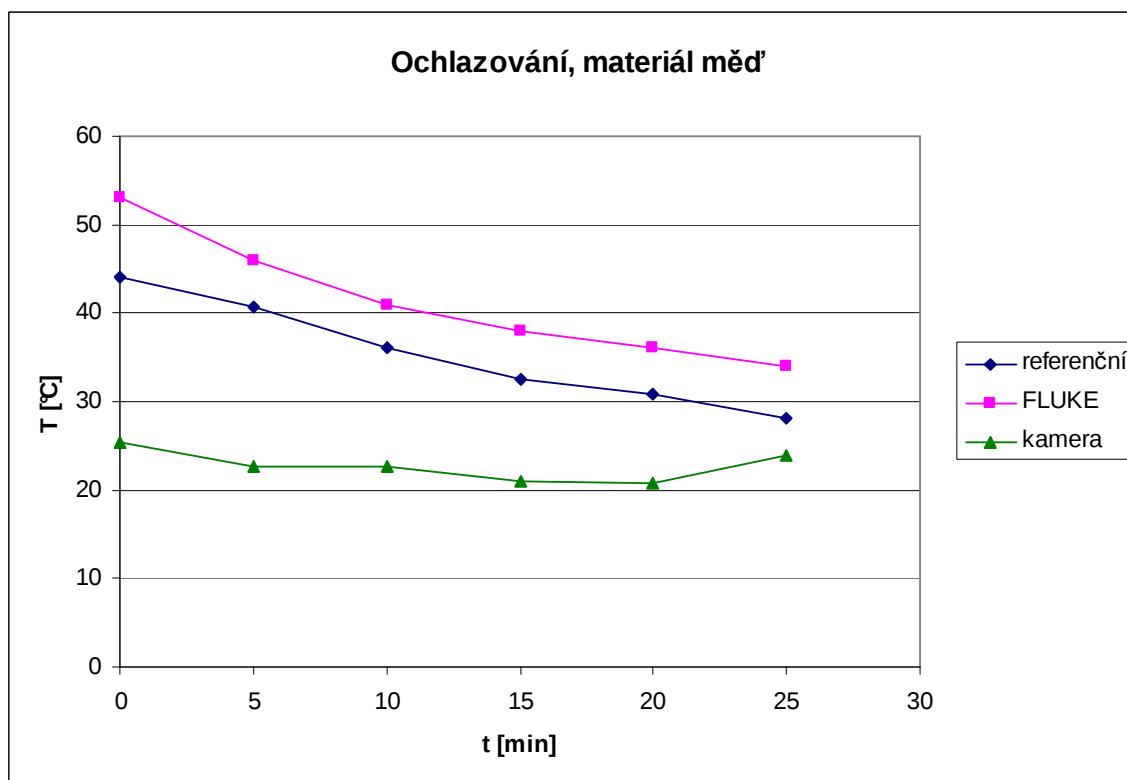
8.4 Výsledky měření



Obr. 8.8: Naměřené hodnoty teplot při oteplování

Jak je patrné z Obr.8.8: oba dotykové teploměry mají podobné průběhy charakteristik rozdíl teploty dotykového teploměru FLUKE oproti termočlánu, který činí cca 5°C je způsoben

offsetem měřicího přístroje (posunutí nuly naměřené hodnoty). Pokud porovnáme referenční průběh teploty s teplotou odečtenou z infračerveného snímku pořízeného kamerou je patné, že nemají stejný průběh. Důvodem je, že měření bylo prováděno s konstantní hodnotou emisivity $\varepsilon = 0,9$.



Obr. 8.9: Naměřené hodnoty teplot při ochlazování

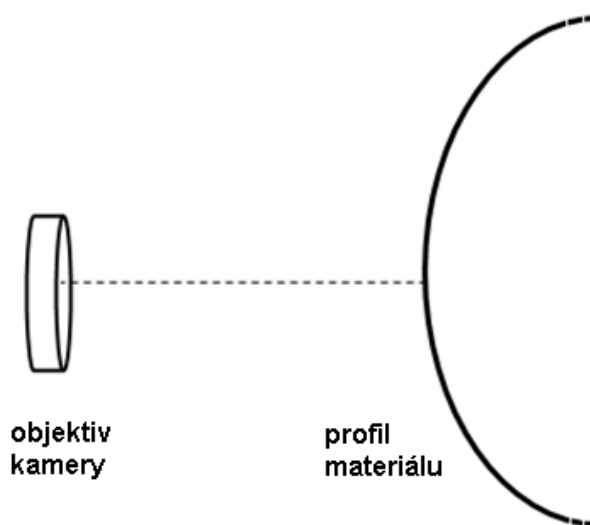
Stejně jako u prvního měření, tak i u měření mědi se rozdíl teplot dotkových teploměrů pohyboval okolo cca 5°C, také teplotní charakteristika naměřená termokamerou neodpovídala charakteristice referenční viz Obr.8.9:.

8.4.1 Korozivzdorná ocel

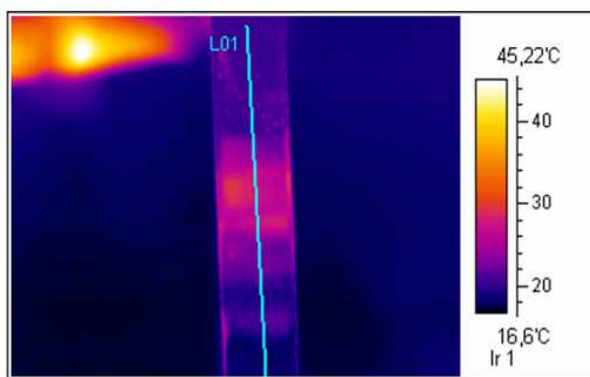
Popis materiálu:

Jak je patrné z Obr.8.2.b): tento materiál je velmi lesklý, navíc byl k ose měření v poloze která je zobrazena na Obr.8.10:.. Na infračerveném snímku jsem provedl v programu SRS lineární analýzu zobrazené délky měřeného objektu, která vypovídá o závislosti zobrazené teploty na tvaru objektu, tedy na úhlu vyzařování tělesa. Její grafické vyjádření je na Obr.8.11.b):

Jak je patrné z infračerveného snímku *Obr.8.11.a)*;, je oblast s vyšší teplotou situována na ploše, která je prakticky kolmá k ose snímání termokamery. Teplotní interval měřeného materiálu je od cca 18°C až do 29°C. Je však zřejmé a měřením potvrzené, že teplota materiálu zobrazeného na snímku je v celém povrchu prakticky stejná. Na velkém rozdílu teplot (cca $\Delta T=11^\circ\text{C}$) má vliv hodnota emisivity, která je závislá na povrchu materiálu a na jeho zakřivení, neboli úhlu vyzařování tělesa. Měřený materiál vytváří podmínky nevhodné pro termovizní diagnostiku.



Obr. 8.10: Poloha materiálu při snímání termokamerou

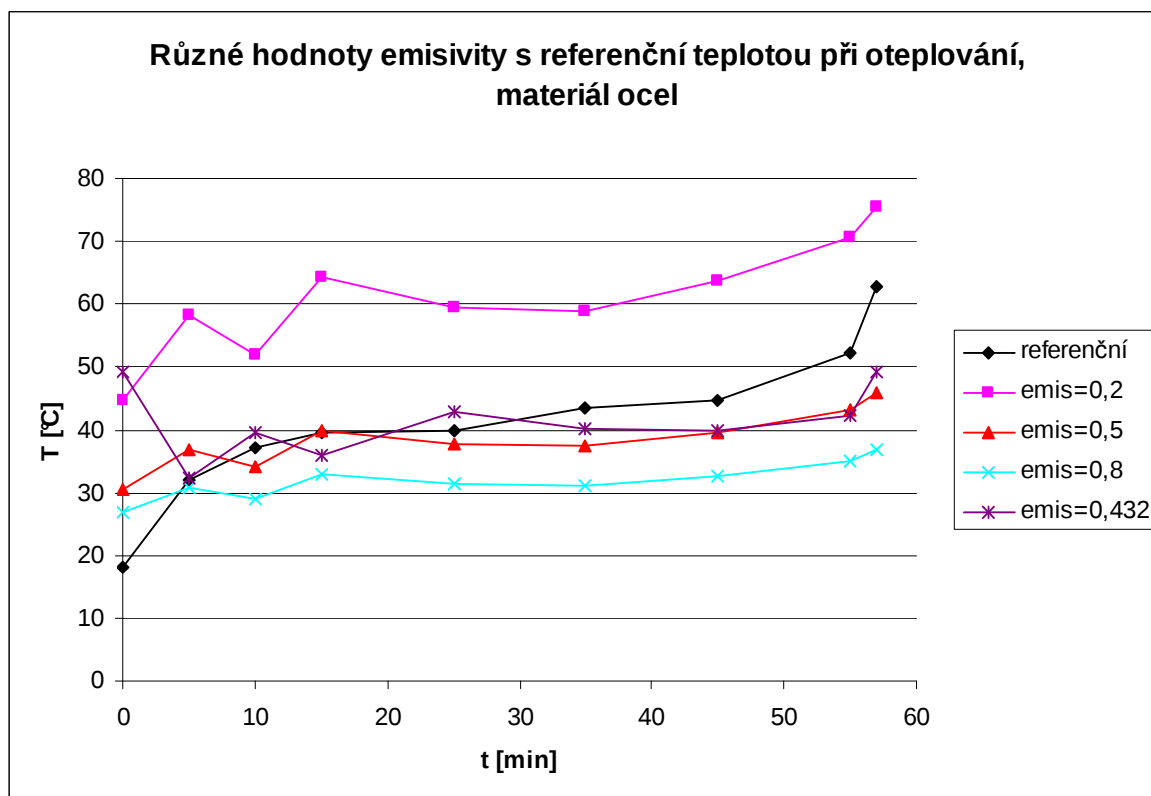


a.)



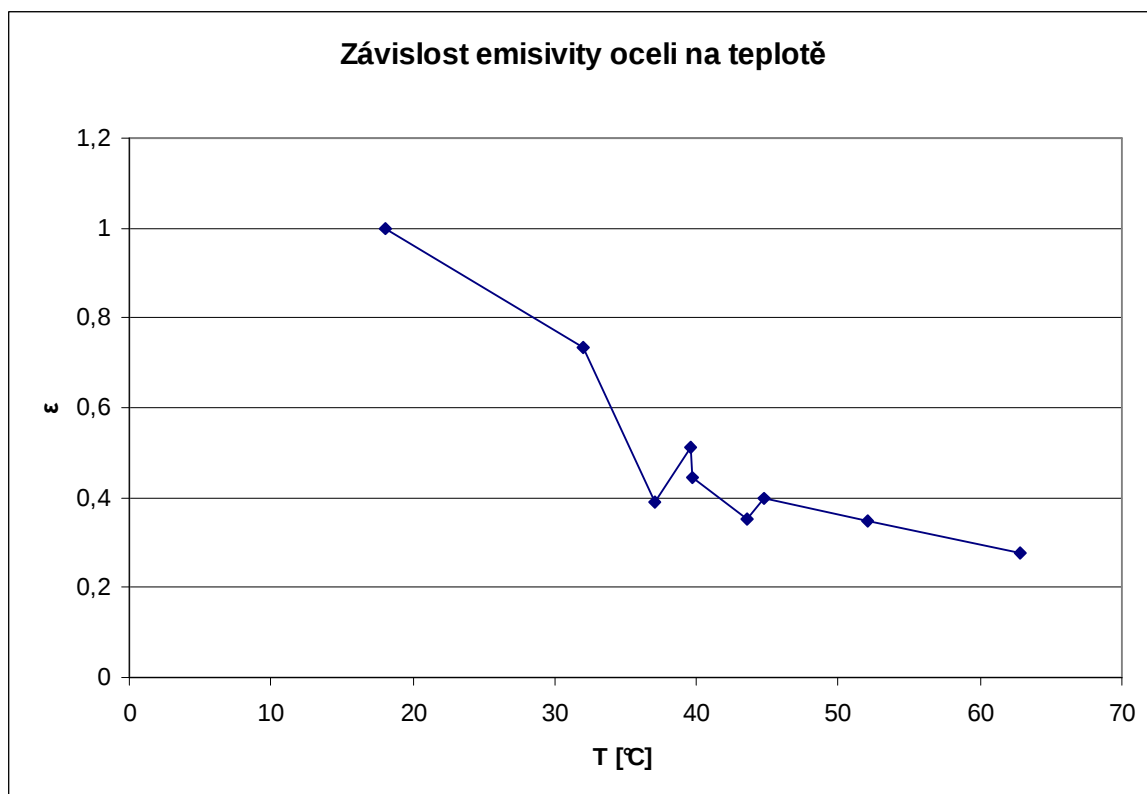
b.)

Obr. 8.11: Vliv tvaru materiálu na teplotu měřenou termokamerou



Obr. 8.12: Různé hodnoty emisivity v porovnání s reálnou teplotou (materiál ocel)

Při dosazení různých hodnot emisivity v programu SRS Obr.8.12: je možné pozorovat, že žádná z dosazených emisivit (ani průměrná $\epsilon = 0,432$), neumožní dosáhnout přesných výsledků. Rozdíl teplot u referenční teploty a teploty, odečtené z termokamery při nastavení průměrné emisivity, je sice ze všech ostatních průběhů nejmenší, ale vůči referenční teplotě se pohybuje jak v kladných tak v záporných hodnotách. To, jak nelineárně se emisivita mění v závislosti na teplotě, je zobrazeno na Obr.8.13: Na tomto obrázku je možné si povšimnout, že v intervalu nižších teplot (cca 20-37°C) jsou hodnoty teploty naměřené kamerou větší než u referenčních hodnot. Také hodnota vypočítané emisivity pro první měření (za studena) byla větší než 1. To je způsobeno vlivem teploty lidského těla, které má průměrnou teplotu 36,7°C. Tento parazitní tepelný tok se od reflexního materiálu odráží také směrem k ose snímání a zvýší tak celkovou hodnotu tepelného toku. To se projeví právě relativně vyšší zobrazenou teplotou měřeného materiálu. U vyšších teplot se tento jev také vyskytuje, ale již nezpůsobuje tak zásadní chyby měření. Těmto chybám je v praxi možné zabránit absencí obsluhy u měřeného objektu. Pokud je přítomnost obsluhy nezbytná, je možné použít vhodnou kombinézu, jenž spolehlivě odstíní tepelný tok, který všechny části lidského těla vyzářují.

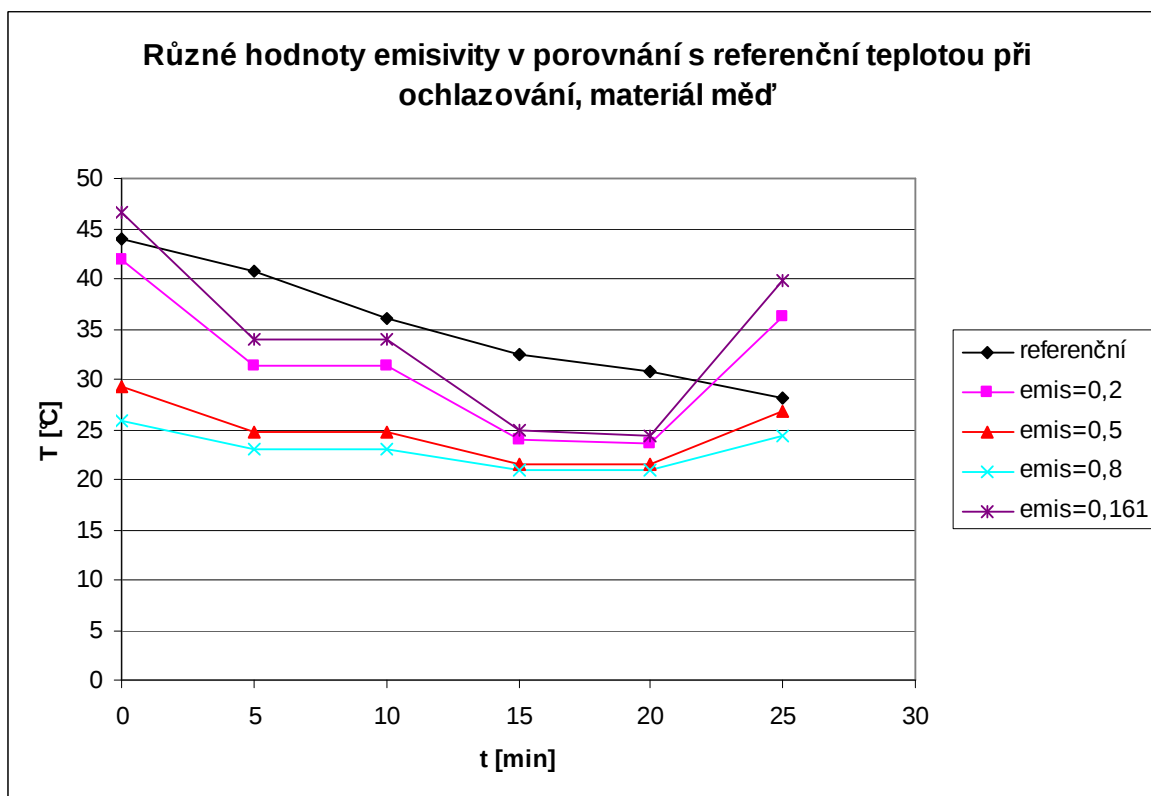


Obr. 8.13: Závislost emisivity na teplotě při oteplování (materiál ocel)

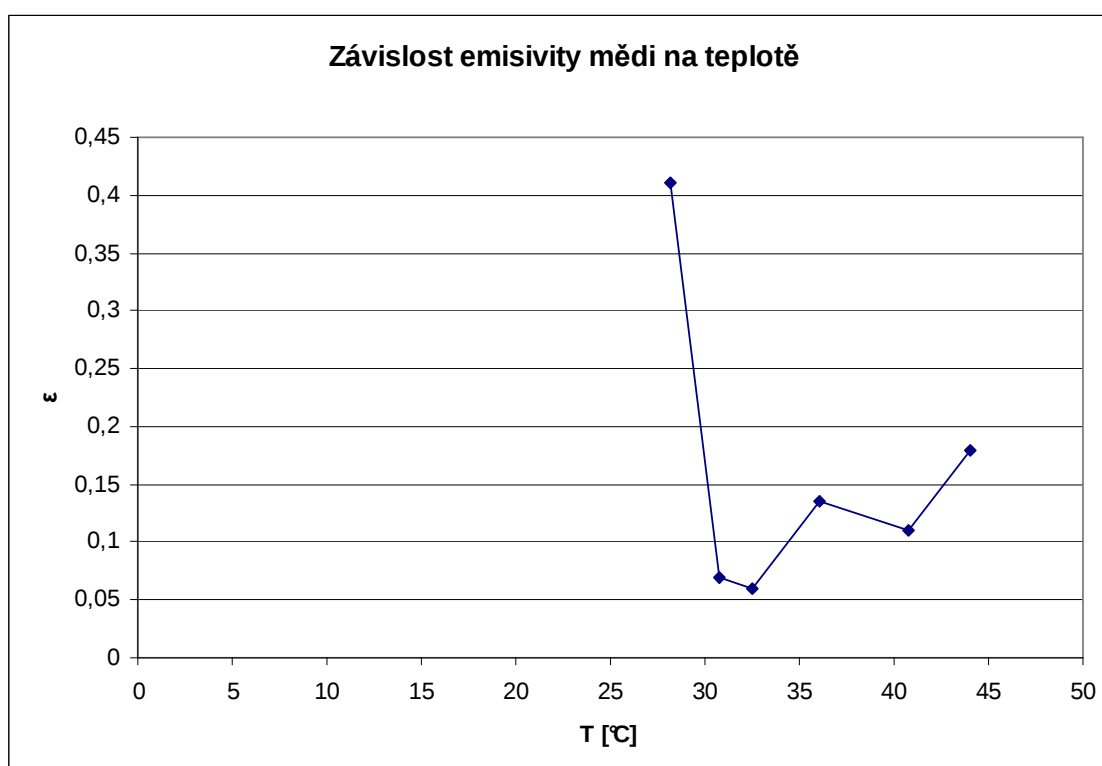
8.4.2 Postříbřená měď

Popis materiálu:

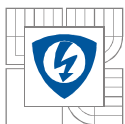
Materiál zobrazený na Obr.8.2.c): je oproti předcházejícímu méně lesklý a měřená plocha je kolmá k ose snímání. Z toho také plyne, že zobrazená teplota na měřené části odpojovače byla na celé ploše přibližně stejná. Naměřená emisivita byla také v porovnání s ocelí nižší. Na Obr.8.14: je opět zobrazená charakteristika různých hodnot emisivit v porovnání s referenční teplotou. I u tohoto typu materiálu žádná z nastavených konstantních emisivit nemá podobný průběh jako referenční. Opět platí, že nejmenších rozdílů teplot dosahuje průměrná hodnota emisivity ($\varepsilon = 0,161$), její průběh je však oproti ostatním hodnotám emisivit nejméně podobný referenčnímu. Závislost emisivity na teplotě je zobrazena na Obr.8.15: její průběh je opět nelineární.



Obr. 8.14: Různé hodnoty emisivity v porovnání s reálnou teplotou (materiál měď)



Obr. 8.15: Závislost emisivity na teplotě při ochlazování (materiál měď)

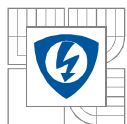


8.4.3 Shrnutí

U obou měřených materiálů se absolutní teplota od teploty naměřené kamerou velmi lišila, Pokud by se při vyhodnocování měření nebral v úvahu zásadní vliv emisivity materiálu na teplotu, lehce by se došlo k chybným výsledkům měření. Proto měření oteplování a ochlazování jakýchkoliv materiálů termokamerou je nutné provádět v kombinaci s dotykovým měřením, jak to ukládá norma ČSN EN 60947-1.

Dále je při měření dobré dodržovat určitý postup aby byly výsledky co nejméně zkreslené:

1. Před měřením analyzovat měřený objekt.
2. Co nejpřesněji nastavit parametry měření.
3. Pokud je to možné, zajistit aby byla měřená plocha kolmo k ose snímání.
4. Zajistit aby měření probíhalo bez nežádoucích stavů atmosféry mezi kamerou a měřeným objektem (vysoká vlhkost, mlha apod.).
5. Vyvarovat se působení odrazu slunečního záření a jiných teplotních zdrojů od měřeného objektu, včetně teploty lidského těla.
6. Pokud je to možné, je vhodné u lesklých materiálů, měřené místo začernit sazemi nebo přelepit teplovodnou páskou.



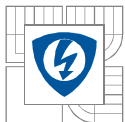
9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo získat potřebné informace k problematice bezdotykového měření teploty a seznámit se s termokamerou jako s prostředkem pro bezdotykové měření. V první části práce jsem se zabýval teplotou, základními pojmy v oblasti měření teplot a bezdotykovém měřením, jehož převážná část je věnována právě termoviznímu způsobu měření.

Další část práce je věnována termokameře SH-68 / HY-6800. V této části je popsána její funkční vybavenost. Jedná se převážně o typy analýz, které je schopna provádět, s jejich stručnou charakteristikou. Dále je zde zpracován stručný manuál pro práci s ní. V další části jsem zmapoval současné možnosti aplikačního využití termokamery. Je zde vypsáno několik možností jejího využití, společně s postupem měření a výhodami, které měření termokamerou v dané aplikaci přináší.

V poslední části jsem teoretické poznatky využil k praktickému měření. Měření, které je zpracováno v kapitole 8, po přípravě pracoviště, nastavení a zaostření kamery probíhalo rychle a pohodlně. Pro porovnání výsledků jsem teplotu materiálů měřil termočlánkem a dotykovým teploměrem. Při zpracování jsem se zaměřil na hodnoty emisivity dvou typů materiálů, které se běžně v praxi používají. U obou typů materiálů emisivita není konstantní, vliv u obou materiálů na hodnotu emisivity měla zejména měnící se teplota a povrchové vlastnosti materiálů. U oceli měl na teplotu vliv také úhel vyzařování, který nebyl na celé měřené ploše stejný. Obecně lze z Obr.8.13: a 8.15: usoudit, že se zvyšující se teplotou se hodnota emisivity u těchto materiálů zmenšovala. Její průběh však byl nelineární a z tohoto důvodu nelze provádět přesné měření absolutní teploty termokamerou bez současného měření teploty termočlánkem.

Závěrem lze tedy konstatovat že, měření termokamerou, je co se týče srovnávacího měření stejných typů materiálů, případně rozložení teplotního pole objektu s homogenním materiálem v současné době bezkonkurenční jak z pozice rychlosti a jednoduchosti měření, tak co se týče zpracování výsledků měření a její přesnosti. Přes svoje nesporné výhody však tento způsob měření zejména díky vlivu emisivity nelze, bez použití termočlánku, použít pro přesné zjištění absolutní hodnoty teploty, případně rozložení teploty povrchu tělesa složeného z různých typů materiálů, nebo s různou povrchovou úpravou. To platí i pro srovnávací měření.



LITERATURA

- [1]LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot : bezdotykové měření*. 2006. 159 s.
- [2]KREIDL, Marcel. *Měření teploty- senzory a měřící obvody*. 2005. 240 s.
- [3]SH-68 / HY-6800 Profesionálna termovízna kamera, návod na použite. , 1999. 28 s.
- [4]CHUPÁČ, Milan. Elektrotechnický magazín ETM, 2008, č. 2, s. 50-54. Termodiagnostika.
- [5] *Inženýrsko-výrobní elektrotechnický podnik, a.s.* [online]. [2009] [cit. 2009-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.ivep.cz/galerie.html> >.