

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Termovize a její využití v diagnostice

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav SVOBODA**
Osobní číslo: **E10B0078K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Termovize a její využití v diagnostice**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

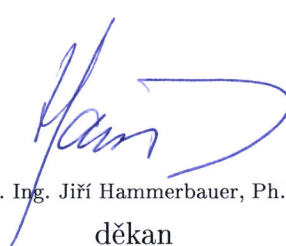
1. Prostudujte a v práci stručně uveďte teoretické předpoklady bezkontaktního měření teploty. Uveďte historický vývoj měření teploty.
2. Popište, jak ovlivnila Maxwellova teorie náhled na měření teploty. Jaké jsou výhody a nevýhody měření pomocí termokamery s ohledem na Kirchhoffovy zákony.
3. Popište použitý typ termokamery a používané programové vybavení a jeho možnosti.
4. Uveďte příklady využití termovize k diagnostickým účelům.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. **Heřman, J a kol.: Příručka silnoproudé elektrotechniky, SNTL Praha, Praha 1986**
2. **Fluke: Introdukce to Thermography Principles, Fluke Corporation, 2009**
3. **HONNER M.: Infračervená kvantitativní termografie ve výzkumu fyzikálních technologií. ZČU, Plzeň, 2004**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Koucký, CSc.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na použití termokamery v praxi. Poukazuje na problematiku emisivity a její správné určení v různých podmínkách a s konkrétními materiály. Popisuje vyhodnocení termogramů v jednotlivých příkladech z praxe a následných praktických ukázkách snímaných situacích.

Klíčová slova

Termokamera, termogram, emisivita, vyhodnocení termogramu, teplotní pole, thermospot, tepelné detektory, infračervená termografie, měření teploty, tepelná energie.

Abstract

This thesis deals with a usage of thermal imaging (thermography) in practice. It highlights the problem of emissivity, its correct determination in different conditions and with specific materials. It also describes the evaluation of thermograms for particular examples from practice and subsequent demonstrations of thermo-photographed situations.

Key words

Thermal camera, thermogram, emissivity, evaluation of thermogram, temperature field, thermospot, heat detectors, infrared thermography, temperature measurement, heat energy.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4.6.2013

Stanislav Svoboda

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Kouckému CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Poděkování patří i mé rodině a rodičům za neutuchající podporu.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 7 |
| ÚVOD | 8 |
| 1 DIAGNOSTIKA..... | 9 |
| 2 HISTORIE MĚŘENÍ TEPLoty A JEJÍ VÝVOJ..... | 10 |
| 2.1 JAMES CLERK MAXWELL..... | 12 |
| 3 INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE A TEPELNÉ ZÁŘENÍ..... | 12 |
| 4 SNÍMÁNÍ TEPLOTNÍCH POLÍ - TERMOGRAFIE..... | 14 |
| 5 TERMOVIZE – SYSTÉMY A SENZORY | 15 |
| 5.1 TEPELNÉ DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ..... | 16 |
| 5.1.1 Termoelektrické detektory..... | 16 |
| 5.1.2 Bolometrické detektory | 17 |
| 5.1.3 Pyroelektrické detektory | 18 |
| 5.2 KVANTOVÉ DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ | 19 |
| 6 TERMOKAMERA - PARAMETRY | 23 |
| 6.1 VYHODNOCOVACÍ PROGRAM..... | 25 |
| 7 NEPŘESNOSTI TERMOGRAFICKÉHO MĚŘENÍ | 27 |
| 7.1 KIRCHHOFFŮV ZÁKON | 28 |
| 8 KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY NA VZTAH MEZI ODRAŽENOU TEPLotOU A EMISIVITOU..... | 29 |
| 9 EMISIVITA A JEJÍ URČENÍ..... | 31 |
| 9.1 THERMOSPOT – POROVNÁNÍ | 32 |
| 10 ZÁKLADNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ TERMOGRAFICKÉ DIAGNOSTIKY | 36 |
| 11 MOŽNOST VYUŽITÍ TERMOGRAFICKÉ METODY V PLZEŇSKÉM PRAZDROJI A.S..... | 38 |
| 11.1 ÚSPORA ENERGIE..... | 47 |
| ZÁVĚR | 50 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 52 |

Úvod

Diagnostické metody, které využívá hodně podniků, ale i soukromých subjektů, jsou zajímavé z hlediska návratnosti vložených nákladů. Vždyť čas, energie nebo malá zmetkovitost jsou v současné době jednou z mála věcí, na nichž se dají ušetřit značné investice. Z hlediska podniků je to zásadní rozhodnutí o investici do revizí či navrhování úsporných řešení. V současnosti jsou a pravděpodobně i nadále budou na prvním místě úspory energií. Energie je nejdražším vstupním výrobním nákladem, na kterém se může při dobrém hospodaření ušetřit, nebo při špatném prodělat. Plzeňský Prazdroj a.s. patří mezi jednu z prvních pivovarských společností, která se rozhodla investovat do úsporných metod. Návrhy energetických úspor se vyskytují v různých oblastech - od velkých investic jako například: Nová filtrace nebo Sladovna – suchá vymáčka, až po malé návrhy typu: izolace potrubí nebo podcházející ventil. Každý úsporný návrh je přijat a vyhodnocen. Přitom jsou posuzovány jeho vstupní investice, návratnost nebo jaký pozitivní dopad má třeba na výrobu. Jednou z příležitostí pro zlepšování je samozřejmě řízení údržby, hlavně nastavení pravidel v preventivní údržbě – diagnostice.

1 Diagnostika

V roce 2001 začal Plzeňský Prazdroj a.s. v preventivní údržbě využívat diagnostické metody. Diagnostika se provádí v plánovaných intervalech nebo jsou dokonce osazeny on-line detektory a snímače zaznamenávají data kontinuálně. Takto se s velkou pravděpodobností lze vyhnout neplánovaným odstávkám výroby a následně drahým opravám. Dále je možné předem naplánovat odpovídající kroky ze strany údržby. Jako první metoda byla zavedena vibrodiagnostika.

Diagnostická metoda se osvědčila a doložené výsledky byly podkladem pro rozšíření o další diagnostické metody. Ostatní diagnostické metody jsou pouze doplňkové a okrajové metody diagnostiky. V současné době se v PP a.s. používají tyto metody.

Kontaktní:

- *měření teploty – příložný teploměr s datalogerem*
- *měření tloušťky, síly materiálu – ultrazvukové šíření vln*
- *vibrodiagnostika – měření rychlosti a zrychlení na točivých strojích*

Bezkontaktní:

- *tribodiagnostika – rozbor olejů dle jednotlivých kritérií*
- *termodiagnostika – termokamera a vyhodnocení termogramů*
- *kamerový systém do potrubí – endoskop a zobrazovací jednotka*
- *měření teploty - infračervený bezdotykový teploměr*

Všechny používané metody mohou ukládat data na záznamová zařízení a tato data pak mohou být zpracována a porovnána s novým plánovaným či neplánovaným měřením. Převzato z odkazu „<http://www.termokamera.com/testo/5-Zaklady-termografie/42-Prirucka-termografie>“ [1]

2 Historie měření teploty a její vývoj

Teplotu lze měřit bodově, tak jak měří pyrometry, s různou velikostí snímané plochy, nebo plošně. Požadavek plošného (2D) měření původně zavedla armáda. Začátek využívání termografické techniky mimo vojenské aplikace představila v roce 1965 švédská firma AGA Infrared Systems, která ve svém systému AGA Termovision 665 využívá elektromechanického rozkladu. K chlazení detektoru používala tekutý dusík. Díky vývoji nových mikroelektronických prvků se tato technika rychle rozvíjela.

Pro vojenské účely se stále ještě používají přístroje pro noční vidění (noktovizory), které jako detektory používají fotonásobiče. Ty zesilují velmi malý (zbytkový) odražený zářivý tok na měřitelnou úroveň. Noktovizory se postupně zdokonalovaly a z původně I, II, se dnes používají již noktovize III. generace.

Termovize je vývojově mladší než noktovize, pracuje na principu transformace tepelného záření na viditelný obraz. Zobrazení je ale v tzv. falešných barvách neodpovídajících skutečnosti. Teprve použití elektronicky chlazených detektorů umožnilo podstatně zlepšit citlivost a tak zpracovat signály z oblasti infračerveného spektra záření cca 10 a více μm .

Dosahované rozlišení cca 0,1 °C dává termokamerám obrovské možnosti. Původní pomalý elektromechanický rozklad obrazu byl nahrazen použitím maticových detektorů rychlým rozkladem elektronickým. Termovize umožnila nejen noční vidění, ale též vidění, kdy sledovaný objekt je sám zdrojem IR záření. Měření termokamerami může být tedy realizováno i v tzv. úplné tmě, tj. bez zbytkového světla ve viditelném spektru. Převzato z knihy „Detektory pro bezdotykové...“ [8]

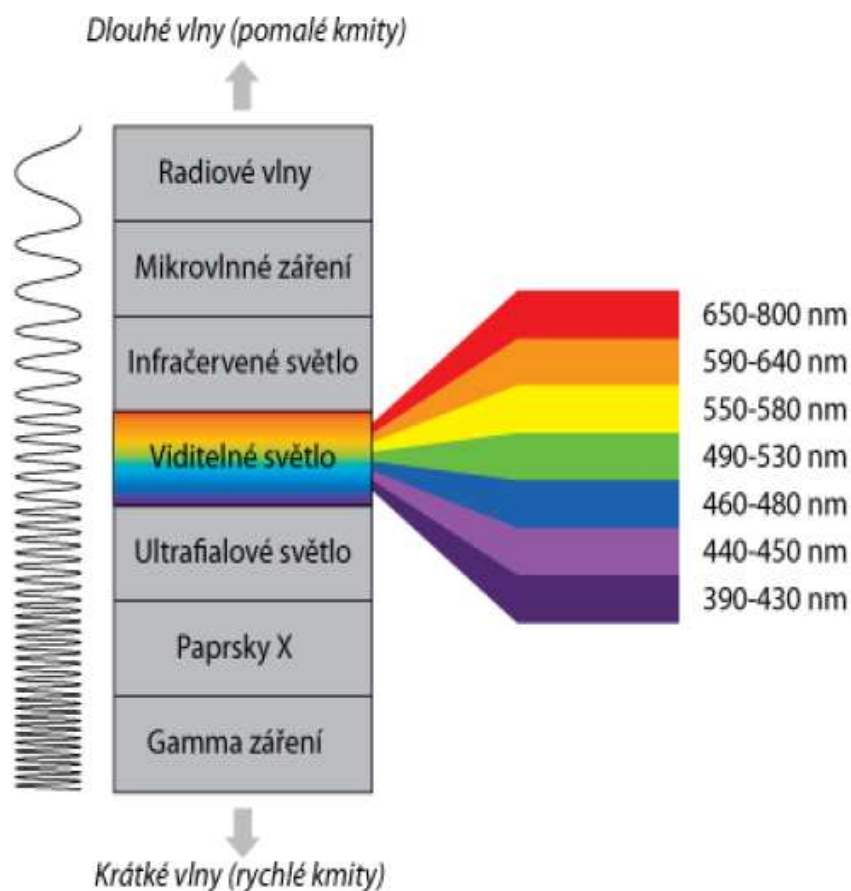
Měření povrchové teploty těles je možné na základě vysílaného záření tělesem a přijímaného senzorem (detektorem) záření vlnové délky od 0,4 μm do 25 μm . Tento rozsah pokrývá oblast:

- viditelného spektra od 0,4 μm do 0,78 μm
- oblast blízkého infračerveného spektra od 0,78 μm do 1 μm
- oblast krátkovlnného infračerveného spektra od 2 μm do 3 μm
- oblast středovlnného infračerveného spektra od 3 μm do 5 μm
- oblast dlouhovlnného infračerveného spektra od 5 μm do 25 μm .

Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 2 μm do 25 μm se označuje jako tepelné

záření. Uvedené rozsahy pokrývají měření teplot v rozsahu od -40°C do $+10000^{\circ}\text{C}$. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

Infračervená teplota, nebo-li také teplota dole „pod červenou“ linií, je teplota dlouhých vln respektive pomalejších kmitů, než jsou vlastnosti viditelného záření. Lidské oko infračervené záření nevnímá, ale toto záření má stejné vlastnosti jako světelné vlny. Člověk může vnímat pouze infračervené záření jako tepelný tok. Na obrázku (Obr.2.1.) jsou uvedeny spektrální vlnové rozložení. Celé viditelné spektrum vlnových délek bylo objeveno J.C.Maxwellem. Převzato z knihy „Infračervená kvantitativní ...“ [7]



Obr. 2.1 Rozsah viditelného spektra
Převzato z knihy „Infračervená kvantitativní ...“ [7]

2.1 James Clerk Maxwell

Velký britský fyzik James Clerk Maxwell se nejvíc proslavil rovnicemi, které vysvětlují principy a základní zákony elektřiny a magnetismu. Elektřina a magnetismus jsou úzce spojené oblasti, které J.C.Maxwell popsal rovnicemi. Pomocí čtyř parciálních diferenciálních rovnic dokázal popsat chování a vzájemné působení elektrického a magnetického pole. Důležitou vlastností těchto rovnic je, že jsou obecně platné. Jsou výchozím pilířem pro zákony elektromagnetismu, ale i pro zákony optiky. Maxwellovy zákony naznačily, že by mohlo existovat elektromagnetické záření, které není vidět a liší se frekvencí a vlnovou délkou. Existenci potvrdil, o pár let později, Guglielmo Marconi. Marconi demonstroval, jak lze těchto neviditelných vln používat pro bezdrátové spojení, tímto způsobem bylo zroeno rádio. Maxwellovy rovnice popisují všechna elektromagnetická záření – ultrafialové a infračervené paprsky, paprsky gama i rentgenové paprsky. [12]

3 Infračervená termografie a tepelné záření

Záření, jež přenáší tepelnou energii se nazývá tepelným zářením. Tepelné záření je emitováno povrchem všech těles, jejichž teplota je vyšší než 0K(0 Kelvin = -273,15 °C). Vyzařované spektrum je spojité, jako následek dějů v atomech a molekulách látek s vyzařovaným čárovým spektrem. Vyzařované těleso se skládá z molekul a ty z atomů, které kmitají v silovém poli ostatních molekul a atomů, tzn. konají tepelný pohyb. Energie tohoto kmitavého pohybu se jednak přenáší na sousední částice, jednak přechází do okolního prostoru formou elektromagnetických vln.

Vyzářená energie jde na účet energie tepelného pohybu částic tělesa, a proto se těleso ochlazuje. Z pohledu jednotlivých atomů je pochod vyzařování nahodilým jevem, řídí se proto statickými zákony. Tomuto také odpovídá spojité vyzařované spektrum. Na základě soudobých znalostí lze konstatovat, že vyzařující povrch těles je složen z velkého počtu elementárních zářičů (elektromagnetických oscilátorů), z nichž se šíří zářivá energie do prostoru.

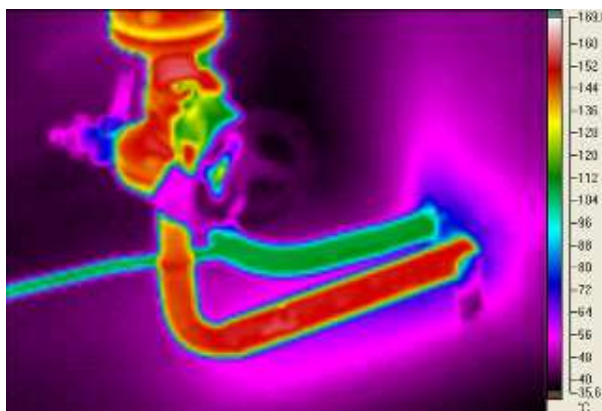
Přenos se děje rychlostí:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (3.1)$$

kde c je rychlost elektromagnetického vlnění ve vakuu, ϵ_r, μ_r jsou relativní permitivita a relativní permeabilita prostředí. Energie se při elektromagnetickém vlnění přenáší tím směrem, jímž se vlnění šíří. Teplotní záření je náhodného charakteru, tj. není zářením koherentním. Převzato z knihy „Detektory pro bezdotykové...“ [8]

Aniž bychom si to uvědomovali, lidské oko zastává roli indikátoru teploty tělesa, ale v omezeném spektru. Například kovář vytáhne železo z výhně a kuje. Dokud je železo červené, je teplota vhodná ke zpracování, ale viditelné tepelné spektrum po nějaké době přejde z červené na černou a to je pravý čas přestat kout a opět železo nahřát. K tomuto výkonu kovář nepotřebuje teploměr, ale stačí mu oko a zkušenost. Obdobný případ je například u skláře, který tímto způsobem dokáže určit, kdy je správný čas na vyfouknutí a kdy je potřeba sklo ještě trochu nahřát. Ve světě zvířat fungují senzory ještě trochu citlivěji. Například důlní zmijs, podčeleď chřestýšovitých, zaznamenají velmi rychle i minimální teplotní rozdíly kolem 0,0003 stupňů Celsia (NETD<0,03mK). Převzato z odkazu „<http://www.termokamera.com/testo/5-Zaklady-termografie/42-Prirucka-termografie>“ [1]

Infračervená termografie (IČT) je vědní obor, který pomocí metody měření teplotní závislosti měřeného objektu a rozložením teplotního lokálního pole na povrchu tělesa, analyzuje těleso bezkontaktním způsobem. Měřený objekt je zkoumaný v infračerveném spektru elektromagnetického záření a vycházející energie objektu je detekována. Teplotní pole a jeho časový průběh, je poté zobrazen. Moderní doba, nové technické i technologické novinky jsou možnosti pro uplatnění termografie a její využití. Termografii můžeme využít od konkrétních přesně stanovených lokálních měření teplot, až po měření více objektů a jejich teplotního pole. Výstupem měření obrazu teplotního pole je termogram.



Obr. 3.1. Parní a kondenzátní potrubí

Termogram je výstupem z termografického měření. Jedná se o infračervený snímek, který pomáhá určit teplotu v jednotlivých bodech snímku. S rozšířením infračervených kamer se také v širším měřítku rozvinul i obor termografie. Obecně se vžilo také označení termovize nebo termovizní kamera. Termín termokamera vznikl z názvu firmy Thermovizion, která byla prvním výrobcem infračervených kamer (dnes firma Flir). Převzato z knihy „Bezdotykové měření teploty...“ [2]

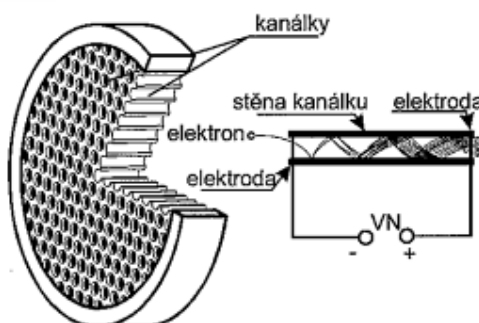
4 Snímání teplotních polí - termografie

Systémy pro bezdotykové měření a plošné zobrazení teplotních polí lze rozdělit na systémy bez rozkladu a s rozkladem obrazu.

Systémy bez rozkladu založené na přímé konverzi zářivého toku na obraz jsou vakuové fotodiody, u nichž se tepelný obraz vytvoří optikou na fotokatodě. Ozáření fotokatody způsobí fotoemisi elektronů, jejichž tok je zesílen fotonásobičem a dále pomocí elektrického pole usměrněn na luminiscenční stínítko, kde se vytvoří odpovídající viditelný obraz. V popisovaném systému je v současné době používána mikrokanálová destička MSP (Microchanell Plate), která za fotonásobičem, nebo i bez něj zesiluje tok elektronů na principu velkého počtu paralelních fotonásobičů realizovaných v mikrokanálcích. Kanálky jsou připojené na zdroj vysokého napětí (VN) tak, aby vektor intenzity elektrického pole měl axiální směr. Emitované elektrony jsou v kanálcích urychlovány, přičemž na vrchní odporové vrstvě dochází k odrazům s následnou sekundární emisí. Urychlené a znásobené elektrony dopadají na výstupní stínítko multianody a odtud je viditelný obraz přiveden přes optiku na

čip. Princip je omezen na vlnové délky do $1\mu\text{m}$.

Systémy s rozkladem obrazu se označují jako termovize. Převzato z knihy „ Měření teploty...“ [9]



Obr. 4.1. Mikrokanálový zesilovač obrazu
Převzato z knihy „ Měření teploty...“ [9]

5 Termovize – systémy a senzory

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. Dráhu rozkladu se provádí pohyblivými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla). Vzhledem k tomu, že výroba těchto systémů pro civilní účely skončila, nebude opticko-mechanický princip podrobněji popisován.

Pro termovizní kamery se nyní používají chlazené a nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové (QWIP) FPA detektory (1D-řádkové a 2D-plošné). Chlazení FPA matice se provádí Stirlingovým chladičem (hermeticky uzavřený chladič systém se dvěma písty s plynným heliem, pracující na principu kompresorové mikrochladičky) nebo termoelektrickým chladičem pracujícím na principu Peltierova jevu. Zpracování signálů je realizováno přímo na čipu prostřednictvím multiplexerů a 14 bitových A/D převodníků v každé řádce matice.

V termovizní technice se používají dvě hlavní pásma vlnových délek a to krátkovlnné ($2\mu\text{m}$ až $5\mu\text{m}$) a dlouhovlnné ($7\mu\text{m}$ až $13\mu\text{m}$). 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. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

5.1 Tepelné detektory infračerveného záření

U tepelných detektorů dochází při absorpci fotonů k oteplení citlivé části detektoru a pohlcená energie se vyhodnocuje nepřímo prostřednictvím snímačů teploty. Tepelné detektory se dělí na: Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

- *Termoelektrické*
- *Bolometrické*
- *Pyroelektrické*

5.1.1 Termoelektrické detektory

Zařízení neboli tzv. termoelektrické baterie na obr.5.1. a obr. 5.2 jsou sériově řazené termoelektrické články, které jsou konstruovány buď jako tenké kovové pásky tloušťky cca $0,03\text{mm}$ nebo jako pásky zhotovené technologií tenkých vrstev nebo Si technologií. Jako termoelektrické materiály se používají klasické normované typy termoelektrických větví, ale také materiály jako například Bi, Sb dopované Se a Te s termoelektrickým koeficientem až $230\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$. Uspořádání využívá kombinaci kovů BiSb-NiCr.

Technické parametry jsou:

počet termoelektrických spojů je 100,

integrální citlivost $K=110\text{V}\cdot\text{W}^{-1}$,

normovaná detektivita $D^*=2,1\cdot 10^8\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$,

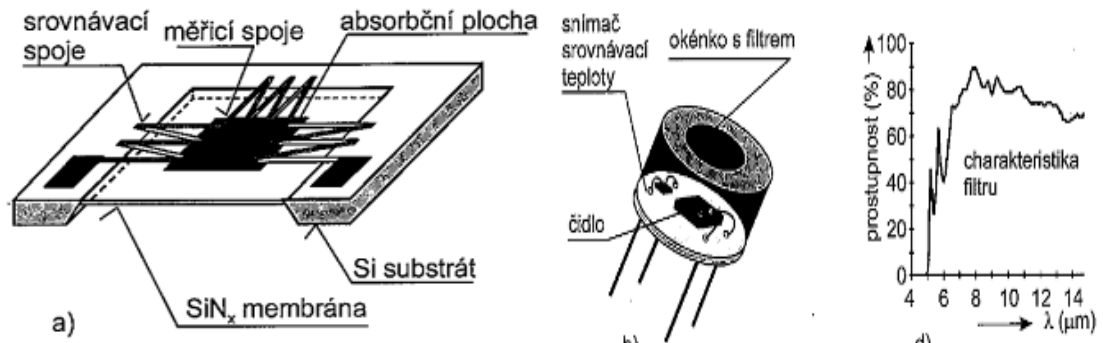
$\text{NEP}=0,35\text{nW}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$,

Měřicí odpor Ni 1000,

Časová konstanta 40 ms,

Rozměr čipu 2 mm x 2 mm

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

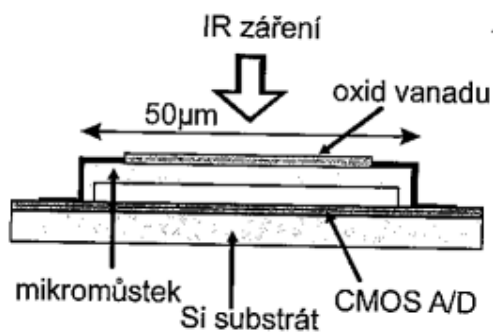


Obr. 5.1. Termoelektrický detektor real. Obr. 5.2. Uspořádání čidla v pouzdru včetně
technologií tenkých vrstev snímače srovnávací teploty

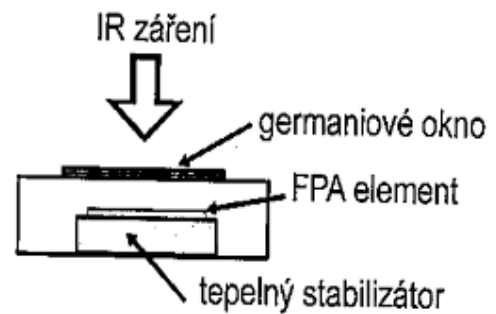
Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

5.1.2 Bolometrické detektory

Zařízení snímají oteplení detektoru teplotně závislým odporovým materiálem, tj. pohlcené záření způsobí změnu teploty odporového čidla a tím i změnu jeho elektrického odporu. Používají se tenkovrstvé mikroelektronické technologie na bázi odporových materiálů z kysličníku MgO, MnO, NiO, TiO₂, Ti₂SeAs₂Te₃(chalkogenidové sklo) 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 320x240 až 640x 480 elementů. Příklady uspořádání jsou na obr. 5.3 a obr. 5.4. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]



Obr. 5.3. Detail elementu



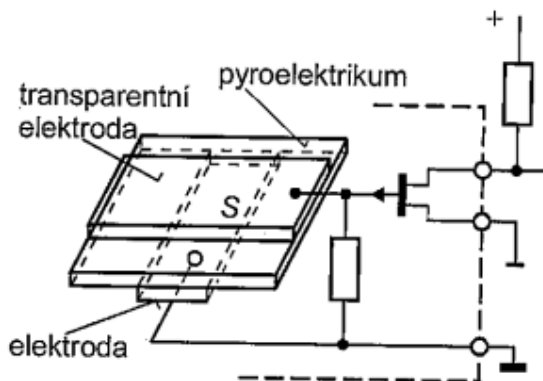
Obr. 5.4. Řez umístění elementu

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

Odporovou vrstvu mikrobolometru na obr. 5.3 tvoří kysličník vanadu. Germaniové okno má funkci filtru s vymezením pro vlnové délky nižší než $7,5 \mu\text{m}$, tj. detektor je vhodný pro dlouhovlnovou oblast infračerveného záření. Výhodou tohoto detektoru je, že detektivita není závislá na vlnové délce. Časová konstanta elementu je poměrně velká (kolem 12 ms) Tepelný stabilizátor pracuje při teplotě blízké prostředí a je založen na Peltierově jevu. Mikrobolometr dle obr. 5.4 má odporový meandr z kysličníku titanu s teplotním součinitelem odporu $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Aktivní část membrány má rozměr $49,2 \times 43,6 \text{ mm}$. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

5.1.3 Pyroelektrické detektory

Zařízení jsou založeny na pyroelektrickém jevu, tj. změně spontánní polarizace P_s při změně teploty. Pyroelektrický jev se vyskytuje u pyroelektrik s trvalou polarizací nebo u některých feroelektriku u nichž se orientace domén vytvoří silným elektrickým polem. Nejčastěji se používají materiály (TGS - triglycin-sulfát, PZT – keramické materiály na bázi titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého, PVDF – polyvinylfluorid).



Obr. 5.5. Pyroelektrický čip s předzesilovačem

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

Základním parametrem pyroelektrického detektoru záření je pyroelektrický koeficient p . Hodnoty pyroelektrického koeficientu p se pohybují v rozmezí $(0,4-4,2) \text{ C} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Na obr. 5.5 je uspořádání pyroelektrického čipu s předzesilovačem. Čelní elektroda musí být transparentní pro infračervené záření. Detektor si lze představit jako kondenzátor, na jehož elektrodách se při změně polarizace naindukuje elektrický náboj. Náboj na elektrodách se vybíjí přes rezistor R (daný svodovým odporem pyroelektrika a vstupním odporem

zesilovače). Před každým odměrem je nutné záření dopadající na detektor zaclonit a opět odclonit nebo musí být zářivý tok časově proměnný.

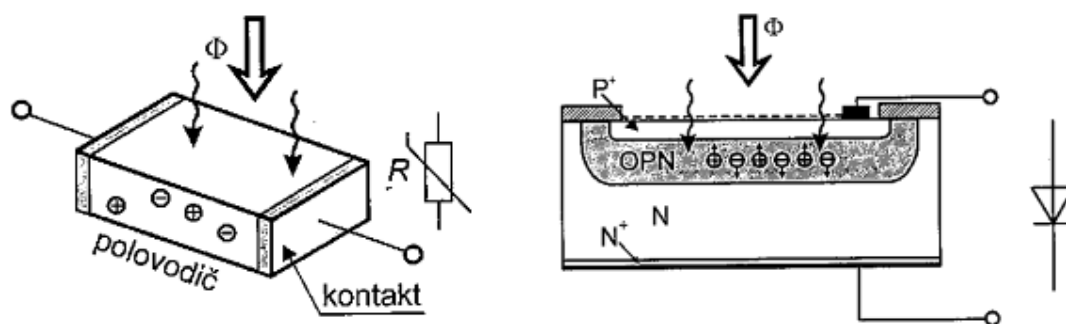
U pyroelektrických materiálů se kromě pyroelektrického jevu projevuje parazitní piezoelektrický jev, který při deformaci pyroelektrika, např. při otřesu, způsobí nejistotu měření. Z tohoto důvodu se vyrábějí detektory kompenzované druhým, opačně pólovaným detektorem, jehož detekční ploška je odstíněna. Na stejném principu se vyrábějí pyroelektrické detektory v zabezpečovacích infračervených systémech. U nich není ale druhý detektor zastíněný. Výstupní impulzní signál vzniká při pohybujícím se živém objektu, neboť zářivý tok postupně dopadá nejprve na jeden a pak teprve na druhý opačně pólovaný detektor. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

5.2 Kvantové detektory infračerveného záření

Podstatou kvantových detektorů je fyzikální jev, při kterém při interakci dopadajících fotonů dochází ke generaci párů elektron-díra. Při teplotě vyšší než je absolutní nula a při splnění podmínky $W_f \geq W_g$, kde je W_f energie fotonů a energie W_g udává šířku zakázaného pásu polovodiče, dochází k uvolnění elektronu a jeho přechodu na vyšší energetickou hladinu. Elektron se dostane z valenčního pásu do vodivostního pásu v energetickém pásovém modelu polovodiče. Po uvolnění elektronu zůstane v elektronovém obalu ionizovaného atomu prázdné místo, které se nazývá díra. Ionizovaný atom se pak chová jako elementární náboj. Uvolněný elektron se může v polovodiči volně pohybovat. Rovněž tak díra se pohybuje a to tak, že ionizovaný atom převezme do elektronového obalu chybějící elektron ze sousedního neutrálního atomu. Tento atom se tak ionizuje a stává se dírou a nositelem kladného náboje. Tepelný pohyb elektronů a děr je v polovodiči náhodný.

Kvantové detektory jsou polovodičové detektory (Si, Ge, PbS, Te, InSb, PbSe, GaAs, CdHgTe) a dle typu polovodiče se dělí na intrinsické a extrinsické. Intrinsický detektor je vyroben z čistého (tj. vlastního) polovodiče. Intrinsický detektor (fotorezistor) využívá změny pohyblivosti nosičů nábojů při dopadu fotonů na polovodičovou vrstvu obr. 5.6 a jeho vodivost je funkcí fotonového toku neboli detektor pracuje v tzv. fotovodivostním (fotokonduktivním) módu a vyžaduje elektrické pole přivedením vnějšího napětí. Elektrické pole způsobí unášení nosičů náboje a vnějším obvodem pak prochází elektrický proud. Extrinsický detektor je založen na PN struktuře z extrinsických (tj. nevlastních) polovodičů, u nichž hustota nosičů nábojů je dána koncentrací příměsí. Pokud atom příměsí má nadbytečný

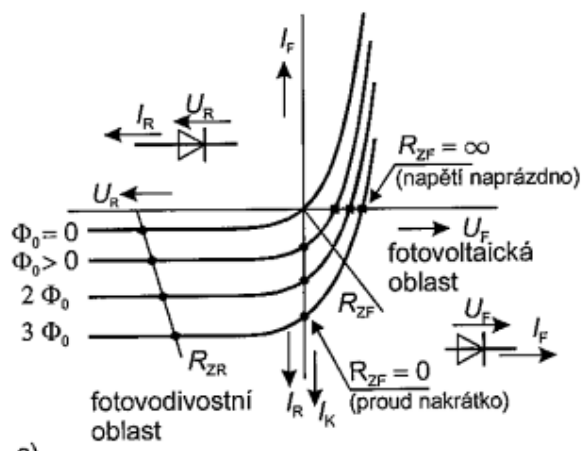
valenční elektron, nazývá se dotovaný polovodič typu N a podobně pokud atom příměsi bude vázat elektron polovodiče, dotovaný polovodič bude mít jako majoritní nosiče díry a označuje se jako typ P. PN struktura je polovodičová destička s oběma typy vodivosti, tj. s přechodem PN. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]



Obr. 5.6. Princip kvantových detektorů a)fotorezistor b) fotodiodový detektor

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

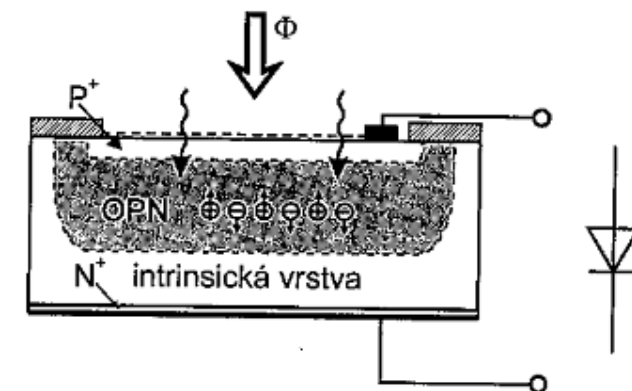
Na obou stranách PN přechodu se nosiče náboje snaží difúzí děr z oblasti P do oblasti N a elektronů z oblasti N do oblasti P dosáhnout termodynamické rovnováhy a vyrovnání koncentrace elektronů a děr na obou stranách rozhraní. Výsledkem uvedené difuze na přechodu je elektrická dvojvrstva nábojů označovaná jako oblast prostorového náboje (OPN), kde se nenacházejí v rovnovážném stavu volné nosiče. Realizace extrinsických PN detektorů neboli fotodiod je patrná z obr. 6.6. Pokud dojde k absorpci záření, v oblasti OPN dojde k rozdělení párů elektron-díra, přičemž díry driftují do oblasti P a elektrony do oblasti N. Na anodě fotodiody vznikne záporné napětí vůči anodě. Fotodiody mohou pracovat ve dvou základních módech obr. 5.7.: Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]



Obr. 5.7. Voltampérová charakteristika fotodiodového detektoru
Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

- **Fotovodivostní**
- **Fotovoltické**

Ve fotovodivostním režimu se dioda chová jako pasivní prvek, jehož elektrický odpor klesá (tj. vodivost stoupá) s intenzitou osvětlení. Fotodioda se v sérii s rezistorem R_{ZR} připojuje ke zdroji napětí, který ji polarizuje do závěrného směru. Z voltampérové charakteristiky je zřejmé, že obvod složený ze zdroje napětí, zatěžovacího rezistoru R_{ZR} a fotodiody lze nahradit zdrojem proudu řízeného intenzitou osvětlení. Dopadající fotony generují volné elektrony a díry jako ve fotovoltickém režimu. V tomto případě je však z důvodů závěrné polarizace na PN přechodu vyšší intenzita elektrického pole a tato oblast je širší, a proto generované volné elektrony driftovaly vyšší rychlostí ke kontaktu katody, zatímco díry ke kontaktu anody. S rostoucí rychlostí nosičů se zvyšuje přenosová rychlost fotodiody (frekvenční šířka pásma, rychlost odezvy). Proto se vyrábí fotodiody PIN obr. 6.8, jejíž střední oblast je tvořena téměř vlastní (intrinsickou) vodivostí, což způsobí rozšíření oblasti prostorového náboje (OPN) a dosažení vysoké intenzity elektrického pole. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]



Obr. 5.8. Fotodioda PIN

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

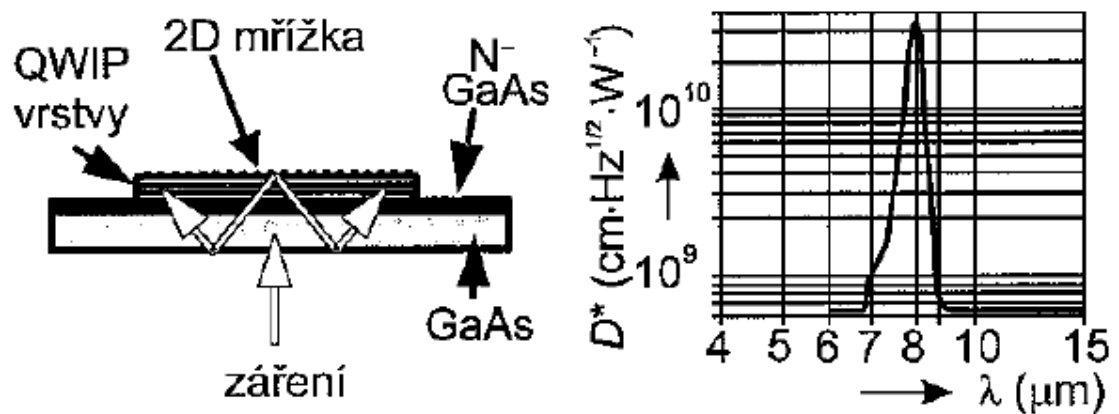
Toto pole zvyšuje rychlost nosičů a tím i šířku pásma. Nevýhodou je generace teplotně závislého proudu za tmy, což s sebou přináší přídavný šum a znemožňuje měření signálů s nízkou úrovní.

Pro nejvyšší nároky na odstup signálu od šumu se detektory různým způsobem chladí (např. termoelektrickým chladičem na principu Peltierova jevu). Fotovodivostní detektory mají v porovnání s fotovoltaickými detektory obvykle vyšší citlivost a větší odstup signálu od šumu, ale jen při optimální hodnotě vlnové délky záření a mají navíc pomalejší odezvu na rychlou změnu toku záření. Obvykle je tedy nutné fotovodivostní detektory chladit na velmi nízké teploty. Z tohoto důvodu se pro detektory infračerveného záření používají častěji fotovoltaické detektory např. z polovodičů InSb, HgCdTe, HgCdZnTe, PbSnTe, InAs, InGaAs aj.

Z hlediska trhu je nutno ještě doplnit sortiment o detektory typu PN s difúzní fosforovou vrstvou na ozařovaném povrchu N vrstvy. Pro požadavek extrémně krátké doby odezvy se vyrábějí miniaturní CO₂ heterodynní detektory. Heterodynní detektor obsahuje CO₂ laser a je založen na heterodynní detekci (demodulaci) elektromagnetického záření s rozdílným kmitočtem na polovodičovém prvku s nelineární charakteristikou získá signál s kmitočtem daným rozdílem vstupních kmitočtů.

Podobně jako u bolometrických detektorů se vyrábějí řádkové a plošné (FPA) detektory. Patří sem např. detektory pro pásmo 3,6-5 μm, využívají tzv. Schottkyho bariéru a ve vrstvě Si vyvolávají vznik nosičů náboje. Další rozšířený materiál je InSb. Pro dlouhovlnné pásmo je znám detektor QWIP (Quantum Infrared Photon Detector). Tento detektor je založen na GaAs substrátu. Polovodič GaAs má zakázané pásmo 1,35 eV a z výrazu $hc/\lambda \geq 1,35$ vyplývá pracovní oblast kolem 0,92 μm. Pro posun pásma je detektor

QWIP vytvořen velkým množstvím tenkých vrstev AlGaAs (5 nm) a GaAs (50nm) na substrátu GaAs. Výsledný efekt tohoto uspořádání je patrný z obr. 6.9. Elektrická složka elektromagnetického pole musí mít pro maximální citlivost detektoru směr normály k vrstvám QWIP. Vzhledem k tomu, že toto nelze jednoduše zajistit, je použita plošná mřížka, na níž se tok fotonů po průchodu tenkou strukturou odrazí a rozptýlí do všech směrů, přičemž vektorové složky záření se ve vrstvách částečně pohltnou a částečně odrazí. Pro odraženou část toku se děj opakuje. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]



Obr. 5.9. Uspořádání a citlivost elementu QWIP FPA matice

Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

6 Termokamera - parametry

Ve společnosti PP a.s. používáme maticový pyroelektrický senzor. Termokamera je značky FLUKE Ti 40 viz parametry v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1. Specifikace parametrů termokamery FLUKE Ti 40

| | |
|--|---|
| Detektor | 30Hz 160x120 Focal Plane Array |
| Spektrální pásmo | 8 μm - 14 μm |
| Teplotní citlivost | $\leq 0,080^\circ\text{C}$ při 30°C |
| Digitální displej | 5" s rozlišením 320 X 240, barevný LCD |
| Zápisové médium | Compact Flash Card |
| Úhel pozorování | 23° horizontálně x 17° vertikálně |
| Kalibrovaný teplotní rozsah | -20°C až 350°C, -4°F až 662°F |
| Korekce emisivity | 0,01 až 1,00 |
| Část pro viditelné spektrum: rozlišení | 1280 x 1024, 1,3M |
| Baterie | Li-Ion Smart Battery, nabíjecí, vyměnitelná |
| Rozměry | 71 x 262 x 196 mm |

Od roku 2008 je termokamera využívána naším diagnostickým oddělením a proto většinu snímaných obrázků dokladují vlastními záběry a vlastním vyhodnocením.

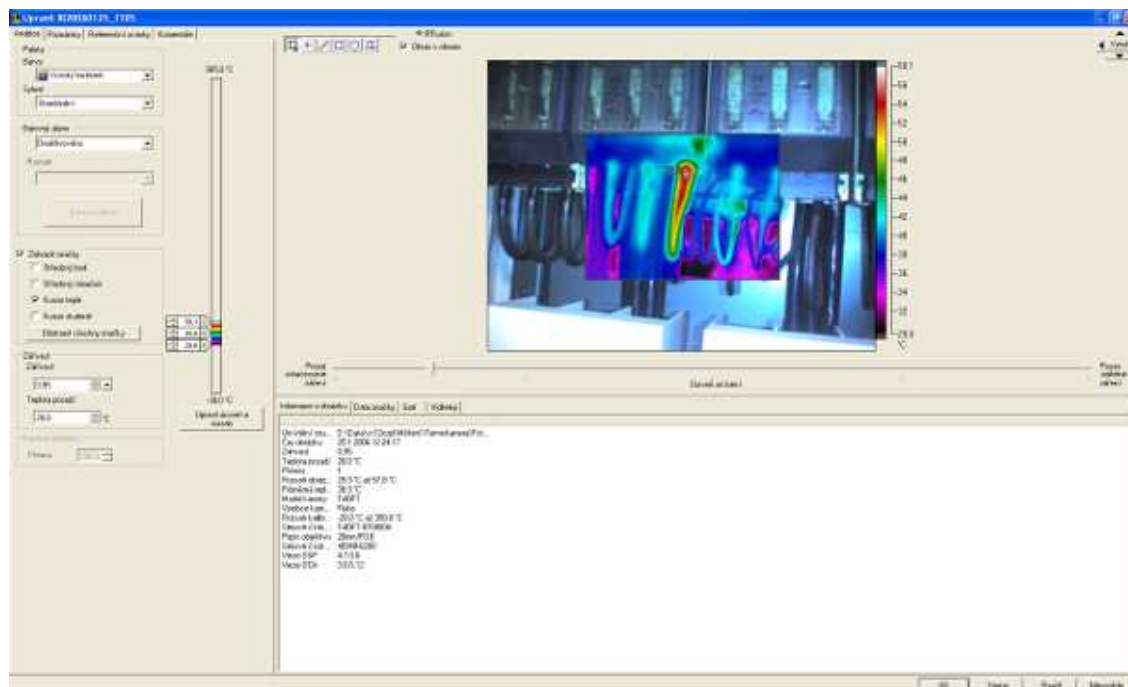


Obr 6.1. Termokamera Fluke Ti 40

Samotné měření je vizualizováno na barevném digitálním LCD displeji a ukládáno na Compact Flash Card. Bezdotykové měření je bezpečné a zajišťuje pořizování snímaných záběrů na předmětech i v málo nebo špatně dostupných místech. Kamera byla pořízena za účelem podpory diagnostiky v elektrozařízeních a také pro odstraňování energetických úniků. V dnešní době se kamera používá na predikci závad na elektro výzbroji rozvaděčů, ke kontrole potrubních tras, kontrole správného fungování parního systému, atd. Všechny možnosti použití budou popsány v dalších kapitolách.

6.1 Vyhodnocovací program

Pro vyhodnocení máme možnost používat dva standardně dodávané programy. InsideIR4 je program, který nemá takové možnosti nastavení a vyhodnocování jako Smart View. Smart View je jednoduchý program pro vyhodnocování záběrů z termokamery. Vzhledem k jeho popularitě dochází ze strany dodavatele i k jeho aktualizacím. V současnosti pracujeme s českou verzí 3.2.



Obr. 6.2. Pracovní prostředí programu Smart View 3.2.

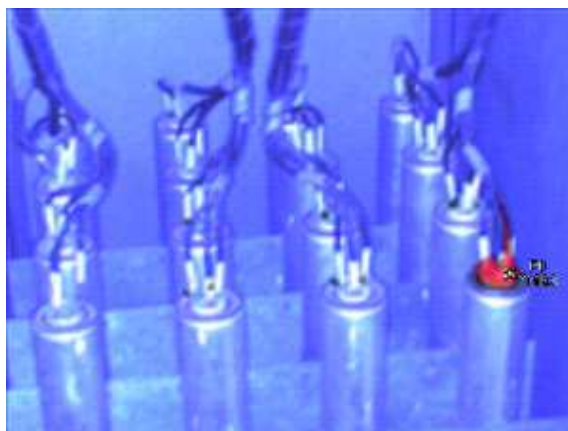
Ovládání a nastavování jednotlivých parametrů je velmi intuitivní. Jednotlivé snímky se musí naparametrovat, dle toho jak je potřeba s daným výstupem pracovat a co potřebujeme zdůraznit.

Celý vyhodnocovací proces začíná úplným popisem daného snímku:

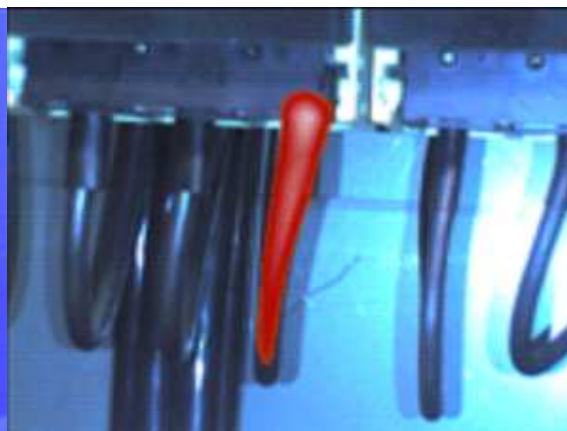
- Popis daného objektu
- Teplota okolí
- Informace ohledně snímaného materiálu (odhad emisivity)
- Případně jiné okolnosti z daného měření

Dále je potřeba dané oblasti zvýraznit, k tomu máme k dispozici geometrické výřezy a v těchto oblastech musíme nastavit správnou emisivitu. Podle nastavení emisivity je dále možné přesné stanovení teploty.

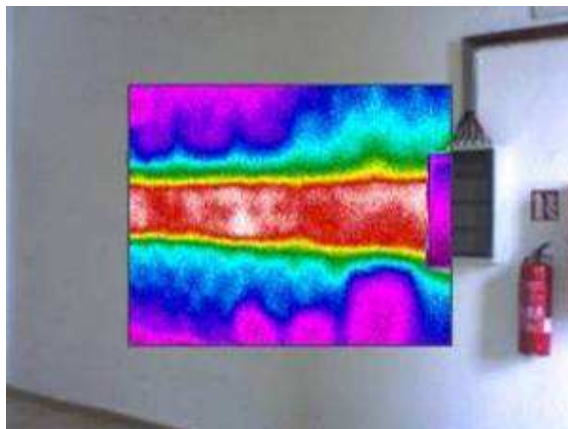
Pro zdůraznění hodnoty je možné teplotu průměrovat nebo zvýraznit minimum či maximum. Výběr správného barevného alarmu je důležitý pro zákazníka, neboť on potřebuje s přehledným snímkem pracovat a správně se orientovat v daném problému. Na obrázcích jsou uvedeny příklady možného grafického zvýrazňování problémů. Přidání komentáře nebo vyjádření je konečnou fází ve zpracování snímku. Výsledkem je termogram.



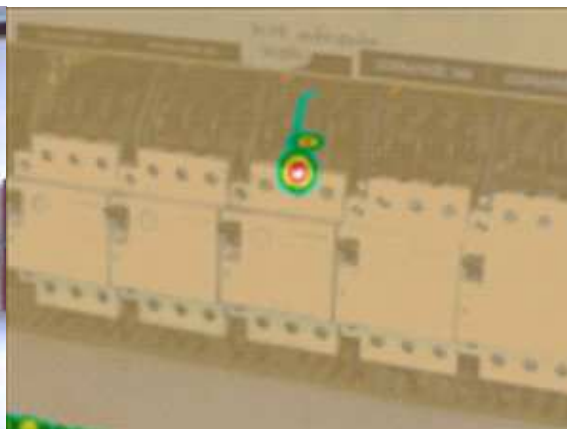
Obr. 6.3. Barevný alarm s popisem



Obr. 6.4. Barevný alarm bez popisu



Obr. 6.5. Vysoký kontrast a obraz v obraze



Obr. 6.6. Poloprůhledný termogram

7 Nepřesnosti termografického měření

Přesnost měření termokamerou ovlivňuje celá řada faktorů. Kromě přesnosti termokamery jako měřicího přístroje, je důležitá i použitá měřicí metoda, která závisí různou měrou na vlastnosti tělesa a na vlastnostech okolních látek.

Ovlivňující faktory:

- Emisivita
- Zkreslení
- Odrazy
- Lidský faktor
- Přesnost kamery

Mezi nejběžnější faktory, které ovlivňují výsledek termografického měření patří zkreslení. Je to útlum záření v atmosféře mezi objektem termovizním měřením, okolní prostředí vyzařující cizí záření, které termovize detekuje, přesně nastavená emisivita objektu a chyba způsobená samotným nastavením termokamery. Většinou se jedná o chybu spojenou se špatně nastavenou emisivitou a tím i špatnou výstupní měřenou teplotou. Obecně můžeme říci, že chyby rostou s vlnovou délkou měření a měřenou teplotou.

Termokamera je schopná měřit teplotu na povrchu měřeného objektu, nemůžeme však nahlížet dovnitř objektu a zkoumat jeho teplotu uvnitř. Mnohé materiály jsou pro lidské oko průhledné (např. sklo), ale nejsou transmisivní (propustné) pro vlnové infračervené záření. Naopak z vlastní zkušenosti znám materiál, který je neprůhledný a termokamera je schopná přes tento materiál měřit. Jedná se o mikrotenovou tašku. Určitě při snímání dochází k drobnému útlumu, ale zásadní negativní dopad to na měření nemá.

Pro největší přesnost měření, je vždy nutné odstranit všechny předměty z měřeného objektu. Pokud je pod měřeným povrchem nějaký tepelný zdroj, ovlivňující tepelné vlastnosti na povrchu měřeného tělesa, je často možné rozpoznat strukturu vnitřní konstrukce měřeného objektu.

Přesto kamera měří teplotu tělesa na povrchu. Přesná či odhadovaná teplota uvnitř tělesa není možná.

Tabulka 7.1 Výhody a nevýhody termografického měření

| Výhody měření | Nevýhody měření |
|--|--|
| <i>Na měřený objekt není žádný vliv (bezkontaktní měření)</i> | <i>Nutná znalost emisivity pro správné vyhodnocení teploty (někdy problém s odhadem)</i> |
| <i>Možnost měření nedostupných míst, rotujících těles nebo pohybujících se těles</i> | <i>Obtížné měření objektů s nízkou emisivitou</i> |
| <i>Možnost měření teploty z bezpečné vzdálenosti</i> | <i>Měření teploty pouze na povrchu tělesa</i> |
| <i>Možnost snímání a následné zobrazování teplotního pole tělesa v 2D a další možné zpracování</i> | <i>Neznalost správné hodnoty prostupnosti prostředí mezi čidlem a objektem</i> |
| <i>Možnost měření velmi malých a velmi velkých objektů</i> | <i>Parazitní modulace měřeného signálu propustností prostředí</i> |
| <i>Možnost měření i těles s velmi vysokou teplotou (teplota nad tavnou teplotou čidel)</i> | <i>Parazitní modulace měřeného signálu zářením pozadí</i> |
| <i>Možnost měření velmi rychlých změn teploty</i> | |

7.1 Kirchhoffův zákon

Pro infračervené záření naměřené termokamerou platí jisté zákonitosti. Tyto podmínky popsal pan Kirchhoff a vyjádřil je rovnicí

$$\varepsilon + p + T = 1 \quad (7.1)$$

ε - vysílané záření měřeného objektu

p – odraz okolního záření

T – předání záření měřeným objektem

Z praxe víme, že složka T je zanedbatelná nebo se vyskytuje pouze zřídka a proto jí můžeme z rovnice vypustit a tím si rozbor a vyhodnocení termogramu zjednodušit. Zůstane nám pouze vztah

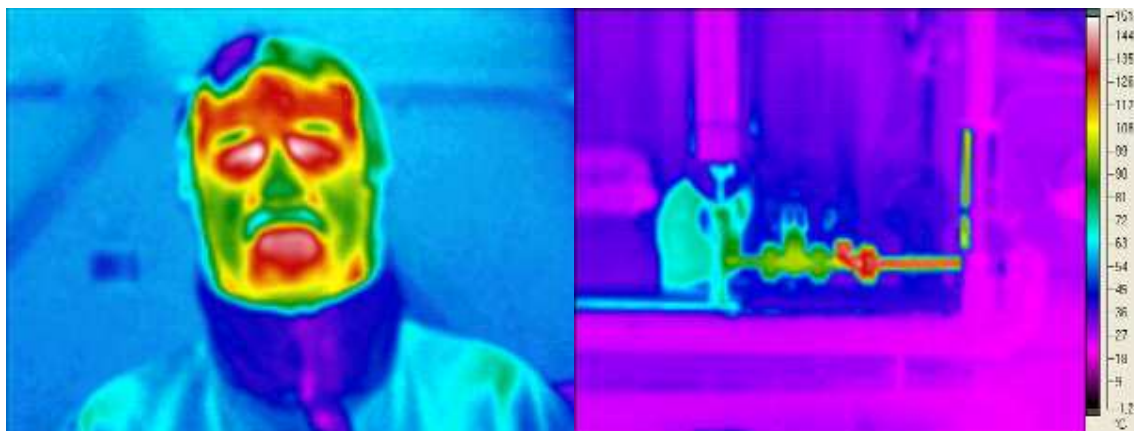
$$\varepsilon + p = 1 \quad (7.2)$$

Pro termografii nám vyplyne vztah, že čím nižší je stupeň emisivity, tím vyšší je podíl odraženého infračerveného záření. A to znamená, že určení teploty tělesa s nižší emisivitou je obtížnější a tudíž to může být i méně přesné. Z tohoto vztahu vyplývá, že určení emisivity neboli nastavení kompenzace odražené teploty je nejdůležitější příprava pro přesné určení teplotních bodů na měřeném tělese. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

8 Konkrétní příklady na vztah mezi odraženou teplotou a emisivitou

Měříme-li objekty s vyšším stupněm emisivity $\varepsilon > 0,8$, je měření a následovně vyhodnocování termogramu velmi snadnou záležitostí. Tyto oblasti jsou velmi dobře termokamerou měřitelné, protože mají velmi nízký stupeň odražené teploty.

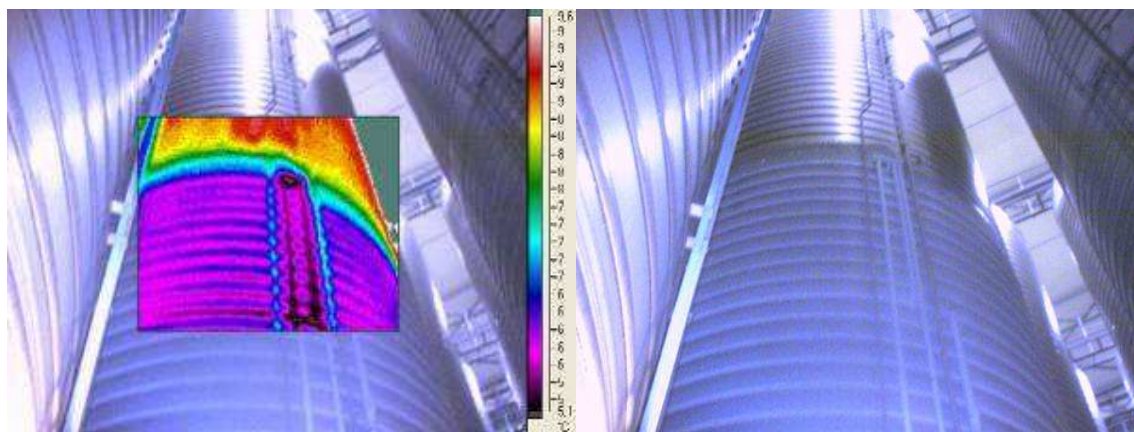
Příkladů je samozřejmě nejvíce, protože emisivita v tomto rozsahu je nejčastější. Příkladem je termogram (obr. 8.1 a Obr. 8.2), na kterém názorně vidíme jednotlivé tepelné oblasti.



Obr. 8.1 Lidská postava

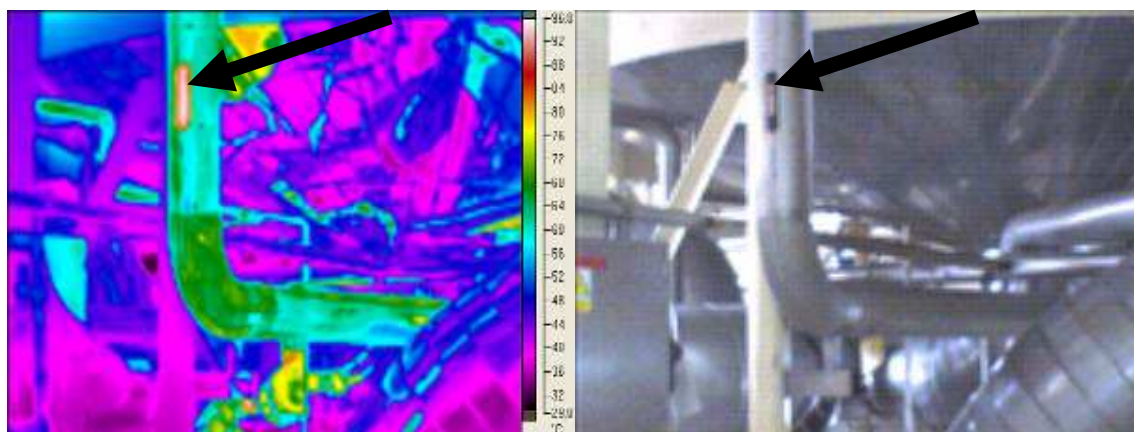
Obr. 8.2 Funkční kondenzátní odvaděč

Měříme-li objekty se středním stupněm emisivity $0,8 > \varepsilon > 0,55$, je měření obtížnější, protože měřené objekty mají střední stupeň odražené teploty. Tato emisivita je ještě dobře termokamerou měřitelná. Opět platí výše popsany vztah. Příkladem je chlazený nerezový tank (obr. 8.3).



Obr. 8.3 Hranice mezi chlazenou a nechlazenou částí tanku

Měříme-li objekty s velmi nízkým stupněm emisivity $\varepsilon \leq 0,55$, je měření možné, ale také velmi náročné. Výpočetní vztah platí opět, ale máme vysoký stupeň odražené teploty. Termokamerou je možné změřit teplotu objektu, ale výsledky musíme konzultovat nebo si musíme vypomoci jinou pomocnou metodou, např. Thermospotem. (Obr. 8.4 a obr. 8.5) Korektní nastavení kompenzace odražené teploty, neboli nastavení emisivity je nezbytně nutné, protože má velký podíl na výpočtu teploty.



Obr. 8.4 Nerezový materiál $\varepsilon=0,3-0,5$
Thermospot $\varepsilon=0,9$

Obr. 8.5 Viditelná část technologie
Thermospot = štítek na potrubí

Pokud jsou v praxi při měření velké teplotní rozdíly v měřeném okolí a měřeným objektem, je správně nastavená emisivita rozhodujícím kritériem správného měření.

9 Emisivita a její určení

Reálné zdroje záření nesplňují podmínku maximální absorpce okolního záření, tj. $\alpha=1$, nýbrž u nich pohltivost bývá menší než jedničková. Označují se, jako nečerná tělesa. Podle závislosti pohltivosti α na vlnové délce se rozdělují na „šedá“ a „selektivní“. Selektivním spektrem se vyznačují plyny, kdežto nejméně selektivní charakter vykazují pevné látky s neleštěným povrchem. Převzato z knihy „Měření teploty...“ [9]

Tab. 9.1 Základní rozdělení různých materiálů dle tabulkové emisivní hodnoty [5,6,7]

| Materiál | Povrch | Emisivita | | |
|----------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|
| | | 1 μm | 1,6 μm | 8 μm -14 μm |
| Hliník | nezoxidovaný | 0,1-0,2 | 0,02-0,2 | Nepoužívat |
| | zoxidovaný | 0,4 | 0,4 | 0,2-0,4 |
| Mosaz | lesklý | 0,8-0,95 | 0,01-0,05 | Nepoužívat |
| | zoxidovaný | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| Chrom | | 0,4 | 0,4 | Nepoužívat |
| Měď | lesklý | nepoužívat | 0,03 | Nepoužívat |
| | zdrsněný | nepoužívat | 0,05-0,2 | Nepoužívat |
| | zoxidovaný | 0,2-0,8 | 0,2-0,9 | 0,4-0,8 |
| Zlato | | 0,3 | 0,01-0,1 | Nepoužívat |
| Železo | zoxidovaný | 0,4-0,8 | 0,5-0,9 | 0,5-0,9 |
| | nezoxidovaný | 0,35 | 0,1-0,3 | Nepoužívat |
| | korodovaný | nepoužívat | 0,6-0,9 | 0,5-0,7 |
| | roztavený | 0,35 | 0,4-0,6 | nepoužívat |
| Olovo | lesklý | 0,35 | 0,05-0,2 | nepoužívat |
| | zdrsněný | 0,65 | 0,6 | 0,4 |
| | zoxidovaný | nepoužívat | 0,3-0,7 | 0,2-0,6 |
| Platina | černý | nepoužívat | 0,95 | 0,9 |
| Stříbro | | nepoužívat | 0,02 | nepoužívat |
| Ocel | válcovaný za studena | 0,8-0,9 | 0,8-0,9 | 0,7-0,9 |
| | plech | nepoužívat | nepoužívat | 0,4-0,6 |
| | lesklý plech | 0,35 | 0,25 | 0,1 |
| | roztavený | 0,35 | 0,25-0,4 | nepoužívat |
| | zoxidovaný | 0,8-0,9 | 0,8-0,9 | 0,7-0,9 |
| | nerez | 0,35 | 0,2-0,9 | 0,1-0,8 |
| Zinek | zoxidovaný | 0,6 | 0,15 | 0,1 |
| | lesklý | 0,5 | 0,05 | nepoužívat |

Emisivita je bezrozměrná veličina, jejímž výsledkem je číslo od 0 do 1. Tento zadaný parametr je nejdůležitější při termovizním měření, neboť je jedním z hlavních kritérií správného měření.

Emisivitu $\varepsilon < 1$ mají všechny reálné předměty. Nejčastější emisivita je 0,9 - 0,95 a to u těles šedých. Čím je energie vyzařovaného tělesa při konstantní teplotě nižší, tím je nižší i emisivita. Pokud těleso vyzařuje pouze 40% energie s porovnáním vyzařované energie absolutně černého tělesa je emisivita 0,4. Důležité je zjištění a správné určení emisivity daného měřeného objektu. Výstupem měření je určení přibližné teploty objektu.

Pokud se emisivita určí nebo odhadne nesprávným způsobem je i vyhodnocení odlišné od skutečné hodnoty. Emisivitu můžeme určit dle tabulek (Tab. 9.1) nebo experimentálně.

Druhá metoda je založena na vlastnosti Thermospotu. Thermospot je samolepící speciální barevný štítek, který má pevně stanovenou emisivitu $\varepsilon = 0,96$. Štítek zaručuje kontinuální přenos teploty měřeného objektu a tím se po zadání emisivity určí přesná teplota objektu na thermospotu. Thermospot se využívá pro měření na malých plochách. Na větších plochách můžeme thermospot nahradit speciální barvou.

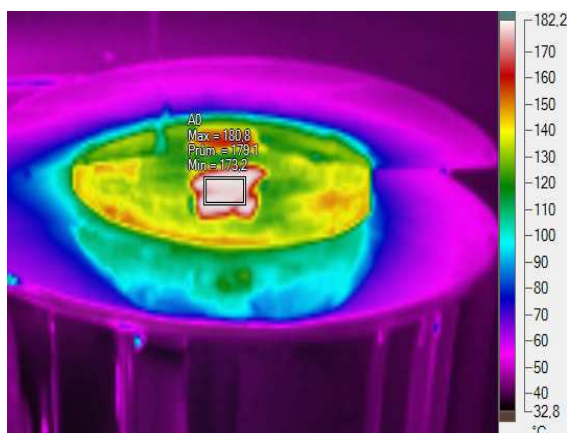
9.1 Thermospot – porovnání

Určení emisivity na snímaném materiálu je jednou z nejdůležitějších činností pro správné vyhodnocení termogramu. Zjištění emisivity je těžké i v laboratorních podmínkách a v rychlých provozních podmínkách je to nemožný úkol. Pomoc je možná pomocí thermospotu a jeho využití na lesklých materiálech či jinak emisivně odlišných materiálech. Jako thermospot je možno použít materiálů s emisivitou kolem 0,8-0,9 jako je například popisovací štítek, izolace vodiče, barva na pasových vodičích v rozvaděči, atd. Pokud není možno použít doplňkových materiálů, je nutné si takový bod udělat a na něm si aspoň přibližně kalibrovat emisivitu pro další vyhodnocování. Takto lze použít například sprej, ideálně černý matný. Problematika thermospotu je zajímavá a proto byl proveden pokus a srovnání jednotlivých materiálů jako thermospot.

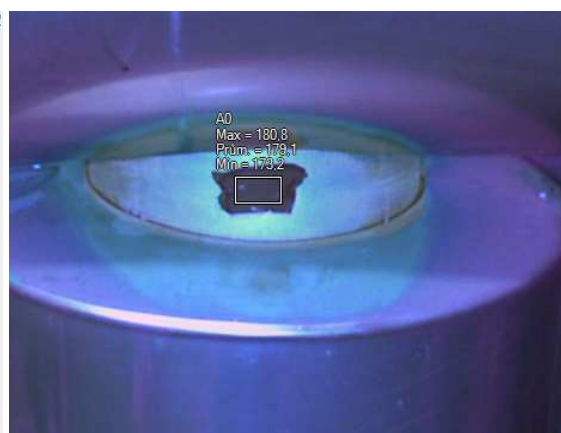
Snímání bylo provedeno termokamerou Fluke, teplota materiálu byla měřena dotykovým čidlem FTA109PH s rychlou odezvou, měřicí rozsah: -50°C až $+500^{\circ}\text{C}$.

Jako testovací materiál byl použit:

- 1) Sprej – tmavě modrý
- 2) Profesionální materiál k použití jako thermospot pro termokamery. Bohužel pouze v omezené míře, protože víc se nepodařilo sehnat.
- 3) Elektroizolační páska z PVC – černá
- 4) Elektroizolační páska z PVC – bílá
- 5) Štítek - již nalepen pouze na jednom testovacím materiálu



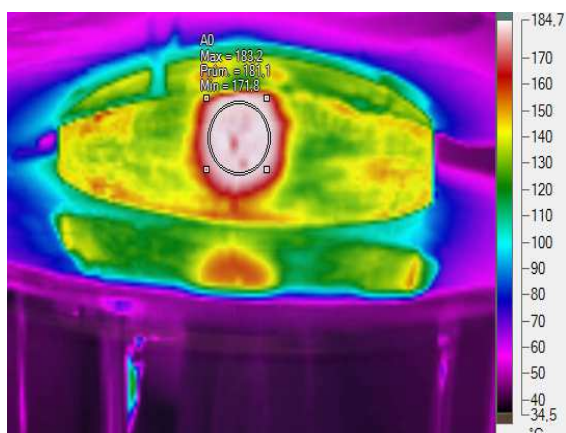
Obr. 9.1 Termogram parního potrubí
177,8°C - profesional



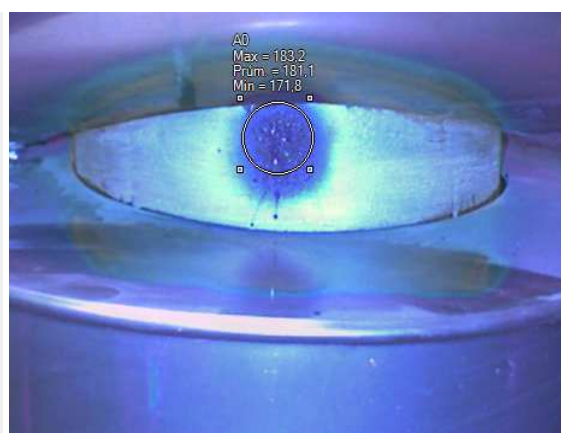
Obr. 9.2 Viditelný obrázek parního
potrubí natřené stříbřenkou

První teplota byla zvolena nejvyšší a to na parním potrubí. Dotykovým čidlem byla naměřena hodnota 177,8°C a materiál železo - natřené stříbřenkou. Jako thermospot jsme použili profesionální dva zbytky, které byly nalepeny na potrubí. Ihned po nalepení došlo k postupné degradaci thermospotu a po pár minutách byl úplně zničen. Dle tabulky 9.2 se naměřené hodnoty mírně lišily od skutečné hodnoty.

Další pokus byl proveden sprejem. Bohužel označení sprejem je neodnímatelné, ale pro tento teplotní rozsah je nejvíce vhodné. Teplota se opět lišila od skutečné teploty viz.tabulka 9.2.

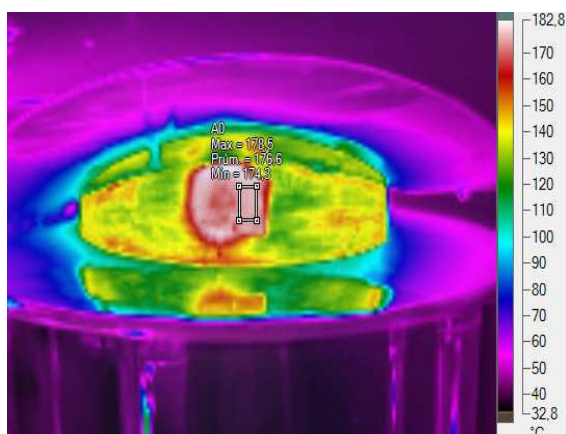


Obr. 9.3 Termogram parního potrubí
177,8°C - sprej

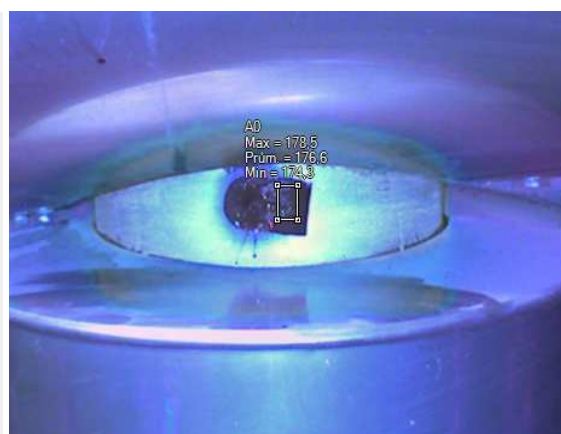


Obr. 9.4 Viditelný obrázek parního
potrubí natřené stříbřenkou

Poslední pokus při teplotě 177,8°C byl proveden s černou PVS páskou. Páska byla nalepena i přes sprejový thermospot. Bohužel nastala okamžitá degradace materiálu a na snímku je vidět pouze kousek pásky s teplotou viz.tabulka 9.2.

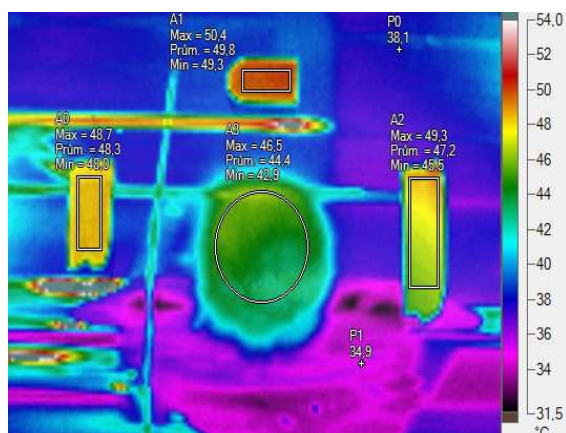


Obr. 9.5 Termogram parního potrubí
177,8°C – PVC páska

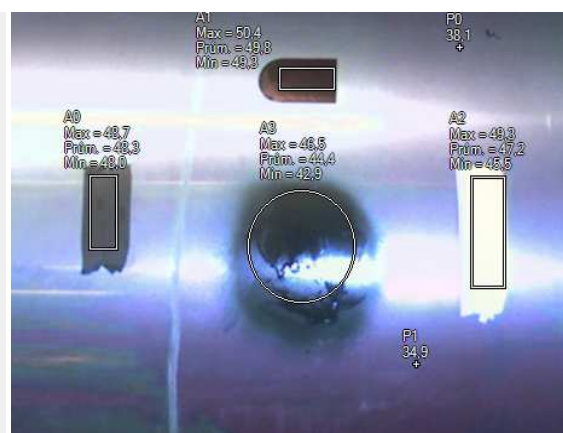


Obr. 9.6 Viditelný obrázek parního
potrubí natřené stříbřenkou

Další teplota byla na povrchu nerezové izolace parního potrubí, kde dotykovým teploměrem byla naměřena teplota 51,5°C. Nahoře je profesionální thermospot, na levé straně černá páska z PVC, na pravé straně bílá páska z PVC a uprostřed sprejová značka. Výsledky jsou použity v tabulce 10.2

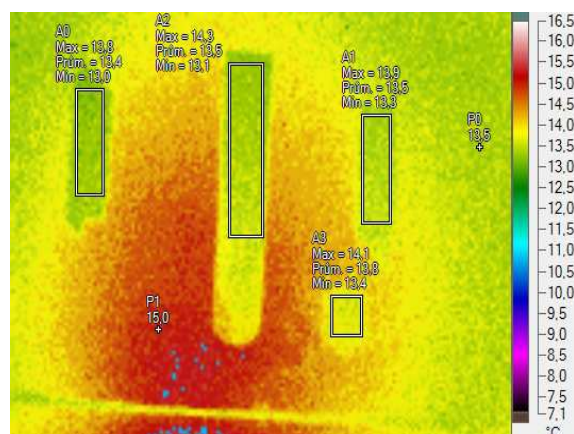


Obr. 9.7 Termogram izolace parního potrubí 51,5°C

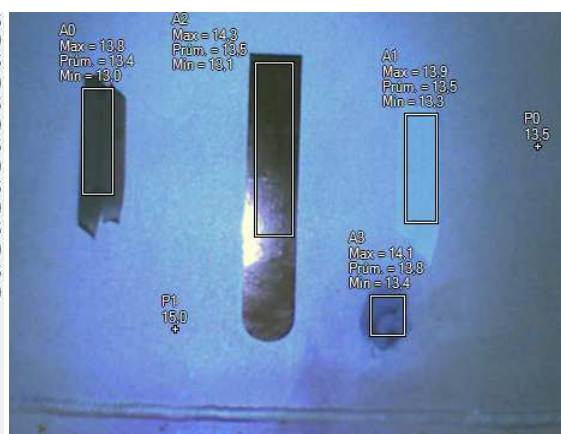


Obr. 9.8 Viditelný obrázek parního potrubí natřené stříbrenkou

Teplotu jsme snížili a pokračovali na nerezovém tanku s teplotou 9,5°C. Na levé straně je použita černá páska z PVC, uprostřed profesionální thermospot, na pravé straně bílá páska z PVC a pod bílou páskou menší bod sprejem. Výsledky jsou použity v tabulce 9.2

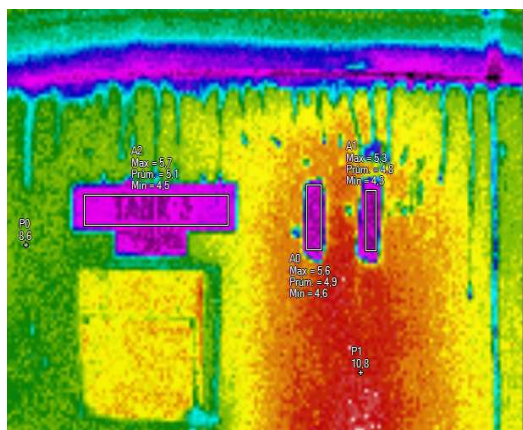


Obr. 9.9 Termogram tanku 9,5°C viditelné různé odrazy materiálu



Obr. 9.10 Viditelný obrázek nerezového materiálu

Poslední pokus byl proveden na teplotě 3,3°C a materiál stejný jako v předešlém měření. Bohužel jsem už neměl k dispozici profesionální thermospot a proto jsem zvolil měření z přední části, kde jsem použil již nalepený štítek. Bohužel jsem opět nemohl použít sprejový bod. Výsledky jsou opět v tabulce 9.2.



Obr. 9.11 Termogram tanku 3,3°C
viditelné různé odrazy materiálu



Obr. 9.12 Vidi tečný obrázek nerezového
materiálu

Tab. 9.2 Přehled použitých materiálů pro thermospot na konkrétních teplotách

| Teplota naměřená dotykovým teploměrem | | 177,8°C | 51,5°C | 9,5°C | 3,3°C | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|--------|-------|-------|-----|
| Thermospot | profesionál | prům.teplota | 179,1 | 49,8 | 13,5 | |
| | sprej | prům.teplota | 181,1 | 44,4 | 13,4 | |
| | černá PVC páska | prům.teplota | 176,6 | 48,3 | 13,4 | 4,8 |
| | bílá PVC páska | prům.teplota | | 47,2 | 13,5 | 4,9 |
| | štítek | prům.teplota | | | | 5,1 |

Z tabulky lze vyvodit zajímavý závěr. Profesionální thermospot má hodně podobné vlastnosti jako černá páska z PVC a tudíž je pro naše potřeby páska vhodná a může nahradit sprej, který byl do této chvíle používán. Sprej je také vhodný, ale má negativní vlastnost. Sprej nelze bez problémů odstranit. Bohužel na teplejší materiály je vhodný pouze sprej, pro jeho stálost a možnost opakování měření.

10 Základní možnosti využití termografické diagnostiky

Využití termografické metody je velmi široké. Základem je správné použití a nastavení správných parametrů, které jsou nezbytné pro kvalitní výstup z naměřených hodnot. Možným způsobem je zpracování postupu pro jednotlivá měření. Tím je možno omezit možnost lidského ovlivnění měření. Dalším výhodou je možnost opakování měření, kdy máme nastaven pracovní postup nastavení i postup vyhodnocení. Takovéto výstupy měření je možné

vyhodnocovat s nejlepší přesností, protože vývoj na jednom měřícím bodě je měřitelný a vyhodnocovací závěr nejpřesnější. Jelikož je pro přesné měření nejdůležitější nastavení emisivity daného objektu, je velmi výhodné si emisivity ukládat do daného měření nebo jednotlivých měřících postupů.

Jednotlivé oblasti:

- Energetika je jedním z nejširších odvětví, kde je bezkontaktní měřící způsob termografické metody možné využít. Teplárny, rozvodné sítě, výroba energie i její transport k zákazníkovi je oblast málo dostupných i nebezpečných míst pro samotný kontakt s jakýmkoliv cizím měřícím tělesem. Lokalizace vadných spojů na VN rozvodech nebo potrubní rozvody.
- Elektronický průmysl, kde je důležité sledovat rozložení teploty mikroelektronických obvodů.
- Automobilový průmysl, kde je možné správně vyhodnotit rozložení teploty v okolí motoru automobilu, motocyklů.
- Těžký průmysl, hutní průmysl a strojírenství jsou odvětví, kde je možné kontrolovat stav důležitých zařízení. Například měření rozložení teploty na pláštích průmyslových pecí. Jednotlivé procesy a pracovní postupy jsou vhodné pro kontrolování termografickým způsobem.
- Chemický průmysl je vhodný pro bezkontaktní způsoby měření a zajištění správných technologických postupů.
- Potravinářský průmysl je odvětví pro velmi široké použití termografické metody a jiných bezkontaktních způsobů měření jednotlivých oddělení. Praktické příklady budou právě z tohoto odvětví.
- Stavebnictví a bydlení je asi nejznámější a možná nejvíc zveřejňovaná oblast. Lokalizace úniku tepla a zjišťování tepelných ztrát povrchem na vytápěných objektech. Tepelné ztráty, tepelné mosty, kontrola zateplení a další zajímavé úniky či prostupy tepla z praktického hlediska.
- Kriminalistika, policie nebo vojenská technika. Hledání osob, identifikace dle teploty v špatně dostupných terénech.

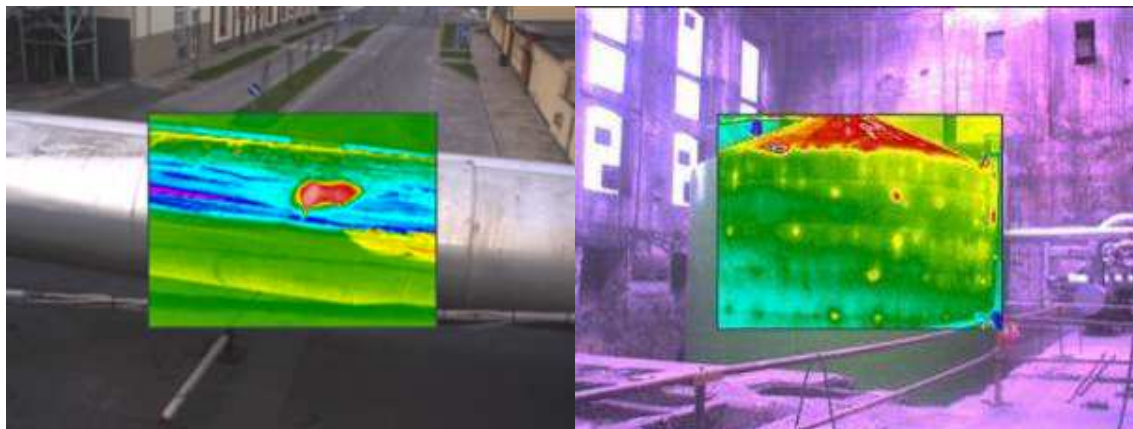
V neposlední řadě je to i například zdravotnictví, ve kterém se kontroluje rozložení teploty na živých objektech. Například vyšetření a kontrola křečových žil či zjišťování nádorových onemocnění. Převzato z knihy „Detektory pro bezdotykové...“ [8]

11 Možnost využití termografické metody v Plzeňském Prazdroji a.s.

V rámci preventivní údržby se Plzeňském Prazdroji a.s. používá i termografická metoda měření a její vyhodnocování. Jedná se o podporu pro výrobní i nevýrobní oblasti, kde se může preventivně odhalit skrytá závada, která není jednoznačně prokazatelná ve viditelném spektru. Vzhledem k širokým možnostem použití popíší pouze ty, které mám ve své databázi měření a mohu je dokladovat termogramem, fotografií i dalšími podrobnostmi vzniku.

Kontrola potrubního systému je jedním z prvních dokladovatelných měření, které jsme prováděli. V Plzeňském Prazdroji a.s. se nachází kilometry potrubí, které jsou v kolektorech, ve sklepních prostorech, pod zemí ale i v potrubních mostech či jinak vedoucích trasách nad zemí. Většinou se jedná o parní a kondenzátní rozvody, teplá a studená voda a v neposlední řadě pivovody. Jelikož je potrubí z větší části nerezové, je problematické nastavení emisivity. Problém nastává ve venkovní části vedení potrubí, protože je všude použité izolační souvrství a vrchní část izolace je hliník a nerez, který spadá do emisivní oblasti 0,1 až 0,6 dle typu a stáří izolace. Proto se na některých místech použil Thermospot pro správné určení teploty jednotlivé oblasti měřeného objektu (obr. 11.1).

Do tohoto typu měření spadá i měření nádrží, tanků, či jiných objektů skladujících kapalné, tuhé nebo plynné medium. Na potrubním systému a nádrži je možné zjišťovat stav izolace (obr. 11.2).

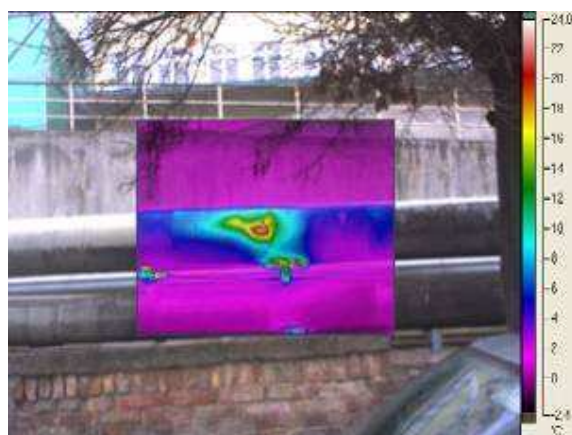


Obr. 11.1 Použití Thermospotu $\epsilon = 0,9$
Nerezová izolace $\epsilon = 0,5$

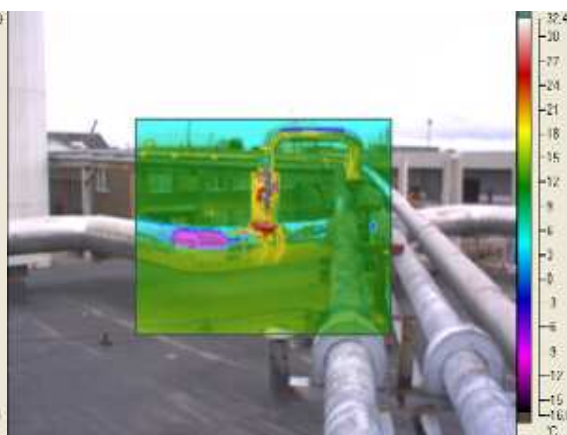
Obr. 11.2 Špatný stav izolace v horní
části nádrže na teplou vodu

Stav izolace je informace velmi užitečná, ale mnohdy nemusí být problém v izolaci, ale například v potrubním uložení (obr. 11.3). Ne všechny části potrubních rozvodů je možné

izolovat, ale to je na rozhodnutí odpovědných osob, jestli například uzávěr musí být venku a na tom místě, či nikoliv (obr. 11.4).



Obr. 11.3 Vadná izolace a tepelný most na upevňovací konzoli



Obr. 11.4 Uzavírací ventil ve venkovní části

Termovize byla k dispozici i při kontrole potrubí při odsávání NH₃ (obr. 11.5). Informace o stavu media uvnitř potrubí dala přesnější odpověď na zbytkové množství NH₃ v potrubním rozvodu. Při kontrole zamrzlé nádrže na mláto bylo pomocí termokamery snadno viditelné rozhraní zamrzlé části od horní části (obr. 11.6). Mláto se rozehrívало pomocí horké vody, proto je horní část teplejší.



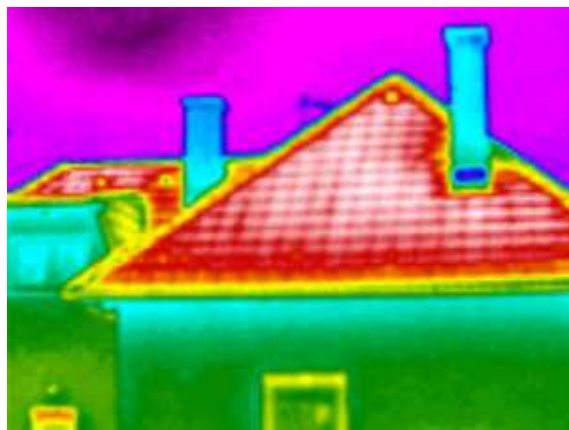
Obr. 11.5 NH₃ v potrubí



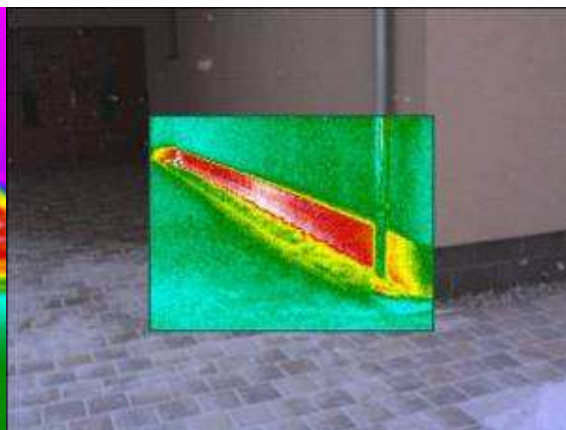
Obr. 11.6 Zamrzlá nádrž na mláto

Další oblastí je kontrola objektů. Vyhledávání problematických míst je vlastně shrnutím toho, na co se zaměřovat. Vezmeme-li objekty od střechy po sklep nebo od

venkovních částí až po vnitřní část, najdeme zde problémy týkající se široké oblasti použití termovizního systému. Problém s odlišnou hodnotou emisivity v této oblasti skoro není, protože převážná většina materiálů je v emisivní oblasti $\varepsilon = 0,95$. Problematická část je pouze skelní výplň a jeho plastový rám. Jednoduše lze pak odhalit špatně provedené zateplení (obr. 11.7) nebo špatně odvedené stavební práce. (obr. 11.8).

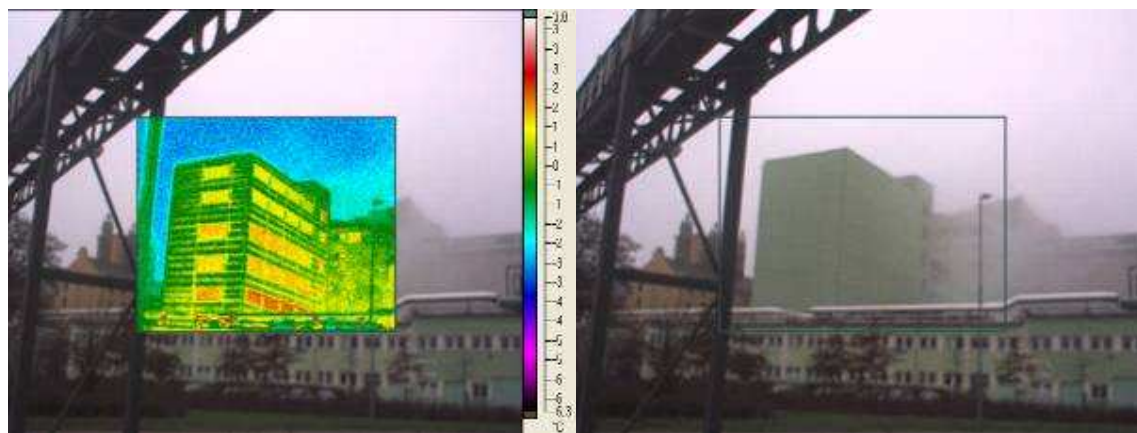


Obr. 11.7 Únik tepla střechou domku



Obr. 11.8 Tepelný most v rodinném Domku

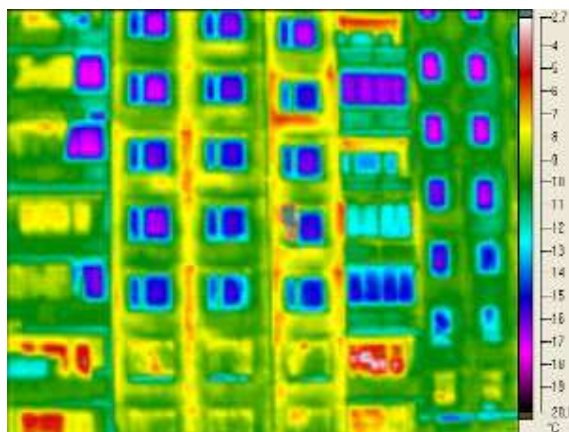
Infračervená technologie snímání teploty pouze na povrchu tělesa. V některých případech je zřejmé, že právě teplotní děje uvnitř měřeného tělesa jsou příčinou změny teploty na povrchu (obr. 11.9 a obr. 11.10). Tyto úniky lze velmi dobře hledat i vyhodnocovat.



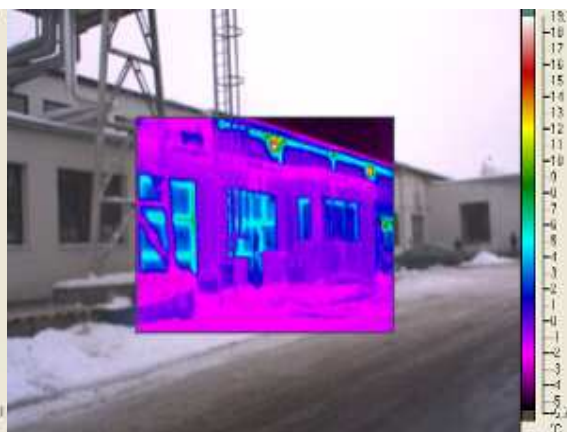
Obr. 11.9 Teplotní rozdíly v jednotlivých patrech budovy

Obr. 11.10 Objekt bez montážních otvorů

Můžeme také upozornit na únik energie, či jiný tepelný most v měřeném objektu. Finanční ztráty, které lze dokladovat termogramem (obr. 11.11), ale i výpočtem je vhodné odstraňovat nebo aspoň se jich vyvarovat při dalších investičních akcích (obr. 11.12).



Obr. 11.11 nezaizolovaný panelový dům

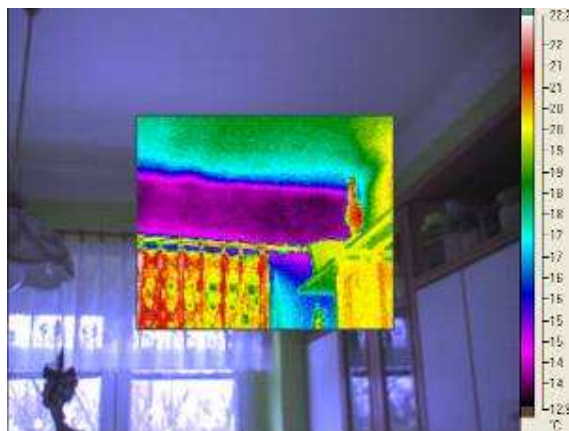


Obr. 11.12 Úniky pod střešní částí

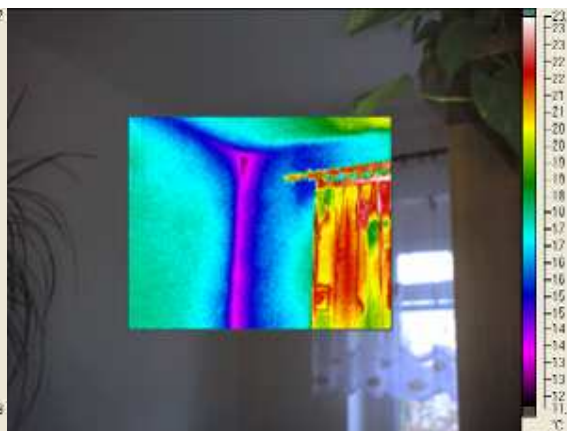
Tyto úniky lze velmi dobře vyčíslit i finančně, pomocí převodu unikající energie na finanční ztráty. Nejlepším výstupem po odstranění příčiny úniku je úspora finančních prostředků. Takto se dá lehce vypočítat návratnost vložených prostředků do investice pro odstranění nebo zlepšení identifikovaných problémových oblastí.

Můžeme odhalit plesnivějící zeď. Problém je spojený s relativní vlhkostí uvnitř a rosným bodem v určitých momentech. Termokamera dokáže při správném používání zjistit nejchladnější místa uvnitř místnosti (obr. 11.13). Změříme-li rosný bod a jeho hodnota je vyšší než nejnižší naměřená hodnota termokamery

, dojde ke kondenzaci. Na určitých místech pak začíná kondenzovat voda a následně zde vzniká plíseň. Odstraňování je vždy individuální, ale termokamera dokáže specifikovat problémové oblasti (obr. 11.14).



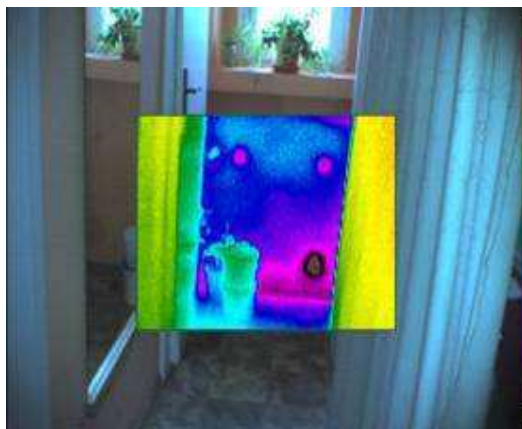
Obr. 11.13 Tepelný most nad oknem



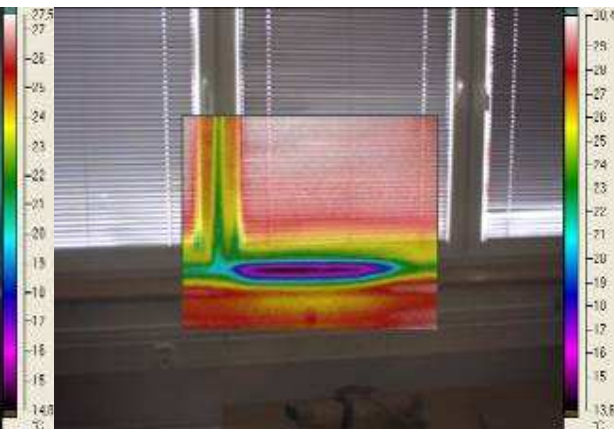
Obr. 11.14 Chladnější vnitřní oblasti bytu

Nekvalitní stavební úpravy z minulosti lze snadno identifikovat pomocí termovize (obr. 11.15). Správná montáž s využitím certifikovaných materiálů a postupů zaručí

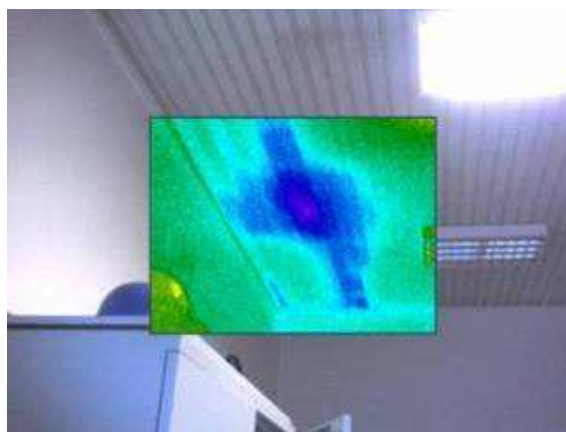
optimální výsledky (obr. 11.16). Kvalitní seřízení plastových oken je nedílnou součástí správné montáže.



Obr. 11.15 Špatně zazděné montážní otvory



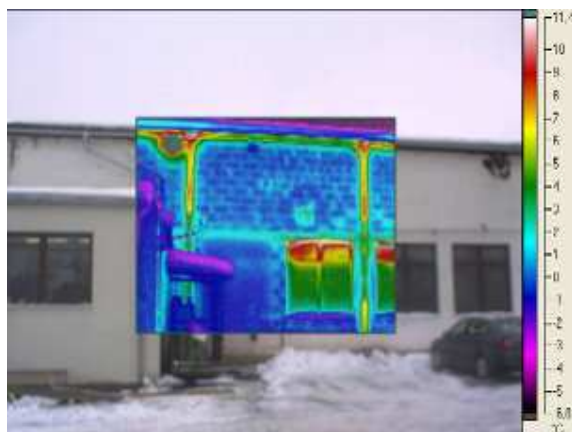
Obr. 11.16 Neseřížené plastové okno



Obr. 11.17 Kapající voda ze stropu kanceláře, příčina ale začíná u stěny.



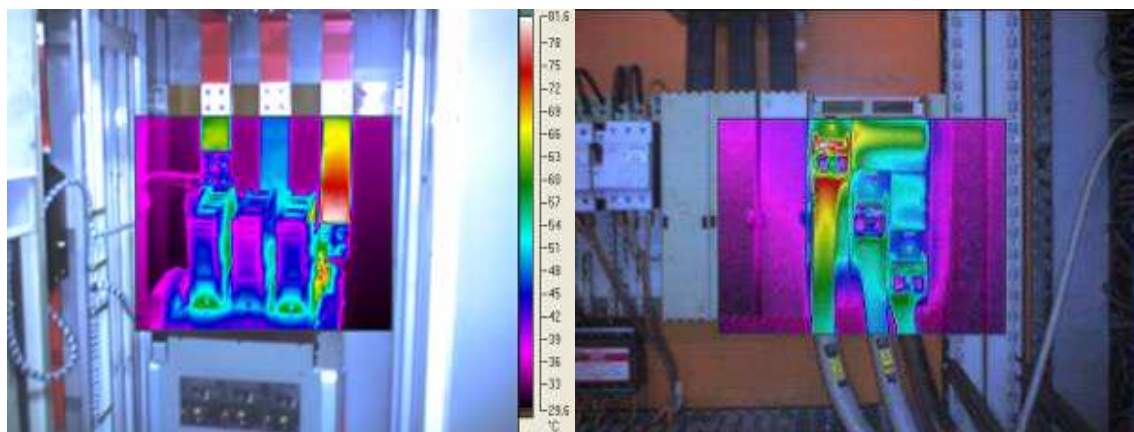
Obr. 11.18 V horní části problém s tepelným únikem a vnitřní stěna je vlhká



Obr. 11.19 a Obr. 11.20 Tepelné mosty, tepelný únik pod střechou a velká vlhkost nově postavené stěny

Největší a nejrozsáhlejší kapitolou je kontrola elektro výzbroje v rozvaděčích. Zde se vyskytuje největší problém s načasováním měření, protože elektro součásti uvnitř rozvaděčů nebo rozvodnách, musí být pod zatížením a v provozním stavu. Načasování měření je problém spojený s plánováním práce a rozpisem plánování výroby.

Další problém je spojený s určováním emisivity. Střídají se zde pasové vodiče z leštěného hliníku $\varepsilon = 0,2$ a šedá tělesa s emisivitou $\varepsilon = 0,95$. Problém s nárůstem je způsoben velkým přechodovým odporem, který může přerůst do velkého teplotního nárůstu. Prochází-li takovým místem desítky, stovky až tisíce ampérů, je teplota úměrná vzniklému odporu na špatném přechodu svorky. Lokální ohřev pak může způsobit až destrukci vedení, spojení nebo zařízení.

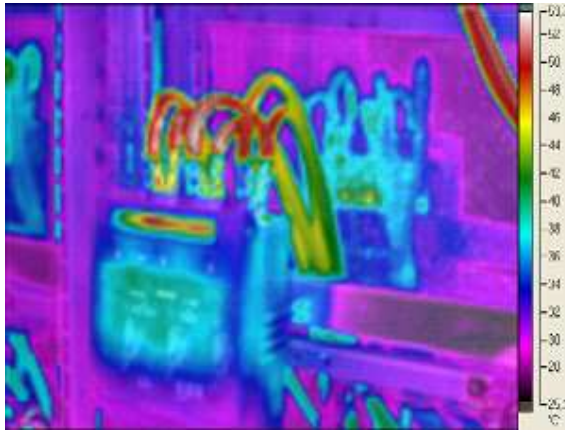


Obr. 11.21 Problém na 3. Fázi

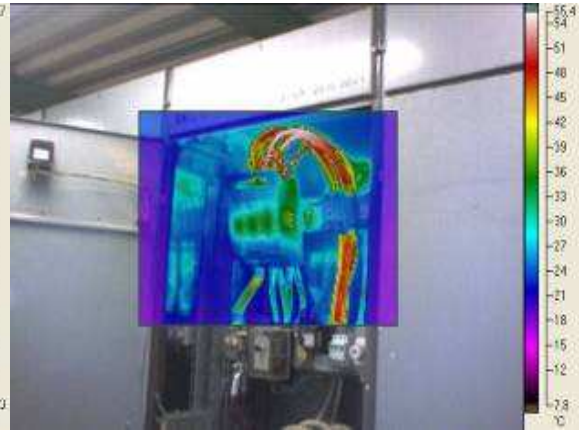
Obr. 11.22 Špatný kontakt na svorce

Velká výhoda kontrola elektro-výzbroje rozvaděčů je vyhledávání změn či problémů již v samotném počátku, což má vliv na ekonomiku provozu. Při klasifikaci oteplení svorek je důležité, aby svorka byla co nejvíce zatížená (ideální stav 100%).

Spojení, které je v pořádku, by nemělo být teplejší, než vodič na který jsou spoje připevněné. Problém je spojen jak s kontrolou kabelů na svorkovnici, tak i dimenzování kabelového vedení a napájení pro jednotlivé oblasti.

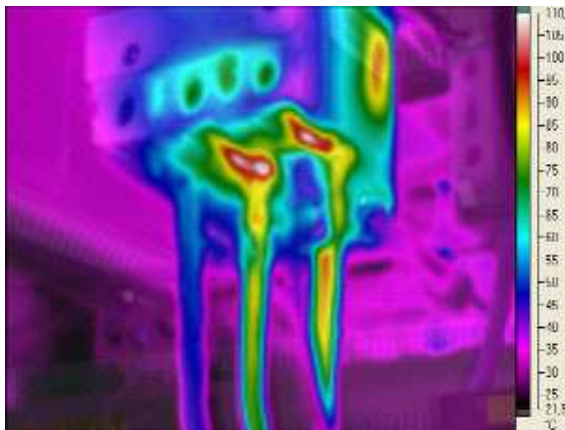


Obr. 11.23 Ohřev přívodního kabelu



Obr. 11.24 Přívodní kabelové vedení je poddimenzováno.

Při vyhledávání problémů v oblasti nedokonalého spojení dvou vodičů, kterými protéká elektrický proud, je hlavním kritériem změna teploty oproti ostatním spojům neboli tepelný rozdíl. Nejlepší důkazem je rostoucí nebo klesající trend. Samozřejmostí je zpětná kontrola opraveného spoje a vyhodnocení kvality opravy.

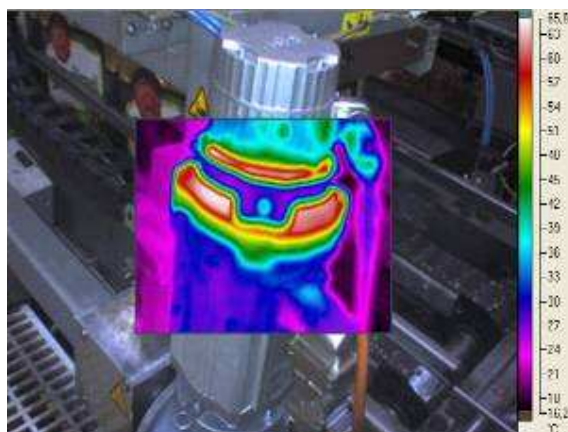


Obr. 11.25 Špatný kontakt na svorce



Obr. 11.26 Problém je dokonce i viditelný

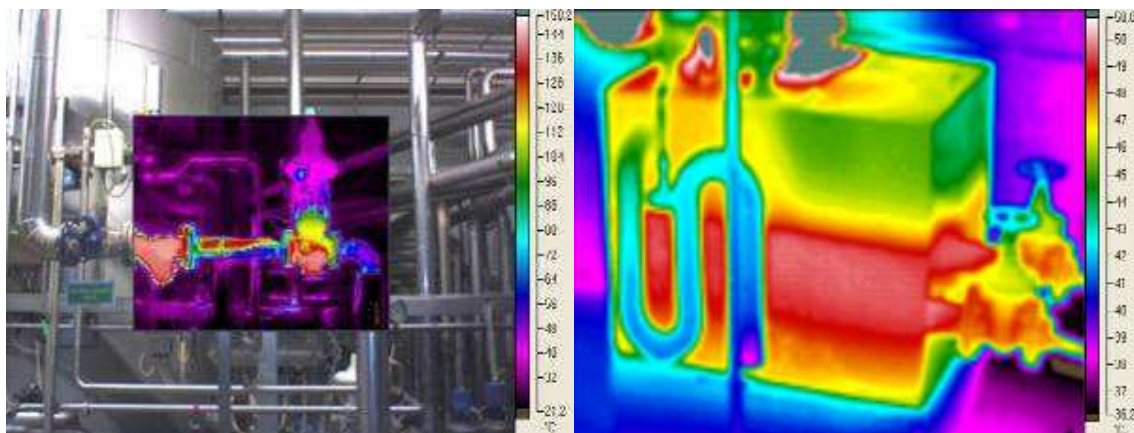
Kontrola točivých i netočivých strojů je další menší oblastí. Jelikož v Plzeňském Prazdroji a.s. používáme vibrační diagnostiku, je tato oblast pouze okrajovou záležitostí. Pomocí vibrodiagnostiky jsme schopni zjistit problém v točivé části ještě před tím, než začne vznikat velké tření a tím se začne ložisko ohřívat. Příkladem je špatně seřízená brzda jako na obr.11.27.



Obr. 11.27 Špatně seřízená brzda na pohonu

Vzhledem k rozsáhlému používání páry a tím i zpětné vracení kondenzátu se jeví tato oblast jako jedna z nejdůležitějších. Dodávka páry potrubním systémem je už popsána výše. Nejlepší předání parní energie při ohřevu, zamezení úniku páry a vrácení neznehodnoceného kondenzátu je velmi těžký úkol. S tím je spojena myšlenka, která byla uvedena již v úvodu - co nejlepší využití energie a nalezení problematických míst.

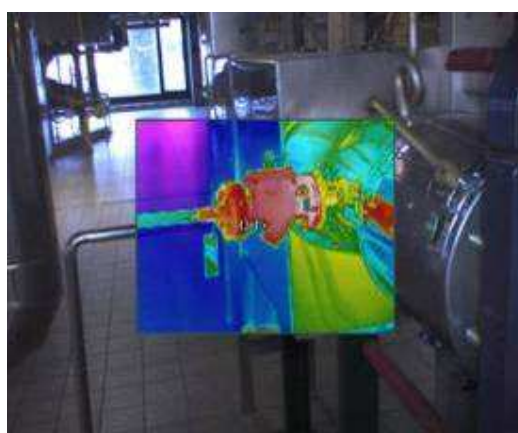
Při ohřevu ve výměňkových stanicích se termokamera používá pouze jako doplněk kamery do potrubí, která nám odhalí vnitřní problémy, aniž bychom museli složitě cokoli rozebírat. Avšak je nepostradatelná při kontrole propustnosti nebo úplného zavření uzavíracích či regulačních ventilů.



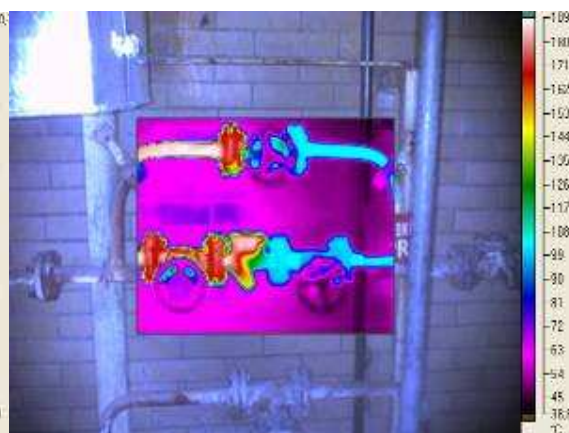
Obr. 11.28 Kontrola funkčnosti uzavíracího ventilu.

Obr. 11.29 Nezaizolovaná kondenzátní nádrž.

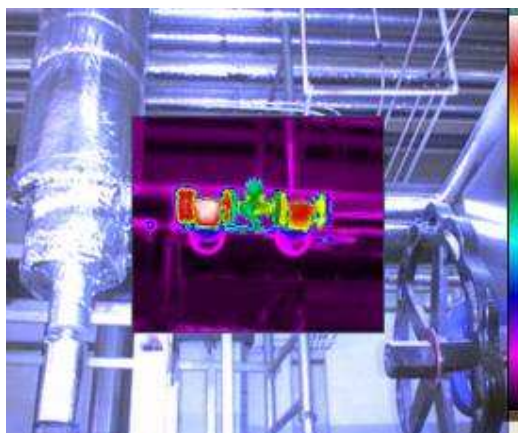
Po využití parní energie je potřeba zkontrolovat kondenzátní odvaděče. Kondenzátní odvaděče kontrolujeme ultrazvukovým přístrojem firmy ADASH a termokamerou. Přístroj ADASH umí stoprocentně kontrolovat pouze kondenzační plovákové odvaděče. Systém je založen na poslechu pohybu plováku uvnitř odvaděče. U plovákových kondenzátních odvaděčů je termokamera pouze doplňkovou metodou, ale u ostatních odvaděčů je termokamera hlavní prostředkem pro kontrolu. Problém spočívá ve funkci odvaděče, ten musí zajistit kondenzaci před odvaděčem a výstupem musí být pouze kondenzát. Pokud je odvaděč nefunkční, energie ohřevu páry se nepředává pouze ve výměníku, ale ohřívá i kondenzátní potrubí. Tím zbytečně platíme za ohřev, který nechceme.



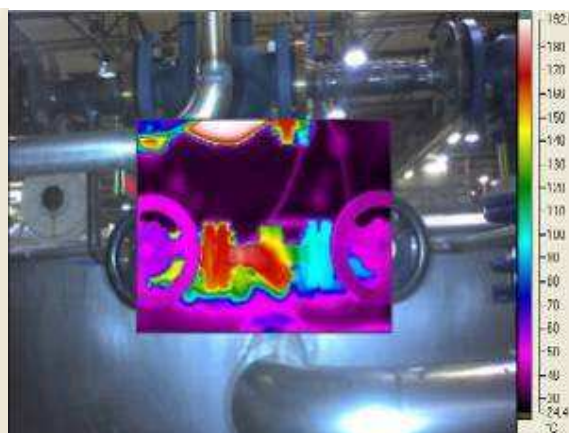
Obr. 11.30 Nefunkční kondenzátní odvaděč



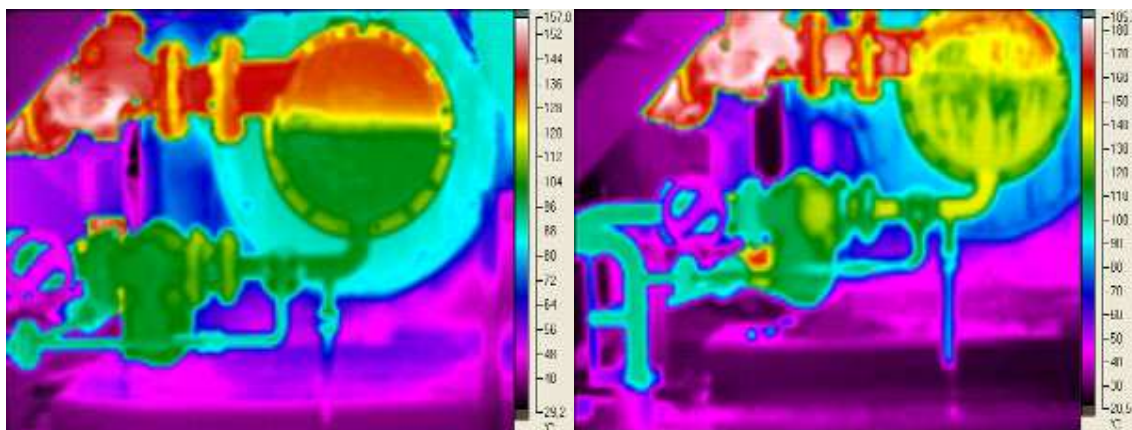
Obr. 11.31 Funkční kondenzátní odvaděč



Obr. 11.32 Nefunkční kondenzátní odvaděč



Obr. 11.33 Funkční kondenzátní odvaděč



Obr. 11.34 Funkční parní vytápění

Obr. 11.35 Nefunkční parní vytápění

11.1 Úspora energie

Použití termokamery v praxi je rozsáhlé a určitě by se daly najít různorodé možnosti využití. Jedno z konkrétních výstupů může být i použití termovize při šetření energií. Konkrétně, využití termogramu při výpočtu energetických ztrát.

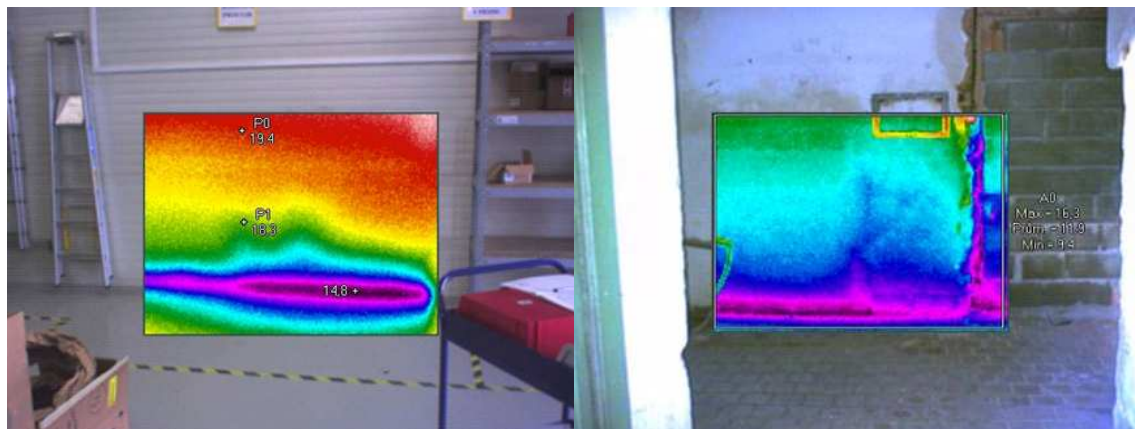
V historii užívání termokamery v PP a.s. jsem vypracovával dva velké projekty šetření energií při využití termogramu. Bylo nutno co nejpřesněji zpracovat plýtvání energií, její převedení na konkrétní číselné hodnoty a připravit porovnání a délku návratností investovaných a ušetřených finančních prostředků. Uvedený příklad je pouze obecné řešení konkrétního problému, kde jsou vynechány číselné údaje a délka návratnosti investic.

Určitý typ surovin, skladovaných v prostorách PP a.s., potřebuje skladovací teplotu 3-5 °C. Vzhledem k navýšení objemu vařeného piva, bylo nutno skladovací místo rozšířit a upravit k navýšení skladových zásob. Stavební práce proběhly dle navržených minimálních úprav, ale během provozování byly náznaky určitých provozních problémů:

- Velký nárůst spotřebované energie
- Namrzání a nabalování ledu na vnitřním potrubí – zhoršený přenos chladu
- Větší spotřeba tepla - ve vedlejší místnosti
- Nárůst plísně na zdivu
- Zvýšená koroze

Základem bylo zjistit rozsah problému a zdokumentovat konkrétní stav prostor. Vyznačit problematická místa a konzultovat možné opatření. Přehled konkrétních ztrát je znázorněn na

přiložených termogramech. Snímky byly vyfoceny v letních měsících a venkovní teplota byla ve stínu 26°C.



Obr. 11.36 Použitá izolační stěna je pouze položena na zem - tepelný most

Obr. 11.37 Promrzání celé zdi



Obr. 11. 38 a 11.39. Průměrná teplota levé stěny byla 6,5°C a pravé stěny 6,3°C.

Základní informace ohledně úniku energie máme:

- Venkovní teplota ve stínu
- Průměrná teplota stěny
- Velikost problematického místa

Na zpracovaná data použijeme kalkulačku, kterou najdeme v odkazu www.tzb-info.cz[11]. Kalkulačka nám navrhne velikost izolace a ze zadaných informací, dostaneme velikost součinitele tepelné vodivosti. Tento faktor je významný koeficient pro výpočet. Po výpočtu známe:

- Vyzařovaný výkon před zateplením
- Vypočítaný vyzařovaný výkon po zateplení

Rozdílem energií jsou možné úspory, které je nutné převést z energie, na finance (Kč). K tomu použijeme jednoduchý převod 1W/hod je 3600J a dle tabulek 1GJ je 185Kč. Pokud dosadíme jednotlivé výsledné výpočty, dostaneme celkem přesnou finanční úsporu, která je podkladem pro výpočet návratnosti budoucí investice.

Energie je a bude jedním s nezanedbatelným finančním nákladem a jejím hospodařením můžeme ušetřit nemalé finanční náklady.

Závěr

Použití termovize je možné v širokém rozsahu. Hlavní oblastí je samozřejmě spotřeba energie pro vytápění, s tím je spojen transport a uložení energie ve všech podobách. Ve vytápěných prostorách jde samozřejmě o výslednou cenu za konkrétní tepelný komfort.

Termovizní měření je možné použít pro účelné vynaložení prostředků na opravu, zateplení či jinou investici do vyhřívaných prostorů. Kontrolou kvality odvedených stavebních činností nebo oprav, můžeme dosáhnout nezávislosti v posuzování odvedené práce odbornou firmou. Směřování menších investic do konkrétních problémů má záruku spokojenosti zákazníka. Někdy i menší opravy či vylepšení mají výsledek rychlé návratnosti vložených investic a lepší tepelný komfort. Vynaložené náklady na úsporu energie je v současné době nejlepší investicí do budoucna. Informace o stavu zařízení je například možné použít i pro kontrolu vypracování energetických štítků, které budou doprovázet budovy pro koupi, pronájem či jiné manipulaci s nemovitostí nebo bytovou jednotkou. Informace ohledně energetického stavu objektu jsou a budou důležitým doložením energetické náročnosti objektu. Důležitá je také odbornost osob, které používají a hlavně vyhodnocují termogramy. Záruka správného vyhodnocení může být například potvrzena autorizací osob či jiným certifikačním dokladem o používání termokamery.

Použití termokamery v zimě se může zdát jako možné a také jediné období s možností přínosu nejlepších výsledků. Není tomu tak. Každé období má své specifika a je jenom na konkrétní dané oblasti použití. Zima a chladnější klima je vhodné pro měření jakékoliv tepla dodávaného zákazníkům. Z toho jsou patrné využití rozdílů venkovní a dodávané vnitřní teploty. Léto je naopak vhodné na kontrolu chladu, dodávaného zákazníkům, kde jsou důležité rozdíly venkovní teploty a dodávaného chladu uvnitř. Příkladem jsou chladicí přetlačné tanky, kde je nutnost chlazení pro uchovávání piva před stáčecím procesem. Léto, je také vhodné na kontroly výzbroje rozvaděčů, protože v rozvodnách se teploty zvyšují a uvnitř rozvaděčů jsou teploty ještě vyšší. Pokud je problém s elektro výzbrojí rozvaděče, nejvhodnější termín je teplé období, kdy i menší problém se projeví a jeho nalezení je snazší. Plánovaná oprava je vždy lepší než, zastavení výrobního procesu. Eliminace těchto výpadků nebo zastavení výroby je hlavní a podstatná práce diagnostického oddělení v Plzeňském Prazdroji a.s. Konkrétních výsledků je doloženo hodně a finanční návratnost je několikanásobná. Každopádně nesmíme usnout na těchto úspěších a připravujeme další drobné kroky pro rozšíření a hlavně uceleném využití prediktivních opatření.

Zavedený systém snímání oblastí termokamerou a hledání možných problémů nebo

možností zlepšení je ideální stav. Plzeňský Prazdroj a.s. má v tuto chvíli zavedený systém kontroly termovizí pouze pro případ přímého požadavku zodpovědné osoby a v okamžiku predikce vzniku zásadní poruchy. Její využití je omezeno dostupnými lidskými, finančními a časovými zdroji také v souvislosti se sdílením měřících přístrojů s ostatními pivovary Společnosti (Velké Popovice, Nošovice). Z toho důvodu je zatím vnímána jen jako doplněk k určení, analýze nebo přesné specifikaci daného problému.

Na závěr naše pivovarnické: „Dej bůh štěstí“

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Základy termografie [online]. [cit.2013-14-01]:
<http://www.termokamera.com/testo/5-Zaklady-termografie/42-Prirucka-termografie>
- [2] OMEGA.: *Bezdotykové měření teploty č.1*, Praha 2007. Dostupné na
www.newport.cz.
- [3] FLUKE.: *Introdukce to Thermography Principles*, Fluke Corporation, 2009.
- [4] KREIDL, Marcel a ŠMÍD Radislav: *Technická diagnostika*, BEN-technická literatura, Praha 2006
- [5] Materiály o PU a.s. z interních zaměstnaneckých zdrojů, částečně dostupné i na
<http://www.pilsner-urquell.cz/>
- [6] HEŘMAN, J. a kol.: *Příručka silnoproudé elektrotechniky*, SNTL Praha, Praha 1986
- [7] HONNER M.: *Infračervená kvantitativní termografie ve výzkumu fyzikálních technologií*. ZČU, Plzeň, 2004.
- [8] LYSENKO, Vladimír: *Detektory pro bezdotykové měření teplot*, BEN-technická literatura, Praha 2005
- [9] KREIDL, Marcel: *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*, BEN-technická literatura, Praha 2005
- [10] FUKÁTKO, Tomáš: *Detekce a měření různých druhů záření*, BEN-technická literatura, Praha 2007
- [11] Materiály ohledně tepelných ztrát a výpočty dostupné na: www.tzb-info.cz
- [12] <http://www.velikani.cz/> článek James Clerk Maxwell