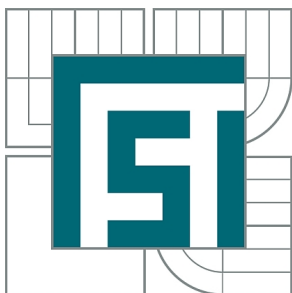


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYUŽITÍ TERMOVIZNÍ TECHNIKY PŘI VÝSTUPNÍ KONTROLE NAPÁJECÍCH ZDROJŮ

THE USE OF THERMOVISION TECHNOLOGY IN OUTPUT CONTROL OF POWER SUPPLIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN REJŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Rejžek

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití termovizní techniky při výstupní kontrole napájecích zdrojů

v anglickém jazyce:

The use of thermovision technology in output control of power supplies

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bezdotykové měření povrchových teplot prostřednictvím termovizních kamer se využívá v mnoha odvětvích lidské činnosti. Metoda měření však vyžaduje odborné znalosti, které jsou nezbytné již při návrhu praktického experimentu. Vyhodnocení jednotlivých termogramů je rovněž možno řadit k velmi komplikovaným činnostem.

Cíle diplomové práce:

Uvedení do problematiky měření povrchových teplot (druhy bezdotykových teploměrů, výhody/nevýhody). Formulace základních pojmů a zákonů k řešené problematice i metod zjišťování emisivity. Návrh a realizace praktického experimentu pro zjišťování emisivity komponent napájecího zdroje v laboratorních podmínkách ÚST FSI VUT v Brně.

Seznam odborné literatury:

YENER, Yaman. Heat conduction. 4th ed. New York: Taylor, 2008, xix, 434 s. ISBN 978-1-59169-046-7.

Springer handbook of materials measurement methods. Editor Horst Czichos, T Saito. Germany: Springer, 2006, xxvi, 1208 s. ISBN 35-402-0785-6.

PAVELEK, Milan. Termomechanika. 3. Vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. červen 2003. 284s. ISBN 80-214-2409-5.

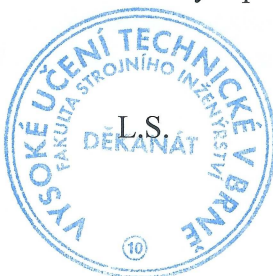
KREIDL, Marcel. Měření teploty - Senzory a měřicí obvody. 1.Vyd. Praha: Nakladatelství BEN – Technická literatura. 2005. 240s. ISBN 80-7300-145-4.

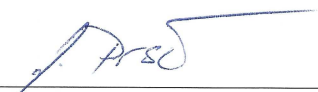
LYSENKO, Vladimír. Detektory pro bezdotykové měření teplot. 1.Vyd. Praha: Nakladatelství BEN – Technická literatura. 2005. 160s. ISBN 80-7300-180-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

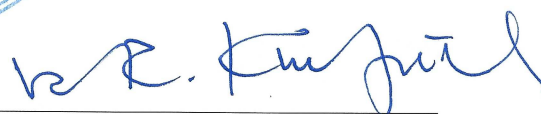
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 22.10.2012





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem práce je objasnění problematiky bezkontaktního měření povrchové teploty se zaměřením na termokamery jakožto moderní představitele pyrometrů a využití termovizní techniky při výstupní kontrole napájecího zdroje. Pro získání odpovídajících výsledků při kontrole teploty je nutná znalost přesných hodnot emisivity měřených materiálů. Zjišťováním emisivit součástí napájecího zdroje se zabývá experimentální část této práce.

Klíčová slova

emisivita, napájecí zdroj, termogram, termovize

ABSTRACT

The aim of the thesis is to clarify the issue of non-contact surface temperature measurement with a focus on the thermal imaging cameras as a modern representative of pyrometers and thermovision technology used in the output control of power supply. To obtain the corresponding results of temperature control, it is necessary to know the exact values of emissivity of the measured materials. The experimental part of this thesis is focused on detection of emissivity of power supply parts.

Key words

emissivity, power supply, thermogram, thermovision

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

REJŽEK, Jan. *Využití termovizní techniky při výstupní kontrole napájecích zdrojů*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 73 s., 3 přílohy. Vedoucí práce Ing. Aleš POLZER, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Využití termovizní techniky při výstupní kontrole napájecích zdrojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jan REJŽEK

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří se podíleli na mém odborném vzdělávání během studia na VUT v Brně. Především bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za jeho odborné vedení při vypracovávání. Děkuji rovněž vedení společnosti BKE, a.s. za poskytnutí informací a pomůcek, bez kterých by vypracování práce nebylo možné. Poděkovat bych chtěl také své rodině za jejich podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 METODY MĚŘENÍ TEPLoty	10
1.1 Dotykové měření teploty	10
1.2 Bezdotykové měření teploty	11
1.2.1 Rozdělení měřicích přístrojů pro bezdotykové měření teploty.....	12
1.2.2 Moderní představitelé bezdotykových přístrojů pro měření teploty.....	15
1.3 Indikátory teploty	18
2 PRINCIP BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLoty	20
2.1 Infračervené záření objektů.....	20
2.2 Planckův zákon	21
2.3 Wienův posunovací zákon	21
2.4 Stefan–Boltzmannův zákon	22
2.5 Emisivita	23
3 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ EMISIVITY	25
3.1 Využití tabulek	25
3.2 Využití referenčního tělesa a výpočtu.....	25
3.3 Využití referenčního teploměru	25
3.4 Využití referenčního materiálu	25
3.5 Využití otvoru v objektu	26
3.6 Využití spektrometru.....	27
3.7 Využití specializovaných pracovišť	27
4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDKY TERMOVIZNÍHO MĚŘENÍ.....	28
4.1 Kalibrace pyrometru.....	28
4.2 Spektrální pásmo pyrometru	28
4.3 Úhel zaměření pyrometru.....	29
4.4 Plocha zaměření pyrometru.....	30
4.5 Atmosféra	31
4.6 Emisivita	31
4.7 Teplota podkladu.....	32
5 VYUŽITÍ TERMOVIZE V PRAXI	33

5.1	Využití termovize ve strojírenství.....	33
5.2	Využití termovize ve stavebnictví a tepelné technice	34
5.3	Využití termovize v elektrotechnice	35
5.4	Využití termovize ve fotovoltaice.....	36
5.5	Další oblasti využití termovize.....	37
5.6	Využití aktivní termografie při nedestruktivním testování materiálů	38
6	NÁVRH A POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	39
6.1	Návrh experimentu.....	39
6.2	Popis pracovního prostředí.....	40
6.3	Popis práce s termokamerou ThermaCAM SC 2000	41
6.3.1	Popis ovládacích prvků kamery a možností připojení	42
6.3.2	Popis práce se softwarem kamery.....	43
6.4	Použité měřicí přístroje a pomůcky.....	45
6.4.1	Napájecí zdroj JS–300–240/DIN2	46
6.4.2	Termokamera ThermaCAM SC 2000 s příslušenstvím.....	46
6.4.3	ThermaSpray, ThermaSpot.....	47
6.4.4	Teploměr a vlhkoměr.....	47
7	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	48
7.1	Nastavení termovizní kamery	48
7.2	Zjištění účinnosti zdroje	48
7.3	Vyzařování tepla ze zdroje.....	49
7.4	Určení nejvíce zatížených součástí zdroje	51
7.5	Experimentální zjištění emisivity vybraných prvků napájecího zdroje	55
7.6	Využití získaných hodnot emisivity pro kontrolu zdroje	57
7.7	Další možnosti zjištění emisivity chladiče a jejich porovnání	58
8	TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	60
8.1	Přehled termokamer FLIR.....	60
8.2	Ekonomické zhodnocení	62
9	DISKUZE	65
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou bezkontaktního (bezdotykového) měření povrchové teploty. Teplota patří mezi nejsledovanější parametry při výrobních procesech. Je tedy více než žádoucí, aby toto měření bylo přesné, rychlé, efektivní a neovlivňovalo samotný proces výroby. Těmto požadavkům správně provedené bezkontaktní měření teplot zcela vyhovuje.

Pyrometrie, jak je nazývána věda o bezdotykovém měření, má kořeny již v 19. století. V roce 1879 byl Ludwigem Boltzmannem a Josefem Stefanem publikován Stefan–Boltzmannův zákon, jenž se stal základem, na kterém přístroje pro bezdotykové měření stavějí.

Rozvoj elektroniky a počítačové techniky na konci 20. století umožnil rychlý vývoj bezdotykových měřících přístrojů. K řadě přímo měřících pyrometrů přibývají zobrazovací pyrometry, které se zabývají analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa.

Teoretická část této práce se zabývá shrnutím poznatků v oblasti měření teploty a popisuje základní zákony, na kterých bezdotykové měření teploty staví. Podrobně se věnuje popisu jednotlivých metod v oblasti bezdotykového měření teplot. Závěr této části práce je věnován soudobým možnostem využití termovize v různých oblastech lidské činnosti.

V experimentální části práce byla provedena řada měření, jejichž cílem bylo ověřit některé teoretické poznatky a dále pak vyzkoušet možnosti využití termovize pro zjišťování teploty na povrchu součástí napájecího zdroje (obr. 1). Pro termovizní měření byla využita termokamera ThermoCAM SC 2000 od výrobce FLIR.



a) Zakrytovaný zdroj



b) Plošný spoj zdroje s osazenými prvky

Obr. 1 Napájecí zdroj JS–300–240/DIN2.

1 METODY MĚŘENÍ TEPLOTY

Teplota je charakteristika tepelného stavu hmoty. V obecném významu je to vlastnost předmětů a jejich okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit jí pocity studeného, teplého či horkého.

Teplota je základní fyzikální veličinou mezinárodní soustavy SI. Její jednotkou je kelvin [K] a vedlejší jednotkou stupeň Celsia [°C]. Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly 0 K což odpovídá $-273,15\text{ °C}$. K teplotě absolutní nuly se lze přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout [1, 2].

K měření teploty se používají teploměry pracující na různém principu [3]:

- dle fyzikálního principu rozeznáváme teploměry odporové, termoelektrické, polovodičové, optické, dilatační, chemické, radiační, akustické, šumové, magnetické, kapacitní nebo aerodynamické,
- podle styku s měřeným objektem rozlišujeme teploměry dotykové a bezdotykové,
- základem teploměrů bývá tepelný senzor, ty lze rozdělit na aktivní (působením teploty se v nich vytváří elektrické napětí) a pasivní (pro měření je nutné napájení), do skupiny pasivních rovněž patří indikátory působící na chemickém principu.

1.1 Dotykové měření teploty

Základním požadavkem na dotykové měření teploty je kontakt měřícího tělesa s objektem, jehož teplotu zjišťujeme. Principem měření je přímý přenos tepla mezi senzorem a měřeným objektem. Toho lze dosáhnout tam, kde máme k měřenému objektu dostatečný přístup, prostředí měření není nebezpečné pro obsluhu a objekt měření nereaguje se snímačem [1].

Historie dotykového měření teplot sahá až do starověku, kdy se nejprve začalo s používáním měření teploty pomocí roztažnosti kapalin. Literatura uvádí, že Hérón Alexandrijský popsal zařízení pracující na roztažnosti vzduchu (později nazývané vzduchový termoskop), který je nejstarším doloženým přístrojem k indikaci tepelných stavů [4].

V technické praxi se setkáváme s řadou dotykových teploměrů založených na různém fyzikálním principu. Patří sem například teploměry [1, 3]:

- kapalinové,
- plynové,
- bimetalové,
- s termistorem či termočlánkem (obr. 2),
- polovodičové teploměry.

Výhody dotykového měření teploty:

- měřicí přístroje jsou relativně levné (i velmi kvalitní přístroje do 10 000 Kč),
- přístroje jsou velmi přesné.

Nevýhody dotykového měření teploty:

- tělesu je odebírána tepelná energie,

- obsluha nebo část zařízení je v těsném kontaktu s měřeným objektem,
- nevhodné pro pohybující se objekty.



Obr. 2 Teploměr s připojeným čidlem vlhkosti vzduchu a termočlánkem.

1.2 Bezdotykové měření teploty

Všechny přístroje, které měří teplotu bezkontaktním způsobem, se nazývají pyrometry nebo také radiační termometry. Senzor, prostřednictvím kterého zjišťujeme teplotu, se nachází v jisté vzdálenosti od měřeného objektu.

Velkou výhodou tohoto typu měření je, že nedochází k ovlivňování měřeného objektu. Rovněž tak obsluha zařízení není ovlivňována prostředím, ve kterém se objekt nachází nebo jeho teplotou.

S bezdotykovým měřením teplot se můžeme setkat v řadě odvětví lidských činností. Jmenujme například lékařství, chemický průmysl, elektrotechniku, strojírenství, energetický průmysl, metalurgii a stavební průmysl [1, 3, 5].

Výhody bezdotykového měření teploty:

- měřicí technika má zanedbatelný vliv na měřený objekt,
- lze měřit teploty na pohybujících se předmětech,
- teploty lze vyhodnocovat z bezpečné vzdálenosti,
- možnost měření velmi rychlých změn teploty (jednotky ms),
- možnost měřit a číslicově zpracovávat celé povrchy těles,
- možnost měřit velmi vysoké teploty (10 000 °C).

Nevýhody bezdotykového měření teploty:

- nejistota měření způsobená neznalostí emisivity povrchu tělesa,
- nejistota měření způsobená prostupností prostředí, ve kterém probíhá měření,

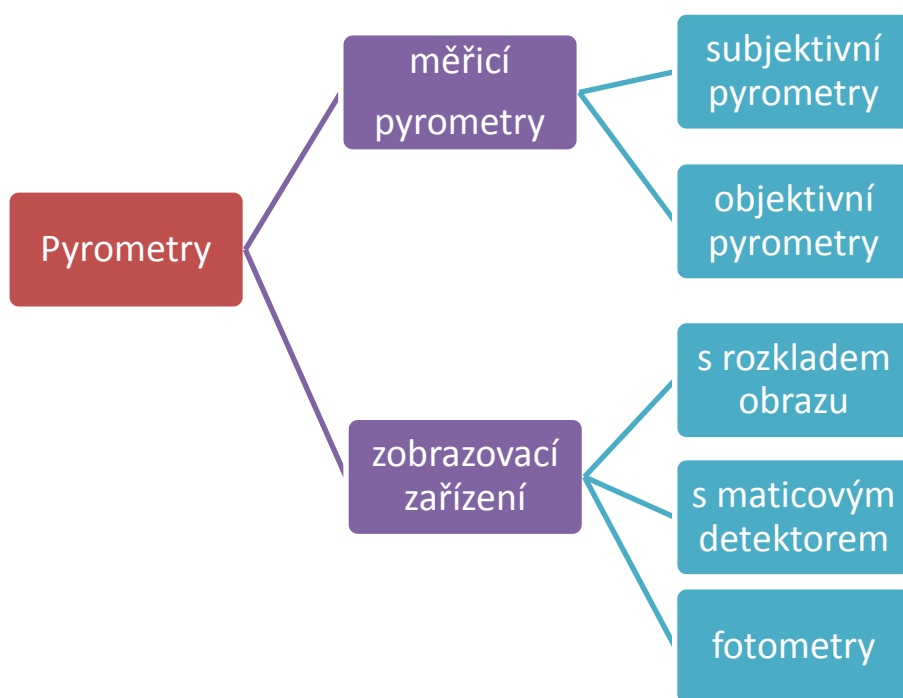
- nejistota způsobená odraženým zářením z okolního prostředí.

1.2.1 Rozdělení měřicích přístrojů pro bezdotykové měření teploty

V praxi se můžeme setkat s řadou přístrojů, které jsou vhodné pro bezdotykové měření teploty. Pracují však na různých principech a lze je dále dělit podle měřicího principu nebo druhu snímače.

Rozdělení pyrometrů dle měřicího principu

Dle měřicího principu, lze rozdělit přístroje do kategorií zobrazených na následujícím obrázku (obr. 3):



Obr. 3 Rozdělení pyrometrů.

Do skupiny **měřicích pyrometrů** lze zařadit **pyrometry subjektivní a objektivní**.

U **subjektivních pyrometrů** je detektorem záření lidské oko. Využití těchto přístrojů je již delší dobu na ústupu a patří spíše do počátků pyrometrie.

V případě **objektivních pyrometrů** je k vyhodnocení tepelného záření využito tepelných nebo kvantových detektorů. Tyto přístroje je dále možno dělit na pyrometry:

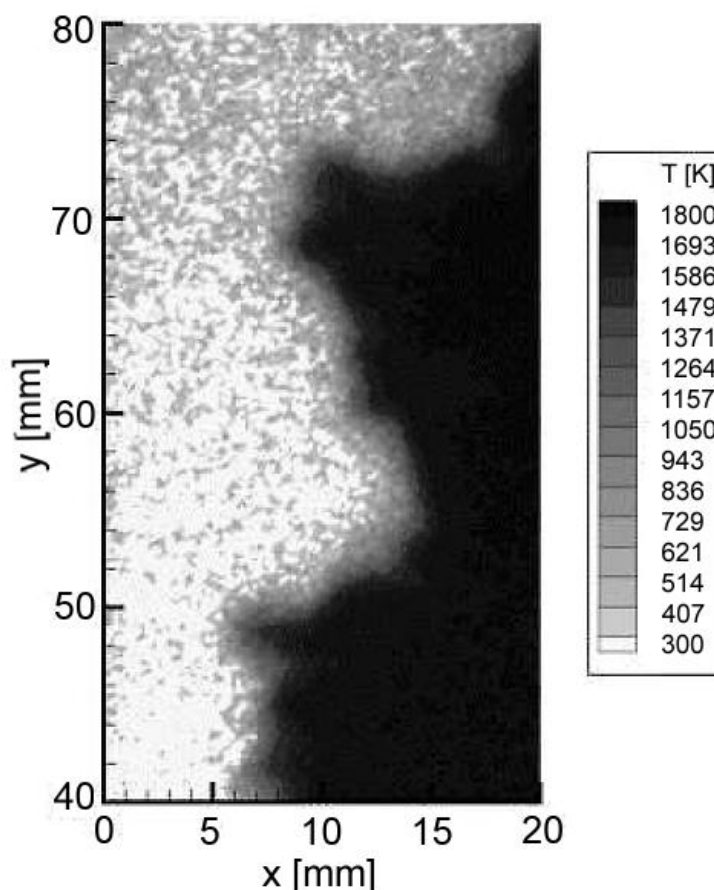
- **Úhrnné** nebo rovněž **pyrometry celkového záření** – přístroje snímají a vyhodnocují tepelné záření v celém spektru vlnových délek, pro zjištění teploty je pak využit přepočít podle Stefan–Boltzmannova zákona.
- **Monochromatické** – pro měření je využito záření na dané vlnové délce. Teplota je poté odvozena z Planckova či Wienova zákona.
- **Pásmové pyrometry** – záření je měřeno ve vymezeném pásmu vlnových délek. Velikost pásma je dána vlastnostmi použitého detektoru záření a použité optické soustavy pyrometru. Pakliže pásmo pyrometru je dostatečně široké, k výpočtu teploty se využívá Stefan–Boltzmannův zákon.

- **Ostatní** – mezi objektivní pyrometry lze dále zařadit pyrometry poměrové, vícepásmové, s automatickou korekcí emisivity, s optickými vlnovody a další. Popis funkce těchto přístrojů lze nalézt v literatuře, například [1, 5].

Mezi **zobrazovací zařízení** řadíme i termografii. Termovizní systémy lze dále podle konstrukce dělit na systémy:

- **S rozkladem obrazu** – tepelné záření vycházející z objektu prochází optickou soustavou uvnitř zařízení. Tato soustava rozloží obraz na jednotlivé body, které následně vyhodnocuje a zobrazuje. Přístroje pracující s opticko–mechanickým rozkladem obrazu se již nevyrábí.
- **S maticovým detektorem** (přímo zobrazující) – přístroje fungující na tomto principu jsou představiteli moderní termovizní techniky [1, 3, 5].

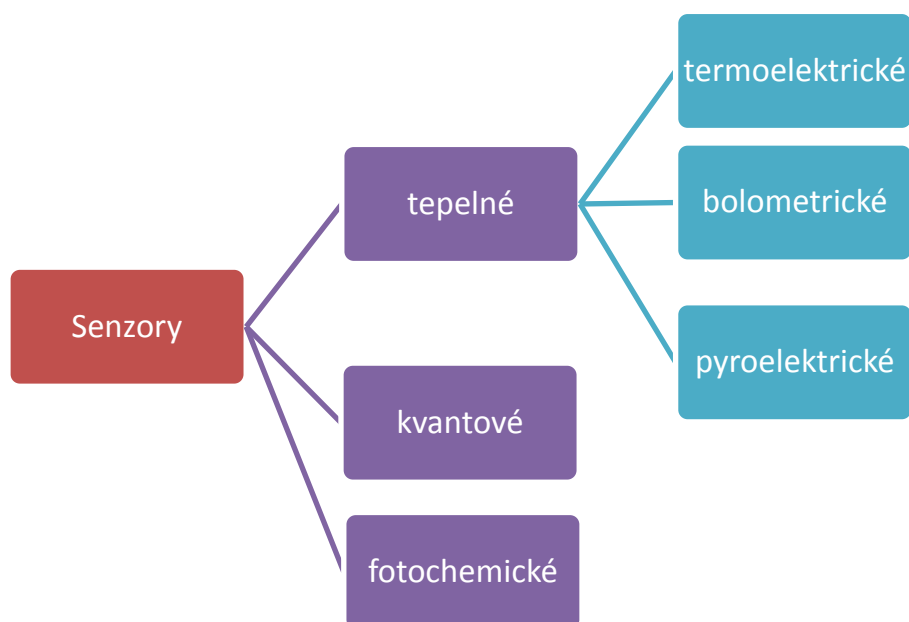
Mezi zobrazovací zařízení lze řadit rovněž **fotometrické přístroje**. Tato zařízení našla uplatnění v počátcích termovize a dnes jsou již plně nahrazena jinými, modernějšími přístroji. Teplota se zjišťuje fotochemickou cestou. Příklad snímku je na obr. 4. Místa vystavená většímu záření mají tmavší barvu, teplotu lze odečíst z porovnávací stupnice vedle termosnímku [6, 7].



Obr. 4 Fotometrický snímek turbulentního spalování metanu [6].

Detektory pro bezdotykové měření teploty

Detektory pro bezdotykové měření teploty zjišťují teplotu nepřímým způsobem – převádí zářivou energii, která je vyzařována každým tělesem (podrobněji v kapitole 2) na energii elektrickou. Rozdělení detektorů tepelného záření ukazuje obr. 5.



Obr. 5 Rozdělení senzorů tepelného záření.

- **Tepelné detektory** – energie vyzařovaná tělesem dopadá na detektor, ten ji absorbuje a následně je vyhodnocena změna teploty. Tyto detektory lze dále rozdělit na:
 - **Termoelektrické detektory** – pro zjištění teploty je využíváno změny termoelektrického napětí, vznikajícího vlivem rozdílu teplot měřícího a srovnávacího vodiče uvnitř detektoru.
 - **Bolometry** – pro zjištění teploty objektu je využita změna elektrického odporu detektoru v důsledku změny jeho teploty.
 - **Pyroelektrické snímače** – změna teploty je doprovázena změnou elektrostatické polarizace snímače, vyhodnocením této změny lze zjistit teplotu měřeného objektu.

Mezi výhody tepelných detektorů patří jejich vysoká citlivost, která plyne z nezávislosti pohlcování záření na vlnové délce. Nevýhodou může být velká časová konstanta (reakce na změnu teploty) oproti detektorům kvantovým.

- **Kvantové detektory** – pracují na principu fotoelektrického jevu. Záření dopadající na plochu detektoru se skládá z kvant energie, která po dopadu reagují s atomy uvnitř materiálu. Teorii fotoelektrického jevu se zabýval Planck. Fotodetektory, jak jsou také kvantové detektory nazývány, nacházejí uplatnění jako stacionární měřiče a měřiče pro vysoké teploty. Mezi výhody patří jejich malá časová konstanta, nevýhodou je nutnost jejich chlazení na nízké teploty [1, 3, 5].

- **Fotochemické detektory** se využívají ve fotometrii. Pro detekci záření se využívají fotografické materiály. Energie optického záření se zde spotřebuje pro iniciaci chemické reakce. Měrou absorbované energie je hustota vyvolaného fotografického snímku. Nejčastěji je jako fotochemický detektor použita fotografická emulze [7].

1.2.2 Moderní představitelé bezdotykových přístrojů pro měření teploty

V praxi se lze nejčastěji setkat s bezdotykovým měřením teploty pomocí infrateploměrů nebo termokamer.

Infrateploměry

Pro snímání teploty na malé ploše lze efektivně využít infrateploměry (příklad na obr. 6). Tyto přístroje využívají k měření tzv. infrasnímače, které bezkontaktně snímají infračervené záření vyzařované povrchem měřeného materiálu. Plocha je většinou kruhového tvaru a její velikost je závislá na optické soustavě, kterou je přístroj vybaven.

Řídící elektronika přijímané záření zpracuje a vyhodnotí. Výsledek měření převedený na teplotu je zobrazen na displeji zařízení. Zobrazovaná hodnota je průměrná teplota snímané plochy.

Infrateploměry vynikají svou rychlostí, na změnu teploty jsou schopné reagovat během několika desetin sekundy. Jsou vhodné pro měření teploty materiálů, jako je dřevo, plast, pryž, zdivo, kovy a další. Mají však i nevýhody, a to zejména při měření teploty povrchů s různou úpravou. Zde je nutné před měřením nastavit emisivitu daného povrchu pro konkrétní materiál. Nastavením emisivity jsou vybaveny již základní modely infrateploměrů, pro orientační měření lze využít tabulky s hodnotami emisivity dodávané výrobcem, uváděné v literatuře nebo na internetu. Hodnotu emisivity lze zjistit i jinými způsoby, viz dále kapitola 3 [1, 5, 11].



Obr. 6 Infrateploměr IR800–20D [8].

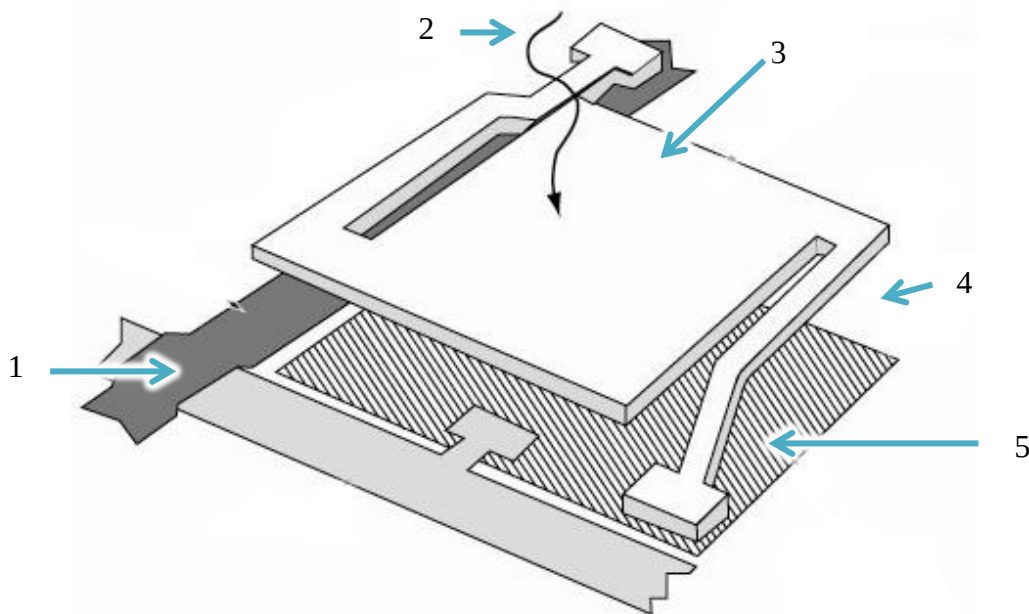
Termokamery

Termokamery pracují na podobném principu jako infrateploměry. Hlavní rozdíl lze nalézt v detektoru teploty a možnostech zobrazení. Jeden detektor je nahrazen větším množstvím

detektorů uspořádaných do matice, taková struktura se pak nazývá plošný detektor. Velikost matice udává rozlišení termokamery.

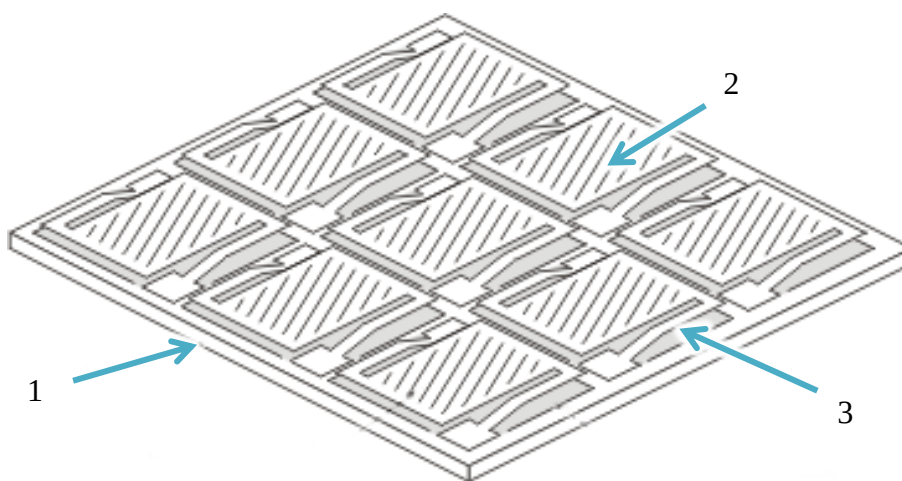
Většina termokamer v dnešní době pracuje s mikrobolometrickými maticemi (obr. 8), které se skládají z velkého množství mikrobolometrických senzorů (obr. 7). Mikrobolometrické senzory pracují na podobném principu jako odporové senzory teploty.

Infračervené záření dopadající na plošku senzoru je jím pohlceno. Teplota snímače se zvýší a důsledkem toho se změní elektrický odpor. Dopadající záření může být tedy změřeno na základě změny odporu bolometru [1, 5, 11].



Legenda: 1) vodiče, 2) dopadající záření, 3) odporový materiál, 4) vzduchová mezera, 5) spínací tranzistor.

Obr. 7 Schéma provedení mikrobolometru [11].

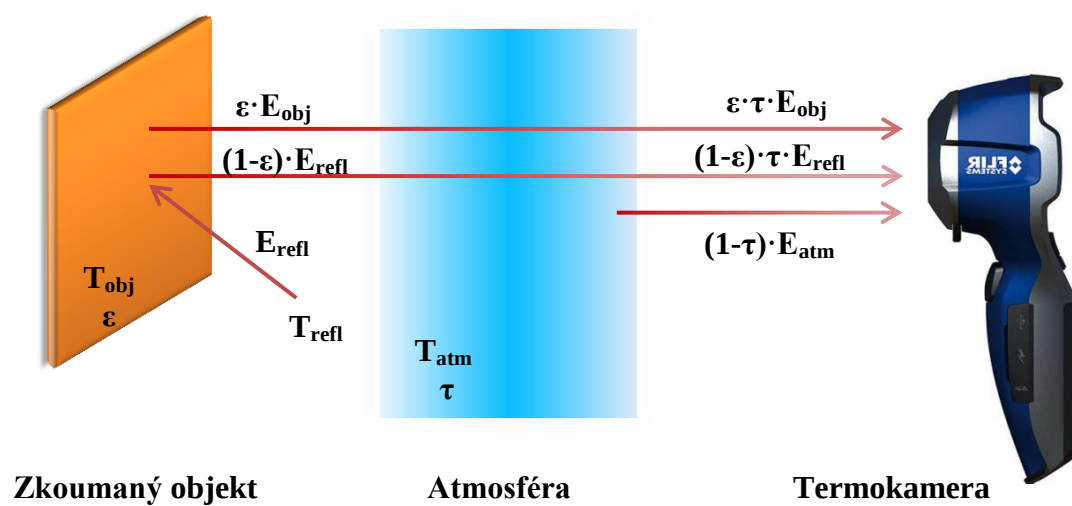


Legenda: 1) podložka, 2) mikrobolometr, 3) reflexní vrstva.

Obr. 8 Schéma mikrobolometrické matice [11].

Na základě hodnot naměřených jednotlivými snímači řídící systém kamery sestaví obraz teplotního pole. Obrazový výstup se nazývá termogram. Každá kamera má obvykle malý displej, na kterém lze tento termogram pozorovat a dále pak výstup pro další monitor, kde může být obraz detailněji vyhodnocen.

Princip měření pomocí bezdotykového teploměru je uveden na obr. 9. Celkové záření dopadající na snímač teploměru je součtem záření vycházejícího z objektu měření, z okolí objektu a z atmosféry mezi objektem a snímačem. Vlivem jednotlivých složek na výsledek měření se zabývá kapitola 4 této práce.



Obr. 9 Princip měření bezdotykovým teploměrem [9].

Přístroje nejnovějších generací umožňují připojit externí zobrazovací zařízení pomocí bezdrátových technologií jako je Bluetooth nebo Wi-Fi. Připojení k počítači je realizováno pomocí USB rozhraní nebo také bezdrátově. Na obr. 10 je znázorněno zobrazení termogramu prostřednictvím displeje tabletu a mobilního telefonu.



Obr. 10 Propojení termokamery a zobrazovacího zařízení pomocí Wi-Fi [12].

Měření pomocí termokamer je sice nákladnější než měření pomocí infrateploměru, ale výsledky se často nedají nahradit. Termokamery umožňují vidět rozložení teploty na povrchu součástí, což je mnohdy neocenitelné. Pomocí klasických teploměrů nebo pomocí infrateploměru by sice bylo možné u některých aplikací získat podobné výsledky, ale s vynaložením značně vyšší námahy.

1.3 Indikátory teploty

Mezi další metody, jakými lze přibližně zjistit teplotu daného objektu, patří využití indikátorů teploty. Do této skupiny lze zařadit:

- keramické žároměrky,
- barevné indikátory teploty,
- iontové indikátory teploty,
- krystalové snímače,
- optoelektronické snímače teploty,
- magnetické indikátory.

Mezi nejběžněji využívané skupiny patří **keramické žároměrky** a **barevné indikátory teploty**.

Na obr. 11 jsou zobrazeny žároměrky po použití. Ke zjištění teploty je zde využíváno znalosti teploty, při které tělíska mění svůj tvar.



Obr. 11 Keramické žároměrky [13].

Barevné indikátory teploty lze rozdělit do více skupin dle jejich funkčního principu. Základní rozdělení je následující (v závorce uveden rozsah jejich teplotního použití):

- termochemické ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- tavné ($35\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1650\text{ }^{\circ}\text{C}$),

- kapaln  krystaly ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $120\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- luminiscenční ($-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Proveden  těchto indikátorů bývá nejčastěji ve formě prášku, pasty, tužky, tablety nebo barvy. Můžeme se setkat s barevnými indikátory, jejichž stav je vratn  i nevratn . P r klad proveden  barevného indikátoru ve formě nálepky a tužky je uveden na obr. 12.



Obr. 12 Barevn  indikátor teploty ve formě nálepky a tužky [14, 15].

Nevýhodou indikátorů teploty je pouze p bli n  ur en  teploty. Relativn  chyba m ren  může dosahovat až 10 %. Důvodem toho je vliv m r c ho prostředí, kter  se může lišit chemick m slo en m a tlakem od prostředí, ve kter m byl indikátor kalibrován [3].

2 PRINCIP BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLOTY

Pro zorientování se v problematice bezdotykového měření teploty je vhodné pochopit základní termomechanické zákony, které se této problematice týkají. V následujících podkapitolách tedy budou tyto zákonitosti popsány. Jedná se především o Stefan–Boltzmannův zákon, Wienův posunovací zákon a Planckův zákon.

Uvedené zákony definují přenos tepla pomocí záření. Mimo záření se teplo šíří také vedením a prouděním. Termovizní systémy využívají pro vizualizaci teploty objektů právě jejich záření, z tohoto důvodu se nebudeme vedením a prouděním tepla dále zabývat.

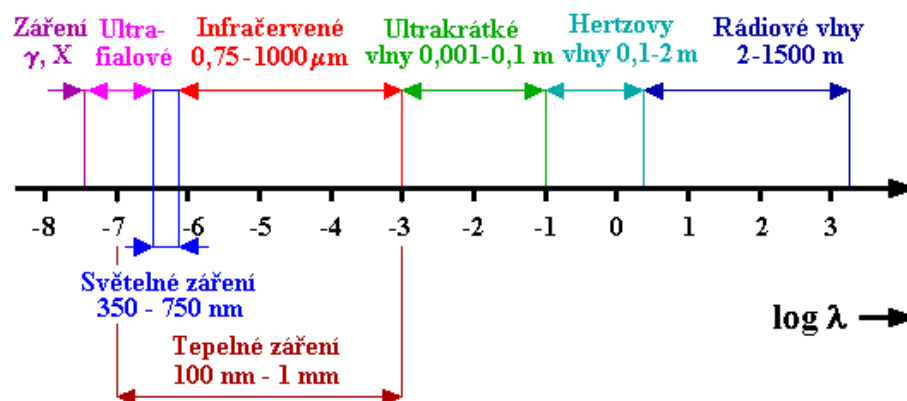
2.1 Infračervené záření objektů

Hmotný objekt se projevuje do svého okolí různým silovým působením a vyzařováním fotonů. Každý hmotný objekt je zdrojem elektromagnetického záření. Generované elektromagnetické záření se šíří prostředím rychlostí c , která je závislá na druhu prostředí. V tabulce 1 jsou uvedeny rychlosti šíření elektromagnetického záření v různém prostředí.

Tab. 1 Rychlosti šíření záření v různých materiálech [16].

Druh prostředí	Rychlost šíření záření c [m/s]
vakuum	299 792 458
vzduch	299 710 937
voda	225 407 863
sklo	187 370 286

Jedním z druhů elektromagnetického záření je také záření infračervené. Jednotlivé druhy elektromagnetického záření lze rozlišovat podle vlnové délky, viz obr. 13.



Obr. 13 Spektrální pásma [16].

Elektromagnetickému záření, které má vlnový charakter, lze také přiřadit frekvenci záření f , a to dle vztahu (1):

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

kde c je rychlost šíření elektromagnetického záření v daném prostředí a λ je vlnová délka elektromagnetického záření [16, 17].

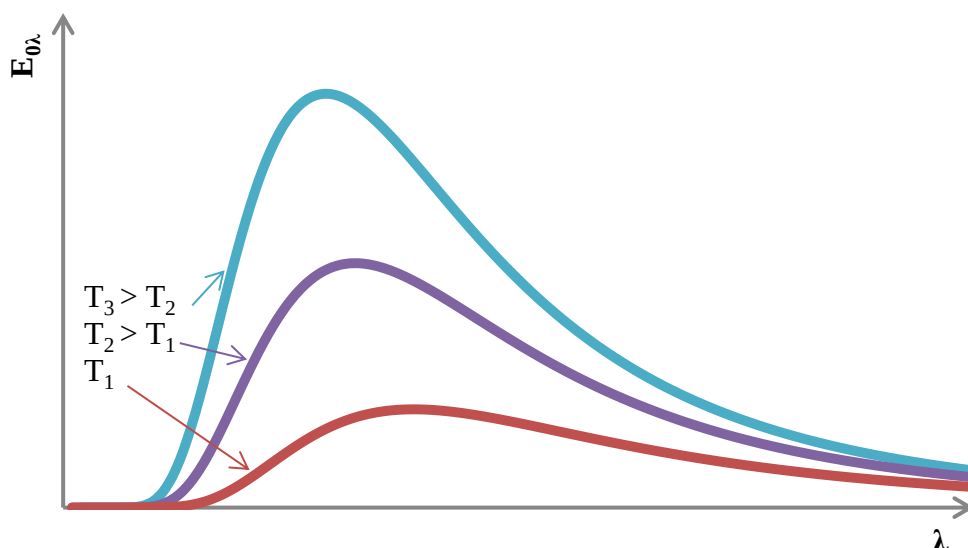
2.2 Planckův zákon

Planckův zákon zní: *Záření o frekvenci f může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti $e = h \cdot f$*

V tomto zákoně představuje h Planckovu konstantu, která má hodnotu $h = 6,6261 \cdot 10^{-34}$ J.s. Z definice Planckova vyzařovacího zákona je tedy možné pro dokonale černé těleso, neboli dokonalý zářič, ve vakuu odvodit vztah pro spektrální hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ jako funkci vlnové délky záření λ a teploty zářiče T

$$E_{o\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad (2)$$

Odvozený vztah (2) lze interpretovat rovněž graficky. Na obr. 14 jsou vykresleny závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření. Ty jsou vykresleny pro různé teploty zdroje záření. Z obrázku vyplývá, že se zvětšující se teplotou zdroje se zvětšuje spektrální hustota zářivého toku dokonale černého tělesa [1, 3, 16, 18].



Obr. 14 Grafická interpretace Planckova zákona [16].

2.3 Wienův posunovací zákon

Wienův posunovací zákon zní: *S rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku ke kratším vlnovým délkám.*

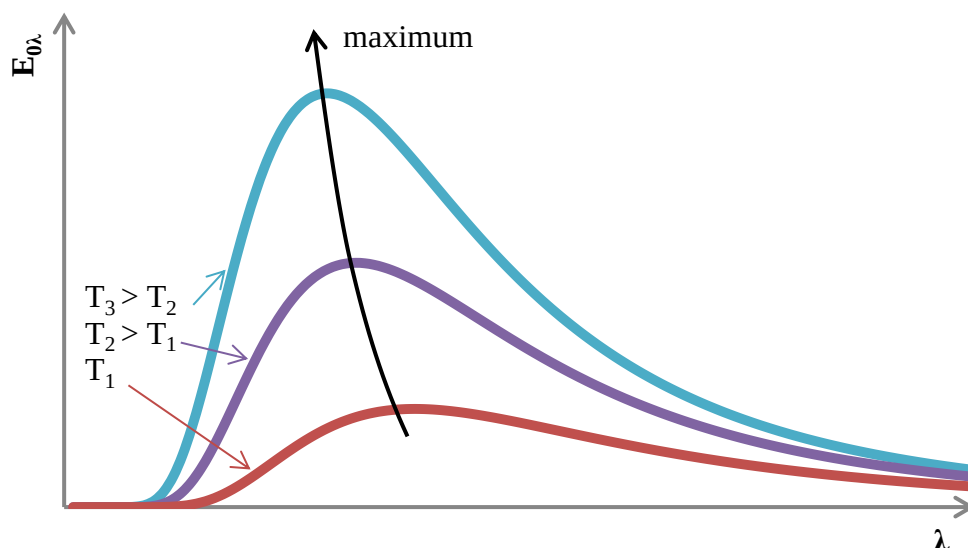
Tento zákon lze vyjádřit vztahem (3):

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

kde λ_{max} je vlnová délka, při níž je hodnota spektrální hustoty zářivého toku při dané teplotě zářiče maximální.

Wienův posunovací zákon je možné získat z Planckova vyzařovacího zákona derivací spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ dle vlnové délky λ , přičemž

tuto derivaci je třeba položit rovnu nule. Tím získáme průběh poloh maxim izotermem v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ na vlnové délce λ . Wienův posunovací zákon je graficky vyjádřen na obr. 15 [3, 18, 19].



Obr. 15 Grafická interpretace Wienova posunovacího zákona [16].

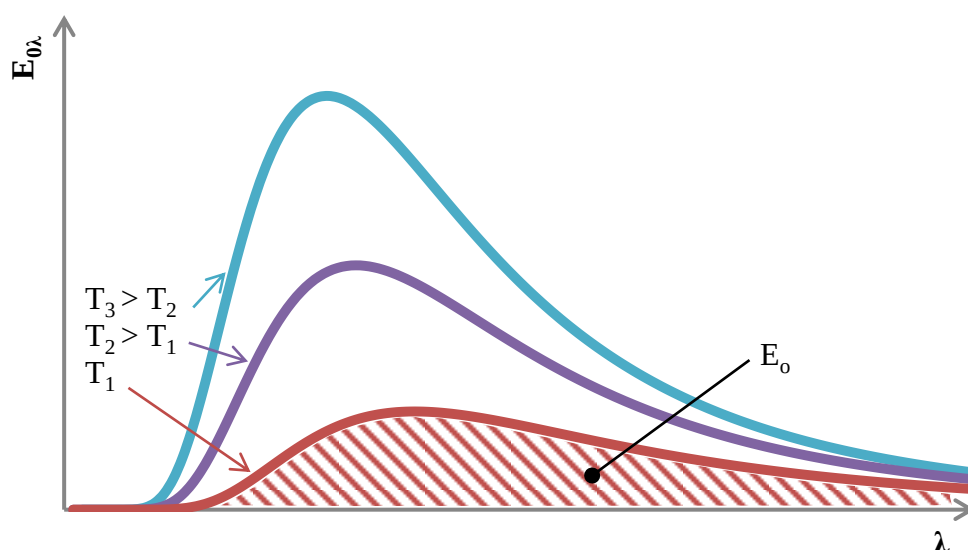
2.4 Stefan–Boltzmannův zákon

Stefan – Boltzmannův zákon zní: *Každé těleso, které má nenulovou absolutní teplotu září, přičemž hustota zářivého toku je úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty.*

Matematickou formulaci Stefan–Boltzmannova zákona lze získat, provedeme-li integraci spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ dle Planckova vyzařovacího zákona, a to přes celý rozsah vlnových délek a za konstantní teploty. Pro hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa dostaneme vztah (4):

$$E_o = \sigma_o \cdot T^4 \quad (4)$$

kde σ_o je Stefan–Boltzmannova konstanta, která má hodnotu $\sigma_o = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa E_o lze zobrazit v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ na vlnové délce λ , jako plochu pod danou izotermou, viz obr. 16 [16, 17, 18, 19].



Obr. 16 Grafická interpretace Stefan–Boltzmannova zákona [16].

2.5 Emisivita

Výše uvedené zákony byly vyjádřeny pro černé těleso, pro něž platí, že dokonale pohlcuje (absorbuje) dopadající záření a při každé vlnové délce vyzařuje maximální energii. Souvislost mezi pohlcenou a vyzářenou energií (respektive schopností tělesa pohlcovat a vyzařovat energii) u černého tělesa uvádí ve svém zákoně Gustav Robert Kirchhoff.

Pojem černé těleso vznikl z pozorování, kde se dobře absorbující tělesa ve viditelném spektru jeví jako černá. Ovšem lidské oko není příliš dobrý indikátor absorpce a proto i jinak barevná tělesa mohou být dobrými černými tělesy (například tělesa pokrytá bílou olejovou barvou jsou dobrými pohlcovači záření)

Pro nedokonalé zářiče, které se také označují jako šedé povrchy (šedá tělesa), lze hustotu zářivého toku vyjádřit vztahem (5):

$$E = \varepsilon \cdot \sigma_o \cdot T^4 \quad (5)$$

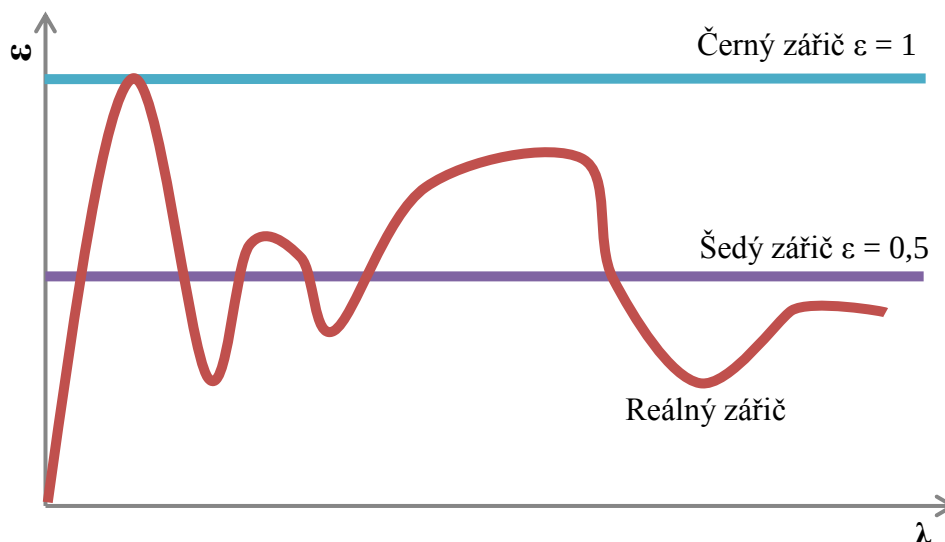
kde ε je emisivita zářiče. Emisivita, nebo také poměrná zářivost, vyjadřuje schopnost tělesa vyzařovat energii. Emisivitu lze vyjádřit vztahem:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_o} \quad (6)$$

V rovnici (6) je E intenzita vyzařování reálného tělesa a E_o je intenzita vyzařování černého tělesa. Emisivita tělesa je tedy poměr energie vyzářené reálným povrchem a energie vyzářené povrchem černého tělesa. Tento vztah platí, pouze pokud obě tělesa vyzařují za stejné teploty a na stejné vlnové délce.

Dokonalé zářiče (černá tělesa) mají $\varepsilon = 1$, nedokonalé zářiče (šedá tělesa) mají $\varepsilon = 0$ až $\varepsilon = 1$ a absolutně nedokonalé zářiče (bílá tělesa) mají $\varepsilon = 0$. Reálná tělesa jsou ovšem od výše zmíněných typů odlišná. Pro jejich emisivitu totiž platí, že je závislá zejména na

vlnové délce, teplotě a struktuře povrchu tělesa a směru vyzařování. Na obr. 17 je znázorněna závislost emisivity na vlnové délce pro černý, šedý a reálný zářič.



Obr. 17 Závislost emisivity na vlnové délce [16].

Hodnoty emisivit pro různé materiály lze nalézt v literatuře, na internetu nebo také v příloze P1 této práce. Pro příklad jsou v tabulce 14 uvedeny emisivity vybraných materiálů.

Tab. 2 Vybrané emisivity pro různé materiály [20].

Materiál	Emisivita ε [–]
ocel	0,10–0,85
hliník	0,02–0,31
beton	0,63–0,94
dřevo	0,90–0,94
hlína	0,38–0,66

Tabulková hodnota emisivity může a často také nabývá značného rozsahu, bývá totiž sepsána pro určitý rozsah teplot a různé vlnové délky. Pro přesné měření je vhodné zjistit emisivitu jiným způsobem než vyhledáním v tabulkách. Následující kapitola se zabývá právě těmito dalšími způsoby zjišťování emisivity [1, 16, 17, 18].

3 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ EMISIVITY

Pro zjištění teploty, která bude co nejpřesněji odpovídat skutečné teplotě měřeného objektu, je správné nastavení emisivity velice důležité. Problém správného zjištění emisivity lze řešit různými metodami.

3.1 Využití tabulek

Existuje řada tabulek, ve kterých lze nalézt hodnoty emisivity pro různé materiály a jejich zpracování. Viz například příloha P1. Jelikož má ale na velikost emisivity vliv velká řada faktorů, ani ty nejpřesnější tabulky nám nezaručí jistotu, že vyhledaná emisivita je opravdu správná. Proto je použití hodnoty z tabulek vhodné spíše pro orientační zjištění teploty tam, kde nám nepřesnost zjištěné teploty příliš nevadí [1].

3.2 Využití referenčního tělesa a výpočtu

Jako referenční těleso si vybereme takový objekt, u kterého známe jeho emisivitu. Pro zjištění neznámé emisivity zahřejeme oba vzorky na stejnou teplotu. Při tomto stavu platí pro obě tělesa Stefan–Boltzmannův zákon a neznámou emisivitu můžeme z matematického vyjádření tohoto zákona odvodit pomocí následujících rovnic (7, 8, 9).

$$E_1 = E_2 \quad (7)$$

$$\varepsilon_1 \cdot \sigma_o \cdot T_1^4 = \varepsilon_2 \cdot \sigma_o \cdot T_2^4 \quad (8)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2 \cdot T_2^4}{T_1^4} \quad (9)$$

E_1, E_2 jsou intenzity záření kontrolního a měřeného předmětu [W/m^2]; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ jsou emisivity objektů [–], T_1, T_2 jsou teploty předmětů [K], σ_o je Stefan–Boltzmannova konstanta [21].

3.3 Využití referenčního teploměru

Teplotu objektu nejprve zjistíme pomocí dotykového snímače. Následně oblast zaměříme pyrometrem, na kterém nastavujeme emisivitu tak, aby hodnota zjištěné teploty odpovídala hodnotě kontaktního teploměru. Využitím kontaktního snímače ale ztrácíme některé výhody bezkontaktního snímání.

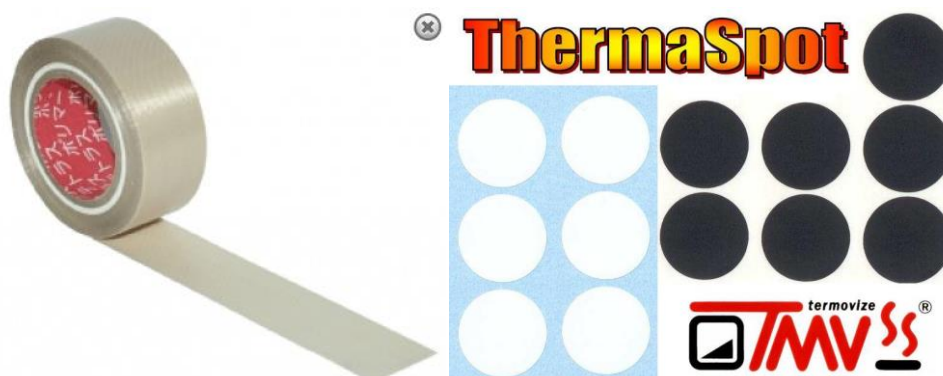
Některé pyrometry bývají vybaveny portem pro připojení sondy dotykového snímače právě pro tyto účely [1].

3.4 Využití referenčního materiálu

Na povrch objektu se nanese vrstva materiálu, který dobře přilne a jehož přesná emisivita je nám známa. Nanášený materiál může být ve formě pásy, spreje nebo nátěru.

Využití maskovacího pásu

Pro relativně nízké teploty, bývá udáváno do cca 50 °C, lze použít maskovacích pásek. Maskovací páska (obr. 18) se nalepí na měřený objekt. Výrobce udává přesnou emisivitu povrchu pásu (například $\varepsilon = 0,95$). Tuto emisivitu nastavíme na pyrometru a měříme teplotu. Pro měření pomocí této pomůcky je důležité, aby byl pásek pečlivě přilepen k povrchu tak, aby docházelo k dobrému přenosu tepla mezi objekty [1, 15].



Obr. 18 Různé druhy maskovacích pásek [15, 22].

Využití maskovacího spreje, nátěru

Na podobném principu jako maskovací pásky fungují také maskovací spreje či nátěry (příklady na obr. 19). Na povrch předmětu se lokálně nebo celoplošně nanese speciální maskovací barva s přesně udanou emisivitou. Tato emisivita se pak nastaví na pyrometru a můžeme provést měření. Maskovací spreje jsou vhodné pro měření i vyšších teplot než maskovací pásky, typicky do 800 °C [1, 15].



Obr. 19 Různé druhy maskovacích barev [15, 23].

3.5 Využití otvoru v objektu

Pakliže si můžeme dovolu do objektu vyvrtat otvor, učiníme tak. Parametry otvoru by měly být následující:

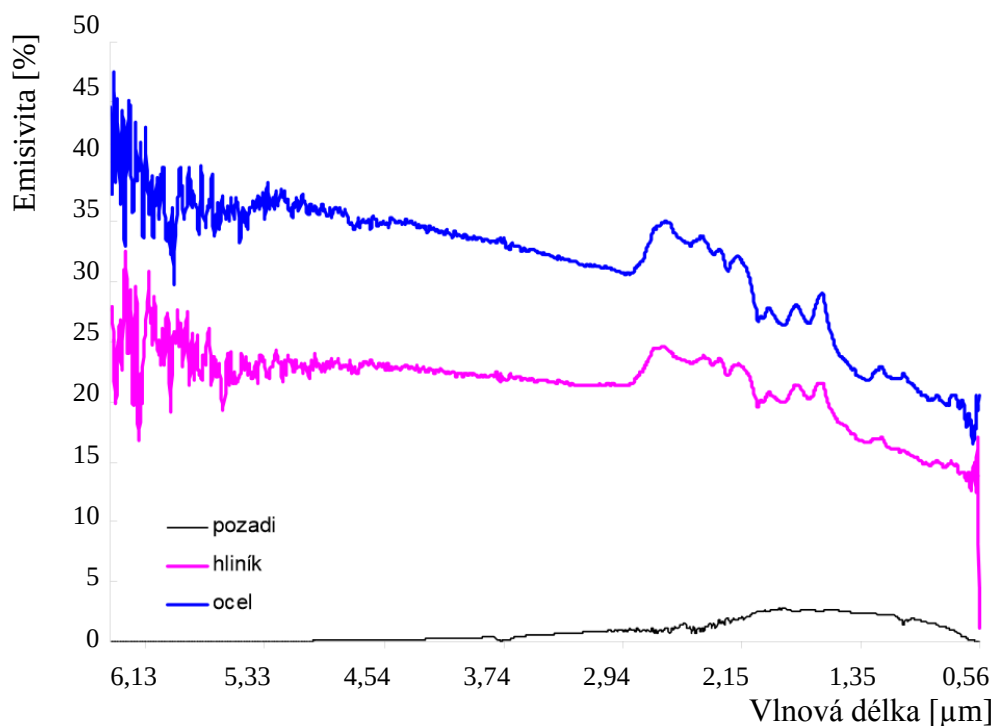
- hloubka je alespoň 6× větší než průměr,
- průměr otvoru je větší než průměr terče stanovený optikou pyrometru pro danou vzdálenost.

Vytvoříme tak model jednoduchého černého tělesa, jehož emisivita je blízká 1. Následně při měření nastavíme na pyrometru hodnotu emisivity 1 a provedeme měření. Při měření mimo tento otvor nastavujeme emisivitu tak, až obdržíme na indikátoru shodnou teplotu jako při měření v otvoru.

Při využití této metody musíme brát v potaz, že teplota uvnitř tělesa se může lišit od teploty jeho povrchu [1].

3.6 Využití spektrometru

Pro přesné stanovení emisivity v závislosti na vlnové délce a teplotě lze využít měřicího přístroje nazývaného infračervený spektrometr. Výsledkem měření je grafická závislost emisivity na vlnové délce při určité teplotě. Příklad výsledku tohoto měření je uveden na obr. 20 [24].



Obr. 20 Spektrální závislost emisivity hliníku a oceli při teplotě 200 °C [24].

3.7 Využití specializovaných pracovišť

Pakliže není v našich možnostech využít ke zjištění emisivity některou ze zmíněných metod, můžeme využít služeb specializovaných pracovišť, která určí emisivitu za nás.

Důležitá je přesná specifikace prostředí, ve kterém bude následně probíhat další měření. Zajistíme tak možnou opakovatelnost měření.

4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDKY TERMORIZNÍHO MĚŘENÍ

4.1 Kalibrace pyrometru

Kalibrace pyrometrů probíhá na tzv. černém tělese (obr. 21). Pomocí tohoto zařízení jsme schopni nastavit měřicí zařízení tak, aby zobrazovaná hodnota odpovídala teplotě, kterou má komora kalibračního přístroje. Emisivita komory černého tělesa má hodnotu jedna, případně 0,99 u některých přístrojů. Správně kalibrované měřicí zařízení je prvním předpokladem pro dosažení přesných výsledků [1].

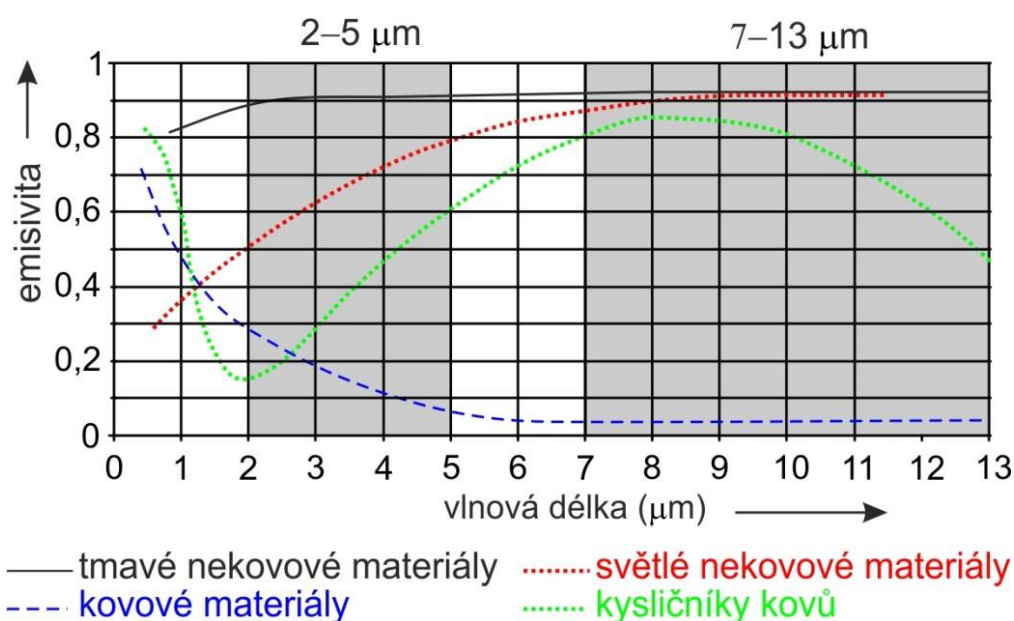


Obr. 21 Model černého tělesa pro kalibraci pyrometrů [25].

4.2 Spektrální pásmo pyrometru

V praxi se obvykle setkáváme s pyrometry měřícími teplotu jen ve vymezené části možného rozsahu vlnových délek. Tyto přístroje jsou označovány jako pyrometry pásmové. Opakem jsou pyrometry úhrnné, též označované jako pyrometry na celkové záření. Jak již jejich název napovídá, přístroje měří teplotu v celém spektru vlnových délek ($\lambda = 0$ až $\lambda = \infty$)

Pásmo, nebo také rozsah spektra, ve kterém přístroj měří, je jedním z důležitých parametrů měřicího zařízení. U přístrojů měřících v úzkém pásmu je udávána střední vlnová délka tohoto pásma. V termovizní technice se nejčastěji používají krátkovlnná pásma (přibližně $\lambda = 2 \mu\text{m}$ až $\lambda = 5 \mu\text{m}$) a dlouhovlnná (přibližně $\lambda = 7 \mu\text{m}$ až $\lambda = 13 \mu\text{m}$).



Obr. 22 Závislost emisivity na vlnové délce [1].

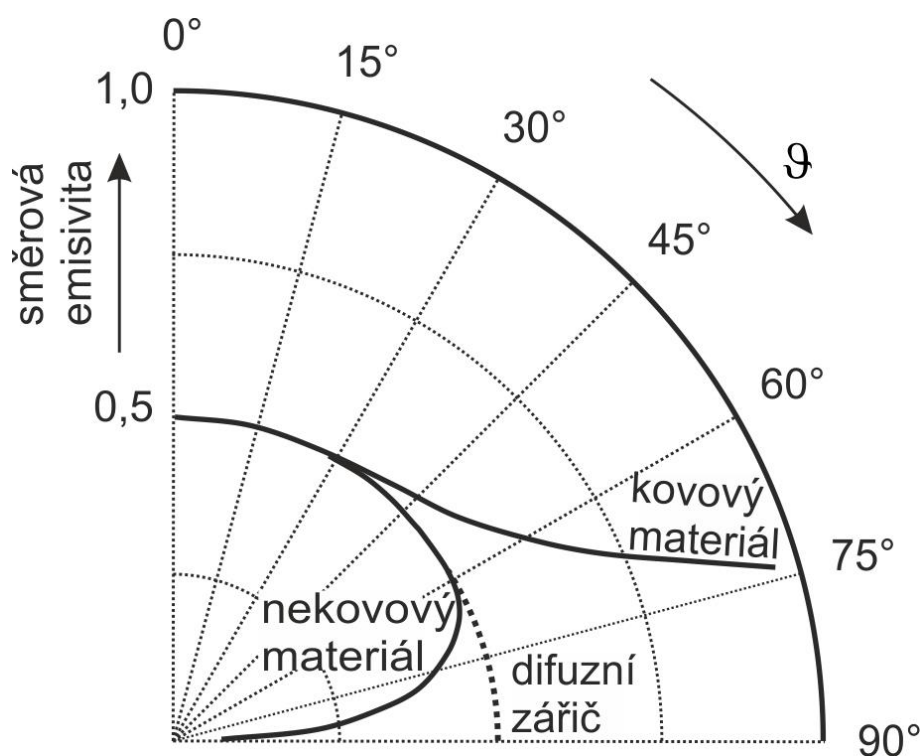
Na obr. 22 je znázorněno infračervené pásmo, které se využívá pro měření pomocí termokamer. Křivky v grafu vyjadřují závislost emisivity na vlnové délce pro různé materiály. Šedou barvou je zde vyznačeno pásmo 2 až 5 μm , které je vhodné pro měření teplot u kovových materiálů. Pásmo 7 až 13 μm se využívá pro měření teplot u nekovových materiálů. Specifickým materiálem je sklo, pro skleněné povrchy se využívá měření na vlnové délce 5 μm . Příklady využívaných pásem pro různé přístroje jsou uvedeny v tabulce 3 [1, 26].

Tab. 3 Spektrální pásma pro různé termovizní přístroje.

Termokamera:	Spodní mez pásma	Horní mez pásma
Fluke VT0	6,5 μm	14 μm
Testo 885	8 μm	14 μm
FLIR SC 2000	7,5 μm	13 μm
FLIR SC 7210	1,5 μm	5,1 μm

4.3 Úhel zaměření pyrometru

Nejlepší výsledky měření dosáhneme, když je pyrometr zaměřen kolmo na měřený povrch. Zaměření pod úhlem je možné, avšak je nutné uvažovat změnu velikosti zorného pole a změnu velikosti emisivity, která je na úhlu zaměření rovněž závislá. Tato závislost je znázorněna na obr. 23 [1, 18].



Obr. 23 Závislost emisivity na úhlu zaměření [1].

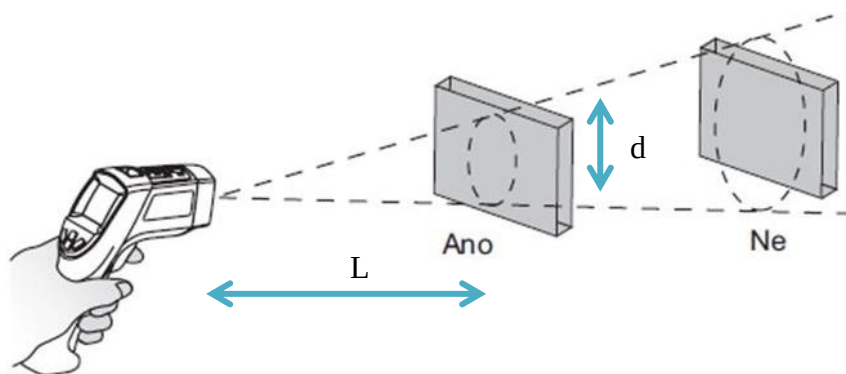
4.4 Plocha zaměření pyrometru

Každý pyrometr, nebo termovizní kamera, má od výrobce graficky zobrazen způsob nejlepšího zaměření měřeného objektu. Nikdy nesmí být měřena plocha povrchu objektu, která nesplňuje podmínky stanovené výrobcem.

Nákres na obr. 24 lze rovněž vyjádřit vzdálenostním poměrem (anglicky Distance–Size) uvedeným v rovnici (10).

$$DS = \frac{L}{d} \quad (10)$$

Hodnota DS je poměr vzdálenosti měřené plochy (L) a průměru kružnice (d) na měřené ploše [1].

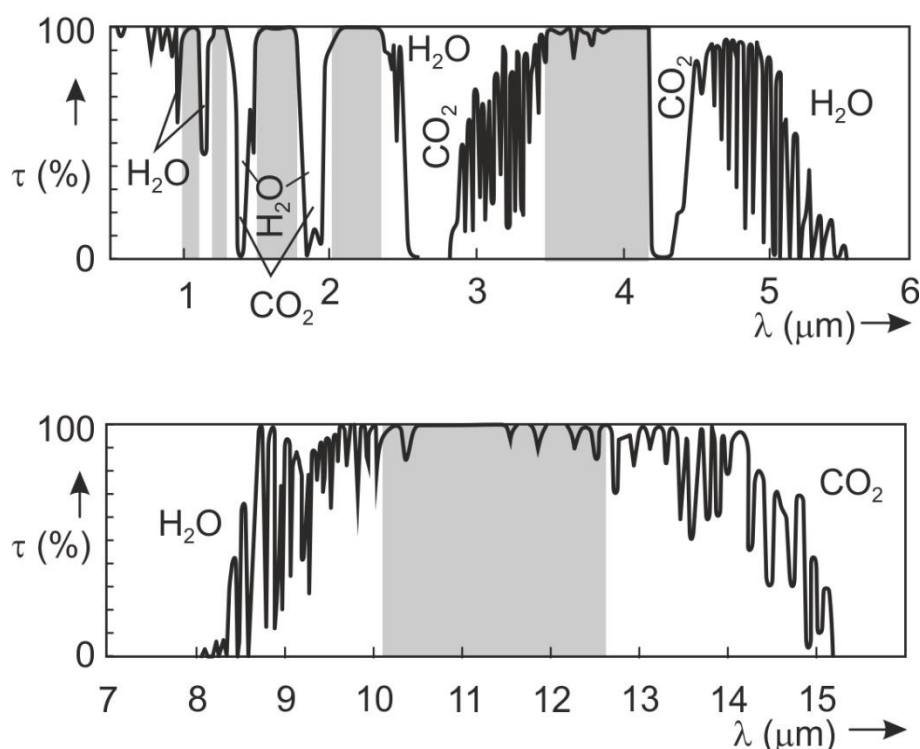


Obr. 24 Nákres zaměření pyrometru [12].

4.5 Atmosféra

Mezi měřeným objektem a pyrometrem se nachází prostředí, jehož obtížně určitelné vlastnosti rovněž ovlivňují výsledky měření. Součástí tohoto prostředí jsou různorodého charakteru, například vodní páry, různé plyny, částice prachu.

Toto pracovní prostředí propouští pouze část záření a zmenšuje tak velikost záření dopadající na senzor měřicího zařízení. Při měření je tedy vhodné omezit nestálost klimatu, vyhnout se měření v prašném a vlhkém prostředí. Na obr. 25 je znázorněna propustnost jednotlivých složek atmosféry.



Obr. 25 Propustnost atmosféry při teplotě 25 °C [1].

Z grafu na obrázku vyplývá, že propustnost prostředí závisí rovněž na vlnové délce. Z tohoto důvodu je vhodné volit měřicí pásmo pyrometru tak, aby propustnost prostředí byla co nejvyšší. Propustnost prostředí můžeme rovněž ovlivnit zkrácením vzdálenosti, ze které povrch snímáme. V běžném prostředí bez výrazného znečištění a při měření na krátké vzdálenosti je vliv prostředí zanedbatelný [1].

4.6 Emisivita

Pro naměření správných hodnot teploty je důležité znát přesnou emisivitu povrchu tělesa. Její určení je však obtížné, neboť je závislá na řadě faktorů [1]:

- druhu materiálu,
- stupni oxidace povrchu materiálu,
- opracovanosti a drsnosti povrchu,
- efektivní vlnové délce pyrometru,

- teplotě materiálu.

Zjišťováním emisivity se podrobně zabývají další kapitoly této práce.

4.7 Teplota podkladu

Vliv horkého pozadí na měření není zanedbatelný. Pakliže teplota měřeného objektu je nižší než teplota prostředí, ve kterém se objekt nachází, dojde k nežádoucímu ovlivnění snímače energií pocházející z tohoto prostředí. Na senzor dopadá záření, které nevydává měřený objekt, ale okolí předmětu. Měřicí zařízení není schopno rozeznat původ záření, dopadající energii sečte a převede na teplotu.

K uvedenému jevu může rovněž docházet v případě, kdy měříme lesklé předměty (například leštěné kovy) nebo měříme teplotu předmětu umístěného v peci. Záření z okolí se odráží od objektu měření do objektivu kamery a významně ovlivňuje výsledek měření [1].

5 VYUŽITÍ TERMovIZE V PRAXI

Termovize se využívá k měření či porovnávání teploty v různých oborech. Pro příklad můžeme uvést následující:

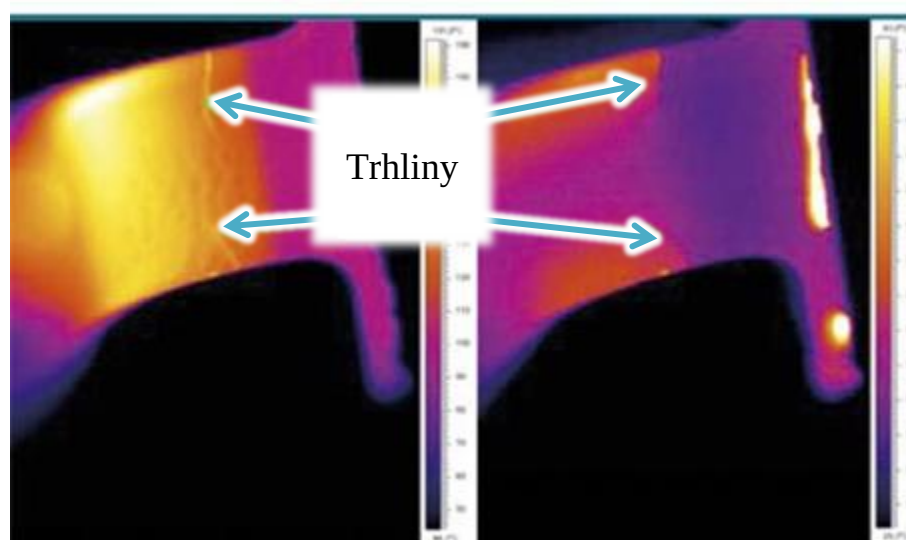
5.1 Využití termovize ve strojírenství

Většina průmyslových podniků vyžaduje maximální možnou efektivitu a životnost od svého zařízení. V důsledku toho se vyvíjí protichůdné požadavky na provoz zařízení. Zvláště pak u součástí pohonů jako jsou elektromotory, převody a ložiska, které jsou velice náročné jak z pohledu pořizovacích nákladů, tak i z pohledu nákladů na případnou opravu či výměnu.

Významnou složkou nákladů jsou náklady na přerušení provozu. Proto je vhodné investovat do prediktivní údržby, kterou termovizní diagnostika poskytne v plné míře. Důkladně prověří veškeré stavy odchýlené od normálu: přetížení motorů a převodovek, chybné uložení hřídelů a ložisek a podobně. Důsledkem tohoto stavu je zvýšení teploty, které lze snadno rozpoznat na termogramech.

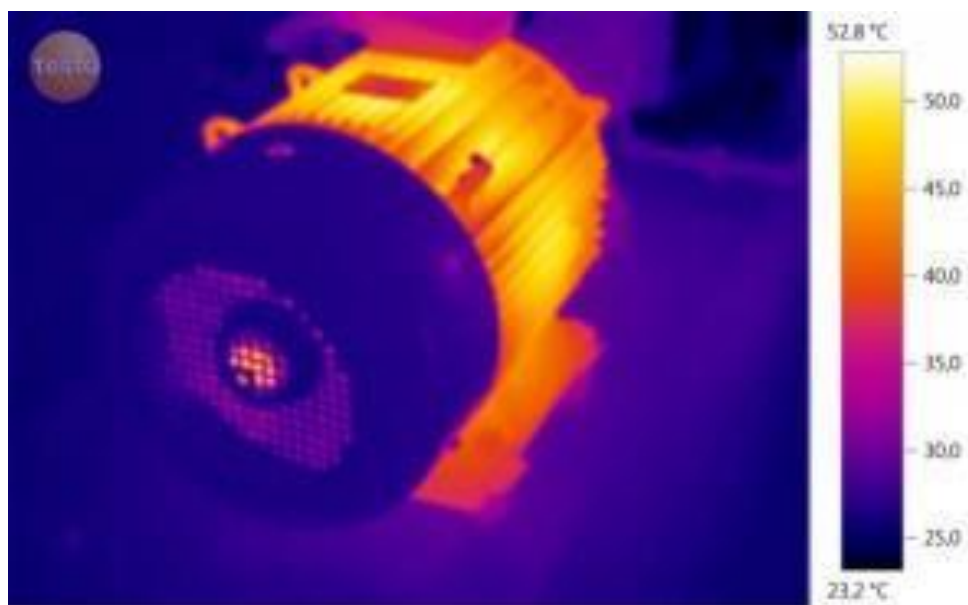
Termovizi je možné využít při kontrole:

- uložení rotačních součástí (například ložiska, části dopravníků),
- přetížení spalovacích motorů, elektromotorů, pohonů a převodovek,
- čerpadel a ventilátorů, turbín,
- výšky hladiny v zaizolovaných nádobách či nádržích,
- kontrola rozložení teplot lisovacích forem.



Obr. 26 Trhliny v lopatce turbíny [29].

Na obr. 26 je znázorněn vliv trhliny na vedení tepla na povrchu lopatky turbíny. Na obr. 27 je pak možno pozorovat rozložení teplot na povrchu pohonného elektromotoru. Pomocí termovize lze snadno identifikovat opotřeбенé a přehřívající se části pohonných soustav strojů [28, 31].



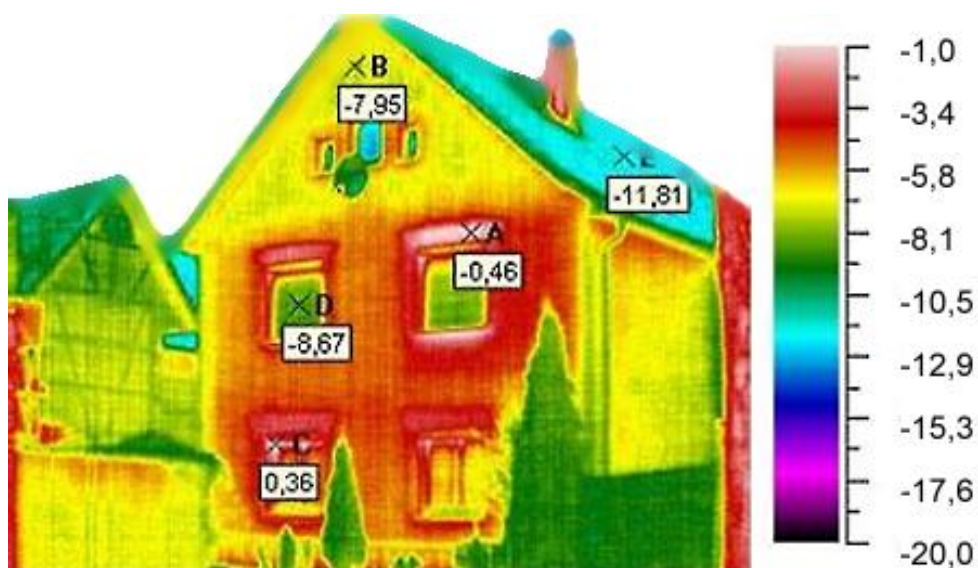
Obr. 27 Rozložení teplot na povrchu elektromotoru [29].

5.2 Využití termovize ve stavebnictví a tepelné technice

Využití termokamer ve stavebnictví je jednou z nejrozšířenějších aplikací využití termovize. Existuje řada firem a odborníků, kteří nabízejí služby spojené s pořizováním, vyhodnocováním a interpretací termosnímků [28, 30, 31].

Oblasti využití termovize ve stavebnictví jsou:

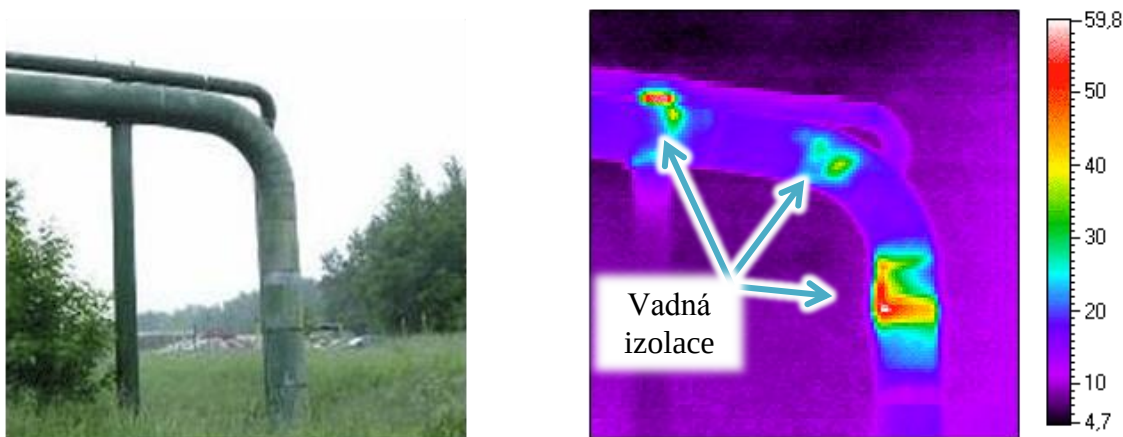
- kontrola obvodového pláště budov a střech (obr. 28),
- odhalení a lokalizace tepelných mostů,
- lokalizace degradované tepelné izolace,
- lokalizace nespojitosti obvodového pláště (trhliny, nesourodost materiálů),
- kontrola kvality provedení u dodatečného zateplení,
- optimalizace konstrukčního řešení – nalezení nejvhodnějších technologických postupů,
- lokalizace míst potenciálního vzniku plísní (povrchová kondenzace a s tím související vlhkost zdiva),
- odhalení a lokalizace poruch podlahového vytápění,
- kontrola kvality komínů.



Obr. 28 Rozložení teplot v okolí oken a střechy budovy rodinného domu [28].

Oblasti využití termovize v tepelné technice jsou:

- kontrola tepelných vyzdívek,
- kontrola tepelných izolací u teplovodů, horkovodů a parovodů,
- lokalizace a intenzita poruch u rozvodů tepla (obr. 29),
- testování nových izolačních materiálů,
- podklad pro výpočet součinitele prostupu tepla.



Obr. 29 Rozložení teplot na parovodním potrubí [28].

5.3 Využití termovize v elektrotechnice

Při termovizních měřeních na elektrických zařízeních se vyhodnocují místa s větší teplotou, než je obvyklé. Zahřívání těchto míst může být způsobené nedokonalým spojením vodičů, kterými protéká elektrický proud.

Hlavním kritériem pro rozhodnutí, zda jde o špatný spoj, není pouze absolutní teplota spoje, ale zejména teplotní rozdíl vůči ostatním spojům, eventuálně jeho rostoucí trend. Termovizním měřením, postupným sledováním a porovnáváním s archivními hodnotami

Ize rozhodnout o kvalitě sledovaného spoje. Termovize je výkonný pomocník při kontrole a revizi elektrických rozvodů.

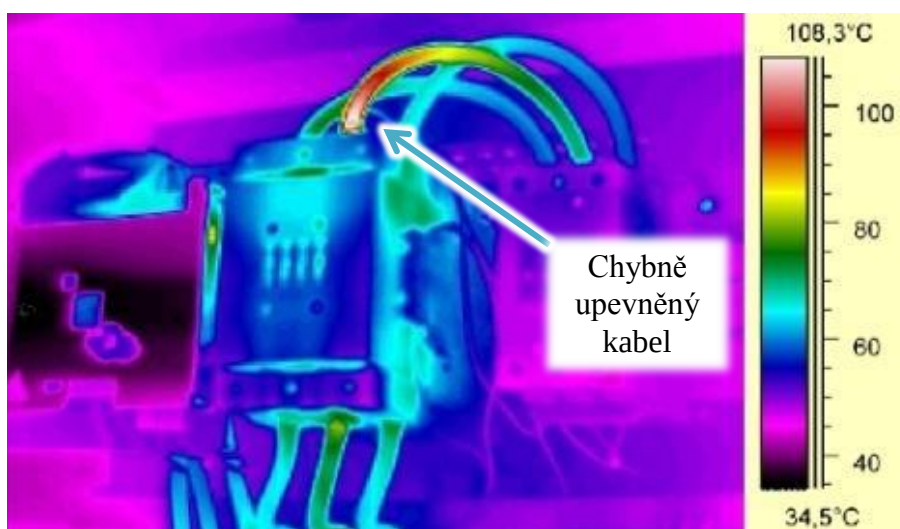
Termovizi je v elektrotechnice možné využít v těchto oblastech:

- měření kvality proudových spojů,
- kontrola přehřívání vlivem zvýšeného přechodového odporu,
- kontrola transformoven,
- kontrola rozvaděčů a elektrických systémů,
- měření spínacích stanic a rozveden vysokého napětí,
- měření venkovního vedení velmi vysokého napětí (oteplení spojů, svodičů přepětí),
- oteplovací zkoušky vinutí elektrických strojů.

Termovizní měření oteplení svorek (obr. 30), spojů a elektrických zařízení se provádí nejméně při 50% zatížení. Svorka nebo spoj, které jsou v pořádku, nemají být teplejší než vodič, na který jsou připojeny. Spoje nebo svorky s vyšší teplotou než vodič jsou klasifikovány podle oteplení a naléhavosti odstranění závady do čtyř stupňů podle tabulky 4 [28, 31].

Tab. 4 Kritéria pro odstranění závady spoje [28].

Stupeň klasifikace	Rozmezí teplot	Opatření
I. stupeň	$0\text{ °C} < \Delta t < 10\text{ °C}$	žádné opatření
II. stupeň	$10\text{ °C} < \Delta t < 35\text{ °C}$	opravit při plánované revizi
III. stupeň	$35\text{ °C} < \Delta t < 100\text{ °C}$	opravit do jednoho měsíce
IV. stupeň	$100\text{ °C} < \Delta t$	opravit okamžitě



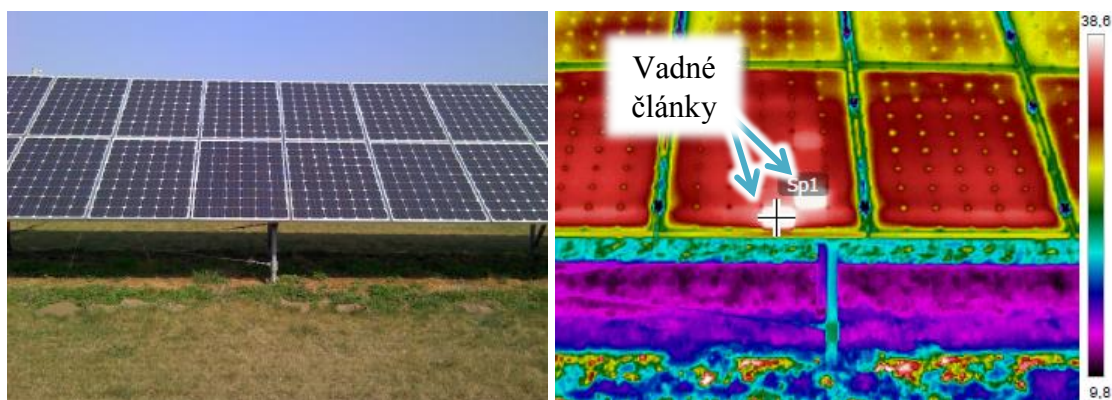
Obr. 30 Rozložení teplot uvnitř rozvaděče napětí [28].

5.4 Využití termovize ve fotovoltaice

Jednou z nejnovějších možností využití termokamer je oblast využití při sestavování a údržbě fotovoltaických elektráren

Termokamery se využívají jako ideální nástroj pro monitorování funkčnosti a kontrolu solárních panelů složených z jednotlivých článků. Poškozené články mohou způsobit vysoké zahřátí a následný požár. Poškozené články také způsobují výrazné ztráty výkonu celého systému.

S pomocí termovize je možné včas určit potenciální místa se zvýšenou teplotou a lokalizovat tak poškozené články. Na obr. 31 jsou rozeznatelné poškozené články jednoho z řady fotovoltaických panelů.



Obr. 31 Solární panely a lokalizace poškozeného článku.

Termografie se využívá také ke kontrole správné funkčnosti polohovacích elektromotorů solárních panelů a při kontrole střídačů a transformátorů elektrického napětí, které jsou nedílnou součástí fotovoltaických elektráren [28].

5.5 Další oblasti využití termovize

Oblast využití termovizní techniky je široká. Mimo výše uvedených oblastí najde termovize uplatnění například také v [31, 12]:

- **Medicíně** – zde je velice užitečná při diagnóze různých onemocnění lidí i zvířat, a to převážně při onemocněních kůže, povrchových poraněních, rakovině prsu, popáleninách nebo také například při operacích srdce a vývoji nových léků.
- **Potravinářském průmyslu** – téměř veškeré pochody v potravinářství jsou spojeny se změnou teploty, kterou lze pomocí termokamer monitorovat.
- **Automobilovém průmyslu** – termografie se zde uplatní nejen ve fázi návrhu jednotlivých částí automobilu, jako jsou například brzdy, motory, palivové systémy, vyhřívání sedadel a oken, ale rovněž také při následné výrobě a testování vozů.
- **Slévárenství** – ve slévárenství se termovize uplatní při kontrole teploty uvnitř pecí nebo při odlévání. Pomocí termovize lze také zkoumat rozložení teplot při ochlazování odlitků. Termovizí lze rovněž kontrolovat opláštění a vyzdívky pecí a předejít tak možným havarijním stavům.
- **Armádě a zabezpečovací technice** – v těchto odvětvích se termovize nejčastěji uplatní při sledování a vyhledávání osob. Na termosnímecích lze rozpoznat člověka i v případě, že je lidskému oku skrytý (například ve tmě).

5.6 Využití aktivní termografie při nedestruktivním testování materiálů

Jednotlivé oblasti a metody zmíněné v předešlých podkapitolách spojuje užití takzvané pasivní termografie. Pasivní termografie je založena na zobrazování teplotních polí vzniklých činnostmi zařízení a s tím spojeného vývinu nebo absorpcí tepla.

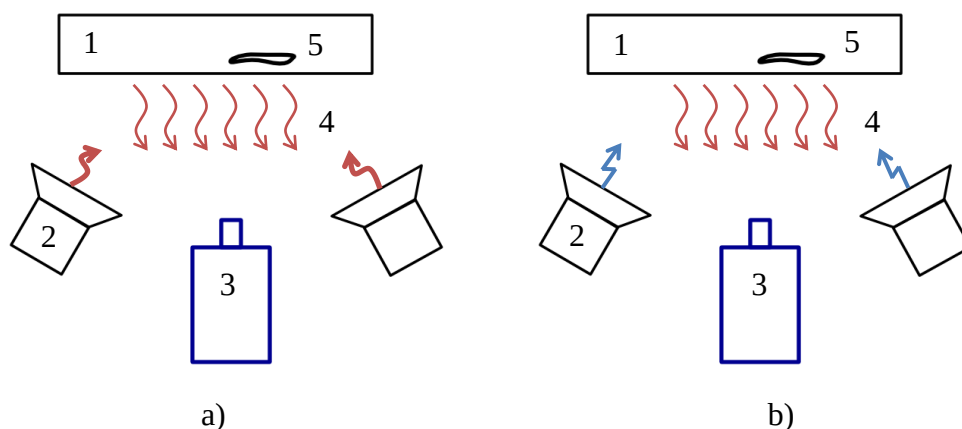
Ve specifických případech lze použít k testování termografii aktivní. Aktivní termografie je založena na řízené stimulaci tepelné vlny v tělese. Následným snímáním rozložení teploty termografickou kamerou na povrchu tělesa a analýzou obrazu lze objevit vady uvnitř materiálu.

Zdrojem tepla, pro aktivní termografii, který je nejčastěji umístěn vně tělesa může být:

- halogenová lampa,
- pulzní laser,
- výkonový blesk,
- xenonová výbojka
- teplý proudící vzduch.

Tepelná stimulace může být také vybuzena vnitřním třením struktury tělesa prostupující ultrazvukovou vlnou. U elektricky vodivých objektů lze stimulaci vybudit z externí cívky indukovaných vířivých proudů [32, 33].

Na následujícím obrázku je schematicky znázorněno použití aktivní termografie při pulzním ozařování vzorku materiálu. V případě užití pulzního zdroje IR záření je tato metoda označována jako Lock-in termografie (Obr. 32a) a Pulzní termografie v případě použití pulzů vycházejících z výkonných blesků (Obr. 32b).



Legenda: 1) zkoumaný objekt, 2) zdroje pulzů, 3) termovizní kamera, 4) IR záření vycházející z objektu zkoumání, 5) vada v materiálu.

Obr. 32 Schématické znázornění Lock-in (a) a Pulzní termografie (b).

6 NÁVRH A POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

6.1 Návrh experimentu

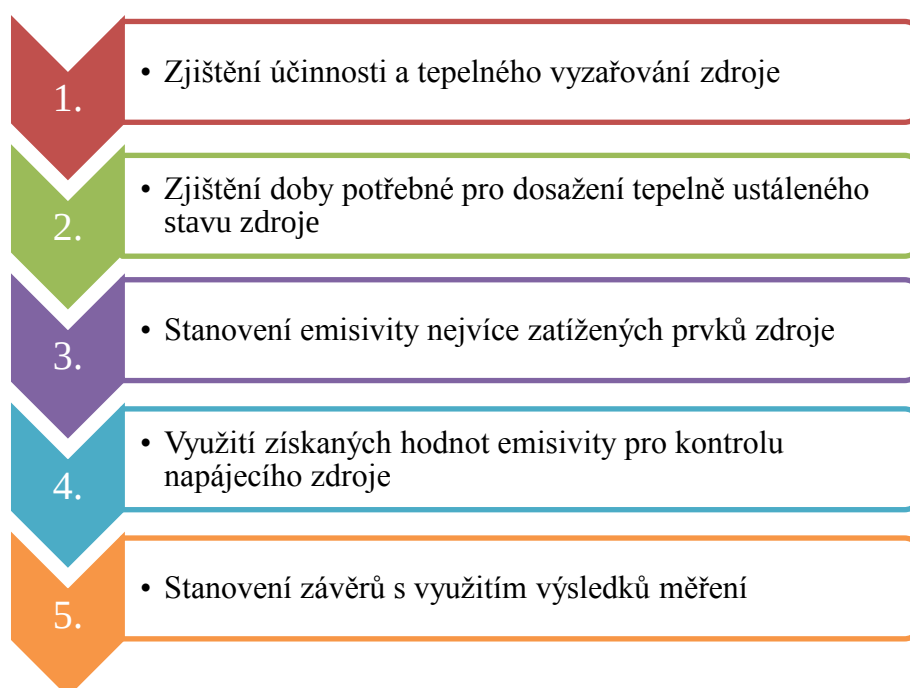
Základním stavebním prvkem všech moderních elektronických zařízení jsou desky plošných spojů (anglicky PCB – Printed Circuit Boards) a elektronické součástky na nich osazené. Termokamery poskytují velice výkonný nástroj pro monitorování při jejich návrhu a testování. Méně často nachází využití při výrobě a zjišťování kvality finálních zařízení obsahujících tyto plošné spoje [27].

Při návrhu plošných spojů je termovize využívána jako nástroj kontroly součástí, které jsou nadlimitně zatíženy. Součásti, které jsou přetěžovány, produkují velké množství tepla, jež lze okamžitě pomocí termogramu odhalit. Následně může projektant pozměnit návrh zařízení tak, aby nedocházelo k tomuto přetížení.

Ve fázi testování hotových výrobků hledáme místa, která jsou přehřátá a neodpovídají hodnotám naměřeným při vývoji. Zvýšená teplota může být způsobena vadnými součástkami, vadnou deskou plošného spoje, nebo nekvalitní montáží při sestavování zařízení. Odhalené vadné výrobky mohou být navraceny do výroby k opravě.

Pro správné zjištění teploty objektů pomocí termovizní kamery je důležité znát hodnotu emisivity daných součástí. Experimentální část této práce se zabývá praktickým zjišťováním emisivity vybraných prvků napájecího zdroje v laboratorních podmínkách FSI VUT v Brně. Zjištěné hodnoty je následně možné využít pro přesné stanovení teploty součástí zatíženého zdroje při výstupní kontrole těchto zdrojů v podnikové praxi.

Cílem experimentálního měření je tedy ověření vhodnosti využití termokamery jako součásti výstupní kontroly ve výrobě napájecích zdrojů. Jednotlivé části měření jsou znázorněny na následujícím diagramu (obr. 33):

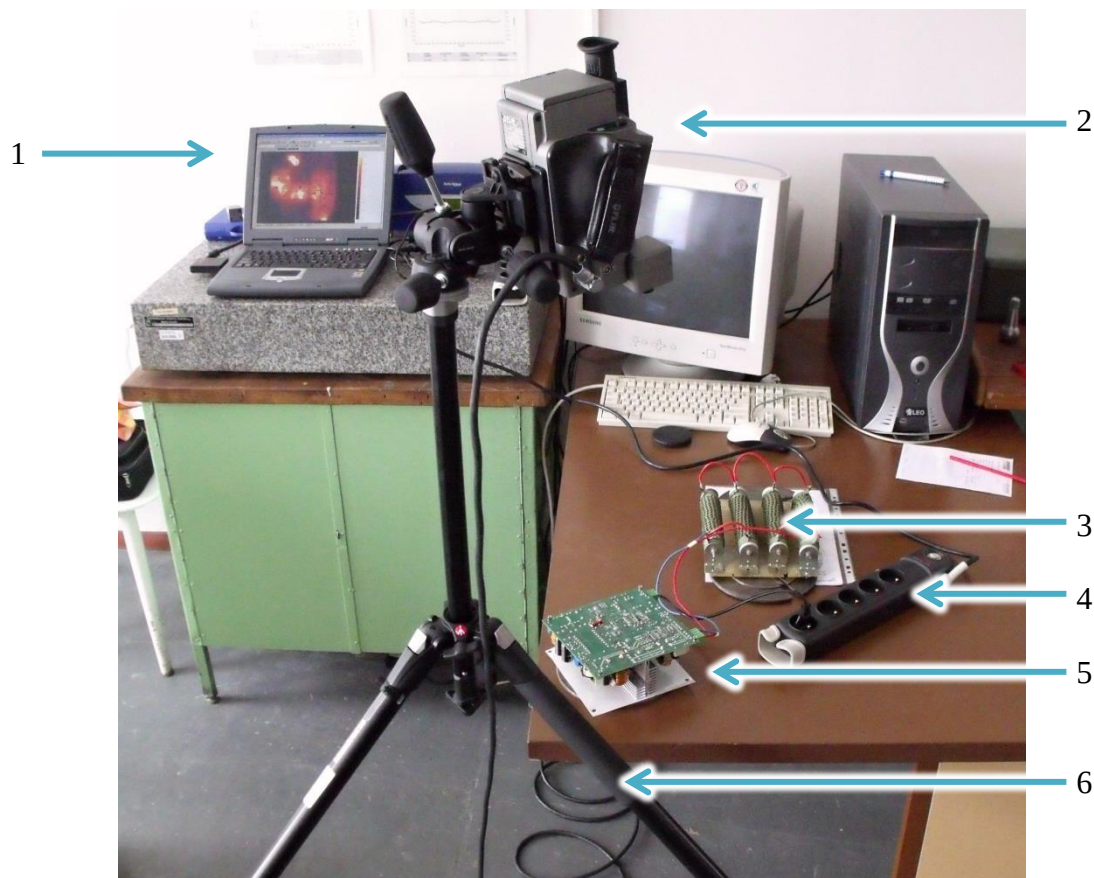


Obr. 33 Postup experimentálního měření.

6.2 Popis pracovního prostředí

Laboratorní měření probíhalo v laboratořích Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

Na následujícím obrázku (obr. 34) je vyfotografováno prostředí experimentálního pracoviště s potřebným vybavením pro práci s termokamerou.

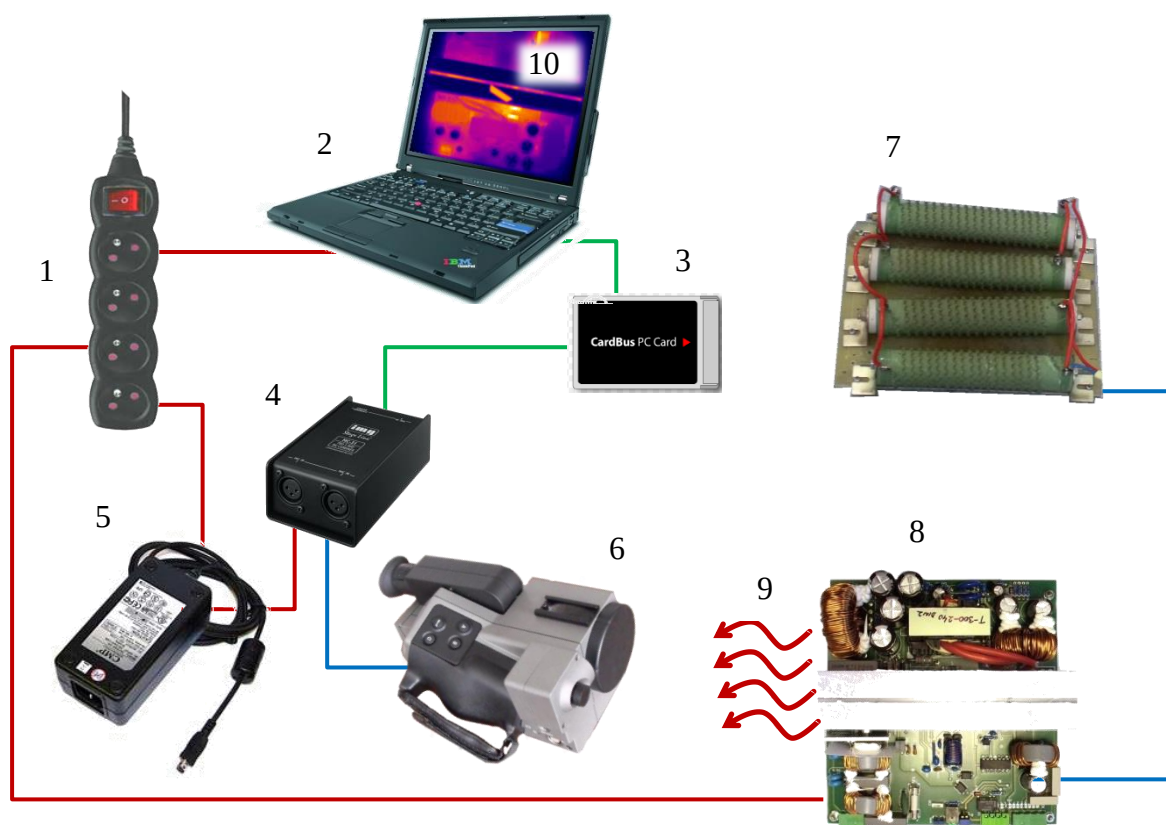


Legenda: 1) počítač s nainstalovaným programem ThermaCAM Researcher, 2) termovizní kamera FLIR SC 2000, 3) Soustava rezistorů pro zatížení zdroje, 4) napájení zdroje, 5) zdroj, 6) stativ pro termokameru.

Obr. 34 Experimentální pracoviště.

Při měření byla kolem zdroje vytvořena clona z plastových desek. Tyto desky s vysokou emisivitou zde byly umístěny z důvodu zabránění proudění vzduchu v okolí zdroje a eliminaci nežádoucích odrazů obsluhy a dalšího zařízení v laboratoři. Vysoká emisivita zábran zaručila, že okolní záření nebude odraženo do objektivu kamery.

Propojení jednotlivých částí měřícího zařízení, připojení zdroje k jeho zátěži a napojení na elektrickou síť je uvedeno na obr. 35.



Legenda: 1) rozvod elektrické energie, 2) pracovní stanice s nainstalovaným programovým vybavením, 3) PC karta pro připojení kamery k pracovní stanici, 4) směšovač signálu a napájení kamery, 5) zdroj napájení kamery, 6) termovizní kamera, 7) zátěž zdroje, 8) zkoumaný zdroj, 9) IR záření vycházející ze zatíženého zdroje, 10) Pořízený termovizní snímek.

Obr. 35 Schématické znázornění propojení zařízení na experimentálním pracovišti.

6.3 Popis práce s termokamerou ThermaCAM SC 2000

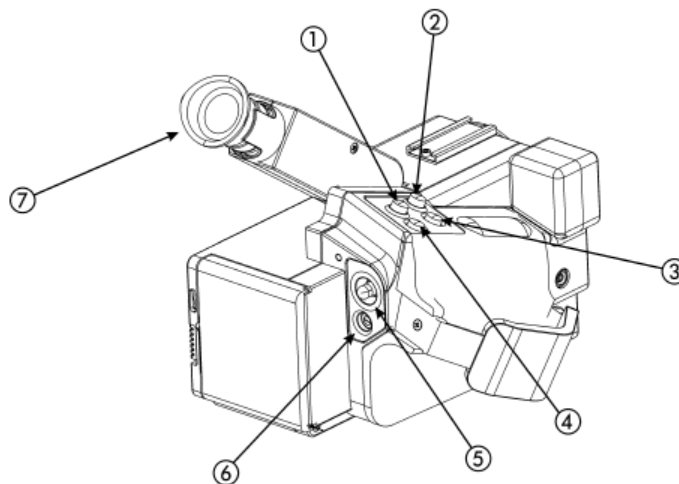
Následující podkapitola se zabývá popisem ovládání termokamery ThermaCAM SC 2000 (obr. 36) a obslužného softwaru ThermaCAM Researcher od výrobce FLIR.



Obr. 36 Termokamera ThermaCAM SC 2000

6.3.1 Popis ovládacích prvků kamery a možností připojení

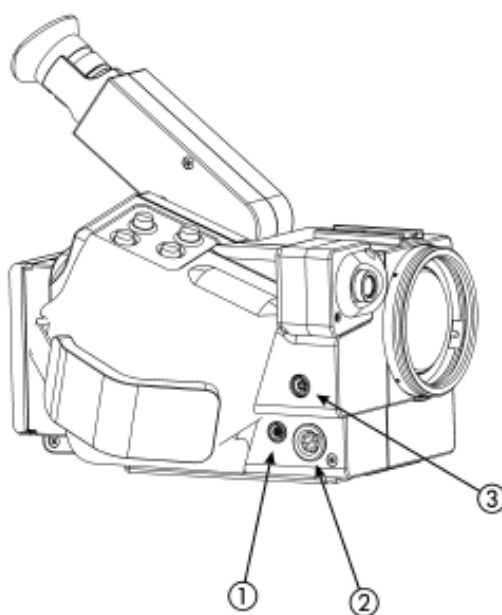
Kameru je možné ovládat pomocí tlačítek umístěných na jejím těle. Umístění tlačítek bylo voleno výrobcem tak, aby umožňovalo jejich snadný stisk při držení kamery v ruce.



Obr. 37 Ovládací prvky kamery [34].

Na obr. 37 je znázorněno rozložení jednotlivých ovládacích prvků. Pod vynášecími čarami s číslem popisku můžeme nalézt [34]:

- **Tlačítko ↵ (1)** (enter button): stisknutím v normálním režimu dojde k vyvolání menu přístroje, dále slouží k potvrzování dalších nabídek.
- **Tlačítko A (2)** (auto button): při krátkém stisku slouží k automatické kalibraci obrazu pro dosažení nejlepšího výsledku zobrazení, po dlouhém stisku je aktivováno automatické zaostření objektivu.
- **Tlačítko S (3)** (save button): krátkým stisknutím je obraz zmrazen, opětovným stiskem je obraz uveden opět do živého módu. Po stisknutí tlačítka na déle jak jednu vteřinu dojde k uložení obrazu na paměťovou kartu zařízení.
- **Tlačítko C (4)** (clear button): je určeno k zavírání vyvolaných nabídek a pro zavření menu.
- **Směrové ovládací tlačítko (5)** (joystick): má více funkcí podle aktuálního zobrazení. Slouží k zaostřování a přibližování/oddalování obrazu. V prostředí menu slouží k výběru jednotlivých položek, případně k nastavení velikosti různých parametrů jako je například hodnota emisivity, vzdálenosti objektu, vlhkosti prostředí apod.
- **Zapínací/vypínací tlačítko (6)** (on/off button): slouží k zapnutí kamery, při stisku tlačítka na dobu delší dvou vteřin dojde k vypnutí kamery.
- **Zaostřovací kroužek (7)**: otáčením kroužku může být zaostřen obraz v hledáčku kamery.



Obr. 38 Připojovací konektory kamery [34].

Na obr. 38 jsou znázorněny konektory pro připojení [34]:

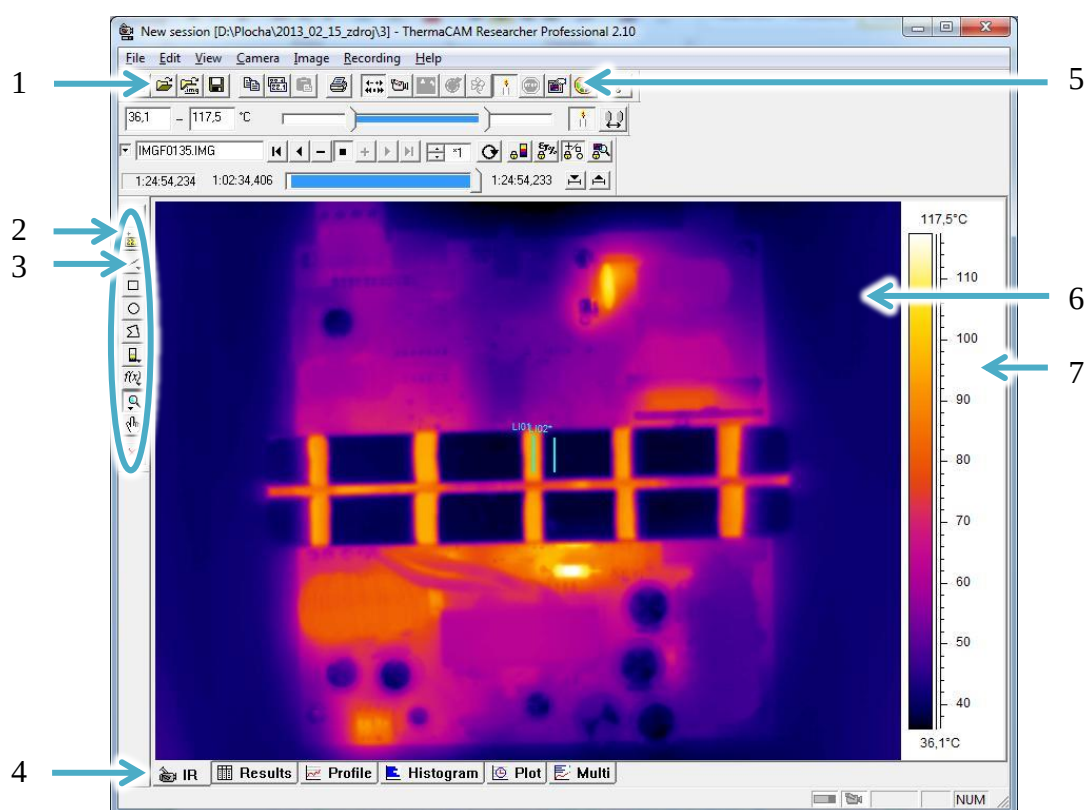
- **Video konektoru (1):** slouží pro přenos obrazu do externího zobrazovacího zařízení (například televize nebo monitoru).
- **Externího napájení (2):** slouží pro připojení externího napájení 12 voltů. Prostřednictvím tohoto připojení je rovněž realizováno dálkové ovládání zařízení a přenos video signálu do počítače.
- **Náhlavní soupravy (3):** konektor umožňuje připojení sluchátek s mikrofonom. Soupravu je možné využít v případě, že chceme uložit spolu s vytvořeným termogramem také hlasovou poznámku.

6.3.2 Popis práce se softwarem kamery

Pro vyhodnocování termosnímků pořízených termokamerou byl využit software ThermaCAM Researcher PRO 2.10. Program je poskytován výrobcem spolu se zařízením, případně je možné jej zdarma stáhnout v 30denní trial verzi z [www stránek výrobce](http://www.flir.com) zařízení FLIR [12].

ThermaCAM Researcher je uživatelsky velice přívětivý software, který poskytuje široké možnosti při zpracování a vyhodnocování termosnímků. Prostřednictvím tohoto programu je také možno ovládat připojenou kameru. Popis práce s programem je možno ukázat na jednoduchém příkladu – zjištění emisivity chladiče s využitím známé emisivity maskovacího spreje.

Po spuštění programu se zobrazí hlavní obrazovka, na které se nachází přístup k základním funkcím, viz obr. 39 a legenda pod obrázkem.



Legenda: 1) tlačítko Open Image, 2) nástroje pro teplotní analýzu, 3) tlačítko Add line, 4) karty zobrazení, 5) tlačítko Image Settings, 6) termosnímek, 7) teplotní stupnice.

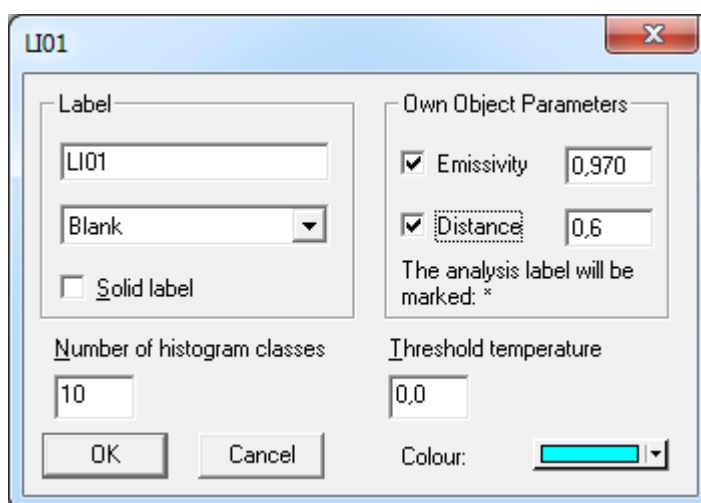
Obr. 39 Hlavní okno programu ThermoCAM Researcher.

Pomocí tlačítka *Open Image* vybereme pořízený termosnímek. Termosnímek se otevře v poli 6 (obr. 39) a kartě *IR*. Po pravé straně snímku je umístěna teplotní stupnice, kde každé teplotě odpovídá jiný odstín barevné palety.

Pomocí nástrojů umístěných vlevo od termosnímku lze vložit do obrázku teplotní analýzu.

Pomocí nástroje *Add line* vložíme do snímku dvě přímky. První s označením *LI01* a druhou *LI02*. Pomocí těchto přímek budeme provádět analýzu teploty. V případě větších ploch je možné k jejich analýze využít rovněž nástroj obdélník nebo kruh. Přímka *LI01* byla umístěna v oblasti, kde byla před snímkováním nanesena maskovací barva se známou emisivitou $\varepsilon = 0,97$. Přímka *LI02* je umístěna v blízkosti *LI01*, ale na místě bez nanesené barvy.

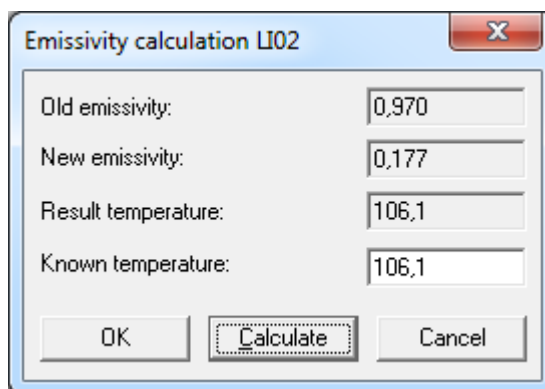
Následně je potřeba nastavit emisivitu a vzdálenost objektu od kamery pro oblast *LI01*. Nastavení provedeme v nabídce *Settings* z menu, které se zobrazí po kliknutí pravým tlačítkem myši na oblast *LI01*. Nabídka s nastavením emisivity a vzdáleností pro oblast *LI01* je zobrazena na obr. 40. Po nastavení a potvrzení pomocí tlačítka *OK* se vrátíme na hlavní obrazovku.



Obr. 40 Nastavení emisivity pro oblast LI01.

Nyní potřebujeme zjistit teplotu v oblasti LI01. Teplotu zjistíme v kartě *Results* ve spodní oblasti hlavního okna programu. Pro oblast LI01 se zde dozvíme minimální, maximální a průměrnou teplotu. Jako směrodatnou budeme nyní uvažovat teplotu průměrnou. Průměrná teplota pod přímkou LI01 je 106,1 °C. Zjištěnou teplotu využijeme pro zjištění emisivity chladiče.

Opět přepneme v dolní oblasti hlavního okna na kartu *IR* a pravým tlačítkem klikneme na přímku LI02, zobrazíme nabídku *Emissivity Calculation*. Tato nabídka je na následujícím obrázku (obr. 41).



Obr. 41 Výpočet emisivity pro oblast LI02.

Do pole *Known temperature* zadáme známou teplotu 106,1 °C a pomocí tlačítka *Calculate* program dopočte hodnotu nové emisivity (*New emissivity*) jako $\varepsilon = 0,177$. Zjištěná hodnota emisivity je po zaokrouhlení stejná jako hodnota emisivity pro hrubě leštěný hliník ($\varepsilon = 0,18$; viz příloha P1).

Předpokladem pro správné stanovení emisivity tímto způsobem je, že teploty pod přímkami LI01 a LI02 se neliší. Proto je vhodné volit tyto přímký dle možností co nejblíže u sebe.

6.4 Použité měřicí přístroje a pomůcky

Následující podkapitoly se zabývají popisem hlavních použitých přístrojů a měřicích pomůcek.

6.4.1 Napájecí zdroj JS-300-240/DIN2

K prováděným měřením byl využit napájecí zdroj JS-300-240/DIN2, revize 3 (Obr. 1). Jedná se o spínaný napájecí zdroj, který je určen pro napájení elektronických zařízení řídicích a monitorovacích systémů v průmyslové oblasti, kde není nebezpečí výbuchu. Zdroj je vybaven elektronikou umožňující velký rozsah vstupních napětí.

Plošný spoj s osazenými součástkami je umístěn v kovové krabici. Součástí boxu je držák pro upevnění na lištu DIN35. Pro připojení vstupního a výstupního napětí je zařízení doplněno konektorovými svorkovnicemi. Před úrazem elektrickým proudem chrání obsluhu výstupní obvody typu SELV.

Technické parametry zdroje jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 5). Další informace lze vyčíst z přílohy této práce (příloha P2).

Tab. 5 Technické parametry zdroje JS-300-240/DIN2.

JS-300-240/DIN2	
vlastnost	hodnota
Vstupní napětí	100 až 260 V~
Vstupní kmitočet	47 až 63 Hz
Vstupní proud	1,7 A při 230 V~
Elektrická pevnost	3000 V~ primár–sekundár 1500 V~ primár–krabice
Izolační odpor	Větší než 50 MΩ
Pracovní teploty	–20 až 50 °C
Hmotnost	1,4 kg
Rozměry	70 × 155 × 175 včetně držáku DIN

6.4.2 Termokamera ThermaCAM SC 2000 s příslušenstvím

Termokamera ThermaCAM SC 2000 výrobce FLIR je majetkem Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně. Zařízení je možné využívat v laboratořích tohoto ústavu. Ačkoliv již není toto zařízení zařazeno mezi aktuální produktovou řadu výrobce FLIR, jeho parametry jsou stále na vysoké úrovni. Souhrn těchto parametrů je uveden v tabulce 6.

Tab. 6 Technická specifikace termokamery ThermaCAM SC 2000 [34, 37].

ThermaCAM SC 2000	
vlastnost	hodnota
Rozsah měřených teplot	–40 až 1500 °C
Přesnost měření	±2 °C
Teplotní citlivost	0,1 °C při 30 °C
Spektrální pásmo	7,5 až 13 μm (dlouhovlnné)
Minimální vzdálenost objektu	0,5 m (s objektivem 24°, s předsádkou i méně)
Typ detektoru	Mikrobolometr

Rozlišení detektoru	320 × 240 bodů
Chlazení senzoru	Nechlazený
Obnovovací frekvence detektoru	60 Hz
Zorné pole	24° × 18°
Rozsah nastavení emisivity	0,01 až 1,00
Doba provozu na baterii	1,5 až 2 hodiny
Odolnost vůči vodě a prachu	krytí IP 54
hmotnost	1,9 kg (s baterií 2,3 kg)
rozměry	209 × 122 × 130 mm
Rozlišení videokamery	640 × 480 pixelů
Video výstup	VHS, S-VHS

6.4.3 ThermaSpray, ThermaSpot

Pro experimentální zjišťování emisivity pomocí metody s využitím referenčního materiálu byl využit maskovací sprej ThermaSpray a maskovací nálepky ThermaSpot.

Maskovací sprej ThermaSpray je speciální barva ve spreji, která je vhodná pro úpravu povrchu při termovizním měření. Prodejce, firma TMV SS spol s r. o., nabízí dvě provedení:

- v bílé barvě – ThermaSpray 500: odolnost až do 500 °C, emisivita $\varepsilon = 0,97$,
- v černé barvě – ThermaSpray 800: odolnost až do 800 °C, emisivita $\varepsilon = 0,96$.

Při měření byla využívána varianta v bílé barvě. Detailní informace jsou přiloženy v přílohách (příloha P3).

Maskovací nálepky ThermaSpot jsou vyrobeny z plastové fólie. Po nalepení na měřený objekt lze využít jejich vysoké emisivity. Jsou dostupné ve více provedeních:

- v bílé barvě – emisivita $\varepsilon = 0,96$,
- v černé barvě – emisivita $\varepsilon = 0,96$.

Obě barevná provedení lze zakoupit s průměrem 25 nebo 35 mm. Při měření byla využita varianta s průměrem 35 mm v černém provedení [13].

Jako vhodná alternativa k produktům společnosti TMV SS jsou na trhu dostupné pomůcky společnosti SpektraVision. Tato firma nabízí maskovací spreje (pod názvem ε -kontakt) a nálepky (ε -Spray). Parametry těchto pomůcek se shodují, pořizovací cena je ale výhodnější u firmy SpektraVision.

6.4.4 Teploměr a vlhkoměr

Ke zjišťování teploty a vlhkosti prostředí byl využit přístroj YK–2001. Jako jeho příslušenství byla použita sonda vlhkoměru YK–200PRH a termočlánek typu K. Přístroj je vyobrazen na obr. 2.

7 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

7.1 Nastavení termovizní kamery

Pro správné vyhodnocení povrchové teploty se před započítím měření nastavují podmínky měření. Zadávat se vlastnosti okolního prostředí a vlastnosti měřeného objektu.

Mezi vlastnosti nastavované v softwaru patří okolní teplota, vlhkost prostředí a vzdálenost kamery od objektu měření. Vlastnosti objektu, které lze zadat, jsou emisivita a jeho známá teplota. Dále pak je nutné nastavit teplotní rozsah měření.

Při provádění experimentů jsme pracovali vždy s aktuální teplotou a vlhkostí prostředí. Měřicí rozsah byl nastaven na $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pomocí svinovacího metru byla změřena vzdálenost objektu od kamery a tato vzdálenost byla rovněž zadána do softwaru kamery.

7.2 Zjištění účinnosti zdroje

Účinnost zdroje je základním ukazatelem toho, kolik tepla bude zdroj vyzařovat do svého okolí. Pakliže je účinnost zdroje malá, musí být velké množství tepla vyzářeno do okolí. Zdroje s malou účinností se tak nehodí osazovat do stísněných prostor bez možnosti odvětrání.

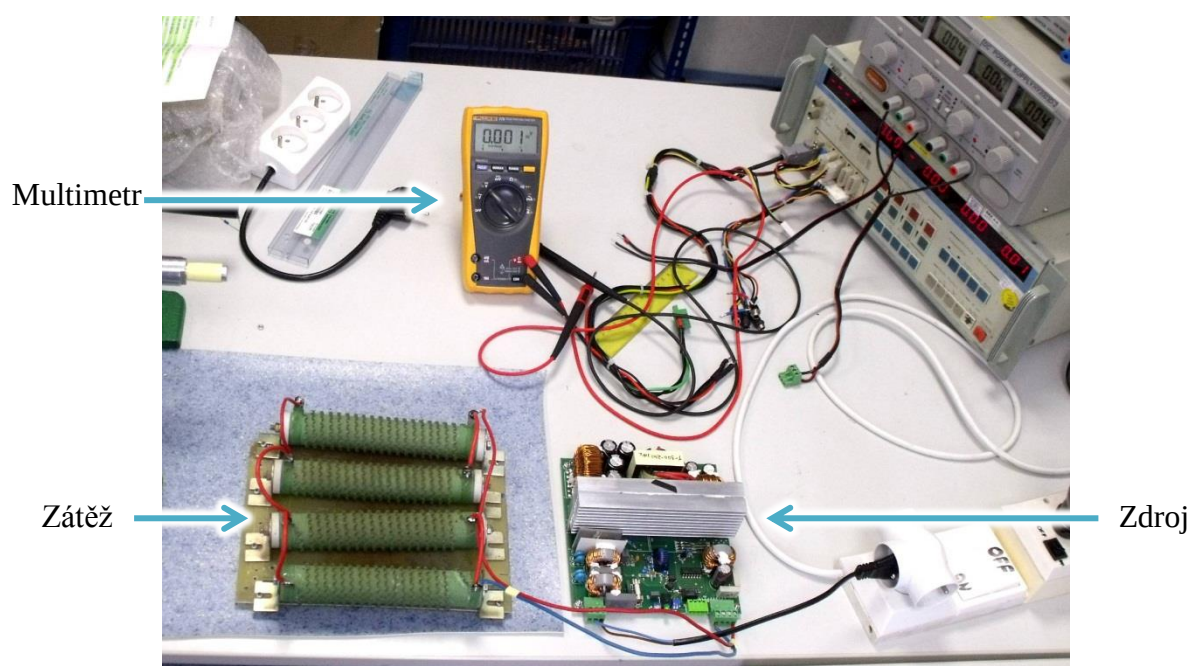
Pomocí multimetru FLUKE 175 (obr. 42) a jednoduchého výpočtu (viz rovnice 10) byla zjištěna účinnost zdroje, která činí přibližně $\eta = 88\%$. Z rozdílu hodnoty příkonu na vstupu a výkonu na výstupu zjistíme, že zdroj bude do okolí vyzařovat přibližně 40 W tepelné energie. Hodnoty potřebné pro výpočet účinnosti jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Naměřené hodnoty pro výpočet účinnosti zdroje.

Vstup	Výstup
Proud $I_{\text{in}} = 1,50\text{ A}$	Proud $I_{\text{out}} = 12,20\text{ A}$
Napětí $U_{\text{in}} = 222,00\text{ V}$	Napětí $U_{\text{out}} = 24,00\text{ V}$
Příkon $P_{\text{in}} = 333,00\text{ W}$	Výkon $P_{\text{out}} = 292,80\text{ W}$

$$\eta = \frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}} \cdot 100 [\%] \quad (10)$$

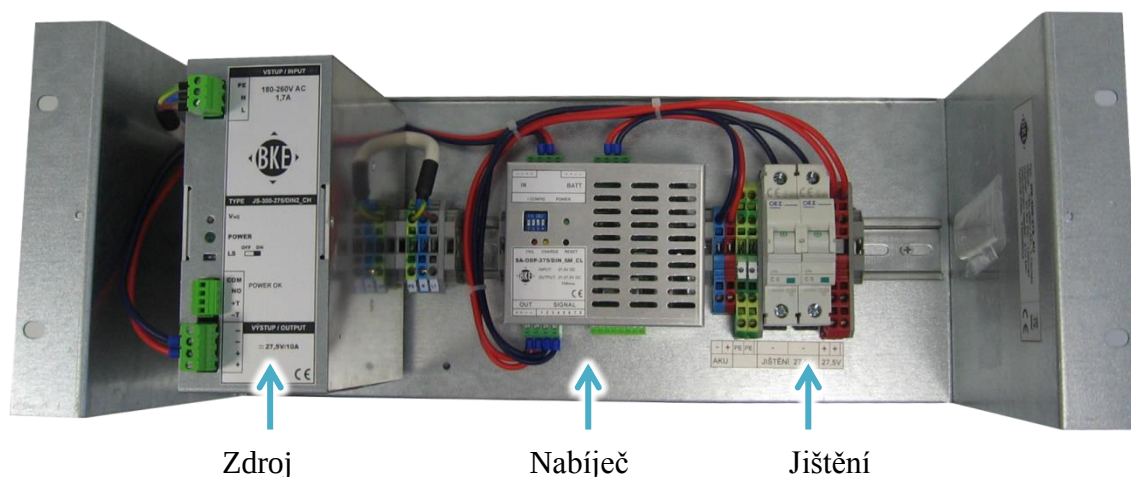
$$\eta = \frac{292,80}{333,00} \cdot 100 \doteq 88\%$$



Obr. 42 Pracoviště pro zjišťování účinnosti zdroje.

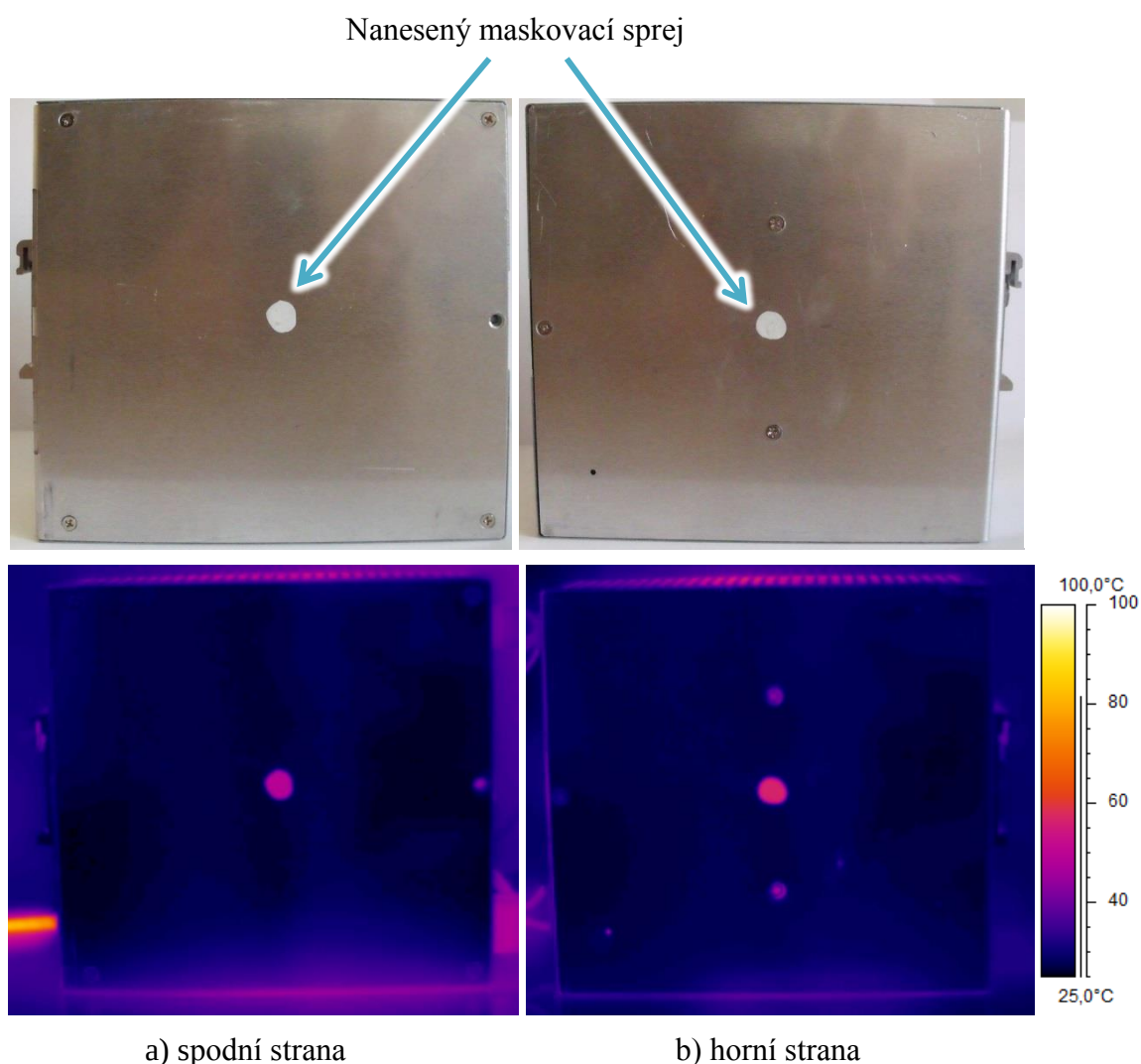
7.3 Vyžarování tepla ze zdroje

Pro zdroje typu JS-300 je typické použití v sestavách spolu s dalšími zařízeními. Na obr. 43 je zobrazeno zapojení zdroje jako součásti systému pro nabíjení záložních baterií průmyslových zařízení. Jelikož zdroj produkuje velké množství tepla, je nutné zajistit takové umístění, aby kolem zdroje proudil vzduch nutný k ochlazení.



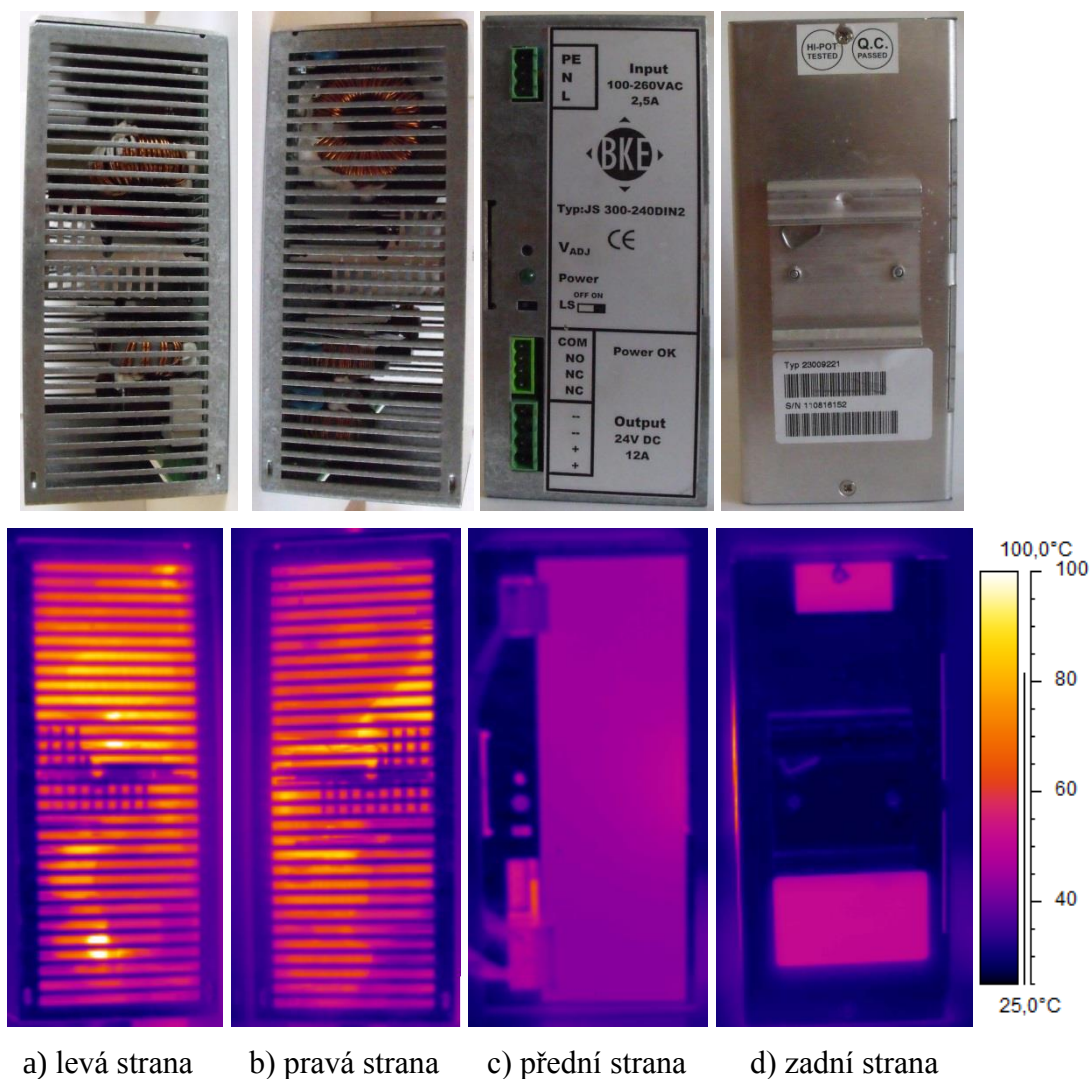
Obr. 43 Nabíjecí systém se zdrojem JS-300.

Na termosnímčích na obr. 44 a 45 je zachyceno rozložení teplot na povrchu zdroje po 25 minutách plného zatížení. Maximální teplota u spodní strany zdroje (obr. 44a) po této době činí 50,4 °C a u horní strany (obr. 44b), ke které je z vnitřní strany připevněn chladič CH1, činí 59,7 °C. Teploty byly zjištěny s využitím maskovacího spreje, který byl nanesen ve střední části těchto stran.



Obr. 44 Fotografie a termovizní snímky spodní a horní strany zatíženého zdroje.

Obvodové strany zdroje (obr. 45) neslouží přímo jako chladič součástí, a proto je zvýšení jejich teploty oproti okolnímu prostředí nižší, teplota dosahuje 40 ± 5 °C. Při provozu je ale nutné zajistit volný průchod vzduchu k levé a pravé straně (obr. 45a, b). Plech je zde perforovaný a zajišťuje přívod vzduchu do vnitřní části zdroje.



a) levá strana b) pravá strana c) přední strana d) zadní strana

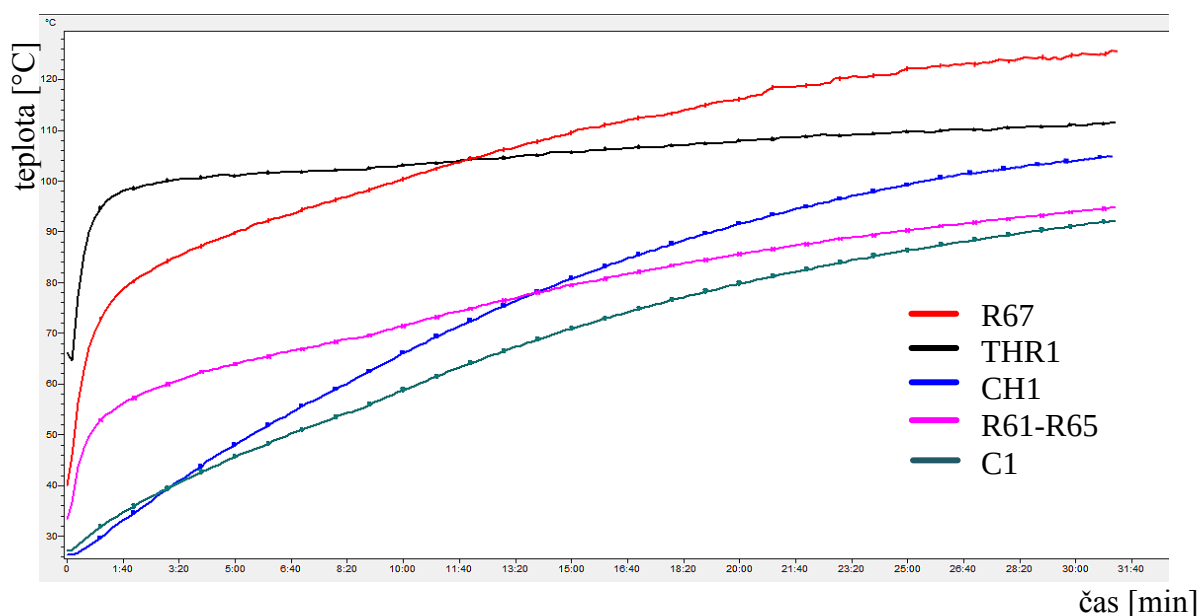
Obr. 45 Fotografie a termovizní snímky obvodových stran zatíženého zdroje

7.4 Určení nejvíce zatížených součástí zdroje

Zdroj JS-300-240/DIN2 se skládá z velkého množství součástí. Při laboratorním měření byla věnována větší pozornost těm, které se nejvíce zahřívají, a z tohoto důvodu jsou potenciálním zdrojem možných poruch.

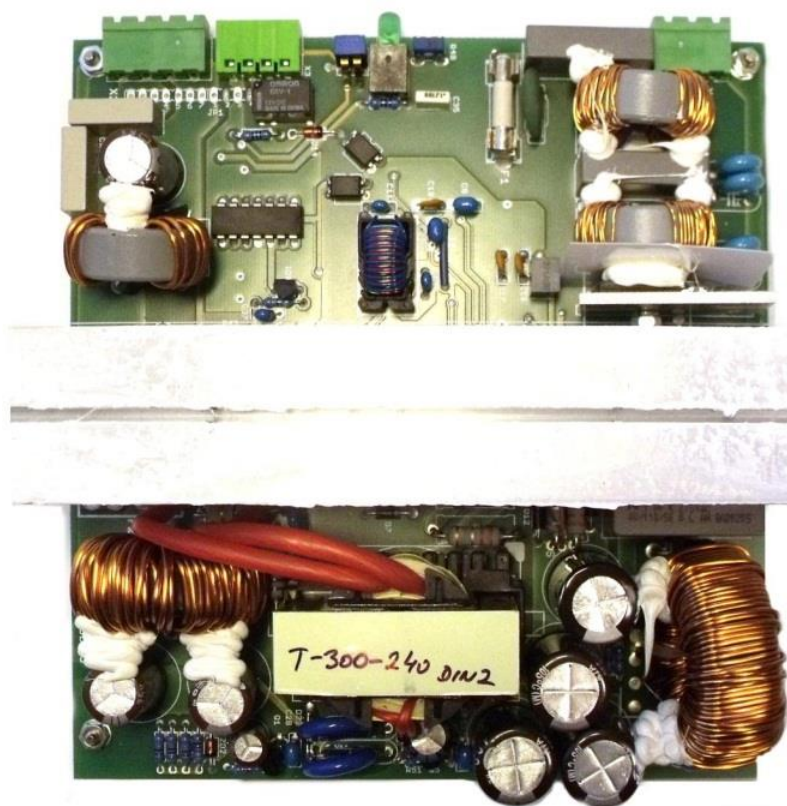
Pro zjištění součástí, respektive míst, s nejvyšší teplotou bylo nutné připojit na výstup zdroje zátěž. Zátěž se skládá ze soustavy rezistorů, jejíž maximální možný vyzářený výkon je 360 W.

Výchozí teplota jednotlivých elektrických součástí zdroje je před zapnutím zdroje stejná jako teplota okolí. Po zapnutí zdroje se jejich teplota s postupem času zvyšuje. Přírůstek není konstantní a po určité době se teplota ustálí. Pro další experimenty byl minimální čas od spuštění, po kterém je možné začít s měřením, určen pomocí závislosti teploty na čase uvedené na obr. 46 na 25 minut. V grafu jsou vykresleny závislosti pro 5 nejvíce zatížených součástí.

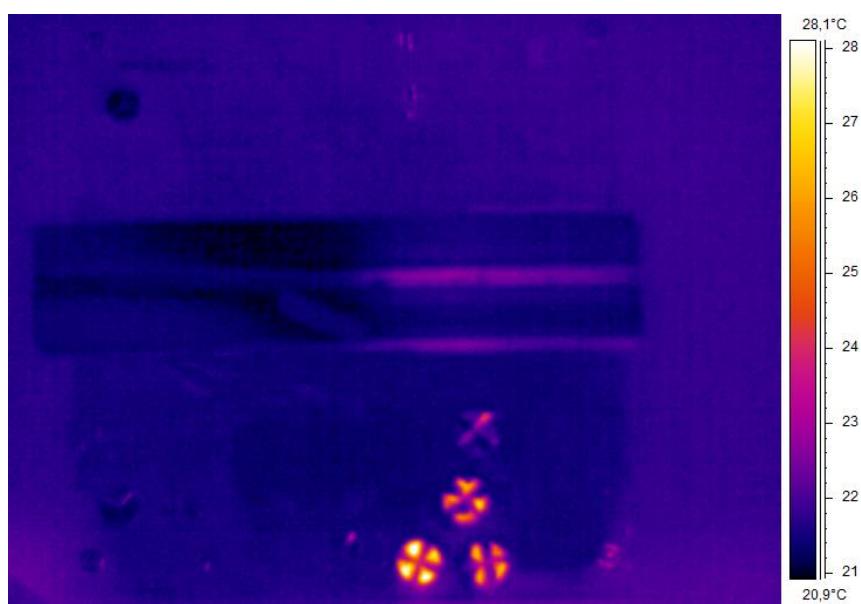


Obr. 46 Závislost teploty součástí na čase u zatíženého zdroje – horní strana.

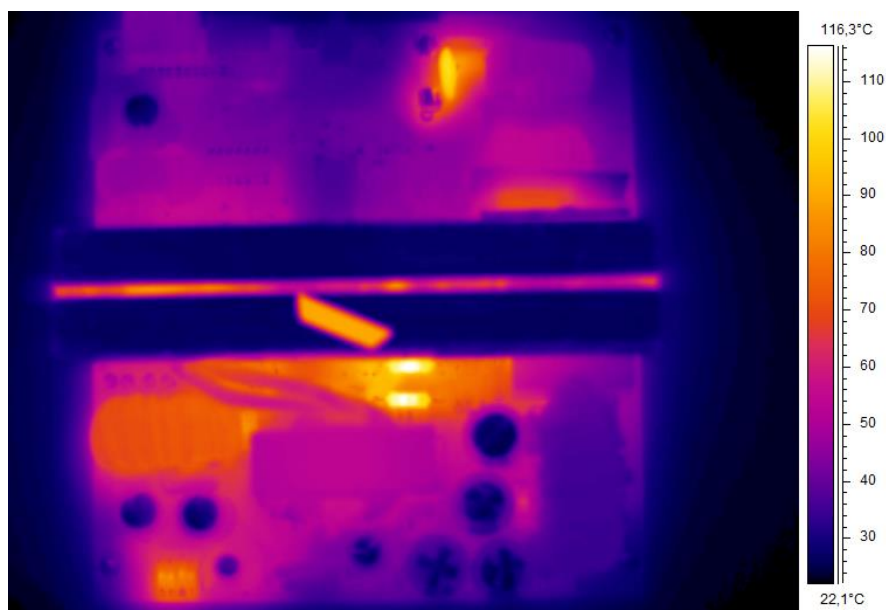
Na přiložených snímcích je vidět rozložení teplotního pole v prvních deseti vteřinách po spuštění zdroje (obr. 48) a po uplynutí 25 minut (obr. 49). Nárůst teploty je výrazný a činí přibližně 90 °C u nejvíce zatížených součástí. Pro porovnání a lepší orientaci v termosnímčích je na obr. 47 fotografie horní strany desky plošného spoje.



Obr. 47 Horní strana desky plošného spoje.



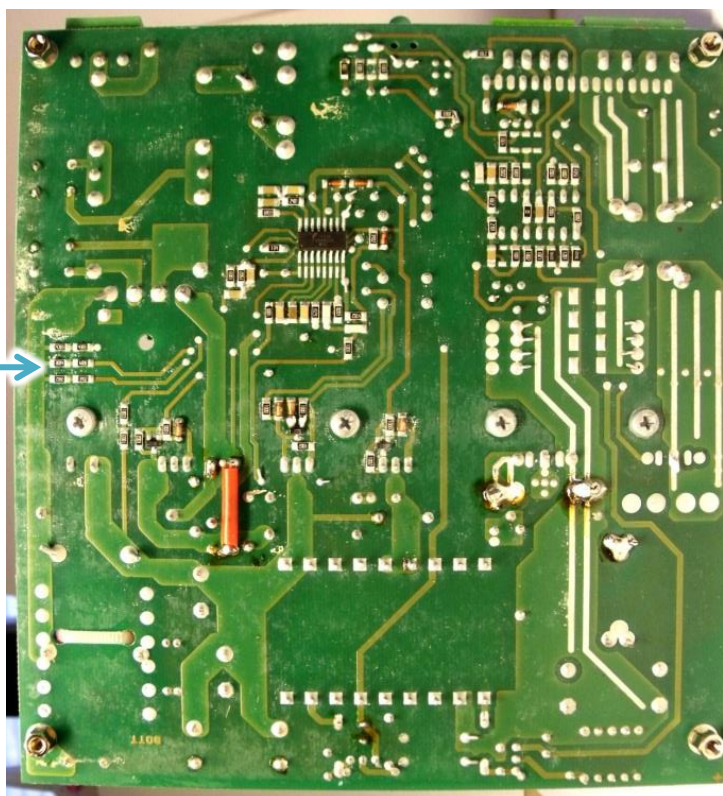
Obr. 48 Rozložení teplot na součástkách u horní strany desky plošného spoje na začátku měření.



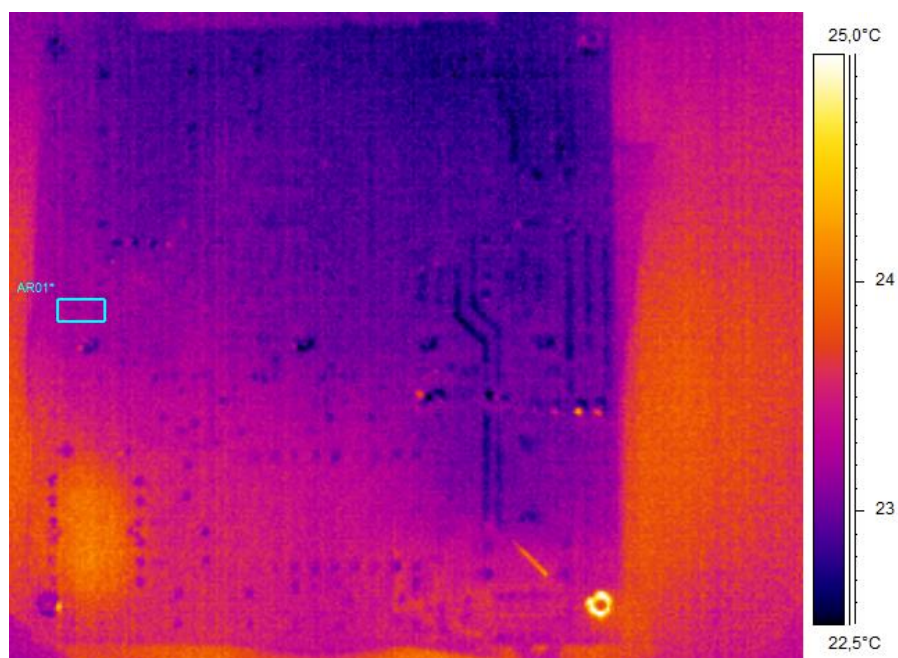
Obr. 49 Rozložení teplot na součástkách u horní strany desky plošného spoje po 25 minutách.

Při hledání nejvíce zatížených součástí byla vyhodnocována také spodní strana plošného spoje. Mezi osazenými součástmi zdroje na této straně se při plném zatížení nejvíce ohřívají dva SMD rezistory (obr. 50). Na termosnímčích (obr. 51 a 52) lze pozorovat teplotní pole před a po 25 minutách zatížení. Další oblasti, které vykazují nárůst teploty, vznikají prostupem tepla z druhé strany zdroje. Dle katalogového listu výrobce rezistorů je hodnota jejich emisivity $\epsilon = 0,995$. V závislosti teplota/čas vykreslené na obr. 53 byla uvažována právě tato hodnota emisivity.

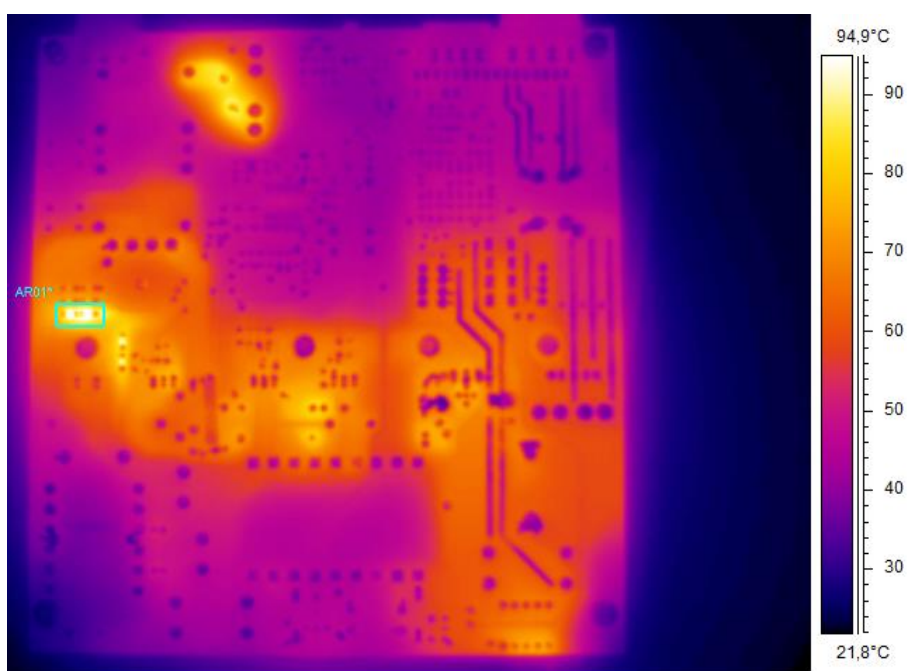
SMD
rezistory



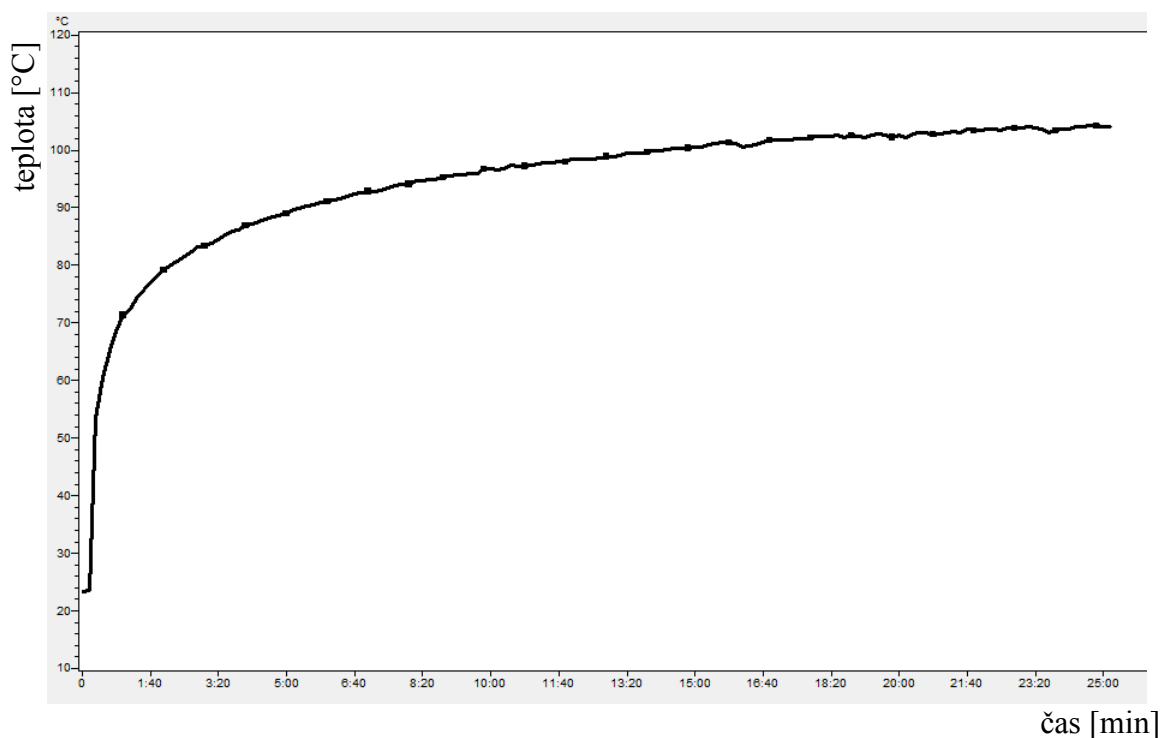
Obr. 50 Spodní strana desky plošného spoje.



Obr. 51 Rozložení teplot na součástkách u spodní strany desky plošného spoje na začátku měření.



Obr. 52 Rozložení teplot na součástkách u spodní strany desky plošného spoje po 25 minutách měření.



Obr. 53 Závislost teploty SMD rezistorů na čase u zatíženého zdroje – spodní strana.

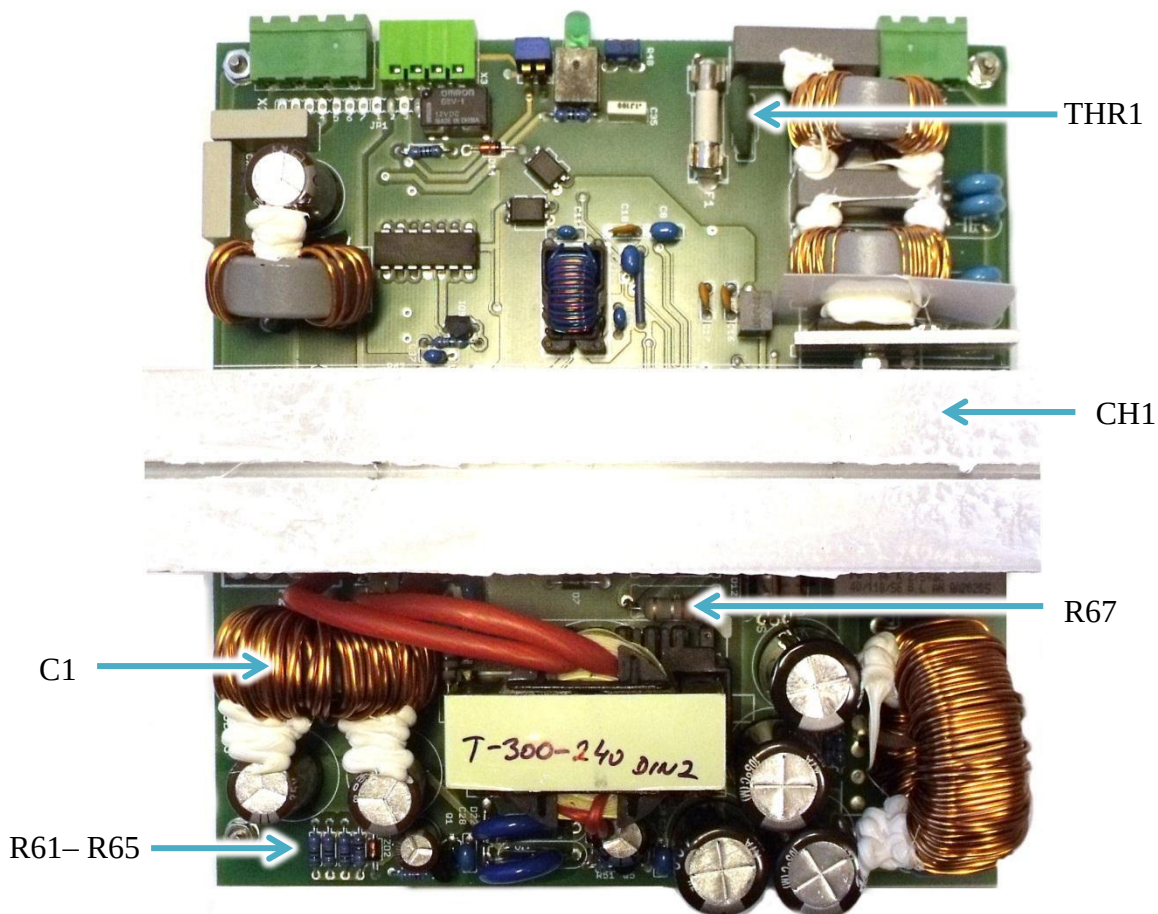
7.5 Experimentální zjištění emisivit vybraných prvků napájecího zdroje

Na základě předchozích experimentů (kapitola 7.3) bylo určeno 5 druhů součástí, kde bylo dosaženo největšího nárůstu teploty. Jsou to tyto součásti (obr. 54):

- cívka C1,

- chladič výkonových tranzistorů CH1,
- rezistory R61 – R65,
- rezistor R67,
- termistor THR1.

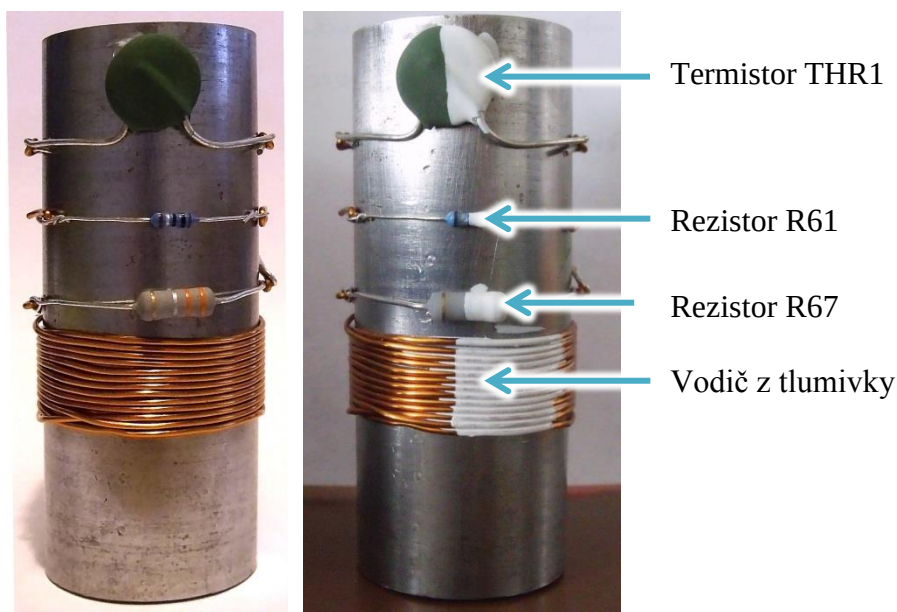
Označení součástí odpovídá jejich značení na desce plošného spoje.



Obr. 54 Umístění nejvíce zatížených součástí na horní straně desky plošného spoje.

Umístění součástí na desce plošného spoje neumožňuje dobrý přístup pro pořízení detailních termosnímků vybraných součástí. Z tohoto důvodu byly menší součásti při měření připevněny k ocelovému válci, který byl zahřát na teplotu $90 \pm 2,5$ °C (obr. 53). Pro lepší přenos tepla mezi ocelovým válečkem a součásti byly součásti ze zadní strany namazány teplovodivou pastou.

Těleso chladiče CH1 je dostatečně veliké, proto byla jeho emisivita zjišťována přímo z termosnímků zatíženého zdroje.



Obr. 55 Přípravek pro zjišťování emisivit malých součástí.

Vzhledem k charakteru součástí, zejména tvarové složitosti menších součástí, bylo jako pomůcky ke zjištění emisivity zvoleno využití maskovacího spreje ThermoSpray. Na základě provedených měření a s použitím softwaru ThermoCAM Researcher byly zjištěny následující emisivity (tab. 8) pro součásti dle výběru při teplotě 90 °C:

Tab. 8 Emisivity analyzovaných součástí.

Součást	Emisivita
Tlumivka C1	$\varepsilon = 0,92$
Rezistory R1 – R65	$\varepsilon = 0,89$
Rezistor R67	$\varepsilon = 0,91$
Chladič CH1	$\varepsilon = 0,16$
Termistor THR1	$\varepsilon = 0,93$

Pro spektrální pásmo, které využívá použitá termokamera, odpovídají zjištěné hodnoty emisivit těm, které jsou zobrazeny v grafu na obr. 22.

7.6 Využití získaných hodnot emisivity pro kontrolu zdroje

Pomocí získaných hodnot emisivit lze určit přesnou teplotu vybraných komponentů. Teploty povrchu součástí po 25 minutách zatížení zdroje jsou následující (tab. 9):

Tab. 9 Teploty analyzovaných součástí.

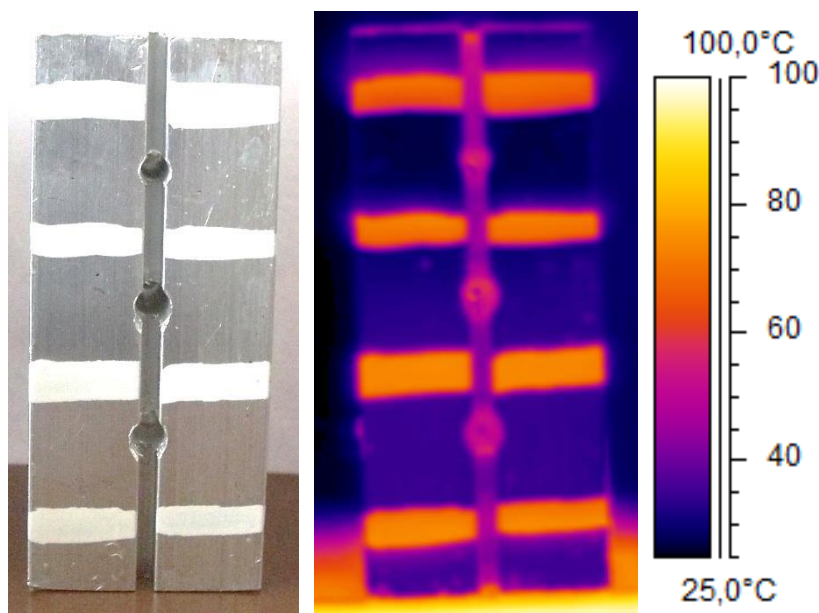
Součást	Maximální teplota
Tlumivka C1	84,5 °C
Rezistory R1 – R65	88,6 °C
Rezistor R67	120,2 °C
Chladič CH1	95,3 °C
Termistor THR1	109,4 °C

Zjištěné maximální teploty jsou pod maximální pracovní teplotou doporučovanou pro tyto typy součástí. U tlumivek je to 120 °C, u rezistorů do 150 °C, u termistoru do 200 °C. U součástí umístěných na chladiči (diody a tranzistory) je uváděna maximální provozní teplota do 150 °C a 175 °C. Výrobce neuvádí, jestli se jedná o maximální teplotu na povrchu, nebo v tělese součástí. Při uvedených teplotách zdroj pracoval bezchybně [35, 36].

7.7 Další možnosti zjištění emisivity chladiče a jejich porovnání

V předchozích kapitolách bylo při laboratorním měření využito ke zjištění emisivity maskovacího spreje ThermaSpray. V kapitole 3 bylo ale uvedeno, že emisivitu lze zjistit celou řadou dalších metod. Pro zjištění emisivity chladiče CH1 (obr. 54, 56) je možné dále ze zmíněných technik využít metodu s využitím srovnávacího teploměru nebo také metodu s využitím navrtaného otvoru. Jako nevhodné se zde jeví využití nálepky s přesnou emisivitou (ThermaSpot), a to z důvodu, že teplota chladiče překračuje teplotu 50 °C. Tato teplota je maximální použitelná teplota určená výrobcem.

Těleso chladiče je vyrobeno technologií protlačování za tepla ze slitiny hliníku. Povrch chladiče je hladký a lesklý. Zejména tyto vlastnosti povrchu způsobují, že emisivita je velice nízká – dle tabulek je emisivita pro leštěný hliník přibližně $\varepsilon = 0,05$ až $\varepsilon = 0,11$.



Obr. 56 Těleso chladiče z horní strany s navrtanými otvory.

V následující tabulce (tab. 10) jsou sepsány emisivity zjištěné různými metodami pro chladič CH1.

Tab. 10 Porovnání zjištěných emisivit u chladiče CH1.

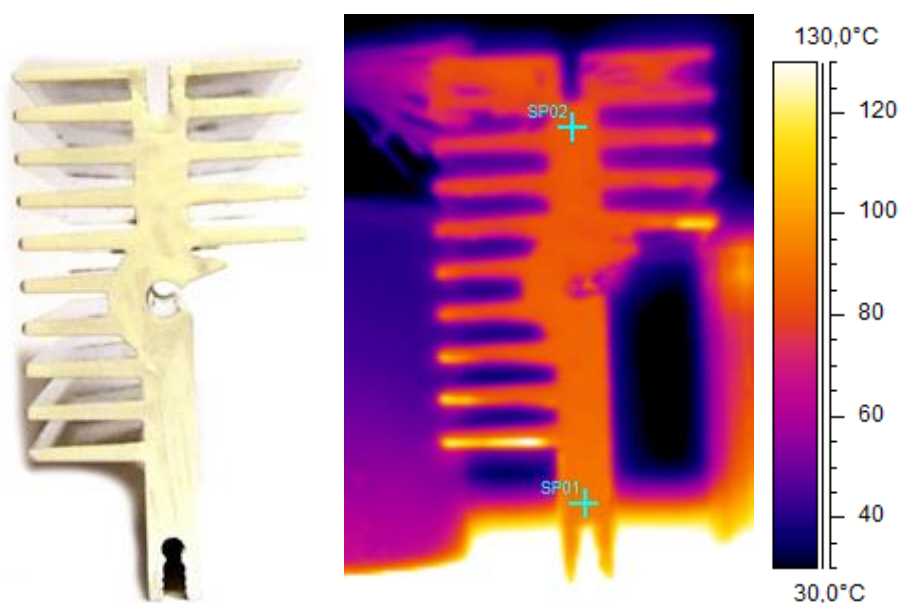
Metoda měření	Emisivita
Pomocí maskovacího spreje	$\varepsilon = 0,16$
Pomocí srovnávacího termočlánku	$\varepsilon = 0,23$
Pomocí otvoru v chladiči	$\varepsilon = 0,57$

Z výsledků měření uvedených v tabulce je patrné, že emisivita zjištěná pomocí různých metod se liší. Emisivita zjištěná pomocí srovnávacího termočlánku postupem uvedeným v kapitole 3.3 se emisivitě zjištěné pomocí maskovacího spreje velmi přibližuje. Rozdíl těchto hodnot je způsoben tepelným ovlivněním oblasti sondou termočlánku a rovněž také nedokonalým připojením termočlánku ke členitému povrchu chladiče.

Emisivita zjištěná pomocí modelu černého tělesa vytvořeného podle návodu z kapitoly 3.5 se od emisivity zjištěné pomocí maskovacího spreje výrazně odlišuje. Z výsledku měření lze usuzovat, že vytvořený model nebyl dostatečně kvalitní a v tomto případě nepoužitelný.

V této části měření byl rovněž zjišťován rozdíl teploty zahřátého chladiče u jeho kořene a v horní části. Na obr. 57 je termosnímek chladiče zahřátého na teplotu $90 \pm 2,5$ °C. Na obrázku je u kořene chladiče označen bod SP01 který má teplotu 92,3 °C, a bod SP02 (v horní části chladiče) s teplotou 84,3°C.

Rozdíl teploty v místě ukotvení součástek ke chladiči a horních žebér chladiče je tedy 8 °C. V případě, že by se při výstupní kontrole pohybovaly teploty chladiče na jeho horním žebře v oboru kritických hodnot pro součásti na něm připevněném, je nutné zjištěný rozdíl uvažovat a provést změnu v konstrukci zdroje, neboť součásti upevněné ve spodní části chladiče mají teploty již vyšší.



Obr. 57 Těleso chladiče z čelní strany.

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Zavedení termovizního měření jako součásti výstupní kontroly je poměrně nákladná záležitost. Univerzálnost a technická vyspělost zařízení nám ovšem usnadní a urychlí proces kontrolní činnosti.

Přiložením termosnímku k výslednému produktu můžeme rovněž zvýšit hodnotu produktu pro zákazníka. Zákazník tak získá důkaz, že každému výrobku byla věnována maximální pozornost. Vytištěný termosnímek má hodnotu řádově v korunách, výrobci může ale přinést tolik potřebnou konkurenční odlišnost.

8.1 Přehled termokamer FLIR

Z důvodu snižování cen termovizních zařízení dochází často k náhradě infrateploměrů za termovizní kamery. Důvodem je rovněž vývoj těchto zařízení jak v oblasti jejich parametrů, tak v oblasti jejich obsluhy. Výrobci se snaží přizpůsobit ovládání kamery tak, aby i začátečník a neproškolená obsluha dokázali získat kvalitní výsledky měření.

Většina výrobců termovizních zařízení rozděluje své produkty do tříd dle oblasti použití a parametrů zařízení. Například výrobce FLIR v oblasti energetiky a strojírenství nabízí výrobky v kategoriích:

Nižší třída – cca 20 000 – 70 000 Kč

Do této kategorie spadají zařízení řady i – i3, i5, i7. Kamery nabízejí pouze základní možnosti měření. Předností je ovšem malá hmotnost (340 g včetně akumulátoru), jednoduchost a ergonomičnost zařízení. Tato zařízení najdou uplatnění zejména při diagnostice a údržbě v průmyslových podnicích. Nevýhodou je použití detektoru s nízkým rozlišením, které je u nejvyššího modelu i7 140 x 140 pixelů (obr. 58) [12, 15].



Obr. 58 Termokamera FLIR i7 [12].

Střední třída – cca 70 000 – 200 000 Kč

Do střední třídy lze zařadit zařízení řady E. Jsou to plně přenosná zařízení, která nabízejí dlouhou výdrž na akumulátor (až 5 hodin). Stupeň krytí IP 54 zaručuje odolnost při použití ve venkovním prostředí. Vyšší modely této kategorie jsou vybaveny bezdrátovým připojením typu Bluetooth a Wi-Fi. Nevýhodou může být nutnost manuálního zaostřování obrazu. Na obr. 59 je model E60 poskytující rozlišení 320×240 pixelů [12, 15].



Obr. 59 Termokamera FLIR E60 [12].

Profi třída – cca 200 000 – 1 000 000 Kč

Profesionální zařízení pro strojírenský a energetický průmysl reprezentují modelové řady T, P a SC. Špičkové parametry předurčují zařízení pro využití v náročných průmyslových aplikacích a pro vědu a výzkum. Mezi přednosti těchto zařízení patří možnost využít výměnné objektivy, vysoké rozlišení snímače (640×480 pixelů) i videokamery (až 5Mpx). Těla zařízení jsou vyrobena z hořčíkových slitin pro maximální pevnost a nízkou hmotnost. Samozřejmostí je pak bezdrátové připojení k počítači nebo mobilním přístrojům, jako jsou například tablety s operačním systémem Android či Apple iOS.

Do kategorie profí lze zařadit rovněž termokameru FLIR T335 (obr. 60), která se dá považovat svými parametry za náhradu FLIR SC 2000. Termokamera FLIR SC 2000 se již nevyrábí, pro další ekonomické zhodnocení byla tedy využita právě FLIR T335. Cena tohoto zařízení je přibližně 195 000 Kč s DPH [12, 15].



Obr. 60 Termokamera FLIR T335 [12].

Parametry zařízení z jednotlivých kategorií jsou pro přehled uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 Porovnání parametrů vybraných termokamer [12].

	Nižší třída	Střední třída	Profi třída
Model:	FLIR i7	FLIR E60	FLIR SC 660
Rozlišení detektoru:	140 × 140 px	320 × 240 px	640 × 480 px
Rozsah měření:	−20 až 250 °C	−20 až 650 °C	−40 až 1500 °C
Teplotní citlivost:	0,1 °C	0,05 °C	0,04 °C
Měřicí funkce:	bod, oblast	3× bod, oblast,	10× bod, oblast, profil
Zoom	ne	1–4×	1–8×
Digitální kamera:	ne	ne	ano
připojení	USB	USB, BT, Wi-Fi	USB, BT, Wi-Fi

8.2 Ekonomické zhodnocení

Náklady na pořízení termovizního zařízení uvedené v kapitole 8.1 nejsou konečné. Pro praktické využití je vhodné samotnou termokameru doplnit pracovní stanicí (obvykle běžný kancelářský počítač nebo notebook), kde bude nainstalován obslužný software zařízení, který umožní lepší zpracování naměřených dat. V tabulce 12 jsou uvedeny náklady na pořízení termovizní kamery a jejího příslušenství. Tyto náklady jsou uvedeny pro provádění měření ve vlastní režii pracovníkem výstupní kontroly firmy.

Cena za jeden termosnímek u externího dodavatele byla zjištěna u deseti firem a její průměrná hodnota činí 270 Kč. Doba pořízení jednoho snímku při využití vlastní

termokamery ve výrobě je cca 30 minut. Dle informací poskytnutých firmou BKE by náklady na mzdu zaměstnance pořizujícího tento snímek činili přibližně 100 Kč. Náklady na pořízení vlastního zařízení činí 195 000 Kč (FLIR T335).

Tab. 12 Přehled nákladů na vlastní termovizní měření.

Náklady	Fixní [Kč]	Variabilní [Kč]
Termovizní kamera Flir T335	195 000	
Počítač s příslušenstvím	20 000	
Teploměr YK-2001TM	2 405	
Sonda k měření vlhkosti YK-200PRH	1 924	
ThermaSpray 500	424	
Teplotní sonda typu K	237	
Mzdové náklady na 1 snímek		100
Celkem	219 990	100

Z uvedených informací lze sestavit nákladové funkce pro obě řešení. Rovnice (11) představuje obecný předpis pro nákladovou funkci homogenní výroby. V této rovnici vystupují: N = celkové náklady [Kč], FN = fixní náklady [Kč], V = variabilní náklady na jeden snímek [Kč/ks] a Q = počet provedených snímků [ks].

$$N = FN + V \cdot Q \quad (11)$$

Nákladová funkce pro řešení využívající služeb z externího prostředí firmy je pak vyjádřena následující rovnicí:

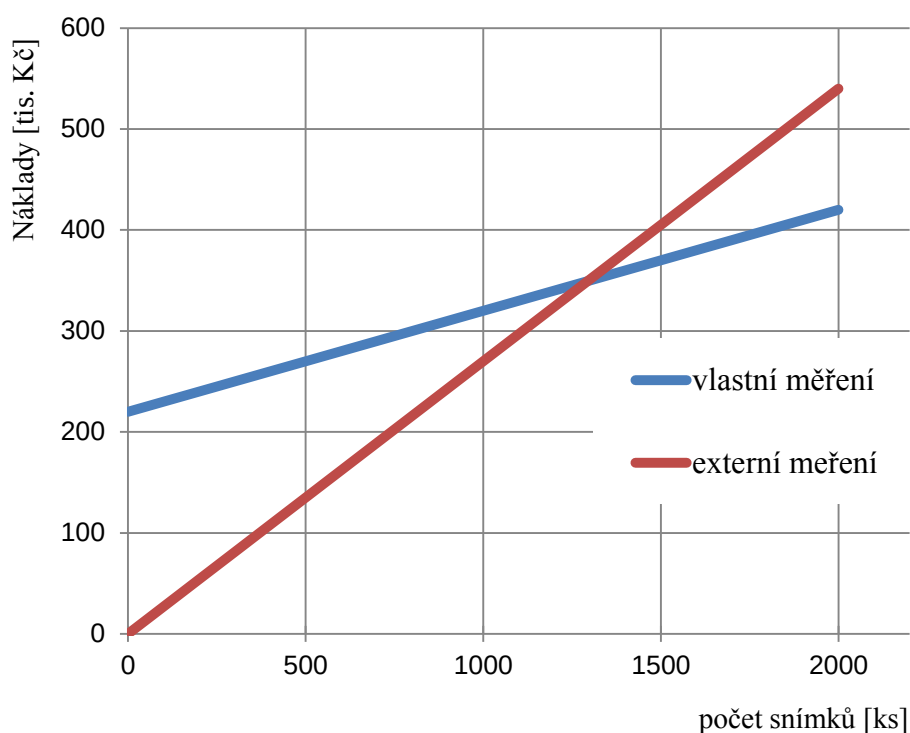
$$N = 0 + 270 \cdot Q$$

Pro realizaci termovizního měření ve vlastní režii dostáváme následující rovnici:

$$N = 219990 + 100 \cdot Q$$

Řešením soustavy rovnic předchozích lze vypočítat bod zvratu, tedy minimální počet snímků Q , u kterých budeme provádět měření, aby se nám pořízení vlastního zařízení vyplatilo. Výsledkem řešení je hodnota $Q = 1295$ ks.

Uvedený problém je možné řešit rovněž graficky. Toto řešení ukazuje obr. 61.



Obr. 61 Závislost nákladů na počtu provedených snímků.

Z uvedeného početního a grafického řešení vyplývá, že od provedení přibližně 1295 snímků se vyplatí pořízení vlastního zařízení. Pakliže budeme uvažovat výrobu, kde se vyrábí zdroje JS-300, s ročním počtem vyrobených kusů toho typu 3800, dosáhneme návratnosti pořízení termokamery za přibližně 0,34 roku, což při uvažování 252 pracovních dní v roce 2013 činí přibližně 86 dní.

9 DISKUZE

Prováděná měření byla realizovaná na předprodukčním vzorku napájecího zdroje s využitím termovizní kamery ThermoCAM SC 2000. Při měření nebyly zaznamenány větší problémy. Zjištěné emisivity spadají do rozsahů uváděných v tabulkách. Nejvíce problematické a diskutabilní je určení emisivity chladiče CH1, který je vyroben z hliníkové slitiny, tedy světlého kovového materiálu.

Jak je patrné z grafu uvedeného na obr. 22, pro určování emisivity světlých kovových materiálů je vhodnější použít termovizní zařízení pracující s nižším spektrálním rozsahem ($\lambda = 2\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$). Zjištěná emisivita by tak pro dané zařízení byla vyšší a vzrostla by přesnost měření.

V rámci dalších experimentů by tedy mohla být použita jiná termokamera pracující v krátkovlnném spektrálním pásmu. Teploty zjištěné pomocí obou zařízení mohou být navzájem porovnány a případné odchylky dále vyhodnocovány.

Při technicko–ekonomickém zhodnocení byla zjišťována doba návratnosti při pořízení vlastního termovizního zařízení a potřebného příslušenství. Vypočtenou dobu návratnosti je nutno brát s rezervou. Náklady externího měření by v reálném světě neměly lineární průběh, ale byly by spíše degresivní (podproporcionální). Doba návratnosti odpovídající bodu zvratu by se tak prodloužila, nikoli však natolik, aby bylo vhodné zamýšlet se nad spoluprací s externím dodavatelem snímkování. Pro uvažování degresivní závislosti nákladů na počtu provedených měření se nepodařilo obstarat dostatek podkladů.

ZÁVĚR

Úvod práce byl věnován uvedení do problematiky měření teplot a formulaci základních pojmů a zákonů týkajících se bezdotykového měření teplot.

Cílem experimentální části práce bylo ověřit možnosti využití termovizní techniky jako nástroje výstupní kontroly ve výrobě napájecích zdrojů. Z jednotlivých experimentů lze vyvodit následující poznatky:

- Účinnost zkoumaného zdroje je 88 %.
- Při činnosti zdroje nejvíce tepla vyzařuje ze strany, ke které je přichycen chladič výkonových prvků. Maximální naměřená teplota na této straně byla 59,7 °C. Při instalaci zdroje je tedy důležité, aby byla tato strana umístěna volně a vzduch kolem ní mohl volně proudit.
- Analýzou rozložení teploty bylo nalezeno 5 nejvíce zatížených součástí zdroje. Sledování teploty těchto součástí je důležité, protože jejich přetěžování by mohlo způsobit poruchu zdroje.
- U nejvíce zatížených prvků byla zjištěna jejich emisivita, kterou je dále možné využít při výstupní kontrole všech zdrojů, které využívají stejné součásti. Zjištěné emisivity jsou následující:
 - tlumivka C1: $\varepsilon = 0,92$,
 - rezistory R1 – R65: $\varepsilon = 0,89$,
 - rezistor R67: $\varepsilon = 0,91$,
 - chladič CH1: $\varepsilon = 0,16$,
 - termistor THR1: $\varepsilon = 0,93$.

Stejným postupem, který byl proveden v experimentální části práce, lze zjistit emisivity i u jiných typů součástí.

- Pomocí získaných hodnot emisivit byla zjištěna teplota vybraných komponentů. Maximální teploty povrchu součástí po 25 minutách zatížení zdroje jsou následující:
 - tlumivka C1: 84,5 °C,
 - rezistory R1 – R65: 88,6 °C,
 - rezistor R67: 120,2 °C,
 - chladič CH1: na horním žeburu 95,3 °C,
 - termistor THR1: 109,4 °C.
- Teplota chladiče na horním žeburu je o 8 °C nižší než u kořene chladiče. Tento rozdíl je nutné uvažovat při kontrole součástí, které jsou umístěny v jeho spodní části.

Závěrečná část práce je věnována technicko–ekonomickému zhodnocení pořízení termovizního zařízení do podniku. Z uvedeného rozboru vyplývá, že při stávající roční produkci zdrojů se jako výhodnější jeví pořízení vlastní termokamery. Naopak využití služeb externích odborníků z této oblasti se jeví jako značně nevýhodné. Doba návratnosti

pro navrhované řešení, s využitím termokamery FLIR T335 a současné produkci zdrojů, činí 86 dní.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80–730–0145–4.
2. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2003, číslo 01. ISSN 12109592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28679
3. ČECH, Jaroslav, PERNIKÁŘ, Jiří, PODANÝ, Kamil. *Strojírenská metrologie I*. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 183 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978–80–214–4010–4.
4. BREZINŠČÁK, M. *Veličiny a jednotky v technické praxi*. Praha, 1970, 468 s.
5. LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 153 s. ISBN 80–730–0180–2.
6. Selected temperature field. Science direct [online]. 2007 [cit. 2013–03–02]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010218007002970>
7. Fotometrie. WikiSkripta [online]. 2009 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Fotometrie>
8. Bezdotykové teploměry, infra teploměry, bezkontaktní teploměry, pyrometry. *Měřicí přístroje* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.e-pristroje.cz/teplomery-infra.html>
9. KADLEC, Karel. Bezdotykové teploměry. *Bezdotykove_tplomery.pdf* [online]. 2009 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/Bezdotykove_tplomery.pdf
10. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2006, č. 3. ISSN 1210–9592.
11. VOJÁČEK, Antonín. Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY?. *Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY?* [online]. 16.11.2005 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>
12. FLIR SYSTEMS, Inc. *FLIR Systems* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.flir.com>
13. Pyrometric cone. *NETZSCH Analyzing and Testing* [online]. 2013 [cit. 2013–03–02]. Dostupné z: <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products-solutions/refractory-testing/pce-428.html>
14. Learn how our temperature indicator label products work. *Thermometer labels, medical decontamination indicators and heat warning labels* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://temperature-indicators.co.uk/articles/education/irreversible-temperature-indicators-educatio.htm>
15. Výrobky TMVSS a ostatních firem. *Měřicí přístroje a diagnostika pro energetiku i průmysl, termovize* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.tmvss.cz/e-shop/vyrobci/tmvss.html>

16. PAVELEK, Milan, JANOTKOVÁ Eva, ŠTĚTINA Jaroslav. *Vizualizační a optické měřicí metody: Hyper textová skripta* [online]. Brno, 2001 [cit. 2013–03–02]. Dostupné z: <http://dt.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/>
17. YENER, Yaman. *Heat conduction*. 4th ed. New York: Taylor, 2008, xix, 434 s. ISBN 978–1–59169–046–7.
18. HOWELL, John R. *Thermal radiation heat transfer*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, xxx, 957 s. ISBN 978–1–4398–0533–6.
19. Základy bezdotykového měření teploty pásmovým radiačním pyrometrem. *Základy pyrometrie* [online]. 2006 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://pyrometrie.sweb.cz/Zaklady.htm>
20. Tabulka emisivit kovových materiálů. In: *NEWPORT* [online]. 2005 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://newport.cz/techinfo/emiskovy.html>
21. ŠVÁBENÍK, Petr a DORDOVÁ, Lucie. Použití termokamery v technické praxi. *Elektrorevue*. 2011, č. 2. ISSN 1213–1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/pouziti-termokamery-v-technicke-praxi/>
22. Testo Infrared Camera Emissivity Tape. *Net Zero Tools for Green Building Construction and Specialists* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.netzerotools.com/testo-875-1-infrared-camera-emissivity-tape>
23. Aremco Products. *Aremco Products, Inc.* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.aremco.com/products/>
24. HONNER, Milan. Infračervená spektrometrie. In: *Skripta_kap3_irspektrometrie.pdf* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2008 [cit. 14–3–2013]. Dostupné z: http://ftp.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf
25. Dostmann BB500 černé těleso. *Měřicí technika a kalibrační technika* [online]. 2013 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.thlsystems.cz/katalog/dostmann-bb500-cerne-teleso-p-299.html>
26. HOTSET ČR S.R.O. *Přehled produktů Optris*. Plzeň, 2011.
27. FLUKE CORPORATION. *Applications for Thermal Imagers: Printed circuit boards*. Everett, 2006. Dostupné z: http://www.pqmeterstore.com/crm_uploads/printed_circuit_boards_-_applications_for_thermal_imagers.pdf
28. *Pro-Pasiv* [online]. 2012 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz>
29. Infrared thermography as a non-destructive testing: detection of defects in aerospace components. In: *Interempresas* [online]. 15.8.2005 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.interempresas.net/MetalWorking/News/11149-Infrared-thermography-as-non-destructive-testing-detection-of-defects-in-aerospace.html>
30. Termovize ve stavebnictví. *EMC Testing s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.emctesting.cz/termovize-stavebnictvi.php>

31. PAVELEK, Milan. Termomechanika: Přenos tepla zářením. In: *19_Zareni.pdf* [online]. 2011 [cit. 15–3–2013]. Dostupné z: http://otp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19_Zareni.pdf
32. TŘÍSKA, Václav. Nedestruktivní kontrola kompozitových potahových panelů letounů. In: *Triska-8.pdf* [online]. Univerzita obrany, 2009 [cit. 10–4–2013]. Dostupné z: <http://www.ndt.net/article/defektoskopie2009/papers/Triska-8.pdf>
33. Defektoskopie v průmyslu. *Nedestruktivní kontrola* [online]. 2009 [cit. 2013–04–10]. Dostupné z: <http://www.ndt.cz/Index.php?mnu=24,0>
34. FLIR SYSTEMS, Inc. *ThermaCAM PM695 Operator's Manual* [online]. 2000 [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://www.flir.com/legacy/view/?id=51533>
35. *GM electronic, spol. s r. o.* [online]. 2013 [cit. 2013–03–15]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
36. *PS electronic, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013–03–15]. Dostupné z: <http://www.pselectronic.cz/>
37. *Zobrazování v IR* [online]. [2008] [cit. 2013–02–28]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/termokamera/>
38. *Zpravodaj pro měření a regulaci: Bezdotykové měření teploty*. Karviná: Omega, 2005, č. 1. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_1.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka nebo symbol	Jednotka	Popis
A		ampér
BT		bezdrátová technologie Bluetooth
CO₂		oxid uhličitý
DIN		německá národní norma
DPH		daň z přidané hodnoty
DS	[–]	vzdálenostní poměr
E	[W/m ²]	hustota zářivého toku, zářivost
E_{atm}	[W/m ²]	záření z měřicího prostředí
E_{obj}	[W/m ²]	záření z objektu
E_o	[W/m ²]	hustota zářivého toku černého tělesa
E_{refl}	[W/m ²]	záření odražené z okolí objektu
E_{oλ}	[W/m ³]	spektrální hustota zářivého toku černého tělesa
E_λ	[W/m ³]	spektrální hustota zářivého toku
FN	[Kč]	fixní náklady
H₂O		vodní páry
I	[A]	elektrický proud
IP		stupeň krytí před vniknutím vody a prachu
L	[m]	vzdálenost
N	[Kč]	celkové náklady
P	[W]	příkon, výkon
Q	[ks]	množství
SI		mezinárodní soustava jednotek
SMD		Surface Mount Device – součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
T	[°C, K, F]	teplota
T_{atm}	[°C]	teplota měřicího prostředí
T_{refl}	[°C]	teplota odraženého zdroje
U	[V]	elektrické napětí
USB		univerzální připojení k počítači
V		volt
VHS, S–VHS		systémy videa
VN	[Kč]	celkové variabilní náklady
Wi-Fi		standart bezdrátové komunikace

c	[m/s]	rychlost šíření záření
d	[m]	průměr
e	[J]	kvantum energie
f	[Hz]	frekvence záření
h	[J.s]	Planckova konstanta
k	[J/K]	Boltzmannova konstanta
px		pixel
Δt	[°C]	rozmezí teplot
ε	[–]	emisivita
η	[%]	účinnost
ϑ	[°]	úhel zaměření pyrometru
λ	[μm , m]	vlnová délka
σ_0	[W/(m ² .K ⁴)]	Stefan–Boltzmannova konstanta
τ	[%]	propustnost atmosféry
$\sim$	[V]	střídavé napětí

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tabulka Emisivita běžných materiálů [38]
Příloha 2 Návod pro montáž a obsluhu zdrojů typu JS–300
Příloha 3 Informační letáky k produktům ThermaSpray [15]

Emisivita běžných materiálů

Poznámka: Protože emisivita daného materiálu závisí na teplotě a povrchové úpravě, je třeba brát hodnoty v této tabulce pouze jako orientační pro relativní nebo diferenční teplotní měření. Pokud je požadována vysoká přesnost měření, měla by se stanovit přesná hodnota emivity kovu.

KOVOVÉ MATERIÁLY					
	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C) ε-EMISIVITA
B	Beton			Slitina 75ST	75 (24) ,11
	Hrubý	32-2000 (0-1093)	,94	Slitina 75ST, leštěná	75 (24) ,08
	Dlaždice, přírodní	2500-5000 (1371-2760)	,63-,62	Hořčík	100-500 (38-260) ,07-,13
	Hnědý	2500-5000 (1371-2760)	,87-,83	Hořčík-oxid	1880-3140 (1027-1727) ,16-,20
	Černý	2500-5000 (1371-2760)	,94-,91	Chrom	100 (38) ,08
C	Cín			Chrom	1000 (538) ,26
	Neoxidovaný	77 (25)	,04	Chrom, leštěný	302 (150) ,06
	Neoxidovaný	212 (100)	,05	Inconel	
	Cínované železo, jasné	76 (24)	,05	Folie	1000 (538) ,28
	Cínované železo, jasné	212 (100)	,08	Folie	1200 (649) ,42
H	Haynesova slitina C			Folie	1400 (760) ,58
	Oxidovaná	600 2000 (316-1093)	,90-,96	X, leštěná	75 (24) ,19
	Haynesova slitina 25			B, leštěná	75 (24) ,21
	Oxidovaná	600-2000 (316-1093)	,86-,89	Kadmium	77 (25) ,02
	Haynesova slitina X			Kobalt	
Hliník	Oxidovaná	600-2000 (316-1093)	,85-,88	Kobalt, neoxidovaný	932 (500) ,13
	Neoxidovaný	77 (25)	,02	Kobalt, neoxidovaný	1832 (1000) ,23
	Neoxidovaný	212 (100)	,03	Kolumbium	
	Neoxidovaný	932 (500)	,06	Kolumbium	1500 (816) ,19
	Oxidovaný	390 (199)	,11	Kolumbium	2000 (1093) ,24
	Oxidovaný	1110 (599)	,19	Měď	
	Oxidovaný při 1110°F (599°C)	390 (199)	,11	Oxid mědi	100 (38) ,87
	Oxidovaný při 1110°F (599°C)	1110 (599)	,19	Oxid mědi	500 (260) ,83
	Velmi oxidovaný	200 (93)	,20	Oxid mědi	1000 (538) ,77
	Velmi oxidovaný	940 (504)	,31	Černá, oxidovaná	100 (38) ,78
	Vysoce leštěný	212 (100)	,09	Leptaná	100 (38) ,09
	Hrubě leštěný	212 (100)	,18	Matná	100 (38) ,22
	Komerční folie	212 (100)	,09	Hrubě leštěná	100 (38) ,07
	Vysoce leštěné plechy	440 (227)	,04	Leštěná	100 (38) ,03
	Vysoce leštěné plechy	1070 (577)	,06	Vysoce leštěná	100 (38) ,02
	Lesklé válcované plechy	338 (170)	,04	Válcovaná	100 (38) ,64
	Lesklé válcované plechy	932 (500)	,05	Drsná	100 (38) ,74
	Slitina A3003, oxidovaná	600 (316)	,40	Rozžhavená, tavená	1000 (538) ,15
	Slitina A3003, oxidovaná	900 (482)	,40	Rozžhavená, tavená	1970 (1077) ,16
	Slitina 1100-0	200-800 (93-427)	,05	Rozžhavená, tavená	2230 (1221) ,13
	Slitina 24ST	75 (24)	,09	Poniklovaná	100-500 (38-260) ,37
	Slitina 24ST, leštěná	75 (24)	,09	Molybden	100 (38) ,06
				Molybden	500 (260) ,08

MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA
Molybden	1000 (538)	,11	Měkká ocel, leštěná	75 (24)	,10
Molybden	2000 (1093)	,18	Měkká ocel, hladká	75 (24)	,12
Oxidovaný při 1000°F	600 (316)	,80	Měkká ocel, tekutá 2910-3270 (1599-1793)		,28
Oxidovaný při 1000°F	700 (371)	,84	Ocel, neoxidovaná	212 (100)	,08
Oxidovaný při 1000°F	800 (427)	,84	Ocel, oxidovaná	77 (25)	,80
Oxidovaný při 1000°F	900 (482)	,83	Ocel - slitiny		
Oxidovaný při 1000°F	1000 (538)	,82	Typ 301, leštěná	75 (24)	,27
Monel			Typ 301, leštěná	450 (232)	,57
Monel, Ni-Cu	392 (200)	,41	Typ 301, leštěná	1740 (949)	,55
Monel, Ni-Cu	752 (400)	,44	Typ 303, oxidovaná	600-2000 (316-1093)	,74-,87
Monel, Ni-Cu	1112 (600)	,46	Typ 310, válcovaná	1500-2100 (816-1149)	,56-,81
Oxidovaný	68 (20)	,43	Typ 316, leštěná	75 (24)	,28
Oxidovaný při 1110°F	1110 (599)	,46	Typ 316, leštěná	450 (232)	,57
Mosaz			Typ 316, leštěná	1740 (949)	,66
73% Cu, 27% Zn, leštěná	476 (247)	,03	Typ 321	200-800 (93-427)	,27-,32
73% Cu, 27% Zn, leštěná	674 (357)	,03	Typ 321, leštěná	300-1500 (149-815)	,18-,49
62% Cu, 37% Zn, leštěná	494 (257)	,03	Typ 321 w/BK oxid	200-800 (93-427)	,66-,76
62% Cu, 37% Zn, leštěná	710 (377)	,04	Typ 347, oxidovaná	600-2000 (316-1093)	,87-,91
83% Cu, 17% Zn, leštěná	530 (277)	,03	Typ 350	200-800 (93-427)	,18-,27
Matná	68 (20)	,07	Typ 350 leštěná	300-1800 (149-982)	,11-,35
Vyleštěná do hněda	68 (20)	,40	Typ 446, leštěná	300-1500 (149-815)	,15-,37
Cu-Zn, oxidoavná	392 (200)	,61	Typ 17-7 PH	200-600 (93-316)	,44-,51
Cu-Zn, oxidoavná	752 (400)	,60	Typ 17-7 PH leštěná	300-1500 (149-815)	,09-,16
Cu-Zn, oxidoavná	1112 (600)	,61	Typ C1020, oxidovaná	600-2000 (316-1093)	,87-,91
Neoxidovaná	77 (25)	,04	Typ PH-15-7 MO	300-1200 (149-649)	,07-,19
Neoxidovaná	212 (100)	,04	Stellit, leštěný	68 (20)	,18
N Nikl			Olovo		
Leštěný	100 (38)	,05	Leštěné	100-500 (38-260)	,06-,08
Oxidovaný	100-500 (38-260)	,31-,46	Drsné	100 (38)	,43
Neoxidovaný	77 (25)	,05	Oxidované	100 (38)	,43
Neoxidovaný	212 (100)	,06	Oxidované při 1100°F	100 (38)	,63
Neoxidovaný	932 (500)	,12	Šedé oxidované	100 (38)	,28
Neoxidovaný	1832 (1000)	,19	Paladium (pokovení 0,0005 až		
Elektrolytický	100 (38)	,04	0,005 na stříbře	200-750 (93-399)	,16-,17
Elektrolytický	500 (260)	,06	Platina	100 (38)	,05
Elektrolytický	1000 (538)	,10	Platina	500 (260)	,05
Elektrolytický	2000 (1093)	,16	Platina	1000 (538)	,10
Nikl-oxid	1000-2000 (538-1093)	,59-,86	Platina, černá	100 (38)	,93
O Ocel			Platina, černá	500 (260)	,96
Za studena válcovaná	200 (93)	,75-,85	Platina, černá	2000 (1093)	,97
Broušené plechy	1720-2010 (938-1099)	,55-,61	Oxidovaná při 1100°F (593°C)	500 (260)	,07
Leštěné plechy	100 (38)	,07	Oxidovaná při 1100°F (593°C)	1000 (538)	,11
Leštěné plechy	500 (260)	,10	Rhodium (pokovení 0,0002 až		
Leštěné plechy	1000 (538)	,14	0,0005 na Ni)	200-700 (93-371)	,10-,18

	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA		MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA	
	Rtuť	32 (0)	,09		Wolfram			W
	Rtuť	77 (25), 100 (38)	,10		Neoxidovaný	77 (25)	,02	
	Rtuť	212 (100)	,12		Neoxidovaný	212 (100)	,03	
S	Slitiny				Neoxidovaný	932 (500)	,07	
	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidovaný	392 (200)	,90		Neoxidovaný	1832 (1000)	,15	
	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidovaný	932 (500)	,97		Neoxidovaný	2732 (1500)	,23	
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidovaný	518 (270)	,89		Neoxidovaný	3632 (2000)	,28	
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidovaný	1040 (560)	,82		Vlákno (staré)	100 (38)	,03	
	80-Ni, 20-CR, Oxidovaný	212 (100)	,87		Vlákno (staré)	1000 (538)	,11	
	80-Ni, 20-CR, Oxidovaný	1112 (600)	,87		Vlákno (staré)	5000 (2760)	,35	
	80-Ni, 20-CR, Oxidovaný	2372 (1300)	,89		Zinek			Z
	Sřibbro				Lesklý, galvanisovaný	100 (38)	,23	
	Postřibření (0,0005 on Ni)	200-700 (93-371)	,06-,07		Komerční 99,1%	500 (260)	,05	
	Leštěné	100 (38)	,01		Galvanizovaný	100 (38)	,28	
	Leštěné	500 (260)	,02		Oxidovaný	500-1000 (260-538)	,11	
	Leštěné	1000 (538)	,03		Leštěný	100 (38)	,02	
	Leštěné	2000 (1093)	,03		Leštěný	500 (260)	,03	
T	Tantal				Leštěný	1000 (538)	,04	
	Neoxidovaný	1340 (727)	,14		Leštěný	2000 (1093)	,06	
	Neoxidovaný	2000 (1093)	,19		Zlato			
	Neoxidovaný	3600 (1982)	,26		Glazura	212 (100)	,37	
	Neoxidovaný	5306 (2930)	,30		Plate (,0001)			
	Titan				Pokovení 0,0005 na Ag	200-750 (93-399)	,11-,14	
	Slitina C110M, leštěná	300-1200 (149-649)	,08-,19		Železo			
	Slitina C110M, oxidovaná				Oxidované	212 (100)	,74	
	při 1000°F (538°C)	200-800 (93-427)	,51-,61		Oxidované	930 (499)	,84	
	Slitina Ti-95A, oxidovaná				Oxidované	2190 (1199)	,89	
	při 1000°F (538°C)	200-800 (93-427)	,35-,48		Neoxidované	212 (100)	,05	
	Anodizovaný k SS	200-600 (93-316)	,96-,82		Červená rez	77 (25)	,70	
U	Uhlík				Zkorodované	77 (25)	,65	
	Lampová čern	77 (25)	,95		Tekuté	2700-3220 (1516-1771)	,42-,45	
	Neoxidovaný	77 (25), 212 (100)	,81		Železo, lité			
	Neoxidovaný	932 (500)	,79		Oxidované	390 (199)	,64	
	Svíčková saze	250 (121)	,95		Oxidované	1110 (599)	,78	
	Vlákno	500 (260)	,95		Neoxidované	212 (100)	,21	
	Grafitovaný	212 (100)	,76		Silná oxidace	40 (104), 482 (250)	,95	
	Grafitovaný	572 (300)	,75		Tekuté	2795 (1535)	,29	
	Grafitovaný	932 (500)	,71		Železo, tepané			
	Uran-oxid	1880 (1027)	,79		Matné	77 (25), 660 (349)	,94	
	Vismut				Hladké	100 (38)	,35	
V	Lesklý	176 (80)	,34		Leštěné	100 (38)	,28	
	Neoxidovaný	77 (25)	,05		Pokovení 0,0005 na Ni	200-750 (93-399)	,07-,09	
	Neoxidovaný	212 (100)	,06		Leštěné	100-500 (38-260)	,02	
					Leštěné	1000-2000 (538-1093)	,03	

NEKOVOVÉ MATERIÁLY

	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMI SIVITA	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMI SIVITA
A	Azbest			Červená	200 (93)	,95
	Deska	100 (38)	,96	Bílá	200 (93)	,94
	Cement	32-392 (0-200)	,96	Břidlice	100 (38)	,67-,80
	Cement, červený	2500 (1371)	,67	Cihla		
	Cement, bílý	2500 (1371)	,65	Červená, drsná	70 (21)	,93
	Textilie	199 (93)	,90	Gault	2500-5000 (1371-2760)	,26-,30
	Papír	100-700 (38-371)	,93	Ohnivzdorná hlína, šamot	2500 (1371)	,75
	Břidlicově šedý	68 (20)	,97	Světlá leštěná	1000 (538)	,80
	Asfalt - hodník	100 (38)	,93	Cihla z vápenné hlíny	2500 (1371)	,43
	Asfalt - térový papír	68 (20)	,93	Ohnivzdorná, pálená cihla	1832 (1000)	,75-,80
B	Barvy			Magnesitová cihla	1832 (1000)	,38
	Modrá, Cu ₂ O ₃	75 (24)	,94	Šedá cihla	2012 (1100)	,75
	Černák, CuO	75 (24)	,96	Křemen, glazovaná	2000 (1093)	,88
	Zelená, Cu ₂ O ₃	75 (24)	,92	Křemen, neglazovaná	2000 (1093)	,80
	Červená, Fe ₂ O ₃	75 (24)	,91	Pískovápenná cihla	2500-5000 (1371-2760)	,59-,63
	Bílá, Al ₂ O ₃	75 (24)	,94	Cihla nepálená	68 (20)	,90
	Bílá, Y ₂ O ₃	75 (24)	,90	Čedič	68 (20)	,72
	Bílá, ZnO	75 (24)	,95	Červené olovo	212 (100)	,93
	Bílá, MgCO ₃	75 (24)	,91	Dolomit	69 (20)	,41
	Bílá, ZrO ₂	75 (24)	,95	Dřevo	Low	,80-,90
	Bílá, ThO ₂	75 (24)	,90	Bukové, hoblované	158 (70)	,94
	Bílá, MgO	75 (24)	,91	Dubové, hoblované	100 (38)	,91
	Bílá, PbCO ₃	75 (24)	,93	Smrkové, obroušené, smirkované	100 (38)	,89
	Žlutá PbO	75 (24)	,90	Guma		
	Žlutá, PbCrO ₄	75 (24)	,93	Tvrdá	74 (23)	,94
	Barvy, hliník	100 (38)	,27-,67	Měkká, šedá	76 (24)	,86
	10% Al	100 (38)	,52	Hlína	68 (20)	,39
	26% Al	100 (38)	,30	Vypalovaná	158 (70)	,91
	Dow XP-310	200 (93)	,22	Jílovitá břidlice	68 (20)	,69
	Barvy, bronz	Low	,34-80	Dlaždice, sv. červená	2500-5000 (1371-2760)	,32-,34
	Klovatinová fermež (2 nátěry)	70 (21)	,53	Dlaždice, červená	2500-5000 (1371-2760)	,40-,51
	Klovatinová fermež (3 nátěry)	70 (21)	,50	Dlaždice, tm. purpur.	2500-5000 (1371-2760)	,78
	Celulosový tmel (2 nátěry)	70 (21)	,34	Kamenné zdivo	100 (38)	,93
	Barvy, olej			Karborundum	1850 (1010)	,92
	Všechny barvy	200 (93)	,92-,96	Karbid křemíku	300-1200 (149-649)	,83-,96
	Černá	200 (93)	,92	Keramika		
	Černá leklá	70 (21)	,90	Oxid hlinitý na inconelu	800-2000 (427-1093)	,69-,45
	Krycí zeleň	125 (52)	,85	Kamenina, glazovaná	70 (21)	,90
	Matná černá	80 (27)	,88	Kamenina matná	70 (21)	,93
	Matná bílá	80 (27)	,91	Zeleň č. 5210-2C	200-750 (93-399)	,89-,82
	Šedozeleá	70 (21)	,95	Nátěr č. C20A	200-750 (93-399)	,73-,67
	Zelená	200 (93)	,95	Porcelán	72 (22)	,92
	Lampová čeřň	209 (98)	,96	Bílý Al ₂ O ₃	200 (93)	,90

	MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA		MATERIÁL	TEPLOTA °F (°C)	ε-EMISIVITA	
	Oxid zirkonia na inconelu	800-2000 (427-1093)	,62-,45		Silná vrstva	72 (22)	,82	
	Křemen				Piliny	68 (20)	,75	P
	Glazovaný	1832 (1000)	,85		Písek	68 (20)	,76	
	Neglazovaný	2012 (1100)	,75		Pískovec	100 (38)	,67	
	Křemen, hrubý, tavený	70 (21)	,93		Pískovec, červený	100 (38)	,60-,83	
	Sklo, 1,98 mm	540 (282)	,90		Půda, země			
	Sklo, 1,98 mm	1540 (838)	,41		Povrch	100 (38)	,38	
	Sklo, 6,88 mm	540 (282)	,93		Černá půda	68 (20)	,66	
	Sklo, 6,88 mm	1540 (838)	,47		Zorané pole	68 (20)	,38	
	Neprůhledný	570 (299)	,92		Saze			S
	Neprůhledný	1540 (838)	,68		Acetylen	75 (24)	,97	
L	Lak				Kafr	75 (24)	,94	
	Černý	200 (93)	,96		Svíčka	250 (121)	,95	
	Modrý na Al folii	100 (38)	,78		Uhlí	68 (20)	,95	
	Průhledný na Al folii (2 vrstvy)	200 (93)	,08 (,09)		Sádra	68 (20)	,80-,90	
	Průhledný na světlé Cu	200 (93)	,66		Shale	68 (20)	,69	
	Průhledný na zašlé Cu	200 (93)	,64		Sklo			
	Červený na Al folii	100 (38)	,61 (,74)		Convex D	212 (100)	,80	
	Bílý	200 (93)	,95		Convex D	600 (316)	,80	
	Bílý na Al folii (2 vrstvy)	100 (38)	,69 (,88)		Convex D	932 (500)	,76	
	Žlutý na Al folii (2 vrstvy)	100 (38)	,57 (,79)		Nonex	212 (100)	,82	
	Led				Nonex	600 (316)	,82	
	Hladký	32 (0)	,97		Nonex	932 (500)	,78	
	Hrubý	32 (0)	,98		Hladké	32-200 (0-93)	,92-,94	
M	Malta	100-500 (38-260)	,90-,92		Slída	100 (38)	,75	
	Mramor				Smirkový korund	176 (80)	,86	
	Bílý	100 (38)	,95		Sníh			
	Hladký, bílý	100 (38)	,56		Drobné částčky	20 (-7)	,82	
	Leštěný šedý	100 (38)	,75		Zrnitý	18 (-8)	,89	
0	Olej, lněný				Štěrk	100 (38)	,28	
	Na Al folii, nenatíraný	250 (121)	,09		Textilie bavlněná	68 (20)	,77	T
	Na Al folii, 1 nátěr	250 (121)	,56		Textilie hedvábná	68 (20)	,78	
	Na Al folii, 2 nátěry	250 (121)	,51		Vápenec	100 (38)	,95	V
	Na leštěném železe, 0,001 vrstva	100 (38)	,22		Voda	100 (38)	,67	
	Na leštěném železe, 0,002 vrstva	100 (38)	,45		Vodní sklo	68 (20)	,96	
	Na leštěném železe, 0,004 vrstva	100 (38)	,65		Žula	70 (21)	,45	Z
	Na leštěném železe, silná vrstva	100 (38)	,83					
	Olej na niklu							
	0,001 vrstva	72 (22)	,27					
	0,002 vrstva	72 (22)	,46					
	0,005 vrstva	72 (22)	,72					



23007906

ZÁRUKA

Výrobek je vyroben podle výrobních a zkušebních předpisů výrobce. Podle obchodního zákoníku č.513/91 Sb. se na výrobek vztahuje záruka 60 měsíců ode dne dodání uvedeného na dodacím listu. Záruka se vztahuje na vady vzniklé vadným materiálem nebo provedením výrobku. Záruka zaniká, pokud byly na výrobku provedeny úpravy a pokud byl výrobek poškozen mechanicky nebo nesprávným použitím. Případná reklamacie s uvedením závady se zasílá písemně, spolu s vadným výrobkem, zajištěným před poškozením dopravou, zpět výrobci.

OSVĚDČENÍ O JAKOSTI

Osvědčení o jakosti výrobku, potvrzující platnost záruky výrobce, je vydáno identifikačním štítkem výrobku.

IDENTIFIKACE VÝROBKU

NÁVOD PRO MONTÁŽ A OBSLUHU

Typové řady zdrojů

JS-300-XXX/DIN2



ÚDAJE O UVEDENÍ DO PROVOZU

(pro potřeby uživatele)

Dne:

Provedl:

ZÁRUČNÍ LIST

Před použitím výrobku pečlivě prostudujte tento návod.

BKE a.s.

Brno

tel: (+420) 547 236 111

fax: (+420) 547 236 112

e-mail: bke@bke.cz

www.bke.cz

BKE a.s.

U výzkumu 603, 664 62 Hrušovany u Brna

U výzkumu 603, 664 62 Hrušovany u

tel: (+420) 547 236 111

fax: (+420) 547 236 112

e-mail: bke@bke.cz

www.bke.cz

TECHNICKÉ ÚDAJE VÝROBKU

POPIŠ A POUŽITÍ

Spínaný napájecí zdroj JS-300-XXX/DIN2 je určen k napájení elektronických zařízení řídicích a monitorovacích aplikací v průmyslové oblasti, v prostředí bez nebezpečí výbuchu. Zdroj je vybaven aktivním PFC na vstupu, což zajišťuje široký rozsah vstupního napětí

Pro lázeňský bazén je vyžadováno napájení 230V, 50Hz, 16A. Napájecí kabely musí být provedeny mimo bazénovou místnost a musí být chráněny před mechanickým poškozením. Napájecí kabely musí být provedeny mimo bazénovou místnost a musí být chráněny před mechanickým poškozením.

TECHNICKÉ PARAMETRY

100V až 260V AC
Vstupní napětí
47 až 63 Hz
Vstupní kmitočet
1,7A při 230V AC
Vstupní proud
3000V AC primár-sekundár, 1500V AC primár-kabátka
Elektrická pevnost
větší než 50MQ
Izolační odpor

Výstupní parametry (napětí a proud) jsou uvedeny na typovém štítku zdroje.

při vstupním napětí 115V AC je maximální výstupní výkon 240W, respektive 10A. Při teplotě okolí od 40°C do 50°C nutno snížit výstupní výkon lineárně 2%/°C.

PROVOZNI PODMÍNKY A ÚDAJE

Prostředí:
Rozsah pracovní teploty -20 až 50°C
Vlhkost (nekonduktivní) 10 až 80% RV
Nadmorská výška do 2000 m n. m.
Stupeň krytí IP20
Hmotnost 1,4 kg
Materiál krabičky Al plech

Rozměry
70x155x175mm (ŠxVxH) včetně držáku DIN
Zdroj je proveden jako zařízení třídy ochrany I, kategorie přepětí v instalaci 3 dle CSN EN 61010-1, je odolný vůči zkratu výstupu. Zdroj je určen pro trvalý provoz.

TECHNICKÉ NORMY A CERTIFIKÁT

Ke zdrojji je vydáno prohlášení o shodě ve smyslu zákona č. 22/1997 Sb. ve znění zákona č. 71/2000 Sb.

Normy vztahující se k výrobku:

Bezpečnost
CSN EN 60950-1 ed.2

EMC CSN EN 61000-6-1 ed.2

ČSN EN 61000-6-3 ed.2

BALENÍ A SKLADOVÁNÍ

Ytorek je doáván v krabíe z ípenky (individuální balení). Se zdrojem se doává návod na montáž a obsluhu.

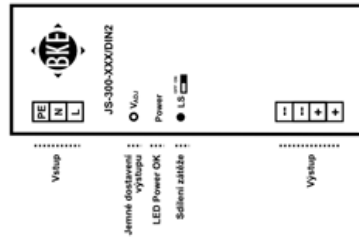
Výrobek se skladuje při teplotě od -20 do 70°C, při relativní vlhkosti do 80%, v prostorech, kde je vyloučeno sražení vodních par na výrobcích. Výrobek nesmí být vystaven narazům, otřesům, ani působení škodlivých par a plynů.

NÁVOD PRO MONTÁŽ A OBSLUHU

POKyny PRO MONTÁŽ

Připojování zdroje mohou provádět pracovníci alespoň znalí (§5 vyhl. č.50/1978 Sb). Šroubové svorky umožňují připojit vodiče o průřezu 0,5 až 2,5mm². Pracovní poloha zdroje je libovolná, optimálně svislá. Výrobek je určen pro montáž do prostředí bez nebezpečí výbuchu.

POKYNY PRO PŘIPOJENÍ



Výstupní napětí je možno dostavit (+/-5%) pomocí trimru na čelním panelu Vadj. Při paralelním spojení zdrojů je třeba přesunout přepínač LS (na čelním panelu) do polohy ON.

UVEDENÍ DO PROVOZU

Zdroj je určen pro trvalý provoz, má na vstupu tažnou pojistku T4H/250V a nemusí být externě jištěn. Přívod napájecího napětí musí mít možnost vypnutí. Po zapojení výstupních svorek a připojení vstupního napětí je zdroj připraven k provozu.

SERVIS A OPRAVY

Wórbek niew¿aduje obsluhu ani údržbu.

Výrobek nevysílá žádné oznamovací údaje ani oznamovací údaje. Výrobek opravuje výrobce. Do opravy se výrobky zasílají v obalu, který chrání před poškozením během dopravy.

ŽIVOTNOST

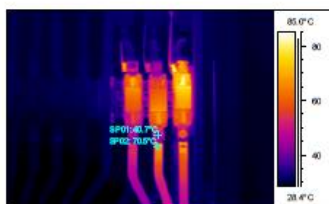
Minimální životnost výrobku je 50 000 hodin.

LIKVIDACE ODPADU

Likvidace obalů zajištěna ve sdruženém systému EKOKOM. Likvidace elektroodpadů zajištěna ve sdruženém systému REMA.

ThermaSpray 800

Speciální barva pro úpravu povrchu
před bezkontaktním měřením teploty



- černá nevodivá sprejová barva
- vysoká emisivita $E = 0,96$!
- odolná do vysokých teplot až 800 °C
- odolná vůči otěru a chemickým látkám
- jednoduchá a rychlá aplikace na měřený objekt
- objem 400 ml

Speciální barva ThermaSpray 800 je určena pro úpravu povrchu měřeného objektu před bezkontaktním měřením teploty termovizní kamerou nebo bezkontaktním teploměrem – pyrometrem. Díky jednoduché a rychlé aplikaci lze snadno provádět tato měření na objektech s neznámou nebo nízkou emisivitou (vysokou odrazivostí - zejména kovové části).

ThermaSpray 800 je vhodný zejména pro dlouhodobou úpravu povrchů při opakovaných měřeních teplot, kde je třeba eliminovat vliv nízké emisivity měřeného objektu.

Použití:

- ✓ na objekty s neznámou nebo nízkou emisivitou – vysokou odrazivostí
- ✓ kde je důležité určit přesně teplotu
- ✓ pro kompletní úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty
- ✓ na vytvoření referenčních měřicích bodů pro opakovaná měření

Výhody:

- ✓ stálá a zaručená měřicí místa
- ✓ eliminace chyb při měření
- ✓ usnadnění termovizního měření na objektech s neznámou emisivitou
- ✓ usnadnění termovizního měření na kovových objektech (elektrosoučásti, hliníkové a jiné kovové odlitky, stavební konstrukce atd.)



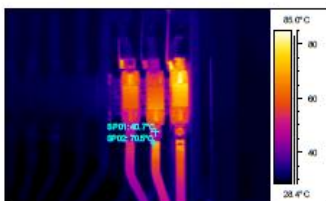
Výhradní obchodní a servisní zastoupení firmy FLIR Systems

TMV SS spol. s r.o.
Studánková 395
149 00 Praha 4

Tel: +420-272 942 720, Fax: +420-272 942 722
E-mail: info@tmvss.cz
Internet: www.tmvss.cz

ThermaSpray 500

Speciální barva pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty



- bílá nevodivá sprejová barva
- vysoká emisivita **$E = 0,97$** !
- odolná do vysokých teplot až 500 °C
- odolná vůči otěru
- jednoduchá a rychlá aplikace na měřený objekt
- objem 400 ml

Speciální barva ThermaSpray 500 je určena pro úpravu povrchu měřeného objektu před bezkontaktním měřením teploty termovizní kamerou nebo bezkontaktním teploměrem – pyrometrem. Díky jednoduché a rychlé aplikaci lze snadno provádět tato měření na objektech s neznámou nebo nízkou emisivitou (vysokou odrazivostí - zejména kovové části).

ThermaSpray 500 je vhodný zejména pro dlouhodobou úpravu povrchů při opakovaných měřeních teplot, kde je třeba eliminovat vliv nízké emisivity měřeného objektu.

Použití:

- ✓ na objekty s neznámou nebo nízkou emisivitou – vysokou odrazivostí
- ✓ kde je důležité určit přesně teplotu
- ✓ pro kompletní úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty
- ✓ na vytvoření referenčních měřicích bodů pro opakovaná měření

Výhody:

- ✓ stálá a zaručená měřicí místa
- ✓ eliminace chyb při měření
- ✓ usnadnění termovizního měření na objektech s neznámou emisivitou
- ✓ usnadnění termovizního měření na kovových objektech (elektrosoučásti, hliníkové a jiné kovové odličky, stavební konstrukce atd.)



Výhradní obchodní a servisní zastoupení firmy FLIR Systems

TMV SS spol. s r.o.
Studánková 395
149 00 Praha 4

Tel: +420-272 942 720, Fax: +420-272 942 722
E-mail: info@tmvss.cz
Internet: www.tmvss.cz