ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE	**KATEDRA APLIKOVANÉ MATEMATIKY** **FAKULTA DOPRAVNÍ**

LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY

Jméno		Datum měření	
Jana Kuklová		7.12.2007	
Stud. rok	Ročník	Datum odevzdání	
2007/2008	2.		
Číslo kroužku	Klasifikace		
2 32			
Číslo úlohy	Název úlohy		
52	**Termovizní měření teplotních polí.**		

Pomůcky

Termokamera FLIR P65
měřené objekty
Software ThermaCAM^{TM} Reporter^{TM}

Úkol

1. Sledujte rozložení teplotního pole na vybraných objektech.
2. Vyhodnoťte parametr emisivity objektu a stanovte extrémy teploty v pořízeném záznamu.

Dílčí úkoly

1. Pořiďte statický snímek rozložení teploty na vybraném objektu.
2. Pomocí software ThermaCAM^{TM} Reporter^{TM} vyhodnoťte emisivitu měřeného objektu.
3. Ve vybraných bodech stanovte hodnotu teploty.
4. Vykreslete průběh teploty na zvoleném profilu záznamu.
5. Vyhodnoťte histogram teplot ve zvolené oblasti záznamu.
6. Vyznačte v obrázku místa konstantní teploty.

Teoretický úvod

Infračervená oblast elektromagnetického záření (IR)

– zahrnuje vlnové délky delší než pro viditelné světlo až po oblast mikrovln

– dělení dle vlnových délek: blízká infračervená oblast (0,75 − 3) μm
střední infračervená oblast (3 − 6) μm
daleká infračervená oblast (6-100) μm

pozn.: Vlnové délky pro tyto oblasti se velmi často udávají v *angströmech*: 1 Å = 10^{-4} μm

Stefanův – Boltzmannův zákon

– popisuje vyzařování tělesa v závislosti na jeho termodynamické teplotě:

$$W = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (1)$$

W je intenzita vyzařování [W] = $\mathrm{W\cdot m^{-2}}$,
ε je emisivita (pro černá tělesa ε =1) [ε] = 1,
σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5{,}67051\cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$),
T je termodynamická teplota [T] = K

Černé těleso

– objekt, který absorbuje veškeré záření, které na něj dopadá, bez ohledu na vlnovou délku.

Šedé (nečerné) těleso – reálné objekty

– existují tři jevy, které mohou odlišovat reálný objekt od černého tělesa. Tyto složky jsou obecně závislé na vlnové délce, a proto pro jejich vyjádření užíváme spektrálních veličin:

1. část dopadajícího záření α může být pohlcena – spektrální pohltivost α_λ
2. část dopadajícího záření ρ může být odražena – spektrální odrazivost ρ_λ
3. část dopadajícího záření τ může tělesem prostoupit – spektrální propustnost τ_λ

Tyto spektrální veličiny jsou definované vždy jako poměr pohlcené, eventuelně odražené či propuštěné energie ku celkové energii dopadající na těleso a jejich součet je vždy roven jedné.

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \qquad (2)$$

Emisivita tělesa

– charakteristika každého tělesa (objektu), která se definuje jako poměr mezi vyzařováním daného objektu a černého tělesa; $\varepsilon \in \langle 0;1 \rangle$

– emisivita reálných povrchů: 0,1 – 0,95.

– nejdůležitější parametr, jehož volba ovlivňuje správnost výsledků při termovizních měřeních.

– hodnoty emisivity pro vybrané materiály budeme mít při měření k dispozici

Spektrální emisivita tělesa

– emisivita ε_λ definovaná pro určitou hodnotu λ

– ze zákonů vyzařování je zřejmé, že platí:

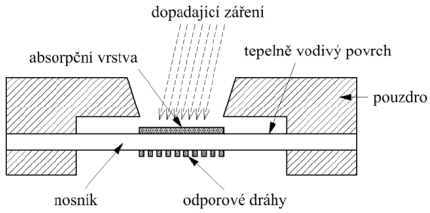
$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \qquad (3)$$

Infračervená kamera (termokamera)

– vytváří obraz na základě povrchem tělesa emitovaného infračerveného záření
– pomocí termokamery lze stanovit teplotu daného tělesa (emitované infračervené záření závisí na teplotě povrchu tělesa)
– vlastní měření záření emitovaného povrchem objektu se provádí pomocí speciálních senzorů, bolometrů

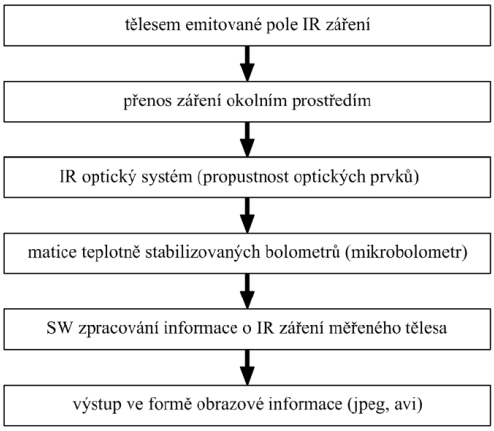
Bolometr (z řec. *bole* = paprsek)

– senzor pro bezdotykové měření teploty pracující na principu pyrometrie (měření celkového vyzářeného tepelného výkonu prostřednictvím infračerveného záření)
– obvykle se vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahující uspořádání více (až tisíců) bolometrů do matice, ty se pak označují jako mikrobolometry.
– jeho elektrický odpor se mění v závislosti na jeho teplotě (ta závisí na množství absorbovaného dopadajícího infračerveného záření), na základě změn odporu bolometru, je tedy možné stanovit teplotu objektu, přičemž je třeba zajistit tepelnou izolaci bolometru od svého okolí.



Způsob měření

Měření tělesa termokamerou se provádí podle následujícího blokového schématu:



Při měření je třeba brát v úvahu několik faktů:

1. infračervené záření vyzařované tělesem závisí nejen na jeho teplotě, ale také na jeho emisivitě
2. infračervené záření vzniká také na okolních materiálech a je zkoumaným tělesem odráženo
3. záření emitované tělesem a odražené záření je částečně absorbováno atmosférou mezi objektem a kamerou (dáno vlhkostí vzduchu)

Před samotným měřením je tedy třeba stanovit správně korekční koeficienty, které známe:
emisivita – tento parametr nejvíce ovlivňuje vyhodnocení termogramu, často právě emisivita je předmětem měření (v případě, že známe teplotu měřeného tělesa)
odražená teplota – kompenzuje vliv záření odraženého měřeným tělesem a vliv záření z atmosféry mezi objektem a kamerou
vzdálenost a relativní vlhkost – pro případ vzduchu nemají příliš velkou váhu
externí optika – nastavuje se v případě použití jiného objektivu

V případech, kdy je emisivita malá, vzdálenost mezi objektem a kamerou velká a teplota objektu je blízká odražené teplotě, hraje parametr odražené teploty v měření velkou roli.

Pro samotné měření si vybereme jeden z připravených objektů. Rozložení teplotních polí na jeho povrchu se bude průběžně zobrazovat na LCD obrazovce kamery, přičemž jednotlivé barvy budou představovat určitou teplotu. Zde je důležité si uvědomit, že obraz je ovlivněn nastavením emisivity pro celý obrázek (v případě, že jsou zobrazeny objekty o různé emisivitě, nebudou všechny teploty odpovídat skutečné hodnotě).
Pro další zpracování budou data z kamery přenesena v digitální podobě do počítače, kde posléze provedeme zpracování pomocí softwaru ThermaCAM™ Reporter™.

Měření a vypracování

Před začátkem měření byly parametry v termokameře nastaveny následujícím způsobem:

emisivita	0,96
vzdálenost objektu	2,4 m
odražená teplota	8.0°C
teplota vzduchu	24 °C
atm. propustnost	0,99
vlhkost vzduchu	50%

Všechny parametry kromě emisivity odpovídaly podmínkám v laboratoři, za kterých bylo měření prováděno.

Vedoucí cvičení pořídil termokamerou snímky několika připravených objektů. Naše skupina dostala ke zpracování ocelovou desku umístěnou na indukční plotýnce, která byla rovnoměrně zahřátá kalibrovaným zdrojem tepla na teplotu 240 °C.

Ocelová deska umístěná na indukční plotýnce byla rozdělena na tři části, přičemž spodní část byla natřena černou barvou, pravá horní část stříbrnou a levá horní část byla bez nátěru. I přesto, že deska byla zahřátá na konstantní teplotu, na první pohled byly na snímku patrné teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi desky. Je zřejmé, že tyto rozdíly byly způsobeny právě rozdílnou emisivitou jednotlivých povrchů. Dále jsme si všimli, že od středu ke kraji teplota všeobecně klesá, což bylo s největší pravděpodobností způsobeno vlivem okolního prostředí (teplota v laboratoři: 24°C).

Po úvodní analýze jsme snímek přenesený do počítače zpracovali pomocí výše zmíněného softwaru. Samotné zpracování jsme rozdělili do tří částí, z nichž každá má svůj grafický výstup, který obsahuje snímky, grafy a výsledkové tabulky.

1. část zpracování – stanovení emisivit a zobrazení teplotního průběhu

Nejprve jsme umístili bod v blízkosti středu do oblasti natřené černou barvou. Předpokládali jsme, že v tomto bodě je teplota právě 240 °C. Teplota se ve zmíněném bodě lehce lišila, a proto jsme provedli korekci emisivity na 0,95 (při této teplotě je již teplota ve zvoleném bodě 240,1 °C). Dále jsme do každé ze tří oblastí ocelové desky umístili úsečku, podle níž jsme vykreslili teplotní průběh. Předpokládali jsme, že teplota v okolí středu desky je konstantní, a porovnáním průběhů (zejména jejich počátků) jsme stanovili emisivitu zbývajících dvou povrchů.

Z grafu je patrné, že průběh teploty v oblasti s černým nátěrem (červeně) je velmi podobný průběhu v oblasti bez nátěru (zeleně). Narozdíl od toho průběh teploty v oblasti se stříbrným nátěrem (modře) je zcela odlišný. Zde totiž nepozorujeme žádné výrazné snížení teploty u kraje desky, což může být dáno odlišnými fyzikálními vlastnostmi nátěru (např. rozdílná tepelná kapacita).

2. část zpracování – histogramy jednotlivých teplotních polí

Při tomto zpracování jsme do snímku umístili tři plochy, které odpovídají jednotlivým oblastem ocelové desky. Každé z těchto ploch jsme přiřadili odpovídající emisivitu zjištěnou v předchozí části. Následně jsme pro každou vyznačenou plochu sestrojili histogram. Ty pouze potvrdili naše předchozí pozorování, a to že oblast se stříbrným lakem se chová poněkud odlišně než zbývající dvě části ocelové desky.

3. část zpracováníní – zobrazení izotermy

V závěrečné části jsme pod sebe umístili tři snímky a u každého z nich nastavili emisivitu zjištěnou v první části. Následně jsme do každého snímku přidali „izotermu“ – oblast o teplotách v rozmezí 230°C – 245°C a pozorovali vždy právě tu oblast, která odpovídala nastavené emisivitě snímku. Na snímcích, kde jsme pozorovali oblast s černým lakem a oblast bez laku, vznikly podle našeho předpokladu kruhové výseče v okolí středu desky. Na snímku, který odpovídá stříbrnému laku je výstup poněkud odlišný a opět potvrzuje naše předchozí pozorování.

Závěr

Pomocí softwaru ThermaCAM™ Reporter™ jsme provedli analýzu rozložení teplotních polí ocelové desky umístěné na indukční plotýnce.

Na základě známé teploty jsme stanovili emisivity jednotlivých povrchů ocelové desky:

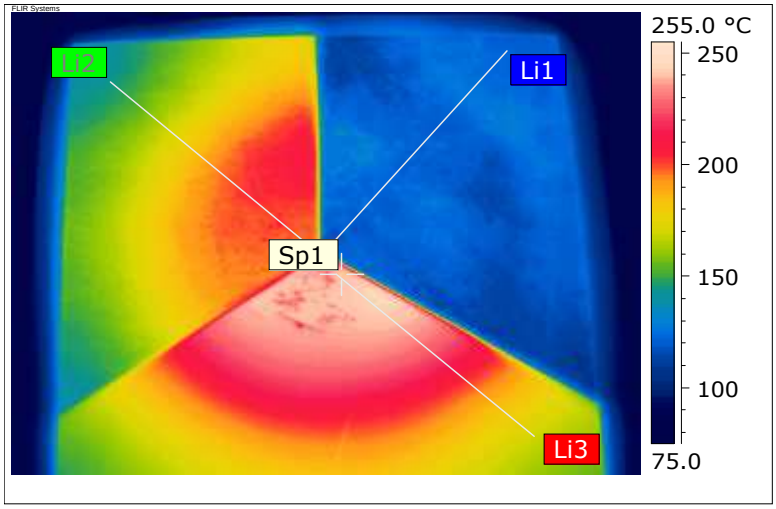
Povrch	**Emisivita**
matná černá barva	0,95
neupravená ocel	0,70
stříbrná barva	0,32

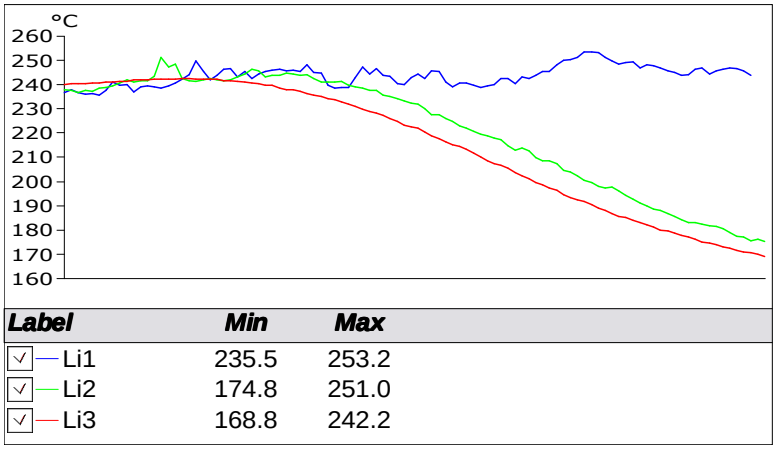
Tyto hodnoty jsou velmi blízké známým tabulkovým hodnotám, přičemž je třeba si uvědomit, že každý nátěr je trochu jiný, a proto jsou odchylky od tabulkových hodnot přijatelné.

Dále jsme vykreslili průběh teploty na zvolených úsečkách a histogramy ve zvolených oblastech. Na závěr jsme pozorovali oblasti o konstantních teplotách (viz grafické výstupy).

Ze všech těchto výstupů jsme vyvodili závěr, že stříbrný lak má poněkud odlišné fyzikální vlastnosti ve srovnání se zbývajícími dvěma povrchy, jelikož jsme u něj nepozorovali charakteristický pokles teploty od středu ke kraji způsobený nízkou teplotou okolního prostředí.

1. část měření – teplotního průběhu a emisivit



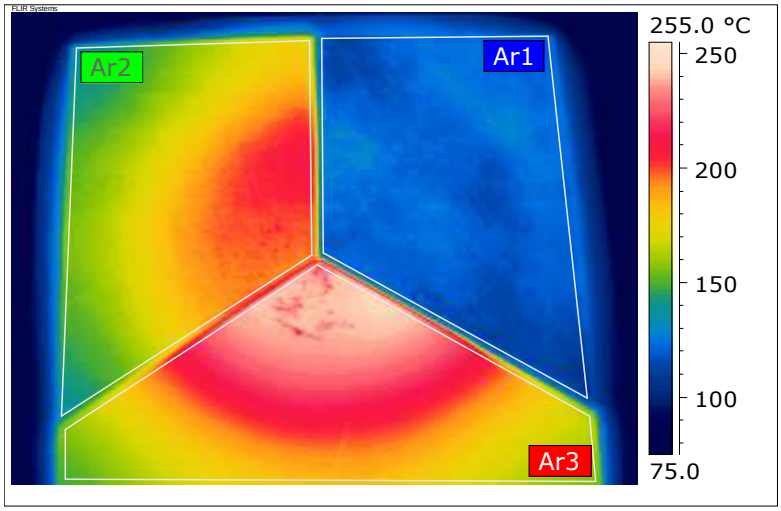


Label	Min	Max
Li1	235.5	253.2
Li2	174.8	251.0
Li3	168.8	242.2

Object Parameter	Value
Emissivity	0.95
Object Distance	2.4 m
Reflected Temperature	8.0 °C
Atmospheric Temperature	24.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Relative Humidity	50.0 %

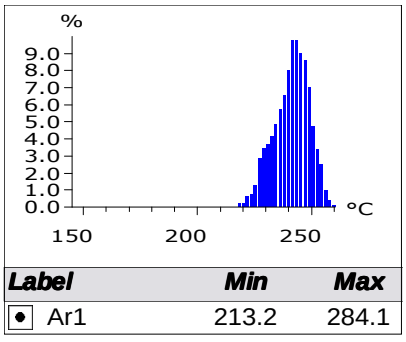
Label	Value
Sp1	240.1 °C
Li1 Emissivity	0.32
Li2 Emissivity	0.70
Li3 Emissivity	0.95

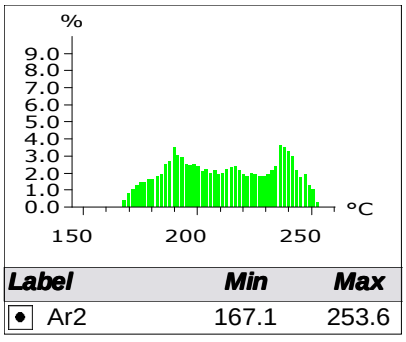
2. část měření – rozložení teplot v jednotlivých polích

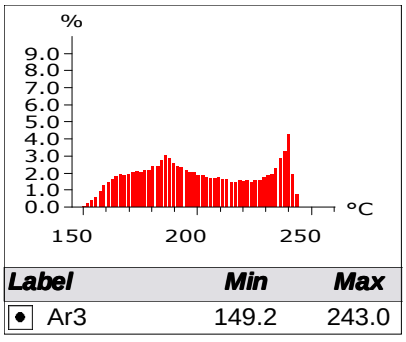


Object Parameter	Value
Emissivity	0.95
Object Distance	2.4 m
Reflected Temperature	8.0 °C
Atmospheric Temperature	24.0 °C
Atmospheric Transmission	0.99
Relative Humidity	50.0 %

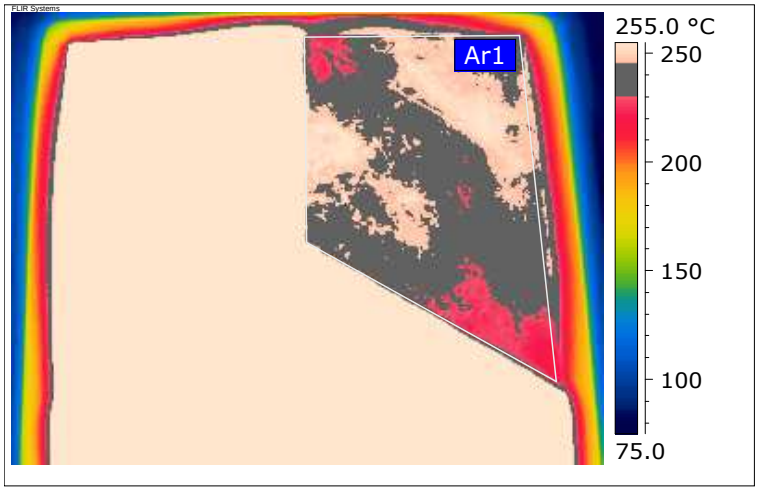
Label	Value
Ar1 Emissivity	0.32
Ar2 Emissivity	0.70
Ar3 Emissivity	0.95





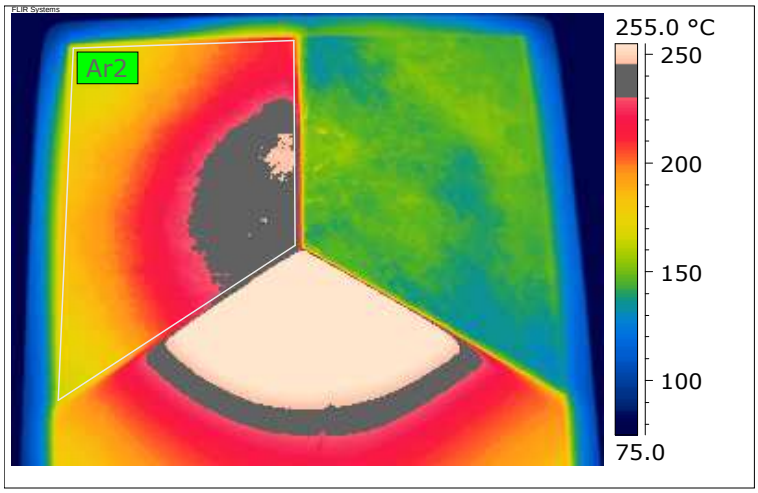


3. část měření – izoterma



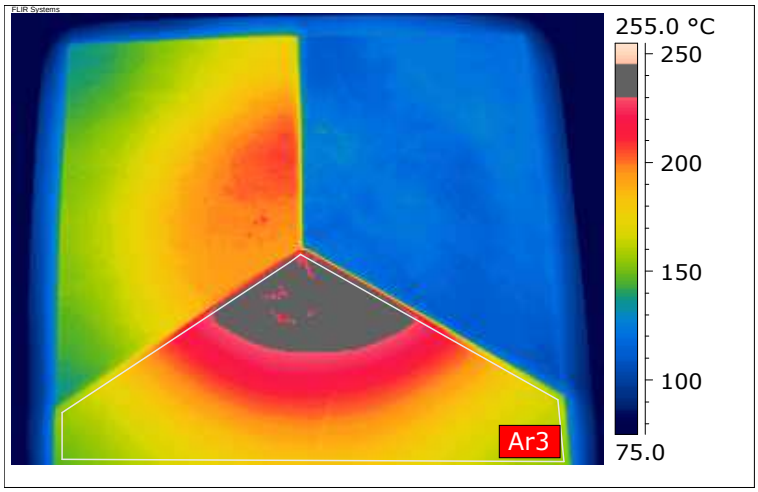
Object Parameter	Value
Emissivity	0.32

Isotherm	230 °C – 245 °C



Object Parameter	Value
Emissivity	0.70

Isotherm	230 °C – 245 °C



Object Parameter	Value
Emissivity	0.95

Isotherm	230 °C – 245 °C