

# Termografie a termodiagnostika

## 7. laboratorní cvičení – práce IT2\_válec

### Zadání

1. Proveďte kontrolu správnosti měření termokamerou a IČ teploměrem na černém tělese HYPERION R. při teplotě 50 °C.
2. Uved'te do provozu laboratorní stanici ARMFIELD a nastavte regulaci teploty skleněného válce na 40 °C.
3. Změřte hodnotu odražené teploty z okolí pomocí modelu Lambertova zářiče.
4. Vyhodnoďte závislost emisivity na úhlu, pod kterým je objekt snímán (směrová emisivita)
  - a. Poříd'te snímek válce termokamerou a vyhodnoťte změnu teploty/emisivity v termosnímku na jednotlivých proužcích.
  - b. IČ teploměrem naměřte teplotu (průměr 2 hodnot) referenčního proužku 4 válečku při kolmém pohledu, jehož emisivita je 0,96.
  - c. Tuto hodnotu využijte jako referenci pro určení emisivity (při kolmém pohledu) ostatních proužků.
  - d. Následně naměřte pro každý proužek 10 hodnot teploty postupným posouváním IČ teploměru v jedné rovině tak, aby každé měření povrchu proužku na válečku proběhlo pod jiným úhlem.
  - e. Z naměřených hodnot získejte profil směrové emisivity jednotlivých proužků.

## Vypracování

### 4. Přístroje a jejich nastavení

Kalibrace:

- HYPERION R - 50 °C

IČ teploměr:

- označení: OPTRIS-LS
- sériové číslo: 9050023

Termokamera:

- označení: FLIR
- pořadové číslo: 3

Laboratorní podmínky:

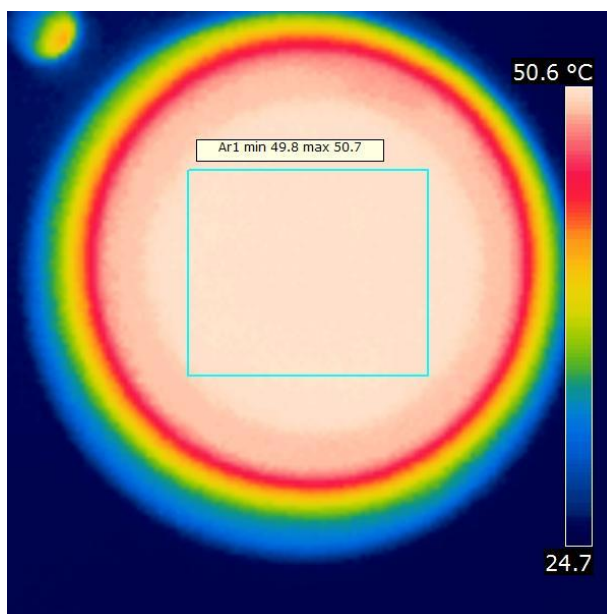
- atmosférická teplota: 21,5 °C
- relativní vlhkost: 45 %

### 5. Kalibrace

Na kalibračním černém tělese HYPERION byla nastavena teplota 50 °C. Emisivita infračerveného (IČ) teploměru OPTRIS-LS byla nastavena na hodnotu 0,995, emisivita termokamery FLIR 3 na hodnotu 0,99. Po ustálení teploty černého tělesa byla IČ teploměrem naměřena teplota uvnitř dutiny. S termokamerou byl pořízen termosnímek dutiny (viz obr. 1) a její teplota posléze vyhodnocena v programu FLIR QuickReport, kde byly také upraveny parametry shrnuté v tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry nastavené při vyhodnocení termosnímku dutiny ČT.

	hodnota	jednotka
<b>Emisivita:</b>	0,99	1
<b>Odražená teplota:</b>	25,7	°C
<b>Atmosférická teplota:</b>	21,5	°C
<b>Relativní vlhkost:</b>	0,45	1
<b>Vzdálenost:</b>	0,5	m



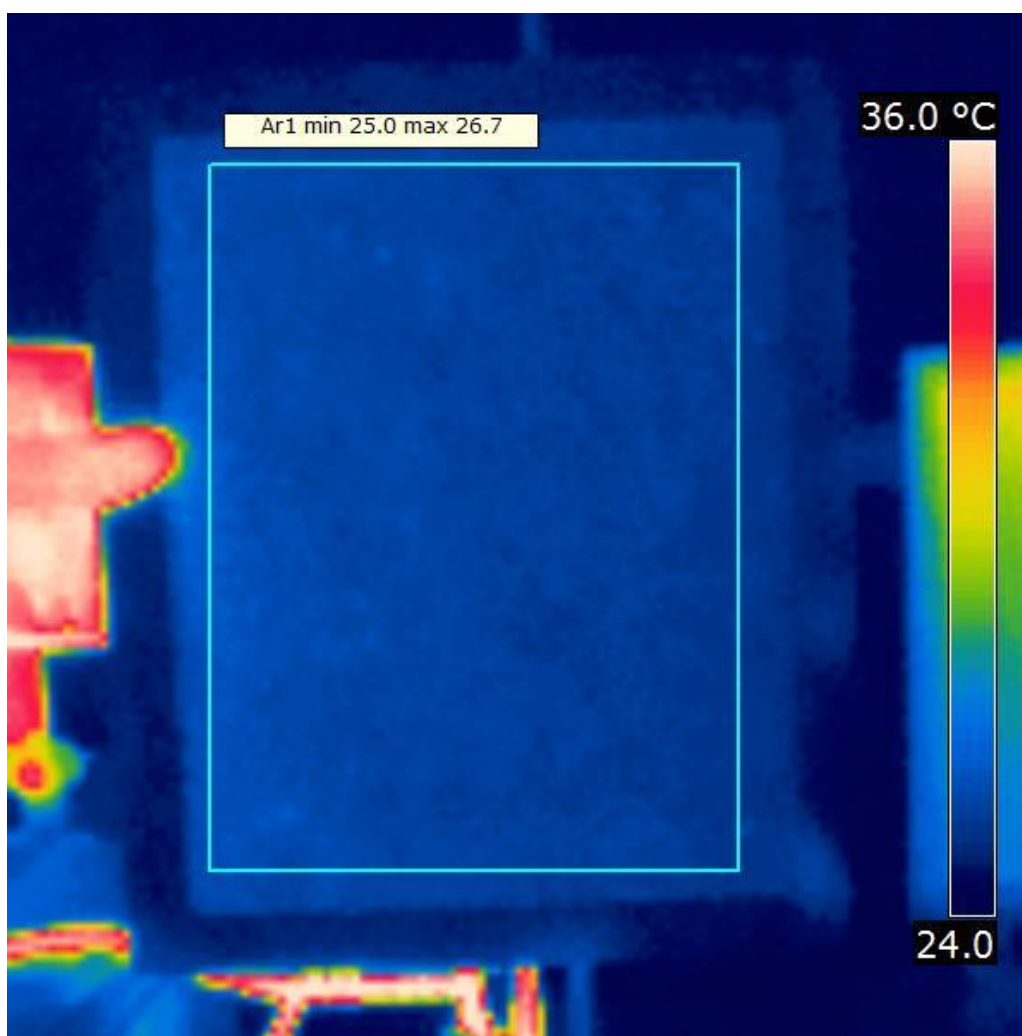
Obrázek 1: Termosnímek dutiny kalibračního zařízení HYPERION R vyhřátého na 50 °C při nastavení parametrů z tabulky 1.

Tabulka 2: Porovnání teploty černého tělesa a naměřených hodnot na IČ teploměru a termokameře.

teploty (°C)	IČ teploměr			termokamera		
	skutečná	naměřená	odchylka	skutečná	naměřená	odchylka
<b>HYPERION</b>	50,01	50,1	0,09	50,00	50,5	0,5

### 3. Vyhodnocení odrazu z Lambertova zářiče

Termokamerou byl pořízen snímek (viz obr. 2) modelu Lambertova zářiče (pomuchlaná a opět narovnaná alobalová fólie), který v ideálním případě dokonale rozptyluje dopadající záření do všech směrů. Díky této vlastnosti lze ze snímku vyhodnotit sdruženou teplotu okolních zdrojů ( $T_{refl}$ ), jejichž záření se rovnoměrně odráží od povrchu Lambertova zářiče.



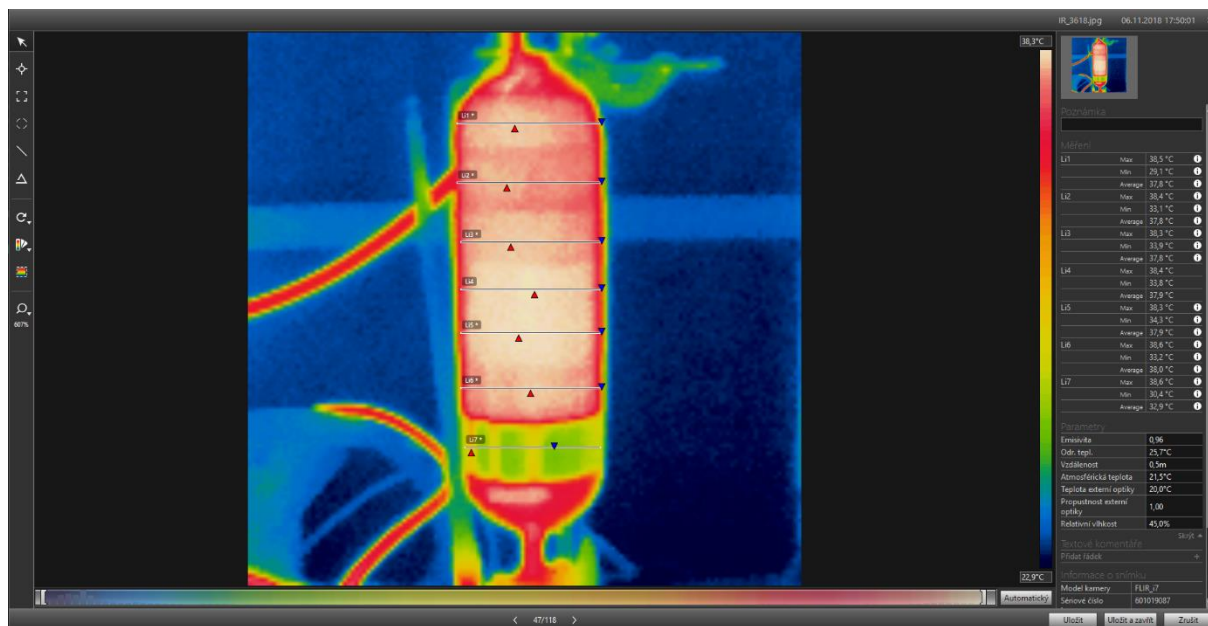
Obrázek 2: Termosnímek modelu Lambertova zářiče.

Sdružená odražená teplota okolních objektů při nastavení parametrů termosnímku dle tabulky 1 (vyjma emisivity, která byla nastavena na 1 a odražené teploty, jejíž hodnota není při vyhodnocení podstatná, jelikož při  $\varepsilon = 1$  nemá na teploty snímku vliv) vyšla  $T_{refl} = 25,7$  °C.

#### 4. Vyhodnocení směrové emisivity

##### 4.1 Termokamerou

Termokamerou byl pořízen snímek válečku vyhřátého na 40 °C a v programu FLIR Tools byly vyhodnoceny teplotní profily jednotlivých proužků při postupné úpravě emisivity tak, aby teploty na proužcích odpovídali teplotě referenčního proužku (Li4) s definovanou emisivitou  $\varepsilon = 0,96$ . Shrnuté úpravy emisivit jednotlivých proužků a odpovídající teploty se nacházejí v tabulce 3.



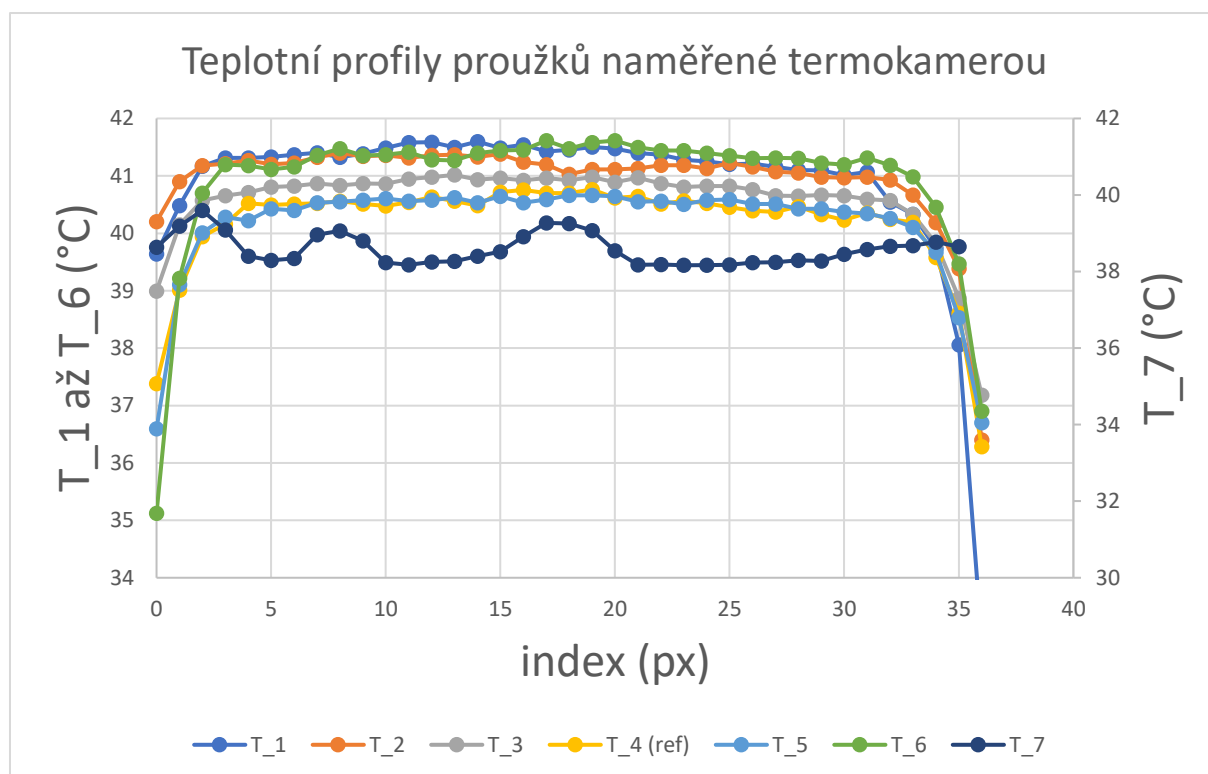
Obrázek 3: Vyhodnocení termosnímku válečku s úsečkami pro vyhodnocení profilu teploty na jednotlivých proužcích v programu FLIR Tools.

Tabulka 3: Nastavené emisivity jednotlivých proužků v závislosti na maximální teplotě referenčního proužku 4 (ref) a maximální teploty při těchto emisivitách.

proužek (1)	1	2	3	4 (ref)	5	6	7
emisivita (1)	0,92	0,92	0,94	0,96	0,96	0,92	0,36
maximální teplota (°C)	38,5	38,4	38,3	38,4	38,3	38,6	38,6

Vyhodnocené teplotní profily jednotlivých proužků na válečku jsou shrnuty v grafu na obrázku 4.

Z grafu na obrázku 4 je zřejmé, že u teplotních profilů T<sub>1</sub> až T<sub>6</sub> (odpovídající proužkům 1 až 6) dochází při přibližování k okrajům válce (tedy při zvyšování úhlu, pod kterým je objekt snímán) k poklesu teploty snímané termokamerou. Teplota válce je však všude stejná. Poklesy snímaných teplot jsou způsobeny změnami emisivity v závislosti na úhlu snímání objektu (tzv. směrová emisivita). Z profilů T<sub>1</sub> až T<sub>6</sub> lze usoudit, že směrová emisivita objektu s rostoucím úhlem klesá. Teplotní profil T<sub>7</sub> vykazuje teplotní výkyvy a jeho emisivita (viz tab. 3) je pouze 0,21, jelikož se jedná o reflektivní materiál a v měření se značně projevuje odražená teplota okolních objektů.



Obrázek 4: Teplotní profily proužků na válečku vyhodnocené z termosnímků na obrázku 3.

#### 4.2 IČ teploměr

IČ teploměrem OPTRIS-LS 905 0023 byly naměřeny a zprůměrovány 2 teploty válce při snímání ve směru normály k povrchu (kolmo na povrch válce) a emisivita upravena tak, aby teploty zhruba odpovídaly teplotám referenčního proužku 4 (ref). Výsledné hodnoty emisivit a příslušných zprůměrovaných teplot při měření kolmo na povrch se nachází v tabulce 4.

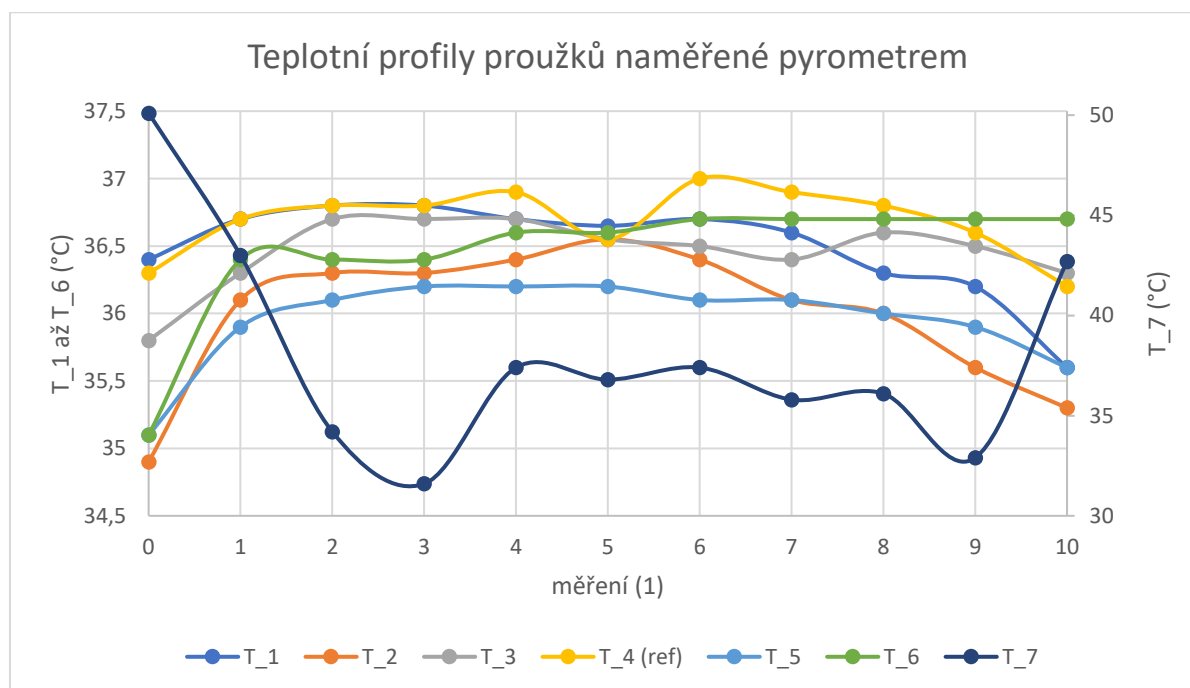
Tabulka 4: Nastavené emisivity jednotlivých proužků v závislosti na průměrné naměřené teplotě referenčního proužku 4 (ref) a průměrné teploty snímané kolmo k povrchu válce při těchto emisivitách.

proužek (1)	1	2	3	4 (ref)	5	6	7
emisivita (1)	0,925	0,925	0,94	0,96	0,98	0,91	0,31
teplota na normále (°C)	36,65	36,55	36,55	36,55	36,2	36,6	36,8

Při těchto emisivitách bylo poté zjištěno rozložení teploty napříč válce tak, že pro každý proužek IČ teploměrem bylo naměřeno 10 hodnot snímaných horizontálním posouváním pyrometru bez změny jeho úhlového natočení od levého okraje válce k pravému okraji válce. Naměřené hodnoty včetně středových hodnot z tabulky 4 jsou shrnuty v tabulce 5 a vykresleny v grafu na obrázku 5.

Tabulka 5: Naměřené teploty při měření válce IČ teploměrem OPTRIS-LS 905 0023

<b>proužek</b> <b>měření</b>	<b>T_1 (°C)</b>	<b>T_2 (°C)</b>	<b>T_3 (°C)</b>	<b>T_4 (ref) (°C)</b>	<b>T_5 (°C)</b>	<b>T_6 (°C)</b>	<b>T_7 (°C)</b>
0	36,4	34,9	35,8	36,3	35,1	35,1	50,1
1	36,7	36,1	36,3	36,7	35,9	36,4	43
2	36,8	36,3	36,7	36,8	36,1	36,4	34,2
3	36,8	36,3	36,7	36,8	36,2	36,4	31,6
4	36,7	36,4	36,7	36,9	36,2	36,6	37,4
5 (střed)	36,65	36,55	36,55	36,55	36,2	36,6	36,8
6	36,7	36,4	36,5	37	36,1	36,7	37,4
7	36,6	36,1	36,4	36,9	36,1	36,7	35,8
8	36,3	36	36,6	36,8	36	36,7	36,1
9	36,2	35,6	36,5	36,6	35,9	36,7	32,9
10	35,6	35,3	36,3	36,2	35,6	36,7	42,7



Obrázek 5: Teplotní profily proužků na válečku naměřené pyrometrem OPTRIS-LS.

Z hodnot v tabulce 5 a grafu na obrázku 5 lze vyčíst podobný průběh jako při vyhodnocení teplotních profilů z termogramu válečku snímaného termokamerou Flir i7 (graf na obr. 4). Na okrajích válce se pro T\_1 až T\_5 ve většině měření hodnoty teploty snižují. T\_1, T\_4 a T\_6 vykazují ve středovém bodě nesrovnalost s předpokladem. Naměřena teplota zde byla nižší než v okolních bodech. V pravé části proužku 6 (T\_6) měření také neodpovídá předpokladu snižování emisivity při zvyšování úhlu, pod kterým je povrch snímán. T\_7 vykazuje převrácený profil, což může být způsobeno tím, že úhlová emisivita se s rostoucím úhlem snižuje. S poklesem emisivity se však zvyšuje odrazivost materiálu, a tudíž se na okrajích tento proužek jeví jako teplejší, jelikož se více projevují odražené teploty od okolních zářičů.

## 5. Vyhodnocení výsledků a závěr

V práci byl snímáním válcového vyhřívaného objektu s proužky o různých emisivitách vyhodnocen vliv úhlu, pod kterým je objekt snímán na hodnotu emisivity objektu.

V kapitole 4.1 bylo vyhodnocení realizováno ze snímku z termokamery FLIR i7 v programu FLIR Tools. Teplotní profily T\_1 až T\_6 zde odpovídali předpokládanému snižování snímané teploty (snižování směrové emisivity) při zvyšování úhlu, pod kterým je povrch objektu snímán. Pro proužek 7, který má nízkou emisivitu (cca 0,35) a tudíž vysokou odrazivost, by bylo možné předpokládat převrácený trend profilu T\_7 oproti ostatním profilům (tedy zvyšování teploty při zvyšování úhlu snímání povrchu). V případě získaného termosnímku profil T\_7 tento trend příliš nevykazoval.

V kapitole 4.2 bylo vyhodnocení realizováno postupným snímáním několika (11) bodů jednotlivých proužků napříč vyhřívaným válcem pomocí pyrometru OPTRIS-LS 905 0023. V tomto případě naměřené hodnoty a výsledné profily T\_1 až T\_6 (viz obr. 5) nebyly tolik směrodatné jako při vyhodnocení termokamerou, ale ve většině lze stále pozorovat trend poklesu snímané teploty s nárůstem úhlu snímání povrchu. Profil T\_7 zde vykazoval předpokládaný převrácený trend k profilům T\_1 až T\_6, způsobený zvyšováním směrové odrazivosti při zvyšování úhlu snímání povrchu.