



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## BEZKONTAKTNÍ METODY MĚŘENÍ TEPLoty V EKOLOGICKÉM INŽENÝRSTVÍ

CONTACTLESS METHODS TEMPERATURE OF MEASURING ENVIRONMENTAL-ENGINEER  
QUANTITIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ VRÁNA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK NĚMEC, CSc.

BRNO 2010

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je objasnění problematiky bezkontaktního měření teploty a názorné porovnání měření kontaktním teploměrem a pyrometrem na laboratorním modelu.

### **Klíčová slova:**

bezkontaktní měření teploty, pyrometr

## **Abstract**

The objective diploma work is clarification problems contactless temperature measuring and objective comparison measurement contact thermometer and pyrometer on laboratory model.

### **Keywords:**

non-contact temperature measuring, pyrometer

VRÁNA, T. *Bezkontaktní metody měření teploty v ekologickém inženýrství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Němec, CSc.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Bezkontaktní metody měření teploty v ekologickém inženýrství** vypracoval samostatně za použití pramenů uvedených v přehledu literatury.

V Brně dne .....

Podpis .....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Němcovi, CSc. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytl během řešení diplomové práce.



## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Princip infračerveného záření.....	11
2.1	Zákony záření .....	11
3	Rozdělení pyrometrů .....	14
3.1	Úhrnný pyrometr .....	14
3.2	Pásmový pyrometr .....	15
3.3	Poměrový pyrometr .....	16
3.4	Jasový pyrometr.....	17
4	Části pyrometru .....	18
4.1	Optický systém .....	19
4.2	Detektor .....	20
4.3	Elektronika.....	21
5	Měření teploty materiálů .....	22
5.1	Měření teploty kovů.....	22
5.2	Měření teploty skla .....	22
5.3	Měření teploty plastů .....	23
6	Kalibrace .....	24
7	Praktické využití v procesním inženýrství .....	25
8	Programy ve VB.....	27
8.1	Korekce emisivity.....	27
8.2	Emisivita z indexu lomu .....	29
9	Výběr pyrometrů .....	31
9.1	Parametry pro výběr pyrometrů.....	31
9.2	Seznam nejčastěji využívaných pyrometrů na českém trhu .....	33
10	Měřicí přístroje .....	36
10.1	Fluke 574 .....	36
10.2	Testo 935.....	38
10.3	GREISINGER GMH 3230 .....	40
10.4	Retigo M20 .....	42
11	Postup měření.....	43
11.1	Zjištění emisivity .....	43
11.2	Index zaostření.....	45
11.3	Instalace teplotních sond.....	46

11.4	Postup měření.....	47
11.5	Výsledky měření .....	48
11.6	Hodnocení přesnosti měřené teploty.....	49
11.7	Vyhodnocení laboratorního měření .....	53
12	Závěr.....	55
13	Seznam použité literatury .....	56
14	Seznam příloh.....	57

## Seznam použitých symbolů

<b>symbol</b>	<b>význam</b>	<b>jednotka</b>
b	Wienova konstanta ( $b = 2898 \text{ m.K}$ )	[m.K]
c	rychlost světla ( $c = 299792485 \text{ m.s}^{-1}$ )	[m.s <sup>-1</sup> ]
c <sub>1</sub>	první vyzařovací konstanta ( $c_1=3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2$ )	[W.m <sup>2</sup> ]
c <sub>2</sub>	druhá vyzařovací konstanta ( $c_2=1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m.K}$ )	[m.K]
d	tloušťka materiálu	[m]
E	hustota zářivého toku	[W.m <sup>-2</sup> ]
h	Planckova konstanta ( $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ )	[J.s]
k	Boltzmannova konstanta ( $k = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J. kg}^{-1}$ )	[J. kg <sup>-1</sup> ]
k	imaginární část indexu lomu	[-]
L	vzdálenost měřeného objektu od objektivu	[m]
M <sub>0</sub>	hustota intenzity záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
M <sub>0λ</sub>	spektrální hustota vyzařování	[W.m <sup>-2</sup> ]
n	reálná část indexu lomu	[-]
n	počet měření	[-]
P	propustnost vrstvy	[-]
R	Fresnelova odrazivost	[-]
s <sub>x</sub>	směrodatná odchylka	[°C]
T	termodynamická teplota tělesa	[K]
T <sub>P</sub>	teplota udaná pyrometrem	[K]
T <sub>S</sub>	skutečná teplota	[K]
y <sub>i</sub>	opakovaně změřená teplota za stejných podmínek	[°C]
$\bar{y}$	aritmetický průměr změřené teploty	[°C]
α	absorptivita	[-]

$\sigma$	Stefanova-Boltzmannova konstanta ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$
$\lambda$	vlnová délka záření	$[\text{m}]$
$\lambda_{\text{max}}$	vlnová délka maxima vyzařování	$[\text{m}]$
$\varepsilon$	emisivita měřeného objektu	$[-]$
$\pi$	Ludolfovo číslo ( $\pi = 3,14159$ )	$[-]$

# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou bezkontaktního měření teploty. Teplota je jedním z nejdůležitějších parametrů, který je důležitý pro řízení téměř všech technologických a výrobních procesů. Proto je důležité přesné a rychlé monitorování teploty.

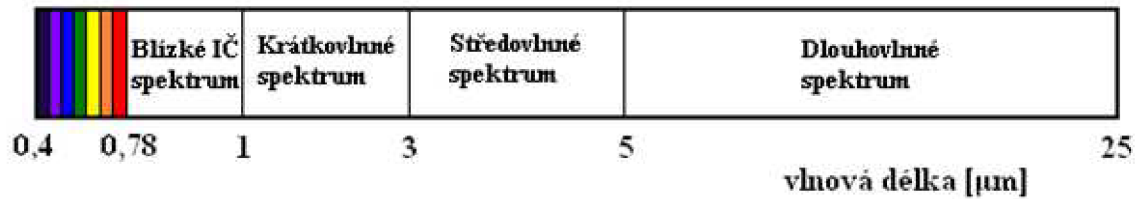
V poslední době dochází k velkému rozšíření používání bezkontaktních teploměrů, je to způsobeno zejména díky pokroku v elektronice a optice. Přístroje, které slouží k bezdotykovému měření teploty, se nazývají infračervené teploměry nebo pyrometry. Teplota je měřena na základě detekce tepelného záření pyrometrem. Výhodou tohoto měření je, že na rozdíl od termočlánků není nutný kontakt s měřeným objektem. To má své využití např. při měření pohybujících se předmětů nebo měření teploty v nebezpečném prostředí.

První uplatnění pyrometrů bylo zejména v chemickém, metalurgickém a silikátovém průmyslu (cementárny, vápenky, keramický průmysl), kde byla potřeba měřit vysoké teploty, a nebylo možné použít dotykový teploměr. S rozvojem pyrometrů je možné v poslední době měřit teploty i nižší než 0°C. Tímto poklesem měřených teplot vzrostlo využití pyrometrů a nacházejí tak uplatnění ve farmaceutickém, textilním, papírenském průmyslu, v potravinářství, elektrotechnice a při zpracování plastických hmot.

Cílem této diplomové práce je objasnění problematiky bezkontaktního měření teploty a názorné porovnání měření kontaktním teploměrem a pyrometrem na laboratorním modelu.

## 2 Princip infračerveného záření

Všechny objekty vyzařují elektromagnetické záření v určité části spektra. Jeho příčinou je vnitřní mechanický pohyb molekul. Intenzita tohoto pohybu závisí na teplotě objektu. Pro bezdotykové měření teploty se využívá elektromagnetické záření o vlnové délce 0,4 až 25  $\mu\text{m}$ , které se dá rozdělit na části podle Obr. 2-1.



Obr. 2-1 Elektromagnetické spektrum využívané pro bezdotykové měření teploty

Rozdělení elektromagnetického záření:

- 0,4  $\mu\text{m}$  - 0,78  $\mu\text{m}$  viditelné spektrum
- 0,78  $\mu\text{m}$  - 1  $\mu\text{m}$  blízkého infračervené spektrum
- 1  $\mu\text{m}$  - 3  $\mu\text{m}$  krátkovlnné infračervené spektrum
- 3  $\mu\text{m}$  - 5  $\mu\text{m}$  středovlnné spektrum
- 5  $\mu\text{m}$  - 25  $\mu\text{m}$  dlouhovlnné spektrum

### 2.1 Zákony záření

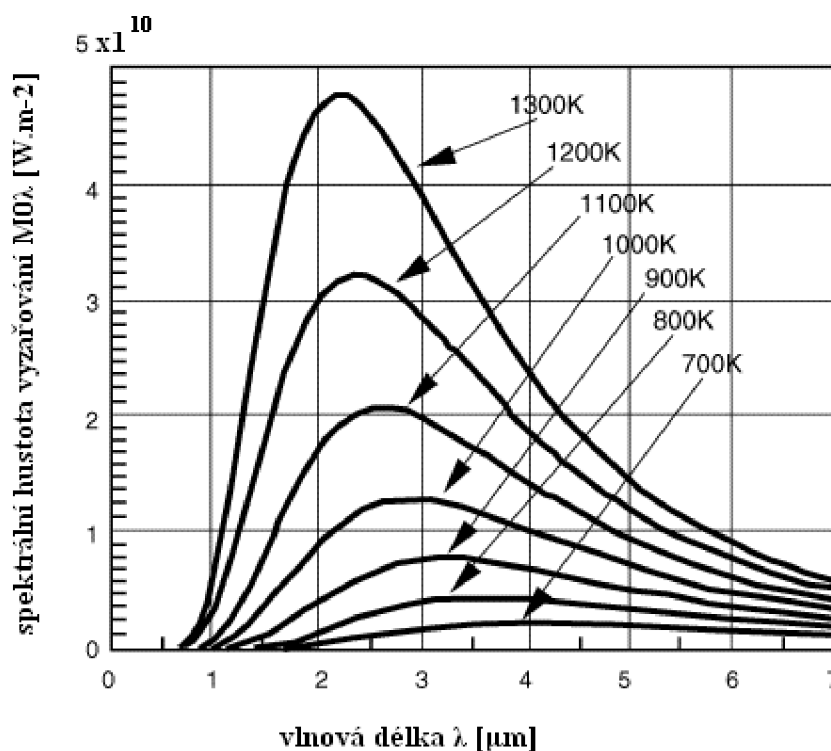
#### Planckův zákon

Vyjadřuje závislost spektrální hustoty intenzity záření černého tělesa na vlnové délce a teplotě podle vztahu:

$$M_{0\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 e^{\frac{hc}{\lambda T}}} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad (2.1)$$

Kde

$M_{0\lambda}$	spektrální hustota intenzity záření černého tělesa [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$c$	rychlost světla [ $c = 299\,792\,485\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$c_1$	první vyzařovací konstanta [ $c_1 = 3,7413\cdot 10^{-16}\text{ W m}^2$ ]
$c_2$	druhá vyzařovací konstanta [ $c_2 = 1,4388\cdot 10^{-2}\text{ K m}$ ]
$h$	Planckova konstanta [ $h = 6,6260755\cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ ]
$\lambda$	vlnová délka záření [ $\text{m}$ ]
$k$	Boltzmannova konstanta [ $k = 1,380658\cdot 10^{-23}\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]
$T$	termodynamická teplota černého tělesa [ $\text{K}$ ]



Obr. 2-2 Planckův vyzařovací zákon

Na Obr. 2-2 hustota vyzařování při vlnové délce  $2\ \mu\text{m}$  roste mnohem více se zvyšováním teploty než při  $7\ \mu\text{m}$ . Čím větší je rozdíl vyzařování při určitém teplotním rozdílu, tím přesněji infračervený teploměr pracuje. Při nízkých teplotách infračervený teploměr pracující při  $2\ \mu\text{m}$  by přestával pracovat pod  $700\ \text{K}$  a neviděl by téměř nic, neboť by bylo příliš málo vyzařované energie. [12]

## Wienův posunovací zákon

Fyzikální zákon, který konstatuje, že v záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařována na vlnové délce, která se s rostoucí termodynamickou teplotou snižuje (tzn. čím teplejší je těleso, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách).

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (2.2)$$

Kde

$\lambda_{\max}$	vlnová délka maxima vyzařování [m]
T	teplota tělesa [K]
b	Wienova konstanta [b = 2898 m.K]

## Stefan-Boltzmannův zákon

Základním vztahem pro bezdotykové měření teploty je **Stefan-Boltzmannův zákon**. Ten říká, že hustota zářivého toku generovaná z jednotky plochy zdroje je na všech vlnových délkách úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa.

$$M_0 = \int_0^{\infty} M_{0\lambda} d\lambda = \sigma \cdot T^4 \quad (2.3)$$

Kde

$M_0$	hustota intenzity záření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$\sigma$	Stefanova-Boltzmannova konstanta [ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ ]
T	teplota tělesa [K]

Všechny tyto zákony jsou uváděny pro **absolutně černé těleso**, které je definováno jako ideální těleso, které absorbuje veškeré dopadající záření na jeho povrchu bez ohledu na vlnovou délku. Absolutně černé těleso je současně také ideální zářič.

Absolutně černé těleso je ideální model, který však v praxi neexistuje. Pro reálná tělesa byl zaveden pojem **emisivita  $\epsilon$** , která je definovaná jako poměr vyzařované energie objektem při dané teplotě k energii absolutně černého tělesa při stejné teplotě. Je to bezrozměrná veličina a hodnota je v intervalu (0,1). Maximální hodnota  $\epsilon = 1$  odpovídá absolutně černému tělesu. Pro zjednodušení se v technické praxi zavedl pojem **šedé těleso**, které se vyznačuje tím, že emisivita tělesa je vždy menší jak 1 a je nezávislá na vlnové délce. Tělesa, jejichž emisivita je menší jak 1 a závisí na vlnové délce, se nazývají **selektivní zářiče**. [1]



### 3 Rozdělení pyrometrů

#### 3.1 Úhrnný pyrometr

Úhrnné pyrometry se také označují jako radiační nebo celkové pyrometry, protože měří v široké oblasti vyzařovaného teplotního záření. Úhrnné pyrometry jsou levné a jednoduché, ale protože korekce údajů u těchto pyrometrů je obtížná, používají se k měření povrchů s emisivitou blížíící se k 1. [10]

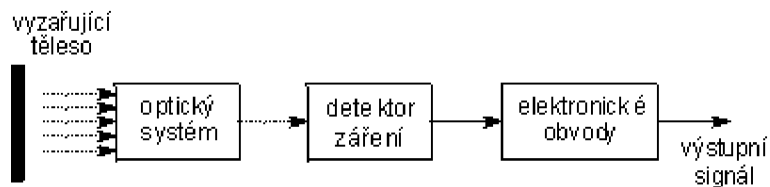
Teplota u úhrnných pyrometrů se vyhodnocuje podle Stefan-Boltzmannova zákona:

$$M_0 = \sigma T^4 = \sigma \varepsilon T_S^4 \Rightarrow T_S = T_P \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (3.1)$$

Kde

$M_0$	hustota intenzity záření [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$\sigma$	Stefan-Boltzmannova konstanta [ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ]
$T_S$	skutečná teplota [K]
$T_P$	teplota udaná pyrometrem [K]
$\varepsilon$	emisivita materiálu [-]

Princip měření je zobrazen na Obr. 3-1, tepelné záření se soustřeďuje optickým systémem na tepelný detektor, což může být termočlánek nebo bolometr. Ke zpracování signálu se využívá elektronických obvodů řízených mikroprocesorem.



Obr. 3-1 Schematické znázornění úhrnného pyrometru

### 3.2 Pásmový pyrometr

Pásmové pyrometry pracují na podobném principu jako radiační pyrometr. Mezi pásmové pyrometry se řadí většina dnes prodávaných pyrometrů na trhu. Tyto pyrometry využívají jen část spektra tepelného záření, které vymezuje použitá optika, filtr a detektor. Jako detektory se používají fotonka, fotoodpor, fotodiody a fotočlánek. [10] Výhoda těchto fotoelektrických detektorů je velmi rychlá reakce na změnu teploty a možnosti měření teploty i malých předmětů. Jejich použití je omezenou spektrální citlivostí jako např.:

0,6 – 1,8  $\mu\text{m}$  křemíkový fotočlánek

0,5 – 3,6  $\mu\text{m}$  PbS fotoodpor

0,4 – 1,8  $\mu\text{m}$  germaniové fotodiody

Pásmové pyrometry jsou kalibrovány na teplotu absolutně černého tělesa, a proto je nutné brát v úvahu skutečnou hodnotu emisivity měřeného tělesa podle vztahu:

$$T_s = \frac{T_p c_2}{c_2 + \lambda T_p \ln \varepsilon} \quad (3.2)$$

Kde

$T_s$	skutečná teplota [K]
$T_p$	teplota udaná pyrometrem [K]
$\varepsilon$	emisivita materiálu [-]
$c_2$	druhá vyzařovací konstanta [ $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ K m]
$\lambda$	vlnová délka [m]

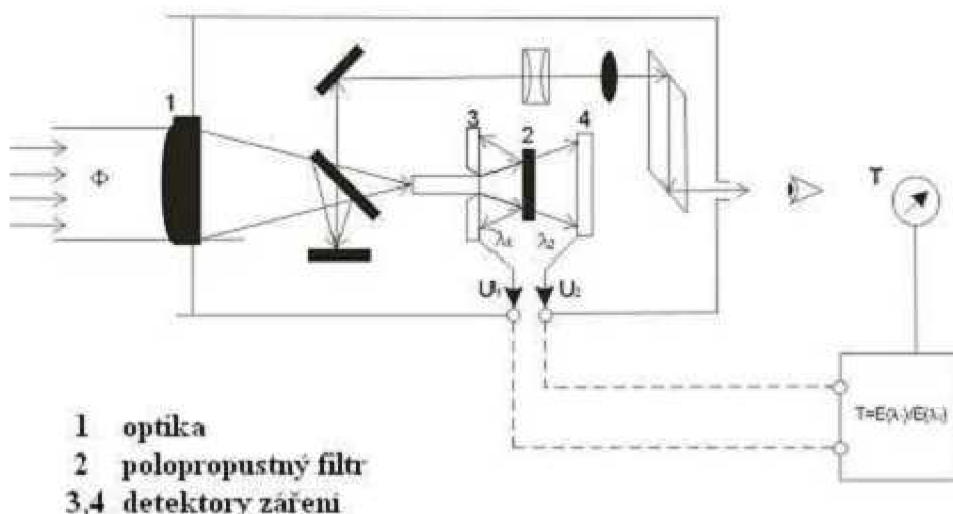


Obr. 3-2 Schéma pásmového pyrometru

Schéma pásmového pyrometru je na Obr. 3-2. Energie vyzařovaná z měřeného objektu prochází optickým systémem na detektor. Ten převádí tepelné záření na elektrické napětí, proud nebo odpor. Výstupní signál je zpracován v elektronických obvodech a zobrazen na displeji ve formě hodnoty teploty měřeného objektu.

### 3.3 Poměrový pyrometr

Poměrový pyrometr nebo také dvoubarevný pyrometr vyhodnocuje povrchovou teplotu na základě poměru vyzařovaných energií objektem na dvou vlnových délkách. Tímto způsobem měření může poměrový pyrometr vyloučit chyby v měření způsobené vlivem změny emisivity a absorpce záření. Tyto pyrometry jsou vhodné pro měření vyšších teplot nad 200 °C.



Obr. 3-3 Schéma poměrového pyrometru

Poměrový pyrometr pracuje podle schématu viz Obr. 3-3. Záření měřeného tělesa projde přes optický systém a soustředí se na polopropustný filtr, který propustí jen tepelné záření o dvou vlnových délkách, nejčastěji je  $\lambda_1 = 0,65 \mu\text{m}$  a  $\lambda_2 = 0,55 \mu\text{m}$  (červená a zelená). Zároveň filtr tyto záření oddělí a ty pak dopadají na detektory záření. Tímto vzniknou dva elektrické výstupní signály, jejichž poměrem je měřená teplota. [8]

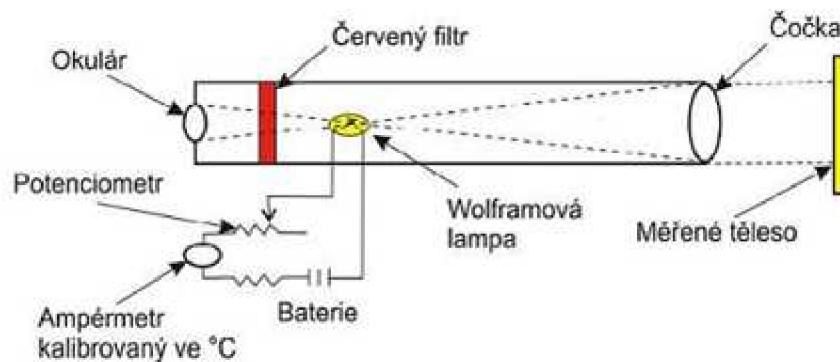
### 3.4 Jasový pyrometr

Jasové pyrometry nebo také optické pyrometry snímají tepelné záření vyzařovaným objektem, které odpovídá jedné vlnové délce elektromagnetického spektra. Tyto pyrometry porovnávají intenzitu přijatého záření s intenzitou záření pomocného srovnávacího zdroje. Jasové pyrometry se používají pro měření roztavených a žhavých materiálů jako je např. železo, sklo, keramika. [8] Pyrometr je nastavený pro měření teploty absolutně černého tělesa. Skutečnou teplotu předmětu je tedy nutné korigovat pomocí vztahu:

$$\frac{1}{T_S} = \frac{1}{T_P} + \frac{\lambda}{c_2} \ln \varepsilon \quad (3.3)$$

Kde

$T_S$	skutečná teplota [K]
$T_P$	teplota udaná pyrometrem [K]
$\varepsilon$	emisivita měřeného objektu [-]
$c_2$	druhá vyzařovací konstanta [ $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ K m]
$\lambda$	použitá vlnová délka filtru [m] (např. červený filtr $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ )

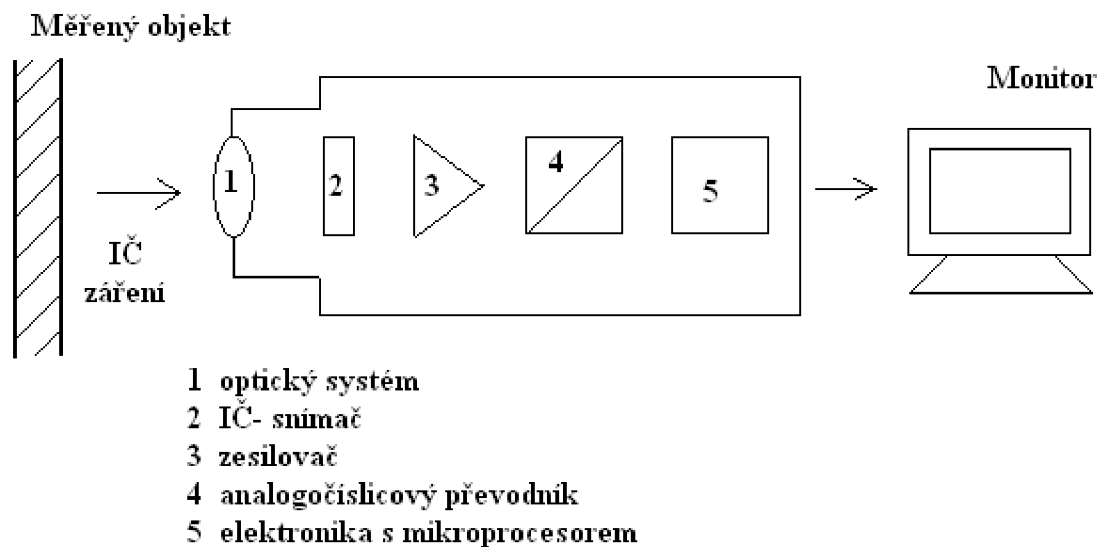


Obr. 3-4 Schéma jasového pyrometru

Schéma jasového pyrometru je na Obr. 3-4. Teplota se měří tak, že se pyrometr nasměruje okulárem na měřený objekt. Uživatel zároveň vidí žhavené vlákno přístroje a mění velikost příkonu tak, aby vlákno zmizelo v záření vyzařovaném měřeným objektem přes červený filtr. Výsledná teplota měřeného objektu se pak odečítá na ampérmetru, který je kalibrovaný ve °C.

## 4 Části pyrometru

Zjednodušené blokové uspořádání infračerveného pyrometru je na obr. 4-1. Vyzařovaná energie měřeným objektem prochází přes optický systém a dopadá na detektor, který převádí infračervené záření na elektrický signál. Výstupní signál detektoru má velmi malou úroveň, a proto se musí zesílit. Zesílený signál se dále v A/D převodníku digitalizuje a dále zpracovává elektronikou s mikroprocesorem. Mikroprocesor podle vloženého programu zajišťuje linearizaci, matematické úpravy a korekce měřených dat. [5]

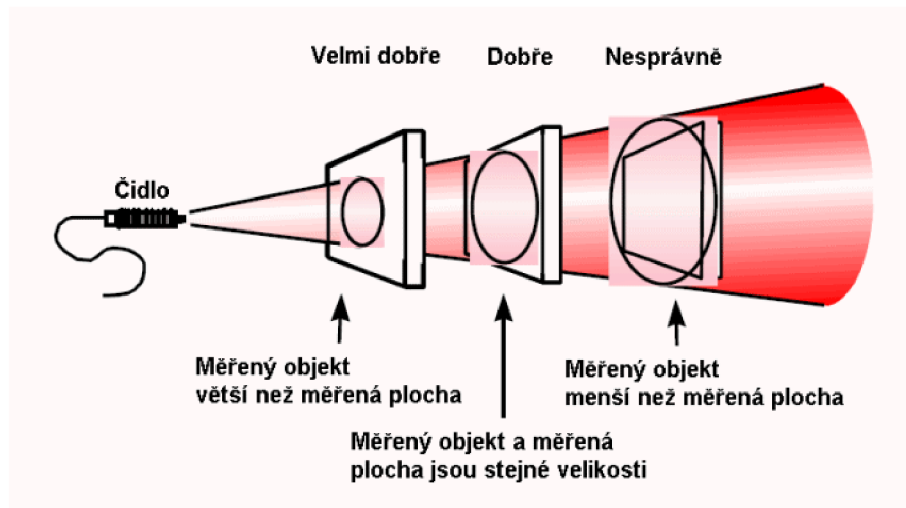


Obr. 4-1 Blokové uspořádání IČ pyrometru

## 4.1 Optický systém

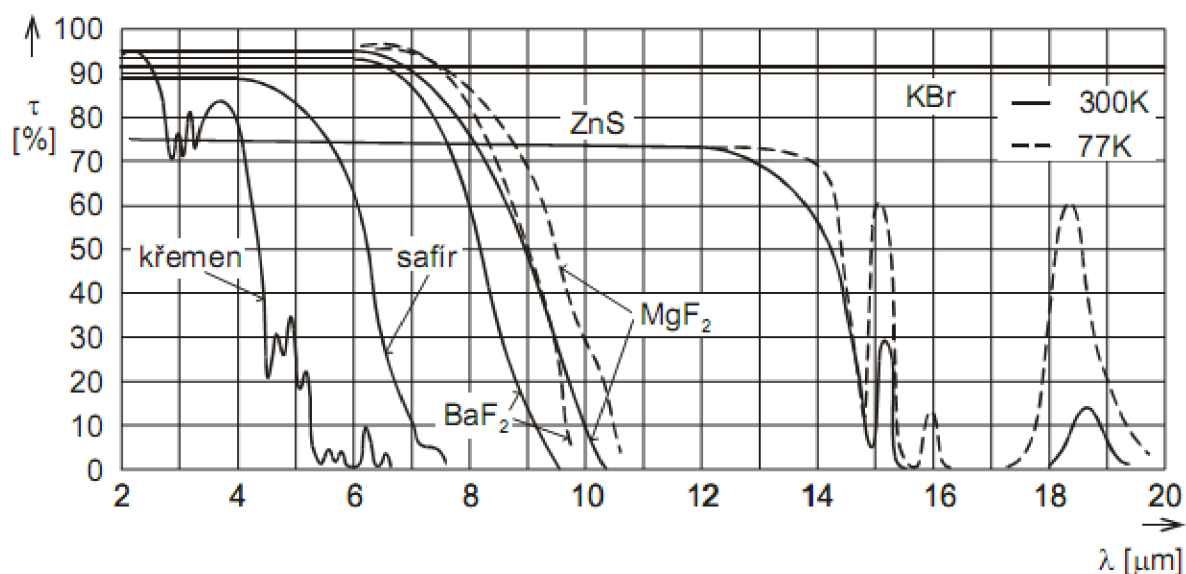
Optický systém pyrometru snímá infračervenou energii a zaostřuje ji na detektor. Charakteristickým parametrem optického systému pyrometru je zorný úhel neboli index zaostření. Ten vymezuje oblast snímané plochy pro měření přístrojem. Index zaostření je definován jako poměr průměru  $D$  snímané plochy na měřeném objektu ke vzdálenosti  $L$  měřeného objektu od objektivu pyrometru. Na trhu se objevují pyrometry s rozdílným indexem zaostření v rozpětí 1:2 až 1:300. Čím menší je index zaostření, tím je optické rozlišení přístroje větší a kvalitnější. [7]

Pro správné a přesné měření teploty pyrometrem je důležité zvolit správný zorný úhel. Základem je, aby měřený objekt vyplňoval celé zorné pole přístroje, pokud by byl objekt menší než zorné pole, byla by měřená hodnota teploty ovlivněna teplotou pozadí a tím by celé měření bylo nepřesné. Způsob zaměření objektu je na Obr. 4.2.



Obr. 4-2 Zaměření objektu

Důležitou součástí optického systému je také ochranné okénko pyrometru. To zabraňuje poškození nebo znečištění optického systému pyrometru, který se skládá ze systému čoček nebo zrcadel. Vlastnosti materiálu okénka ovlivní rozsah vlnových délek, na které bude pyrometr reagovat. Na Obr. 4-3. je zobrazena závislost vlnové délky na propustnosti některých materiálů, ze kterých jsou vyrobeny okénka pyrometru.



Obr. 4-3 Propustnost materiálů v závislosti na vlnové délce

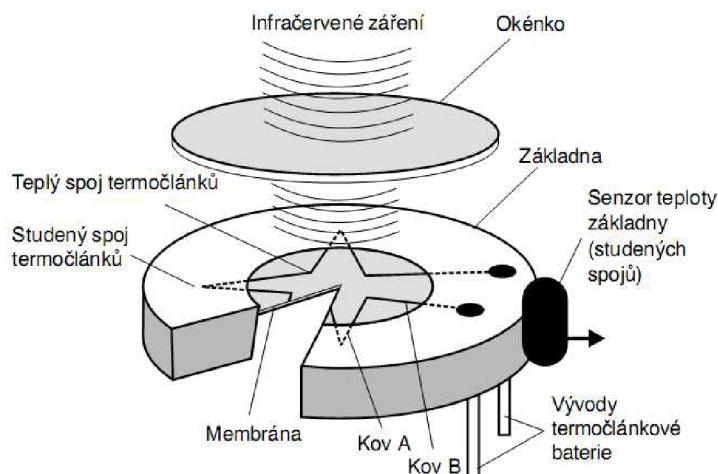
## 4.2 Detektor

Detektor tvoří jádro IR teploměru. Převádí přijaté infračervené záření na elektrický signál, které jsou pak vydávány jako tepelné hodnoty elektronickým systémem. Infračervené detektory se dělí do 2 hlavních skupin: kvantové detektory a tepelné detektory.

### Tepelné detektory

Tepelné detektory jsou nejčastěji používanými detektory radiačních teploměrů. Mezi tepelné detektory patří termočlánky, termistory a bolometry. Tyto zařízení produkují elektrickou odezvu založenou na změně teploty senzoru. Výhodou je, že nepotřebují chlazení a jsou cenově levné.

Typická konstrukce detektoru infračerveného záření s baterií termočlánku je na Obr. 4-4. Infračervené záření prochází okénkem, které je propustné pouze pro určitý rozsah vlnových délek. Tepelné záření je pak přeměněno na teplo a dále na elektrický signál. Výstupní napětí termočlánku je úměrné rozdílu teplot mezi teplými a studenými spoji. Teplé spoje jsou pokryty černou barvou, aby dobře absorbovali tepelné záření a tím se i ohřívali. Studené spoje jsou naopak umístěné na základně, jejíž teplotu měří termistor.



**Obr. 4-4 Schéma tepelného detektoru**

## Kvantové detektory

Kvantové detektory, na rozdíl od tepelných detektorů, nepřeměňují dopadající záření na teplo, ale mění přímo dopadající fotony na elektrický signál. Mezi kvantové detektory patří fotodiody, fotoodpor a fototranzistory. Mezi nejčastěji využívaný materiál pro kvantové detektory je CMT (Cadmium Mercury Telluride), jeho výhodou je nastavení spektrální citlivosti (3-5  $\mu\text{m}$  nebo 8-14  $\mu\text{m}$ ) složením sloučeniny. Výstup kvantového detektoru při pokojové teplotě je ovlivněn šumem generovaným uvnitř součástky, proto se musí tyto detektory chladit. Právě chlazení je nevýhoda kvantových detektorů. [2]

## 4.3 Elektronika

Výstupní signál z detektorů je závislý na teplotě a je vždy nelineární, protože rovnice popisující množství emitovaného záření objektem je mocninná funkce. U pyrometrů se signál v převodníku A/D digitalizuje a dále zpracovává mikroprocesorem. Mikroprocesor zajišťuje linearizaci signálu, kompenzaci emisivity, matematické úpravy měřených dat, ukládání měřených dat do paměti či převod fyzikálních jednotek. [8]

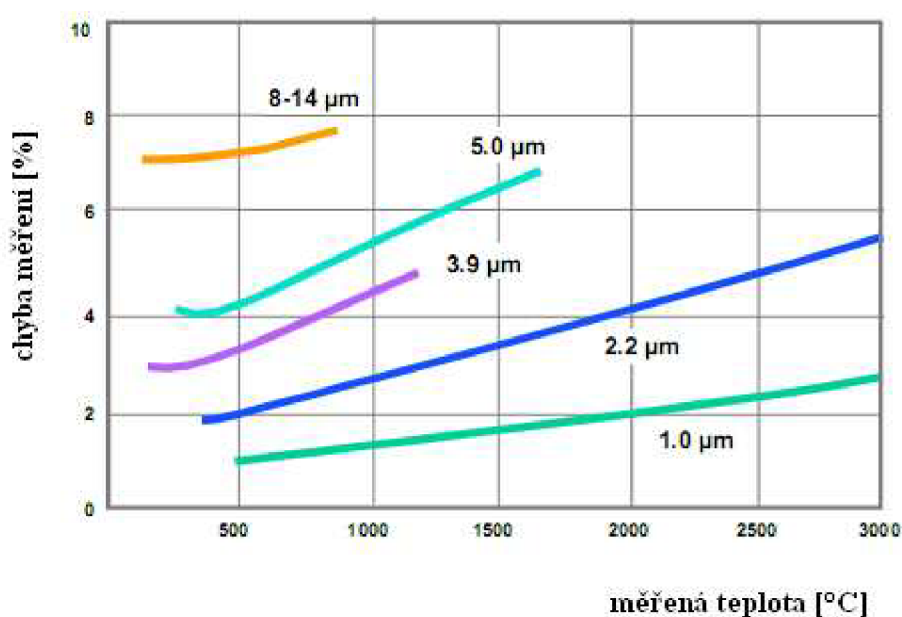
Dále umožňuje komunikaci mezi pyrometrem a PC. V digitálním tvaru lze data přenést přes sériové rozhraní RS-485, která umožňuje přenos až na vzdálenost 1200 m i v rušeném průmyslovém prostředí. Na kratší vzdálenosti se využívá rozhraní RS-232. U novějších pyrometrů se zavádí také bezdrátový přenos dat přes Bluetooth nebo WLAN. Obousměrná komunikace mezi PC a pyrometrem je důležitá a zvyšuje využití v praxi. Přes PC lze nastavovat parametry pyrometru, archivovat naměřená data či vyhodnocovat výsledky měření.



## 5 Měření teploty materiálů

### 5.1 Měření teploty kovů

Emisivita kovů závisí na vlnové délce a teplotě. Vzhledem k tomu, že kovy často odrážejí, mají nízkou emisivitu, to způsobuje rozdílné a nespolehlivé výsledky měřených teplot viz Obr. 5-1. V takovém případě je důležité vybrat přístroj, který měří infračervené záření na konkrétní vlnové délce a v určitém teplotním rozsahu, ve kterém mají kovy nejvyšší možnou emisivitu. U mnoha kovů platí, že s větší vlnovou délkou je chyba v měření větší. Proto by pro měření teploty kovů měly být použity pyrometry s menší vlnovou délkou. [12]



Obr. 5-1 Chyba měření u kovů

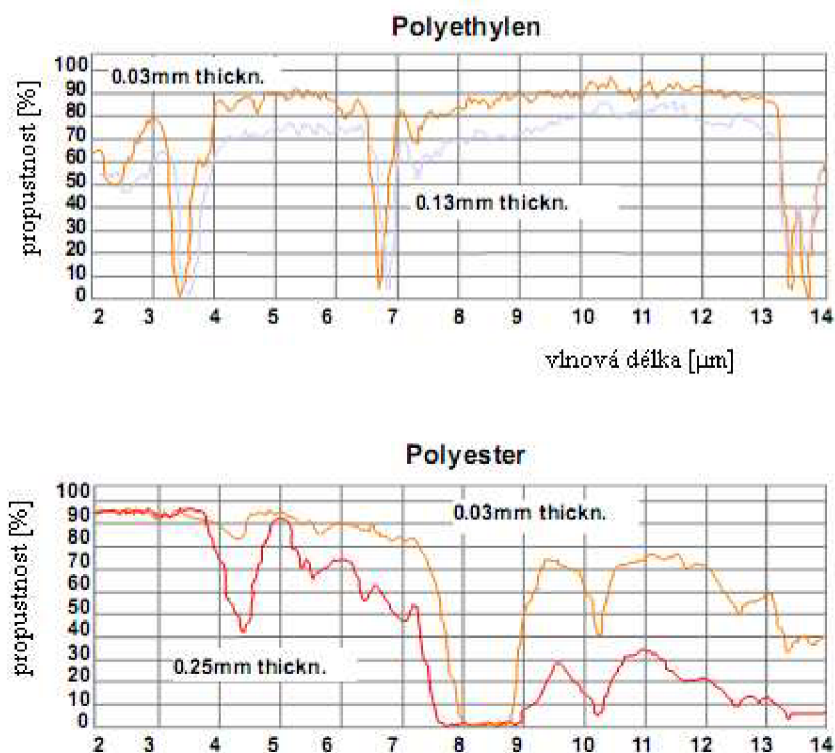
### 5.2 Měření teploty skla

Při měření teploty skla infračerveným teploměrem musíme brát v potaz odrazivost a propustnost materiálu. Pečlivým výběrem vlnové délky, je možné měřit teplotu jak povrchu tak i v tloušťce. Při měření teploty skla pod povrchem je vhodné použít pyrometr s vlnovou délkou 1 μm; 2,2 μm nebo 3,9 μm. Pro povrchové teploty zase použít vlnovou délku 5 μm. Při měření nízkých teplot skla je dobré použít vlnové délky v rozmezích 8 až 14 μm a na pyrometru nastavit emisivitu na 0,85 pro vyrovnání odrazivosti. Vzhledem k tomu, že sklo je špatný vodič tepla a rychle mění povrchovou teplotu, je vhodné použít pyrometr s krátkou dobou odezvy. [12]

### 5.3 Měření teploty plastů

Propustnost plastů se liší podle vlnové délky a je úměrná jeho tloušťce. Za účelem dosažení optimální měřené teploty, je důležité vybrat správnou vlnovou délku, při které bude propustnost téměř nulová. [12] Téměř všechny folie mají odrazivost mezi 5 až 10 %.

- polyetylen, polypropylen, nylon, polystyrol – 3,43  $\mu\text{m}$
- polyester, polyuretan, polyamid, teflon FEP – 7,9  $\mu\text{m}$
- tloušťka větší jak 0,4 mm, silně zbarvené filmy – 8 až 14  $\mu\text{m}$



Obr. 5-2 Spektrální propustnost polyetylenu a polyesteru

Na Obr. 5-2 je znázorněna závislost propustnosti polyetylenu a polyesteru na vlnové délce a tloušťce materiálu. Ze závislosti vyplývá, že bez ohledu na tloušťku materiálu je polyetylen nepropustný při vlnové délce 3,43  $\mu\text{m}$  a polyester při 7,9  $\mu\text{m}$ .

## 6 Kalibrace

Při měření teploty pyrometrem dochází vždy k určitým chybám nebo nejistotám. Snahou všech využívající pyrometr je tyto chyby nebo nejistoty rozpoznat a následně je vhodnými postupy minimalizovat. Mezi postupy zajišťující správnost měření je kalibrace.

Kalibrace pyrometru je soubor úkonů, které vytvářejí závislost mezi hodnotami naměřených pyrometrem a skutečnými hodnotami. Kalibrace pyrometru vyžaduje etalon nebo jiný měřicí přístroj s podmínkou, že jeho přesnost měření je aspoň třikrát vyšší než přesnost kalibrovaného pyrometru. Jako etalon se dá použít model černého tělesa, který je na Obr. 6-1. Což je referenční teplotní zdroj s nastavitelnou teplotou. Vyhřívaná plocha slouží jako cíl o známé teplotě a emisivitě blízké se k 1, která slouží pro kalibraci pyrometrů. [8]



Obr. 6-1 Model černého tělesa

Výsledkem kalibrace je kalibrační tabulka, kalibrační a korekční graf. Výsledkem je také zjištění, jestli skutečná přesnost měření kalibrovaného pyrometru odpovídá hodnotám v technické dokumentaci přístroje. V případě rozdílu mezi těmito hodnotami, je nutné zvážit nápravné opatření jako je např. seřízení přístroje, nutnost opravy přístroje, zjištění vlivu ovlivňujících veličin apod.

## 7 Praktické využití v procesním inženýrství

- **Spalovny**

Pyrometry se dají využít pro měření teploty v dohořivacích pecích, které jsou určeny pro spalování městských odpadů. Při měření teplot termočlánky, byl problém v tom, že měly dlouhou časovou odezvu a byly citlivé na chemickou korozi uvnitř pece. Pyrometry tyto problémy vyřešili, protože mají velmi rychlou časovou odezvu v řádech ms.

- **Indukční ohřev**

Infračervené teploměry se také využívají k řízení teploty v indukčních pecích, protože přístroje jsou přesné a mají rychlou odezvu a vysokou opakovatelnost měření. Indukční ohřev je používán pro tvarování za tepla, spojování, spékání, předehřev před svařováním.

- **Údržba a servis**

Přenosné ruční pyrometry jsou vhodné zejména pro preventivní údržbu a servis. Můžou se například kontrolovat přehřívající ložiska, kontakty a řemeny u kompresorů, čerpadel a motorů. Tyto kontroly prodlužují životnost přístrojů a zvyšuje se tím produktivita celého systému.

- **Kontrola výměníku tepla**

Pro rychlou a přesnou kontrolu výměníku je vhodné použít pyrometr. Kontrolou povrchové teploty se hned pozná, zda nedochází např. k úniku, zeslabení stěny, korozi, erozi, usazenin. Tato kontrola je rychlá, jednoduchá a umožňuje najít závady ihned, aniž by muselo dojít k odstávce.

- **Kontrola elektrických zařízení**

Dalším použitím pyrometru je kontrola elektrických zařízení. Při zhoršení stavu elektrické součástky, dochází k její změně vlastností. Tyto změny se vyznačují změnou odporu a tím i zvýšením teploty. Většina součástek se zhoršuje postupně a díky pravidelné kontrole se zamezí výpadku.

# Praktická část

## 8 Programy ve VB

### 8.1 Korekce emisivity

V praxi se může stát, že některé pyrometry mají pevně nastavenou hodnotu emisivity (většinou  $\varepsilon = 0,95$ ). Problém pak může nastat, když chceme tímto pyrometrem měřit objekty s jinou hodnotou emisivity. V tomto případě Vám pomůže tento jednoduchý program, který je vytvořený v programu Visual Basic pod názvem **Program1.xlsm** (Obr. 8-1) viz příloha.

Vycházíme z toho, že:

$$T_S = \frac{T_P c_2}{c_2 + \lambda T_P \ln \varepsilon} \quad (8.1)$$

Kde

$T_S$	skutečná teplota [K]
$T_P$	teplota udaná pyrometrem [K]
$\varepsilon$	emisivita materiálu [-]
$c_2$	druhá vyzařovací konstanta [ $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ K m]
$\lambda$	vlnová délka [m]

Do tabulky je třeba zapsat:

- hodnotu teploty, kterou ukazuje pyrometr s pevně nastavenou hodnotou emisivity
- střední spektrální citlivost pyrometru
- hodnotu emisivity nastavenou v pyrometru
- hodnotu emisivity skutečného objektu

**Bezkontaktní měření teploty** x

**Výpočet skutečné teploty objektu**

Teplota naměřená na pyrometru [°C] :

Spektrální citlivost pyrometru [μm] :

Emisivita nastavená na pyrometru [-] :

Emisivita měřeného objektu [-] :

**Výsledek výpočtu**

Skutečná teplota objektu [°C] :

Obr. 8-1 Náhled Program1.xlsm

- Zdrojový kód programu:

```

Private Sub počítej_Click()
Dim Ts#, Tp#, l#, e1#, e2#, e#
Const c2 = 0.0144
With UserForm1
    Tp = .eTp + 273.15
    l = .el * 10 ^ -6
    e1 = .ee1
    e2 = .ee2
End With

e = (e2 / e1)
Ts = (1 / (1 / Tp + l * Log(e) / c2)) - 273.15
UserForm1.Frame1.Visible = True
UserForm1.Frame1.eTs.Text = Format(Ts, "###0.###")

End Sub

```

## 8.2 Emisivita z indexu lomu

Při měření teploty pyrometrem může nastat, že neznáme s potřebnou přesností hodnotu emisivity materiálu, ale známe jeho index lomu, který má dvě složky: reálnou a imaginární část. V takovém případě Vám poslouží program **Program2.xlsm** (Obr. 8-2) viz příloha.

Vycházíme z toho, že emisivita  $\varepsilon$  je rovna:

$$\varepsilon = \frac{(1-R)(1-P)}{1-RP} \quad (8.2)$$

kde

R      Fresnelova odrazivost  
P      propustnost vrstvy

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (8.3)$$

n a k – reálná a imaginární část indexu lomu

$$P = e^{-ad} \quad (8.4)$$

$$a = \frac{4\pi k}{\lambda n} \quad (8.5)$$

d- tloušťka materiálu

katalog indexů lomu materiálu naleznete na stránkách:

- <http://refractiveindex.info/>
- <http://www.filmetrics.com/refractive-index-database>

Do tabulky je třeba zapsat:

- imaginární část indexu lomu
- reálnou část indexu lomu
- spektrum
- tloušťku měřeného materiálu



**Bezkontaktní měření teploty** x

**Výpočet emisivity z indexu lomu**

Reálná část indexu lomu, n :

Imaginární část indexu lomu, k :

Spektrální citlivost pyrometru [ $\mu\text{m}$ ] :

Tloušťka měřeného materiálu [mm] :

**Výsledek výpočtu**

Emisivita materiálu :

Katalog hodnot indexů lomu naleznete na stránkách:  
<http://www.filmetrics.com/refractive-index-database> nebo <http://refractiveindex.info/>

Obr. 8-2 Náhled Program2.xlsm

- Zdrojový kód programu:

```
Private Sub počítej_Click()
Dim n#, k#, l#, d#, R#, P#, a#, e#, em#
Const Pi = 3.14159265358979
    e = 2.718281828
With UserForm1
    n = .en
    k = .ek
    l = .el
    d = .ed
End With

R = ((n - 1) ^ 2 + k ^ 2) / ((n + 1) ^ 2 + k ^ 2)
a = (4 * Pi * k) / (l * n)
P = e ^ (-a * d)
em = (1 - R) * (1 - P) / (1 - R * P)
UserForm1.Frame1.Visible = True
UserForm1.Frame1.em.Text = Format(em, "###0.###")

End Sub
```

## 9 Výběr pyrometrů

Na českém trhu se vyskytuje velké množství pyrometrů. Pro správný výběr přístroje je důležité znát jeho parametry. V této kapitole jsou uvedeny nejčastější parametry, které slouží pro správný výběr pyrometru. Dále je pak přiložena tabulka nejčastěji využívaných měřících přístrojů na našem trhu.

### 9.1 Parametry pro výběr pyrometrů

- provedení

Infračervené pyrometry se vyrábějí ve dvou provedeních, ruční a systémové. Ruční pyrometry se využívají většinou pro kontroly a teplotní diagnostiku zařízení. Práce s nimi je rychlá a přesná. Využívají se pro údržbu elektrických rozvodů, automobilů, vzduchotechniky, vytápění. Systémové pyrometry slouží pro monitorování a řízení tepelných procesů, dále se využívají v prostředí nebezpečných pro obsluhu nebo pro měřící přístroj.

- provozní teplota

Pro většinu pyrometrů, které jsou na trhu platí, že provozní teplota přístroje je v rozmezí 0 až 50 °C. Při používání systémových pyrometrů bývá teplota okolí vyšší, a proto existují různé druhy chlazení přístroje: vzduchové chlazení, vodní chlazení a termoplášť.

- měřící rozsah

Tento parametr je důležitý pro výběr vhodného pyrometru. Je důležité vědět, v jakém rozsahu teplot se bude vybraným pyrometrem měřit. Rozsah měření teplot je dán použitím určitého detektoru a optiky přístroje.

- D/L

Poměr D/L charakterizuje index zaostření pyrometru. Je to poměr průměru D snímané plochy na měřeném objektu ke vzdálenosti L měřeného objektu od objektivu pyrometru. Důležitým pravidlem při měření teploty pyrometrem je, aby měřený objekt vyplňoval celé zorné pole pyrometru. Pokud tak není, dochází k nepřesnosti měření způsobené teplotou pozadí měřeného objektu. Čím menší je index zaostření, tím kvalitnější je optický systém pyrometru. Na trhu se objevují pyrometry s indexem zaostření v rozmezí od 1:2 až po 1:300.

- doba odezvy

Je doba, za kterou pyrometr dosáhne 95 % měřené konečné hodnoty. Čím je doba odezvy kratší, tím rychleji pyrometr reaguje na změnu teploty. Ty pak lze používat pro měření teploty pohybujících se předmětů. Na trhu se objevují pyrometry s dobou odezvy od 1 s až po ty nejrychlejší, které dokážou reagovat na změnu teploty za 2 ms.

- spektrální pásmo

Pro správné měření materiálu je nutné vědět, v jakém spektrálním pásmu lze měřit. Většina ručních pyrometrů měří v rozmezí 8 až 14  $\mu\text{m}$ . Systémové pyrometry však jsou většinou zaměřeny na určité pásmo závislé podle druhu měřeného materiálu.

0,8 – 1,1  $\mu\text{m}$ : roztavené sklo, kovy, keramika (min. 600 °C)

1,45 – 1,8  $\mu\text{m}$ : kovy, keramika (min. 250 °C)

2,0 – 2,8  $\mu\text{m}$ : kovy (min. 50 °C)

3 – 5  $\mu\text{m}$ : kovy, keramika (min. 5 °C)

3,43  $\mu\text{m}$ : PE a PP folie (min. 50 °C)

3,9  $\mu\text{m}$ : měření v peci (min. 75 °C)

5,14  $\mu\text{m}$ : sklo (min. 100 °C)

8 – 14  $\mu\text{m}$ : nekovové povrchy a povrchy potažené kovy (min. -40 °C)

- nastavení emisivity






Aby pyrometr ukazoval přesnou hodnotu měřené teploty, musí být v přístroji zadána správná hodnota emisivity měřeného materiálu. U některých pyrometrů co jsou na trhu je hodnota emisivity pevně zadána ( $\varepsilon = 0,95$ ) nebo lze vybrat jen z několika hodnot ( $\varepsilon = 0,95; 0,7; 0,3$ ), tyto přístroje nejsou vhodné proto k měření teploty všech materiálů. Výkonnější pyrometry umožňují hodnotu emisivity na přístroji ručně měnit  $\varepsilon = 0,1 - 1$ . S těmito přístroji se dá měřit teplota všech materiálů. Některé pyrometry mají dokonce v paměti uložené hodnoty emisivity nepoužívanějších materiálů.

- typ zaměřovače

Pro správné měření teploty musí být pyrometr co nejpřesněji zaměřen na měřený objekt. Nejčastěji se u pyrometru k zaměření cíle využívá zabudovaný laserový zaměřovač, který vyznačuje na měřeném objektu snímanou plochu. Na trhu existují 4 druhy laserového zaměření: jednobodový, dvoubodový, třibodový a kruhový. Dalším způsobem k zaměření objektu je zaměřovací optika. Ta dovoluje uživateli hledáčkem vizuálně zaměřit měřený objekt.

- vzdálenost od cíle

Teoreticky je měření pyrometrem nezávislé na vzdálenosti přístroje od měřeného tělesa. Ve skutečnosti je tato vzdálenost ovlivněna indexem zaostření  $L/D$ . Čím menší je tento poměr, tím lépe lze zaměřovat menší objekty na větší vzdálenosti. V praxi se uvádí pravidlo, že vzdálenost pyrometru od měřeného objektu by neměla být větší jak 5 m.

přístroj	Fluke FP	Fluke 62	Fluke 561	Raytek AutoPro	TN 425 LCE
provedení	ruční	ruční	ruční	ruční	ruční
provozní teplota	0 až 50°C	0 až 50°C	0 až 50°C	0 až 50°C	0 až 50°C
měřicí rozsah	- 30 až 200 °C	- 30 až 500 °C	- 40 až 550 °C	- 32 až 535 °C	-60 až 1000°C
přesnost měření	± 1 °C	± 1,5 °C	± 1 °C	± 1 °C	± 2 °C
poměr D/L	1 : 2,5	1 : 10	1 : 12	1 : 16	1 : 50
doba odezvy	500 ms	500 ms	500ms	500 ms	1000ms
spektrální pásmo	8 až 14 μm	8 až 14 μm	8 až 14 μm	8 až 14 μm	8 až 14 μm
nastavení emisivity	pevně zadaná	pevně zadaná (0,95)	přednastavená 0,3; 0,7; 0,95	pevně zadaná (0,95)	nastavitelná (0,10 až 1,00)
typ zaměřovače	LED světlo	1 bodový laser	1 bodový laser	2 bodový zkřížený laser	2 bodový laser
vzdálenost od cíle	25 až 250mm	do 2m	do 2,5m	do 0,6m	-
oblast použití	Rychlý a přesný přístroj navržený pro aplikace v potravinářství. Aplikace při výrobě, transportu i uchovávání surovin, polotovarů a potravin.	Levný a spolehlivý přístroj pro nenáročné aplikace. Uplatní se v automobilovém průmyslu, servisu topení a klimatizace, stavebnictví, údržbě	Přístroje spojuje výhody bezkontaktního a kontaktního měření. Součástí teploměru je i kontaktní sonda s termočlánekem typu K. Vhodné pro nenáročná operativní měření a diagnostiku.	Speciální teploměr pro autodiagnostiku a automobilové opravárenství.	Levný a spolehlivý přístroj pro nenáročné aplikace. Uplatní se v automobilovém průmyslu, servisu topení a klimatizace, stavebnictví, údržbě
cena	4000 Kč	3000 - 4500 Kč	4600 -5700 Kč	5200-7000 Kč	8000-10000 Kč
internet	<a href="http://www.fluke.cz">www.fluke.cz</a>	<a href="http://www.fluke.cz">www.fluke.cz</a>	<a href="http://www.fluke.cz">www.fluke.cz</a>	<a href="http://www.raytek.com">www.raytek.com</a>	<a href="http://www.zytemp.com">www.zytemp.com</a>
					

přístroj	Fluke 574	OS524E	OS3751	Raytek 3i G5
provedení	ruční	ruční	ruční	ruční
provozní teplota	0 až 50°C	0 až 50°C	0 až 50°C	0 až 50°C
měřicí rozsah	- 30 až 900 °C	538 až 2482°C	300 až 1000°C	150 až 1800 °C
přesnost měření	± 0,75 °C	± 2 °C	± 1 °C	± 1 °C
poměr D/L	1 : 60	1 : 110	1 : 200	1 : 50
doba odezvy	250ms	100ms	250ms	700ms
spektrální pásmo	8 až 14 μm	2 až 2,5μm	1,55μm	5 μm
nastavení emisivity	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)
typ zaměřovače	3 bodový laser	optika,laser	optika	optika,laser
vzdálenost od cíle	do 10,5m	od 0,6 až 4 m	-	do 15m
oblast použití	Profesionální přístroj. Využívá se pro sledování kritické teploty, údržbě, monitorování potrubí, klimatizačních jednotek, elektrických rozvaděčů, motorů, generátorů apod.	Ruční vysokoteplotní pyrometr. Vhodné v průmyslu při zpracování kovů.	Jednobarevný pyrometr pro středně vysoké teploty. Měření při zpracování kovů.	Výkonný bezkontaktní teploměr. Teploměr je určen zejména pro měření teploty skla při jeho výrobě a úpravách.
cena	38 000 - 42 000 Kč	36000-38000 Kč	39 000 - 42 000 Kč	75000 Kč
internet	<a href="http://www.fluke.cz">www.fluke.cz</a>	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>	<a href="http://www.raytek.com">www.raytek.com</a>
				



přístroj	<b>Thermalert TX</b>	<b>XR<sub>x</sub> MT</b>	<b>Marathon MM 2M</b>	<b>Modline 5</b>	<b>ARDOCELL PZ 30 AF1</b>
provedení	systémový	systémový	systémový	systémový	systémový
provozní teplota	0 až 70°C (315 termoplášť)	0 až 70°C (315 termoplášť)	0 až 70°C (315 termoplášť)	0 až 55°C (315 termoplášť)	0 až 60°C (250 termoplášť)
měřicí rozsah	500 až 2000 °C	250 až 1200 °C	300 °C až 2250 °C	500 až 3 000 °C	500 až 3000°C
přesnost měření	± 1,4 °C	± 1 °C	± 1 °C	± 1 °C	± 1 °C
poměr D/L	1 : 60	1 : 30	1 : 300	1 : 240	1 : 175
doba odezvy	100ms	150ms	2ms	10ms	10ms
spektrální pásmo	2,2μm	3,9 μm	1,6 μm	0,75 až 2,8 μm	0,81 až 1,1μm
nastavení emisivity	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)	nastavitelná (0,10 až 1,00)	pevně zadaná (0,95)
typ zaměřovače	optika	optika	1 bodový laser, optika	optika, laser	optika, laser
vzdálenost od cíle	-	-	-	-	-
oblast použití	Integrovaný snímač s mnoha teplotními a spektrálními rozsahy pro nejširší použití, včetně skla a tenkých plastových fólií.	Je vhodný pro měření v náročných průmyslových podmínkách zejména pro tepelné zpracování materiálů.	Univerzální výkonný pyrometr pro měření středních a vysokých teplot. Vhodné zejména pro tepelné zpracování kovů.	Univerzální systémový bezkontaktní teploměr. Je vhodný pro měření tenkých plastových fólií, skla a do těžkých průmyslových podmínek.	Dvoubarevný pyrometr vhodný pro měření v náročných provozních podmínkách. Výroba skla, kovů.
cena	18000-22000Kč	20 000-23000kč	25000-28000kč	35-38000kč	63 000kč
internet	<a href="http://www.raytek.com">www.raytek.com</a>	<a href="http://www.raytek.com">www.raytek.com</a>	<a href="http://www.raytek.com">www.raytek.com</a>	<a href="http://www.ircon.com">www.ircon.com</a>	<a href="http://www.siemens.cz">www.siemens.cz</a>
					

## 10 Měřicí přístroje

### 10.1 Fluke 574

Model Fluke 574 je ruční infračervený teploměr, který je vhodný pro bezkontaktní měření teploty. Teploměr určuje povrchové teploty objektu pomocí měření množství infračerveného záření vyzařované povrchem objektu. Fluke 574 patří do skupiny pásmových pyrometrů, provedení přístroje je na Obr. 10-1.



Obr. 10-1 Fluke 574

- Parametry přístroje

Provozní teplota	0 až 50 °C
Měřící rozsah	-30 až 900 °C
Přesnost měření	-30 ÷ -5 °C: ± 2 °C -5 ÷ + 900 °C: ± 0,75 % měřené hodnoty nebo ± 1 °C
Poměr D/L	1:60
Doba odezvy	250 ms
Spektrální pásmo	8 ÷ 14 μm
Nastavení emisivity	digitálně nastavitelná v rozsahu 0,1 ÷ 1,0 s krokem 0,01

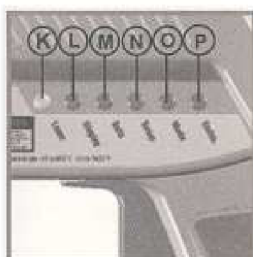
Typ zaměřovače	laserový zaměřovač 3bodový koaxiální (3 paprsky, 1 označuje střed a 2 průměr měřené plochy)
Vzdálenost od cíle	do 10,5 m
Napájení	baterie 1,5 V alkalické AA, 2 ks nebo AC adaptér
Životnost baterie	13 hodin se zapnutým laserem a podsvětlením displeje po 50 % času
Rozměry	200 x 170 x 55 mm
Hmotnost	480 g
Cena	38 000 – 42 000 Kč
Internet	<a href="http://www.fluke.cz">www.fluke.cz</a>

Další funkce:

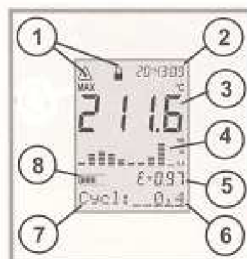
- Funkce **HOLD** (přidržení naměřené hodnoty po dobu 7 sekund po uvolnění spouště)
- Stanovení hodnot **MAX, MIN, AVG a DIF** (maximální, minimální, průměrné hodnoty a rozdílu mezi maximální a minimální hodnotou)
- Funkce **Hi/Lo Alarm** (možnost nastavení horní a dolní signalizační úrovně pro kontrolu teploty v požadovaném rozmezí), zvuková i optická signalizace
- Sloupcový diagram (**Bar Graph**) zobrazující posledních 10 teplotních měření pro snadné porovnání a sledování trendu
- Paměť na 100 naměřených hodnot teploty.
- Přednastavené hodnoty emisivity 30 různých materiálů
- Program **DataTemp** na zpracování naměřených hodnot do grafické podoby
- Analogový výstup 1 mV / °C
- Digitální výstup RS 232
- Podsvětlení displeje
- Možnost montáže na stativ (vybavení fotografickým závitem).

- **Popis funkčních tlačítek a displeje**

Nastavení pyrometru se provádí bočními tlačítky, která jsou zobrazeny na Obr. 10-2. Na Obr. 10-3 je zobrazen a popsán celý displej přístroje Fluke 574.



- (K) laser
- (L) displej
- (M) data
- (N) nastavení
- (O) mód
- (P) emise



- (1) stavové a varovné symboly
- (2) čas
- (3) měřená hodnota
- (4) grafické zobrazení hodnot
- (5) emisivita
- (6) dolní stavová řádka
- (7) indikace módu
- (8) baterie

Obr. 10-2 Funkční tlačítka

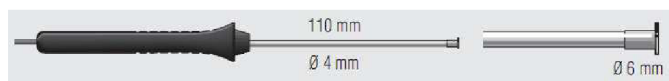
Obr 10-3 Displej pyrometru



## 10.2 Testo 935

Pro porovnání s teploměrem Fluke 574 byl použit diferenční dvoukanálový teploměr Testo 935 (Obr. 10-4). Univerzální teploměr je vhodný pro měření teploty v průmyslu. Přístroj může snímat současně ze dvou připojených sond. Obě teploty zobrazí na displeji a dokáže spočítat a zobrazit teplotní rozdíl. Má odolné pouzdro chránící přístroj před nárazem, prachem a vlhkem.

Příslušenství k přístroji je sonda s termočlánkem typu K (Obr. 10-5) s rozšířenou měřicí špičkou pro hladké rovinné plochy. Měřicí rozsah je od -60 až +400 °C s přesností  $\pm 1$  °C.



Obr. 10-5 Sonda s termočlánkem typu K



Obr. 10-4 Testo 935

- **Parametry přístroje**

Pracovní teplota	0 až 50 °C
Měřicí rozsah	-50až 1000 °C
Připojení snímačů	2 zásuvky pro připojení snímačů tyku K, J, T
Displej	2 řádkový LCD
Ovládací prvky	4 tlačítka
Rozlišení	0,1 °C
Napájení	9V-baterie nebo síťový zdroj
Rozměry	190x57x42mm
Váha	300 g
Cena	7000 Kč
Internet	<a href="http://www.testo.cz">www.testo.cz</a>

Další funkce:

- Funkce **HOLD** (přidržení naměřené hodnoty)
- Stanovení hodnot **MAX, MIN, ΔT** (maximální a minimální teplotu, rozdíl dvou naměřených hodnot)
- **PRINT** (dokumentace naměřených hodnot pomocí tiskárny Testo)
- **TopSafe** (odolné pouzdro chrání přístroj před špínou a prachem)
- Podsvětlení displeje

### 10.3 GREISINGER GMH 3230

Jako druhý přístroj pro porovnání měření teploty byl použit digitální teploměr GREISINGER typ GMH 3230 (Obr. 10-6). Je to rychlý a univerzální měřicí přístroj, který může snímat současně ze dvou připojených sond.

Příslušenství k přístroji je sonda s termočlánkem typu K (Obr. 10-7) s rozšířenou měřicí špičkou pro hladké rovinné plochy. Měřicí rozsah je od -60 až +1000 °C s přesností  $\pm 1$  °C. ( $t_{99}=20s$ )



Obr. 10-7 Sonda s termočlánkem typu K



Obr. 10-6 GMH 3230

- **Parametry přístroje**

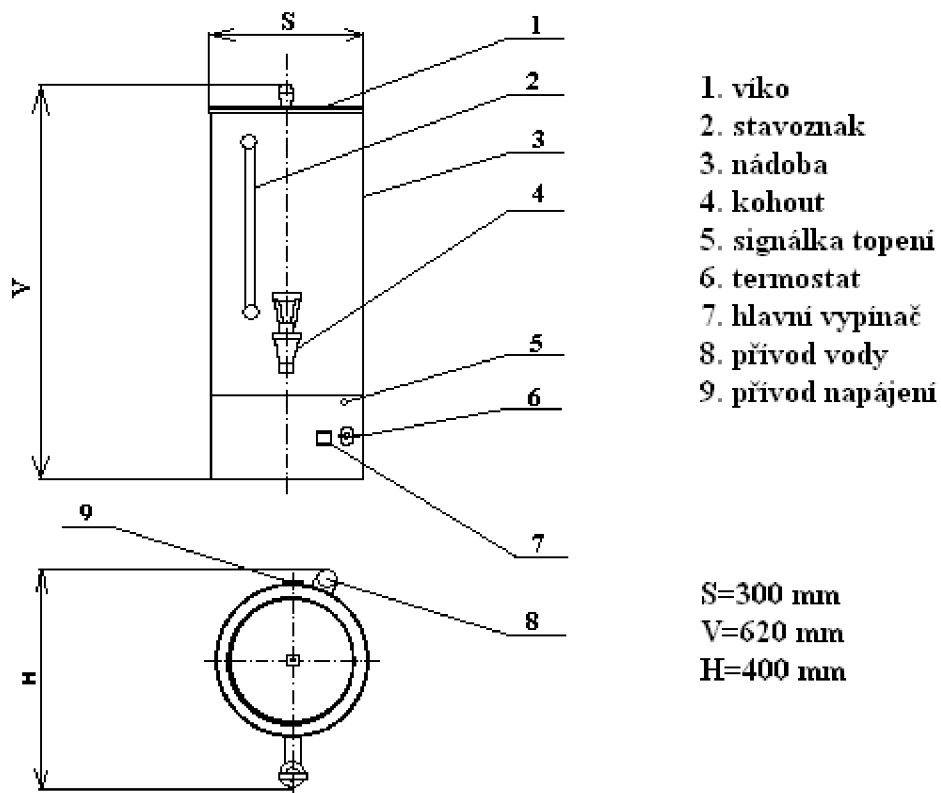
Pracovní teplota	0 až 50 °C
Měřicí rozsah	-199 až 1750 °C
Připojení snímačů	2 zásuvky pro připojení snímačů tyku K, J, T, S, N
Displej	2 čtyřmístné LCD
Ovládací prvky	6 fóliových tlačítek
Rozlišení	0,1 °C
Napájení	9V-baterie nebo síťový zdroj
Rozměry	142x71x26mm
Váha	155 g
Cena	4000 Kč
Internet	<a href="http://www.bartex.cz/">http://www.bartex.cz/</a>

Další funkce:

- Funkce **HOLD** (přidržení naměřené hodnoty)
- Stanovení hodnot **MAX, MIN, ΔT** (maximální a minimální teplotu, rozdíl dvou naměřených hodnot)
- Zadání offsetu (posunutí nulového bodu)
- Korekce pro povrchová měření (korekční konstanta pro kompenzaci ztráty vzniklé při přestupu tepla z měřené plochy na snímač)
- Podsvětlení displeje

## 10.4 Retigo M20

Jako model pro měření teploty byla použita duplicitní nádoba **Retigo M20** (Obr. 10-8). Objem nádoby je 20 l, plášť je vyroben z nerezové oceli. Napájení nádoby je ze sítě 230 V, 50 Hz o příkonu 3 kW. Regulovat teplotu lze pomocí termostatu.



Obr. 10-8 Schéma Retigo M20

## 11 Postup měření

### 11.1 Zjištění emisivity

Důležité pro správné měření teploty pomocí IČ-teploměru je znalost emisivity měřené plochy. Způsobů jak zjistit emisivitu měřeného objektu je hned několik:

- vyhledávání emisivity v tabulkách

Tento způsob zjištění emisivity objektu je nejjednodušší, ale také nejméně přesný. Hodnoty v tabulkách jsou jen orientační, protože skutečnou emisivitu může ovlivnit hodně faktorů jako je např. obrábění materiálu – broušení, frézování, leštění atd. V Tab. 11-1 je ukázka hodnot emisivity některých materiálů, další hodnoty můžete najít na stránkách:

pro nekovové materiály <http://www.newport.cz/techinfo/emisnekovy.html>

pro kovové materiály <http://www.newport.cz/techinfo/emiskovy.html>

Druh materiálu	Emisivita $\epsilon$
Azbest	0,96
Dřevo	0,9
Hliník hrubě leštěný	0,18
Keramika	0,95
Měď válcovaná	0,64
Ocel zoxidovaná	0,8
Sklo	0,85
Voda	0,67

Tab. 11-1 Emisivita vybraných materiálů

- ohřátí měřeného vzorku na známou teplotu

Dalším způsobem zjištění emisivity je ohřátí měřeného vzorku materiálu na známou teplotu a měníme nastavení emisivity na pyrometru, dokud naměřená teplota neodpovídá teplotě, na kterou byl vzorek zahřát. Musí se dávat ale pozor na materiály, které dobře vedou teplo (měď, stříbro, hliník, mosaz), protože může dojít k ochlazování během doby, kdy se bude nastavovat na pyrometru hodnota emisivity a ohřátí se musí tedy opakovat.

- použití speciálních štítků nebo nátěru se známou emisivitou

Tato metoda je zvlášť vhodná pro leštěné materiály s velmi malou hodnotou emisivity, kdy použití pyrometru na změření teploty je nevhodné. Tato metoda je velmi rychlá a přesná, nevýhodou je, že je vhodná jen pro nižší teploty. Na našem trhu se objevil speciální sprej ThermaSpray 800, je to černá nevodivá sprejová barva, která má hodnotu emisivity  $\varepsilon = 0,96$  a je vhodná pro teploty do 800 °C. Stejná firma nabízí také speciální samolepící štítky ThermaSpot s emisivitou  $\varepsilon = 0,96$ . Více informací viz příloha

Protože je plášť nádoby vyroben z leštěné nerezové oceli, má emisivitu velmi malou ( $\varepsilon = 0,2$ ) a výsledky měření by byly nepřesné. Proto je zapotřebí ji zvýšit pomocí nátěru nebo nálepky. Pro zvýšení emisivity byl použit sprej ThermaSpray 800, který je určen pro úpravu povrchu měřeného objektu před bezkontaktním měřením teploty pyrometrem. Tato černá barva má pevně danou emisivitu  $\varepsilon = 0,96$ . Tato hodnota byla také nastavena na pyrometru.

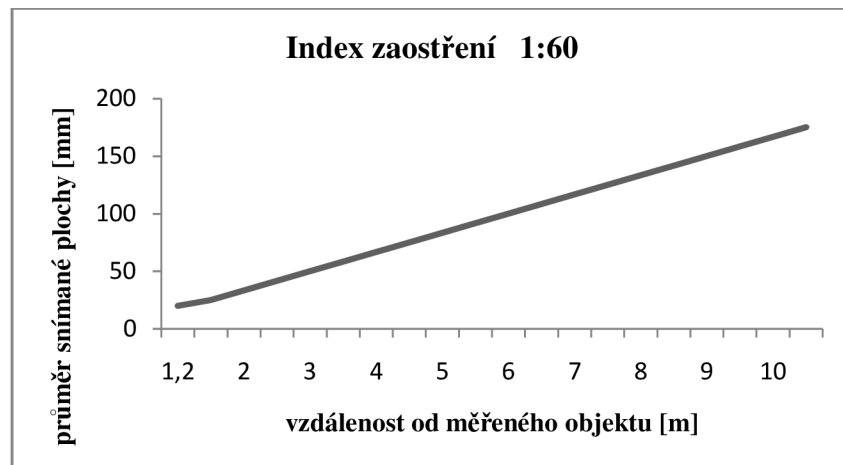


Obr. 11-1 Zaměřovací terčík  $d = 60$  mm

## 11.2 Index zaostření

Dalším důležitým parametrem je index zaostření pyrometru, který je definovaný jako poměr průměru  $D$  snímané plochy na měřeném objektu ke vzdálenosti  $L$  měřeného objektu od objektivu pyrometru. Aby údaj pyrometru nebyl ovlivněn teplotou pozadí objektu, musí být měřený objekt větší než zorné pole. Pro zajištění správné funkce infračerveného pyrometru se obvykle doporučuje, aby měřený objekt přesahoval velikost zorného pole pyrometru nejméně o 30 až 50 %.

U měřicího pyrometru Fluke 574 je index zaostření roven 1:60. Z toho vyplývá závislost velikosti průměru snímané plochy na vzdálenost od měřeného objektu, která je znázorněna v Grafu 11-1. Měření pyrometrem bylo prováděno ze vzdálenosti 1,5 m od měřeného objektu a z grafu vyplývá, že minimální průměr snímané plochy je 25 mm. Přístroj Fluke 674 vyznačuje průměr snímané plochy pomocí 3bodového laserového zaměřovače.



Graf 11-1 Index zaostření

Na měřeném povrchu byl speciální sprejem ThermaSpray 800 vytvořen terčík pro měření o průměru  $d = 60$  mm viz Obr. 11-1 Tato velikost je dostačující, aby nedocházelo k ovlivňování měřené teploty okolím.



### 11.3 Instalace teplotních sond

Pro kontrolní měření byly použity dvě kontaktní sondy. Pro správné připojení termočlánků k měřenému povrchu je důležité, aby se zabezpečil dobrý kontakt čidla s měřeným povrchem a přitom neovlivnit měřenou teplotu povrchu. Měřicí konce termočlánků byly připevněny k povrchu nádoby teplovodivou pastou Cooler Master HTK-002, která je vyrobena z mastného křemíkového materiálu, který obsahuje tepelně vodivý oxid železitý. Tato pasta zlepšuje přenos tepla mezi povrchem nádoby a termočlánkem (viz Obr. 11- 2).



Obr. 11-2 Připevnění sondy 1



Obr. 11-3 Připevnění sondy 2

## 11.4 Postup měření

Způsob kontaktního a bezkontaktního měření povrchové teploty je prakticky ukázán na laboratorním měření povrchové teploty duplicitní nádoby. Celkové uspořádání úlohy je zobrazeno na Obr. 11-4. Laboratorní měření začíná zapnutím termostatu a nastavení na stupeň 1. Po dosažení dané teploty a následném vypnutí termostatu se po 30 s změří teplota jak pyrometrem, tak i digitálními teploměry Testo 935 a GMH 3230 na které jsou připojeny teplotní sondy. Po zapsání hodnot teploty se termostat nastaví na stupeň 2, kde se měření opakuje. Takto se provádí měření až do stupně č. 6. Celkové měření se následně opakuje 6 krát. Výsledky se poté zapíší do Tab. 11-2 a vyhodnotí.



Obr. 11-4 Celkové uspořádání měřící soustavy

## 11.5 Výsledky měření

<b>1. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>	<b>4. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>
	[°C]	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]	[°C]
1. stupeň	38,5	38,4	38,7	1. stupeň	38,6	38,5	38,6
2. stupeň	49,3	49,1	49,4	2. stupeň	49,5	49,2	49,3
3. stupeň	56,7	55,8	56,5	3. stupeň	56,5	55,7	56,7
4. stupeň	65,5	64,6	65,4	4. stupeň	65,7	64,6	65,4
5. stupeň	73,7	72,1	73,2	5. stupeň	73,4	72,1	73,1
6. stupeň	81,7	79,7	81,0	6. stupeň	81,3	79,6	80,9
<b>2. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>	<b>5. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>
	[°C]	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]	[°C]
1. stupeň	38,7	38,3	38,6	1. stupeň	38,6	38,7	38,7
2. stupeň	49,8	49,3	50,0	2. stupeň	49,5	48,9	49,4
3. stupeň	56,3	55,7	56,4	3. stupeň	56,9	56,1	56,8
4. stupeň	65,1	64,1	64,9	4. stupeň	65,3	64,5	65,2
5. stupeň	74,0	72,7	73,6	5. stupeň	73,7	72,3	73,4
6. stupeň	81,4	79,5	80,8	6. stupeň	81,7	79,8	81,1
<b>3. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>	<b>6. měření</b>	<b>Fluke 574</b>	<b>GMH 3230</b>	<b>Testo 935</b>
	[°C]	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]	[°C]
1. stupeň	38,7	38,8	38,9	1. stupeň	38,7	38,4	38,6
2. stupeň	49,2	48,9	49,4	2. stupeň	49,7	49,0	49,6
3. stupeň	56,5	55,9	56,8	3. stupeň	56,4	55,6	56,5
4. stupeň	65,6	64,3	65,3	4. stupeň	65,5	64,2	65,5
5. stupeň	73,9	72,5	73,8	5. stupeň	73,8	72,6	73,5
6. stupeň	81,8	79,7	81,3	6. stupeň	81,5	79,7	81,2

Tab. 11-2 Výsledky měření

## 11.6 Hodnocení přesnosti měřené teploty

V praxi nikdy nedosáhneme absolutně přesného měření. Nejrůznější vlivy, které se v reálném měření vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené teploty. Abychom mohli správně naměřenou teplotu vyhodnotit, je potřeba výsledky doplnit o přesnost měření. K posouzení přesnosti měření se nejčastěji využívá směrodatná odchylka, která se vypočte podle vztahu:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^2_{y_i}}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (11.1)$$

Kde

$S_x$	směrodatná odchylka
$n$	počet měření
$y_i$	opakovaně změřená teplota za stejných podmínek
$\bar{y}$	aritmetický průměr změřené teploty, který se vypočte podle vztahu:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (11.2)$$

aritmetický průměr  
a směrodatná odchylka  
pro Fluke 574

$$\bar{y}_{1,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (38,5 + 38,7 + 38,7 + 38,6 + 38,6 + 38,7) = 38,63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{2,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (49,3 + 49,8 + 49,2 + 49,5 + 49,5 + 49,7) = 49,50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{3,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (56,7 + 56,3 + 56,5 + 56,5 + 56,9 + 56,4) = 56,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{4,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (65,5 + 65,1 + 65,6 + 65,7 + 65,3 + 65,5) = 65,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{5,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (73,7 + 74,0 + 73,9 + 73,4 + 73,7 + 73,8) = 73,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{6,\text{árvn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (81,7 + 81,4 + 81,8 + 81,3 + 81,7 + 81,5) = 81,57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_1,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(38,5 - 38,63)^2 + (38,7 - 38,63)^2 + (38,7 - 38,63)^2 + (38,6 - 38,63)^2 + (38,6 - 38,63)^2 + (38,7 - 38,63)^2}{6-1}} = 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_2,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(49,3 - 49,5)^2 + (49,8 - 49,5)^2 + (49,2 - 49,5)^2 + (49,5 - 49,5)^2 + (49,5 - 49,5)^2 + (49,7 - 49,5)^2}{6-1}} = 0,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_3,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(56,7 - 56,55)^2 + (56,3 - 56,55)^2 + (56,5 - 56,55)^2 + (56,5 - 56,55)^2 + (56,9 - 56,55)^2 + (56,4 - 56,55)^2}{6-1}} = 0,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_4,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(65,5 - 65,45)^2 + (65,1 - 65,45)^2 + (65,6 - 65,45)^2 + (65,7 - 65,45)^2 + (65,3 - 65,45)^2 + (65,5 - 65,45)^2}{6-1}} = 0,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_5,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(73,7 - 73,75)^2 + (74,0 - 73,75)^2 + (73,9 - 73,75)^2 + (73,4 - 73,75)^2 + (73,7 - 73,75)^2 + (73,8 - 73,75)^2}{6-1}} = 0,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{x\_6,\text{árvn}} = \sqrt{\frac{(81,7 - 81,57)^2 + (81,4 - 81,57)^2 + (81,8 - 81,57)^2 + (81,3 - 81,57)^2 + (81,7 - 81,57)^2 + (81,5 - 81,57)^2}{6-1}} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

aritmetický průměr  
a směrodatná odchylka  
pro **GMH 3230**

$$\bar{y}_{1.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (38,4 + 38,3 + 38,8 + 38,5 + 38,7 + 38,4) = 38,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{2.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (49,1 + 49,3 + 48,9 + 49,2 + 48,9 + 49,0) = 49,07 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{3.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (55,8 + 55,7 + 55,9 + 55,7 + 56,1 + 55,6) = 55,80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{4.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (64,6 + 64,1 + 64,3 + 64,6 + 64,5 + 64,2) = 64,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{5.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (72,1 + 72,7 + 72,5 + 72,1 + 72,3 + 72,6) = 72,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{y}_{6.ároveň} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{1}{6} (79,7 + 79,5 + 79,7 + 79,6 + 79,8 + 79,7) = 79,67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{1.ároveň}} = \sqrt{\frac{(38,4 - 38,52)^2 + (38,3 - 38,52)^2 + (38,8 - 38,52)^2 + (38,5 - 38,52)^2 + (38,7 - 38,52)^2 + (38,4 - 38,52)^2}{6-1}} = 0,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{2.ároveň}} = \sqrt{\frac{(49,1 - 49,07)^2 + (49,3 - 49,07)^2 + (48,9 - 49,07)^2 + (49,2 - 49,07)^2 + (48,9 - 49,07)^2 + (49,0 - 49,07)^2}{6-1}} = 0,16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{3.ároveň}} = \sqrt{\frac{(55,8 - 55,80)^2 + (55,7 - 55,80)^2 + (55,9 - 55,80)^2 + (55,7 - 55,80)^2 + (56,1 - 55,80)^2 + (55,6 - 55,80)^2}{6-1}} = 0,18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{4.ároveň}} = \sqrt{\frac{(64,6 - 64,38)^2 + (64,1 - 64,38)^2 + (64,3 - 64,38)^2 + (64,6 - 64,38)^2 + (64,5 - 64,38)^2 + (64,2 - 64,38)^2}{6-1}} = 0,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{5.ároveň}} = \sqrt{\frac{(72,1 - 72,38)^2 + (72,7 - 72,38)^2 + (72,5 - 72,38)^2 + (72,1 - 72,38)^2 + (72,3 - 72,38)^2 + (72,6 - 72,38)^2}{6-1}} = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{X_{6.ároveň}} = \sqrt{\frac{(79,7 - 79,67)^2 + (79,5 - 79,67)^2 + (79,7 - 79,67)^2 + (79,6 - 79,67)^2 + (79,8 - 79,67)^2 + (79,7 - 79,67)^2}{6-1}} = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$$



aritmetický průměr  
a směrodatná odchylka  
pro Testo 935

$$\bar{y}_{1, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (38,7 + 38,6 + 38,9 + 38,6 + 38,7 + 38,6) = 38,68^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{y}_{2, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (49,4 + 50,0 + 49,4 + 49,3 + 49,4 + 49,6) = 49,52^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{y}_{3, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (56,5 + 56,4 + 56,8 + 56,7 + 56,8 + 56,5) = 56,62^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{y}_{4, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (65,4 + 64,9 + 65,3 + 65,4 + 65,2 + 65,5) = 65,28^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{y}_{5, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (73,2 + 73,6 + 73,8 + 73,1 + 73,4 + 73,5) = 73,43^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{y}_{6, \text{ármová}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{6} (81,0 + 80,8 + 81,3 + 80,9 + 81,1 + 81,2) = 81,05^{\circ}\text{C}$$

$$s_{X_1, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(38,7 - 38,68)^2 + (38,6 - 38,68)^2 + (38,9 - 38,68)^2 + (38,6 - 38,68)^2 + (38,7 - 38,68)^2 + (38,6 - 38,68)^2}{6-1}} = 0,12^{\circ}\text{C}$$

$$s_{X_2, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(49,4 - 49,52)^2 + (50,0 - 49,52)^2 + (49,4 - 49,52)^2 + (49,3 - 49,52)^2 + (49,4 - 49,52)^2 + (49,6 - 49,52)^2}{6-1}} = 0,26^{\circ}\text{C}$$

$$s_{X_3, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(56,5 - 56,62)^2 + (56,4 - 56,62)^2 + (56,8 - 56,62)^2 + (56,7 - 56,62)^2 + (56,8 - 56,62)^2 + (56,5 - 56,62)^2}{6-1}} = 0,17^{\circ}\text{C}$$

$$s_{X_4, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(65,4 - 65,28)^2 + (64,9 - 65,28)^2 + (65,3 - 65,28)^2 + (65,4 - 65,28)^2 + (65,2 - 65,28)^2 + (65,5 - 65,28)^2}{6-1}} = 0,21^{\circ}\text{C}$$

$$s_{X_5, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(73,2 - 73,43)^2 + (73,6 - 73,43)^2 + (73,8 - 73,43)^2 + (73,1 - 73,43)^2 + (73,4 - 73,43)^2 + (73,5 - 73,43)^2}{6-1}} = 0,26^{\circ}\text{C}$$

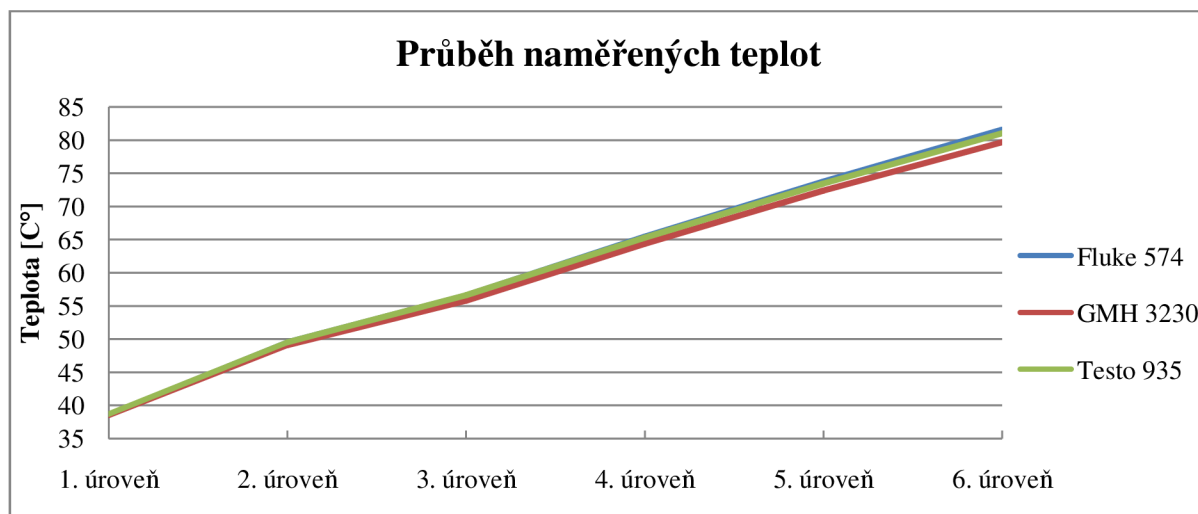
$$s_{X_6, \text{ármová}} = \sqrt{\frac{(81,0 - 81,05)^2 + (80,8 - 81,05)^2 + (81,3 - 81,05)^2 + (80,9 - 81,05)^2 + (81,1 - 81,05)^2 + (81,2 - 81,05)^2}{6-1}} = 0,19^{\circ}\text{C}$$

## 11.7 Vyhodnocení laboratorního měření

Z naměřených hodnot teploty na povrchu duplicitní nádoby a následně vypočítaných hodnot směrodatných odchylek vznikla výsledná tabulka měření (Tab. 11-3). Z tabulky se poté vytvořil graf (Graf 11-2), ve kterém se porovnává průběh teplot změřených na měřicích přístrojích.

	<b>Fluke 574 [°C]</b>	<b>GMH 3230 [°C]</b>	<b>Testo 935 [°C]</b>
1. úroveň	38,63 ± 0,08	38,52 ± 0,19	38,68 ± 0,19
2. úroveň	49,50 ± 0,23	49,07 ± 0,16	49,52 ± 0,26
3. úroveň	56,55 ± 0,22	55,80 ± 0,18	56,62 ± 0,17
4. úroveň	65,45 ± 0,22	64,38 ± 0,21	65,28 ± 0,21
5. úroveň	73,75 ± 0,21	72,38 ± 0,26	73,43 ± 0,26
6. úroveň	81,57 ± 0,20	79,67 ± 0,10	81,05 ± 0,19

Tab. 11-3 Výsledné hodnoty měření



Graf 11-2 Průběh naměřených hodnot

Z Grafu 11-2 vyplývá, že naměřené hodnoty teplot bezdotykovým teploměrem Fluke 574 a digitálním teploměrem Testo 935 s dotykovou sondou jsou téměř shodné a rozdíl mezi naměřenými teplotami je velmi malý. Naopak hodnoty teplot měřené digitálním teploměrem GMH 3230 se od těchto dvou teploměrů začali lišit zhruba od teploty  $T = 55\text{ °C}$ . Tento rozdíl mohl být způsoben, že s rostoucí teplotou měřeného povrchu odvádí dotyková sonda stále více tepla z měřeného místa a proto se odchylka naměřených hodnot s rostoucí teplotou zvyšuje.



Rozdíl mezi měřením teploty dotykovým a bezdotykovým teploměrem je už při přípravě měření. Pro přesné měření teploty pyrometrem je velmi důležitá znalost emisivity měřeného objektu. Naopak u dotykového teploměru je důležitý výběr teplotního čidla. Volba čidla a způsob jeho připevnění k povrchu měřeného objektu musí být takový, aby čidlo mělo s povrchem dobrý kontakt a zároveň teplota měřeného povrchu nebyla čidlem ovlivněna. Dalším důležitým parametrem pyrometru je zorný úhel, který se charakterizuje poměrem D/L. Znalost této hodnoty je důležitá pro správné zaměření měřeného objektu a tím se zabrání, aby nedocházelo k ovlivnění měřené teploty okolím. Měření teploty pyrometrem je jednoduché, rychlé a přesné, pokud je známa emisivita měřeného objektu.

Výhody měření teploty pyrometrem:

- rychlá doba odezvy (v řádu ms)
- snadné měření na obtížně dostupných nebo nebezpečných objektech (vzdálené objekty, součásti pod napětím)
- měření teploty pohybujících se objektů (dopravník, rotující objekty)
- neovlivnění měřeného objektu (při měření není odebírána žádná energie z měřeného objektu na rozdíl od měření dotykovou sondou)
- nedochází k mechanickému opotřebení měřeného objektu

Nevýhody měření teploty pyrometrem:

- přesná znalost emisivity měřeného objektu (špatně zadaná hodnota emisivity má za následek velké chyby v měření)
- správné zaměření objektu, D/L (při nedodržení tohoto poměru dochází k ovlivnění měřené teploty okolím)
- propustnost atmosféry (měření může být ovlivněno částicemi prachu, kouře, kapkami vody a molekulami plynu, zejména  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ )

## 12 Závěr

Diplomová práce je rozdělena na dvě části a to na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou vysvětleny základní fyzikální zákony, jako je Planckův zákon, Wienův posunovací zákon a Stefan-Boltzmannův zákon, dále je zde vysvětlen pojem absolutně černé těleso a emisivita. V dalším bodě je rozdělení pyrometrů, které se dělí na úhrnné, pásmové, poměrové a jasové. Následně je zde popis základních částí pyrometru, jako je optický systém, detektor a elektronika. V další části je popsán způsob měření teploty u kovů, plastů a skla. Dále práce popisuje kalibraci přístroje, která je důležitá pro správné a přesné měření teploty. V posledním bodě teoretické části se práce zabývá využitím bezkontaktního měření v praxi.

Praktická část je členěna do třech kapitol. V první kapitole jsou vytvořeny 2 jednoduché programy ve Visual Basic. První program usnadňuje uživateli pyrometru korekci naměřené teploty na změnu hodnoty emisivity. Druhý program vypočte hodnotu emisivity ze známé hodnoty indexu lomu, který se dělí na reálnou a imaginární část.

Ve druhé kapitole jsou uvedeny nejčastější parametry, které slouží pro správný výběr pyrometru jako je provedení pyrometru, provozní teplota měření, měřicí rozsah, index zaostření, doba odezvy, spektrální pásmo, nastavení emisivity, typ zaměřovače a vzdálenost od cíle. V této kapitole je dále seznam nejčastěji používaných pyrometrů na našem trhu.

V poslední kapitole praktické části je podrobný popis porovnání měření dotykovým a bezdotykovým teploměrem. Jsou zde popsány měřicí přístroje, pyrometr Fluke 574, digitální teploměr Testo 935 a GREISINGER GMH 3230. Dále je zde popsána příprava na měření, jako je zjištění emisivity, index zaostření a instalace teplotních sond. Následně je zde popsáno vlastní měření teploty jak pyrometrem, tak i dotykovými teploměry. Naměřené hodnoty jsou dále zapsány do tabulky a vypočtena jejich odchylka měření.

Tato diplomová práce by měla sloužit pro objasnění problematiky bezdotykového měření teploty, pro správný výběr pyrometru dle podmínek měření a objasnění výhod a nevýhod měření teploty pyrometrem.

### 13 Seznam použité literatury

- [1] LYSENKO, V.: *Detektory pro bezdotyková měření teplot*, BEN, Praha, 2005, ISBN 80-7300-180-2.
- [2] KREIDL, M.: *Měření teploty-senzory a měřící obvody*, BEN, Praha, 2005, ISBN 80-7300-145-4.
- [3] SZERUDA, R.: *Vybrané aplikace bezdotykového měření teploty. Měření teplot v provozu*, Ostrava, 1996.
- [4] SZERUDA, R.: *Základy bezdotykového měření teploty. Měření teplot v provozu*, Ostrava, 1996.
- [5] KABEŠ, K.: *Přehled trhu – infračervené pyrometry*, Automatizace, 1999, roč. 42, č. 4, s. 276–287, ISSN 1210-9592.
- [6] ACKLAND, K.: *Výběr správného infračerveného teploměru pro konkrétní aplikaci*, Automatizace, 1999, roč. 42, č. 4, s. 288–290, ISSN 1210-9592.
- [7] JENČÍK, J.: *Bezdotykové měření teploty pyrometry*, Automatizace, 1999, roč. 42, č. 4, s. 274–276, ISSN 1210-9592.
- [8] Soubor technických informací poskytovaných firmou Omega: *Bezdotykové měření teploty*, URL: <http://www.omegaeng.cz/>
- [9] NOVÁ, I.: *Metody bezdotykového měření teploty*, Průmyslové spektrum, 2004, č.11, s.44. ISSN 1212-2572.
- [10] NOVÁ, I.: *Metody bezdotykového měření teploty*, Průmyslové spektrum, 2004, č.12, s.78. ISSN 1212-2572.
- [11] SVOBODA, Š.: *Měření teploty – bezkontaktní teploměry a termovizní kamery*, Elektro, 2005, č12, ISSN 1210-0889.
- [12] SA Instrumentation & Control: *Principles of infrared temperature measurement*, 2006, URL:<http://www.technews.co.za/>

## 14 Seznam příloh

**P1**            technické informace o ThermaSpray800

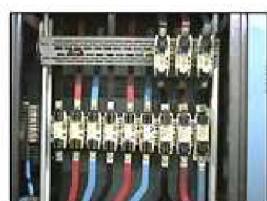
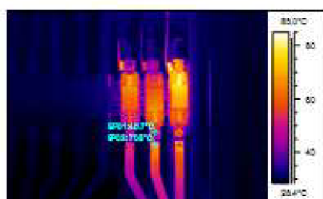
**P2**            technické informace o ThermaSpot

### **CD – ROM**

- diplomová práce ve formátu .pdf
- program1.xlsm
- program2.xlsm
- naměřená data.xlsx

# 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 měřících bodů pro opakovaná měření

### Výhody:

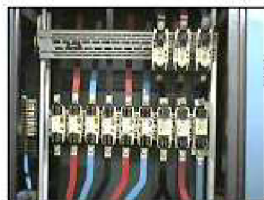
- ✓ stálá a zaručená měřící místa
- ✓ eliminace chyb při měření
- ✓ usnadnění termovizního měření na objektech s neznámou emisivitou
- ✓ usnadnění termovizního měření na kovových objektech (elektrosoučásti, hliníkové a jiné kovové odličky, stavební konstrukce atd.)





# ThermaSpot

## Speciální samolepící štítek pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty



- černý samolepící štítek
- vysoká emisivita  **$E = 0,96$**  !
- vysoká přilnavost na různé materiály
- snadná aplikace na měřený objekt
- snadné odstranění z měřeného objektu
- dva rozměry: 70ks  $\varnothing$  2,5 cm  
35ks  $\varnothing$  3,5 cm
- možnost výroby jiných rozměrů

Speciální samolepící štítek **ThermaSpot** je určen 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).

**ThermaSpot** je vhodný zejména pro vytváření měřicích bodů na površích jak při jednorázovém, tak i opakovaném měření 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 úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty
- ✓ pro vytvoření referenčních měřicích bodů pro jednorázová i 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.)

