

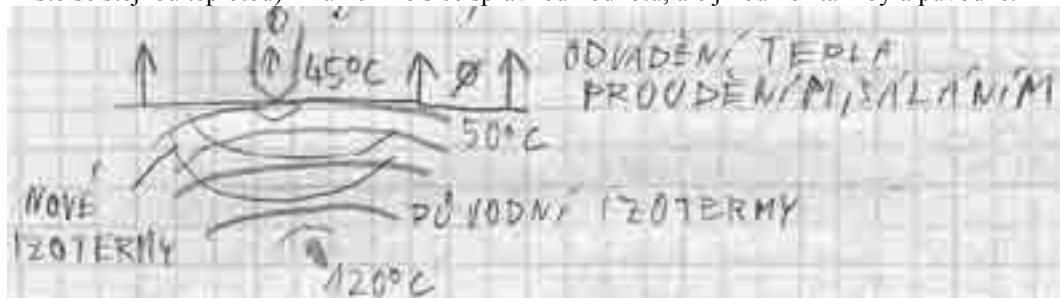
## 25 A Vypracoval : Zdeněk Žák

### Pyrometrie

Bezdotykové měření – Pyrometrie (obrázky viz. sešit)

Bezdotykové měření teplot je měření povrchové teploty těles na základě elektromagnetického záření mezi tělesem a okolím nebo mezi dvěma tělesy. Při měření se využívá viditelná a infračervená oblast elektromagnetického záření, která odpovídá měření teplot v rozsahu  $\theta = -40^{\circ}\text{C} \dots +10000^{\circ}\text{C}$ .

Při měření teploty na povrchu tělesa vzniká dotykem senzoru s měřeným objektem změna sdílení tepla mezi objektem a okolím. Dochází k odvádění tepelného toku  $\Phi$  [W] čímž vznikají nové izotermy (křivka spojující místo se stejnou teplotou) – naměříme sice správnou hodnotu, ale jinou než tam byla původně.



**Výhody** bezdotykového měření teploty :

- 1) zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
- 2) možnost měření na pohybujících se nebo rotujících tělesech
- 3) lze měřit i rychlé změny teploty
- 4) možnost plošného zobrazení povrchové teploty tělesa (**termovize**)

### Senzory infračerveného záření

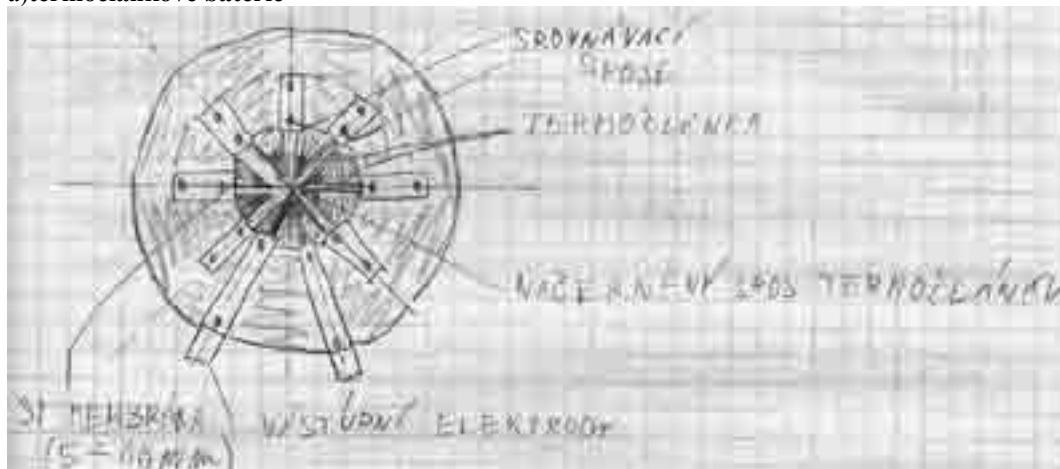
**Rozdělení** podle interakce dopadajícího záření s materiálem senzoru (interakce-vzájemné ovlivnění)

#### 1) tepelné senzory

Tepelné záření se soustavou čoček nebo zrcadel zaostřuje na senzor, čímž se tento ohřívá.

Pohlčená energie se vyhodnocuje pomocí :

##### a) termočláňkové baterie



Na velmi tenké křemíkové membráně se např. technologií tenkých vrstev vytvoří tenké páskové termočláňky, které jsou zapojeny v sérii – zvýšení citlivosti měření.

##### b) bolometrů

Využívají principu odporových senzorů teploty.

##### c) pyroelektrických senzorů

Využívají pyroelektrického jevu vyskytujícího se u tzv. **pyroelektrik**, kdy při změně teploty dochází k naindukování elektrického náboje na elektrodách.

Tepelné senzory jsou pro některé aplikace příliš pomalé a málo citlivé (i sebemenší hmota senzoru musí být prohřata dopadajícím zářením).

#### 2) kvantové senzory

Využívají fotoelektrického jevu v polovodičích. Používá se např. fotorezistor a fotodioda. Jsou citlivé a mají velmi malou časovou konstantu.

### Rozdělení pyrometrů

#### 1) Podle způsobu detekce záření

a) **Subjektivní** – Detektorem záření je lidské oko. – Jasové a barvové pyrometry

b) **Objektivní** – Záření je detekováno selektivními (Si, Ge) nebo neselektivními (bolometrické, termoelektrické, pyroelektrické) detektory záření.

2) Podle využití spektrální oblasti záření

a) **Monochromatické**

Pracují se zářením téměř 1 vlnové délky nebo 2 vlnových délek.

b) **Pásmové**

Pracují se zářením v širším pásmu vlnových délek.

c) **Úhrnné**

Pracují se zářením téměř v celém pásmu vlnových délek omezeném propustností optického systému a citlivostí detektoru.

3) Podle konstrukce jednotlivých částí pyrometru

a) **Optický systém**

Může být realizován jako clonkový, čočkový, zrcadlový nebo světlovodný.

b) **Zaměřovací systém**

Optický přes objektiv

Světelný ( např. laserový paprsek )

Mířidlový ( puškový )

Pro použití v praxi je nejvhodnější vycházet z dělení podle využití spektrální oblasti záření.

**Monochromatické pyrometry**

-subjektivní (jasové, barvové)

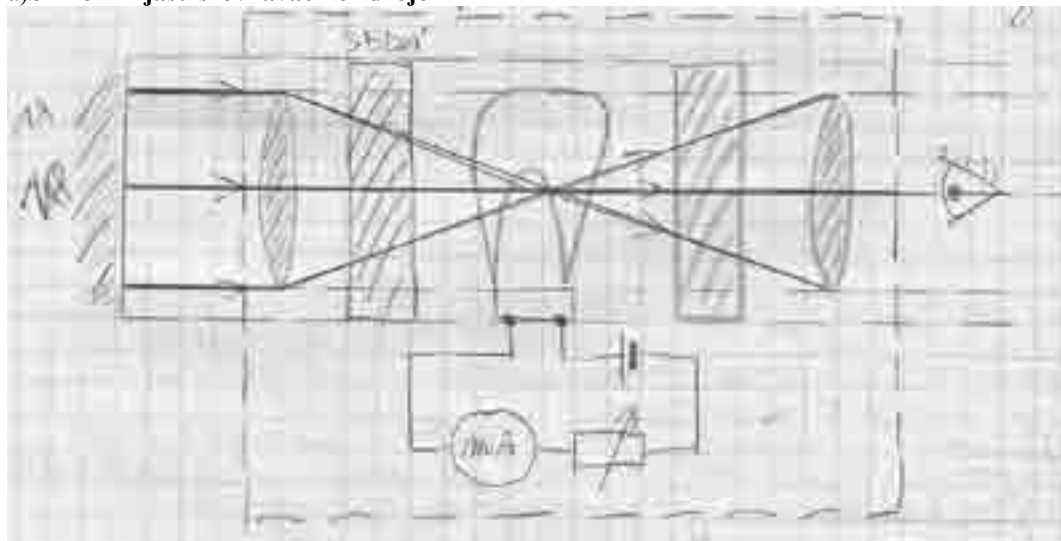
-objektivní (distribuční)

**Jasové pyrometry**

Využívají monochromatické záření ve viditelné oblasti a to nejčastěji na  $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$  (viditelná oblast  $0,38 \mu\text{m} \dots 0,78 \mu\text{m}$ ). Vybaven srovnávacím zdrojem záření (pyrometrickou žárovkou) jehož jas se při pozorování lidským okem porovnává s jasnem měřeného objektu přes barevný filtr (nejčastěji červený).

Dělení podle konstrukce :

a) **S řízením jasu srovnávacího zdroje**



Měřicí rozsah je omezen teplotou wolframového vlákna srovnávacího zdroje.

$t = 700^{\circ}\text{C} \dots 1500^{\circ}\text{C}$

Pro teploty do  $3500^{\circ}\text{C}$  se před srovnávací zdroj umísťuje šedý filtr.

b) **S tlumením jasu měřeného objektu šedým filtrem s proměnnou hustotou**

Srovnávací zdroj má konstantní jas odpovídající nejnižší měřené teplotě. Výhodou je podstatně delší životnost srovnávacího zdroje.

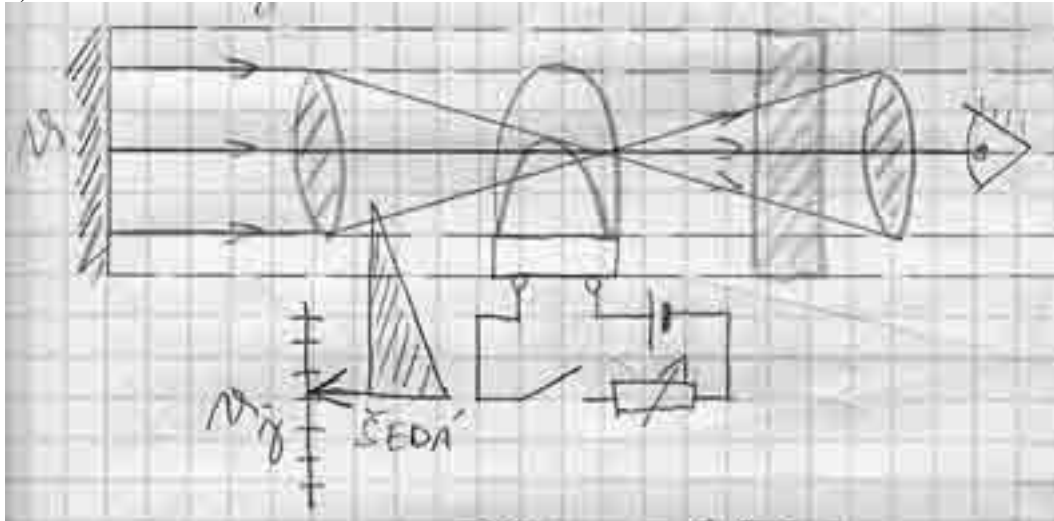
$t = 700^{\circ}\text{C} \dots 3500^{\circ}\text{C}$

V obou případech je naměřeným údajem jasová teplota  $t_j$  rovnající se měřené teplotě pouze za předpokladu, že zdrojem záření je tzv. černý zářič. Skutečný zářič vyzařuje méně energie než černý zářič podle **Planckova** zákona.

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{H_{\lambda}}{H_{0\lambda}}$$

$H_{\lambda}$	$\varepsilon_{\lambda} \dots$	spektrální emisivita
$H_{\lambda}$	$\dots$	skutečná intenzita záření
$H_{0\lambda}$	$\dots$	teoretická hodnota (černý zářič)

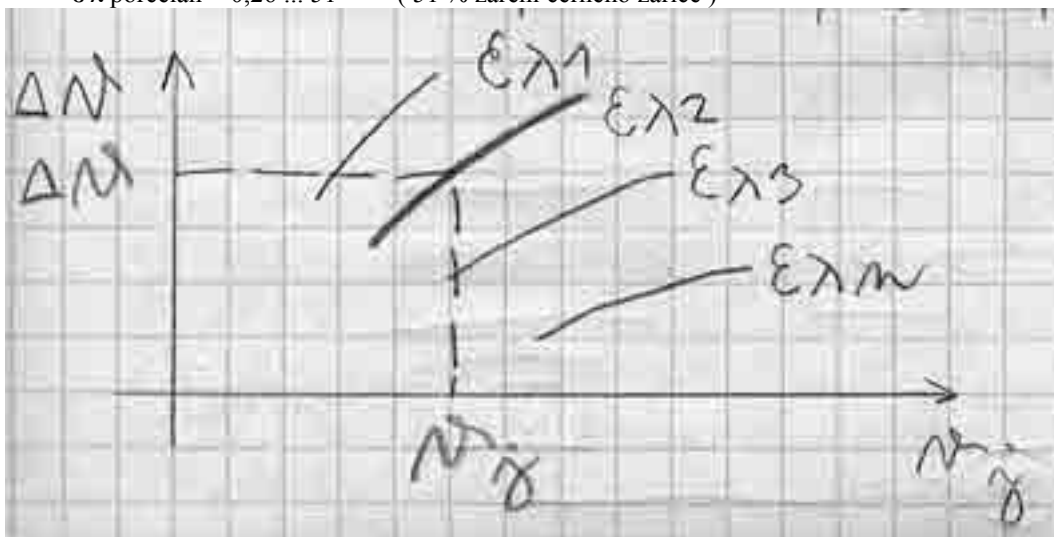
b)



např :  $\epsilon_{\lambda \text{ Al}} = 0,12 \dots 0,18$

$\epsilon_{\lambda \text{ Pt}} = 0,28 \dots 0,42$

$\epsilon_{\lambda \text{ porcelán}} = 0,26 \dots 0,51$  ( 51 % záření černého zářiče )



Údaj pyrometru se koriguje podle korekčního grafu dodávaného pyrometru. Korekční hodnota  $\Delta v = f(v_j, \epsilon_{\lambda})$  se přičítá k naměřené hodnotě.

$$v = v_j + \Delta v$$

### Barvové (distribuční) pyrometry

Pracují se 2 monochromatickými zářeními ve viditelné oblasti a to nejčastěji červeným a zeleným. Vhodné pro měření teploty zářičů u kterých neznáme jejich  $\epsilon_{\lambda}$ .

Podle detekce záření :

**Subjektivní**

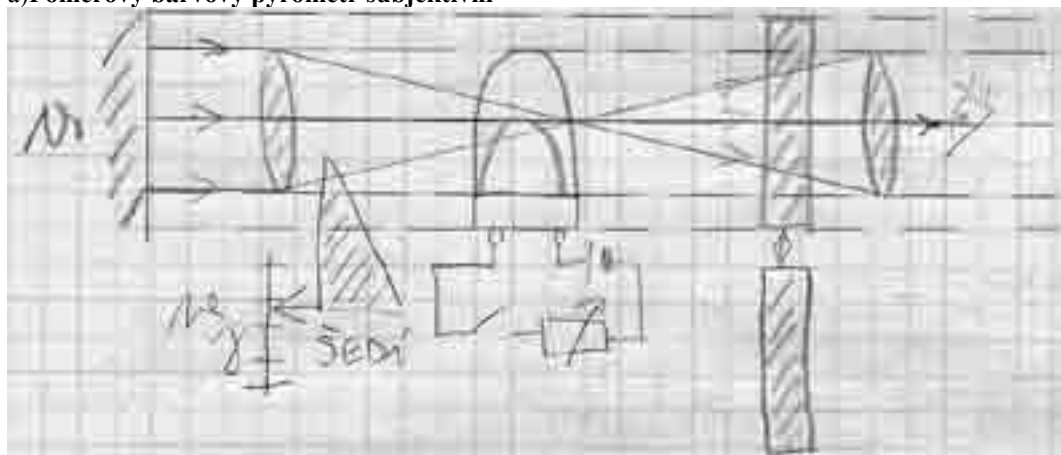
**Objektivní (distribuční)**

Podle způsobu vyhodnocení :

**Poměrové**

**Srovnávací**

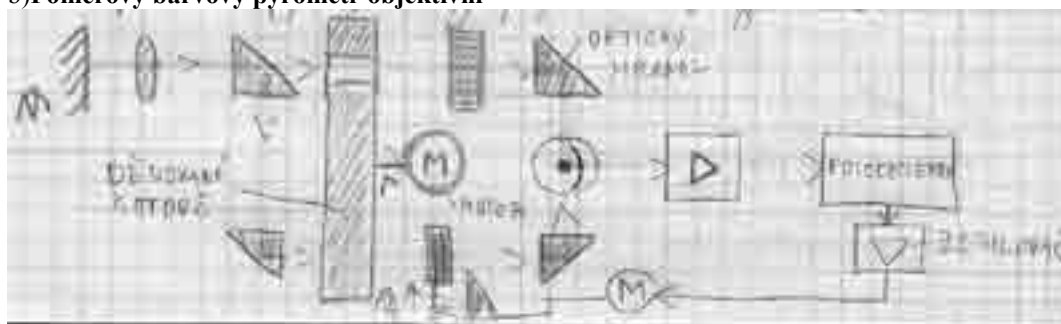
#### a) Poměrový barvový pyrometr subjektivní



Vlastně jasový pyrometr s výměnnými barevnými filtry. Změří se 2 jasové teploty  $u_{j1}$  a  $u_{j2}$  při 2 vlnových délkách  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  a vypočítá se tzv. **barevná teplota  $u_B$** .

$$u_B = \frac{\frac{1}{\lambda_1 u_{j1}} + \frac{1}{\lambda_2 u_{j2}}}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}}$$

#### b) Poměrový barvový pyrometr objektivní



Společný detektor pro obě vlnové délky, které na něj dopadají střídavě nebo 2 detektory pro jednotlivá záření.

#### Pásmové pyrometry

Pouze objektivní pyrometry

Spektrální citlivost je závislá na fotodetektoru.

Si fotodioda  $\lambda = 0,6 \dots 1,1 \mu\text{m}$

PbS fotorezistor  $\lambda = 0,5 \dots 3,6 \mu\text{m}$

Výhodou je velmi krátká reakce na změnu měřené teploty.

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{u_p} + \frac{\lambda_{et}}{C_2} \ln \varepsilon \lambda_{et}$$

$u$  .. měřená teplota  
 $u_p$  .. teplota změřená pyrometrem  
 $\lambda_{et}$  .. efektivní vlnová délka  
 $\varepsilon \lambda_{et}$  .. efektivní spektrální emisivita  
 $C_2$  .. vyzařovací konstanta  
 $(C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ mK})$

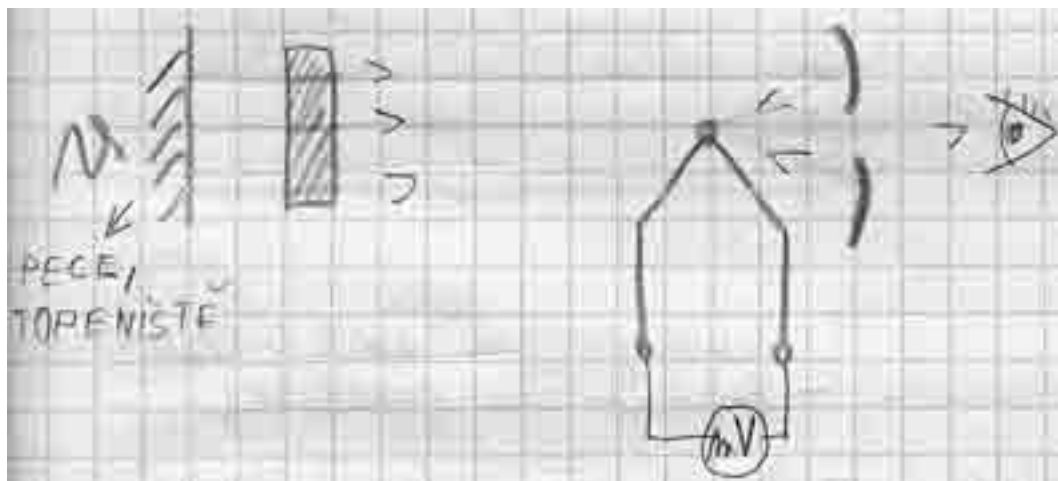
Použití především tam, kde se mezi měřeným objektem a pyrometrem příležitostně vyskytují plyny, páry a podobně.

Obvykle pracují v infračervené oblasti.

#### Úhrnné pyrometry

měřicí rozsah  $u = -40^\circ\text{C} \dots +5000^\circ\text{C}$

např. provedení se zrcadly a termočlánkem



$$T_m = \frac{T_p}{4\sqrt{\varepsilon}}$$

$T_p$  .. teplota měřená  
 $T_p$  .. teplota změřená pyrometrem  
 $\varepsilon$  ... emisivita

Měření teploty objektu blízkých černým zářičům

#### **Závěr:**

Výběr vhodného pyrometru pro daný úkon je poměrně složitý. Volbu ovlivňuje :

- a) Měřený objekt – jeho citlivost, vzdálenost od pyrometru, zda se pohybuje či nikoliv, velikost a rychlost změny teploty, emisivita povrchu
- b) Okolí měřeného objektu – prostředí mezi pyrometrem a měřeným objektem a jeho vlastnosti
- c) Konstrukce pyrometru – jednorázové nebo trvalé měření, nutnost chlazení atd.

Nejpoužívanější a nejrozšířenější pyrometry jsou objektivní pyrometry pracující v úzké oblasti infračerveného záření, protože jsou rychlé, mají úzké zorné pole, měří ve velkém rozsahu teplot – nazývají se obecně infračervené pyrometry (pásmové).

**Na obrázcích toho moc vidět není. Na disketu se toho moc nevejde.**