BEZDOTYKOVÉ TEPLOMĚRY

- měření bezdotykovými teploměry je založeno na vyhodnocování **tepelného elektromagnetického záření** těles
- každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K vyzařuje tepelné elektromagnetické záření
- vysílané tepelné záření je složeno z různých vlnových délek
- pro bezdotykové měření teplot se využívá záření **od 0,4 μm do 25 μm vlnové délky**
- uvedený rozsah záření pokrývá **měření teploty od - 40 °C do 10 000 °C**
- tento rozsah záření spadá částečně do viditelného spektra (0,4 až 0,78) μm a dále do infračerveného spektra
- bezdotykové teploměry se označují jako **pyrometry** nebo **IČ-teploměry**

1

Teoretické základy bezdotykové pyrometrie

- intenzita vyzařování H [W m^{-2}] nějakého tělesa je dána vztahem:

$$H = \frac{d\Phi}{dS}$$

ϕ - zářivý tok [W]
S - plocha povrchu zdroje záření [m^2]

- **dokonale černé těleso**
  - maximálně vyzařuje i maximálně pohlcuje záření
- **intenzita vyzařování** a **pohltivost** jsou si úměrné podle Kirchhoffova zákona
  - je-li teplota tělesa větší než teplota okolí, převažuje intenzita vyzařování nad pohltivostí
- intenzita vyzařování dokonale černého tělesa H_0 závisí jen na jeho absolutní teplotě a podle Stefan-Boltzmannova zákona platí:

$$H_0 = \sigma T^4$$

σ = 5,67.10^{-3} [W m^{-2} K^{-4}]

2

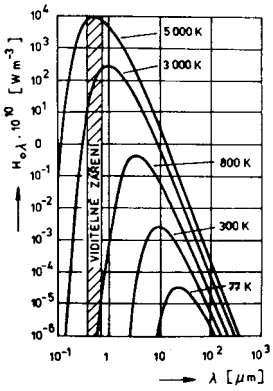
Intenzita vyzařování má integrální charakter

- skládá se z příspěvků při jednotlivých vlnových délkách

$$H_0 = \int_0^\infty H_{0\lambda} d\lambda$$

$H_{0\lambda}$ - spektrální hustota intenzity vyzařování [W m^{-3}]
λ - vlnová délka záření [m]

- závislost spektrální hustoty intenzity vyzařování na vlnové délce a na teplotě je dána Planckovým vyzařovacím zákonem
- grafické znázornění Planckova zákona pro dokonale černé těleso ukazuje graf



- plocha pod křivkou pro danou teplotu odpovídá H_0
- maximum vyzařování se posouvá se vzrůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám

3

Emisivita

- skutečné těleso vyzařuje i pohlcuje méně než dokonale černé těleso
- spektrální hustota intenzity vyzařování skutečného tělesa je dána vztahem:

$H_\lambda = \varepsilon_\lambda H_{0\lambda}$ ε_λ - emisivita resp. pohltivost pro vlnovou délku λ

- **emisivita ε_λ**
  - poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii vyzařované dokonale černým tělesem při téže teplotě
- hodnota emisivity ε_λ je vždy **menší než 1**
- **selektivní zářiče**
  - tělesa, která mají pro různou vlnovou délku různou emisivitu ε_λ
- **šedé těleso**
  - emisivitu ε šedého tělesa můžeme považovat za konstantní v dosti
  - širokém rozsahu vlnových délek

4

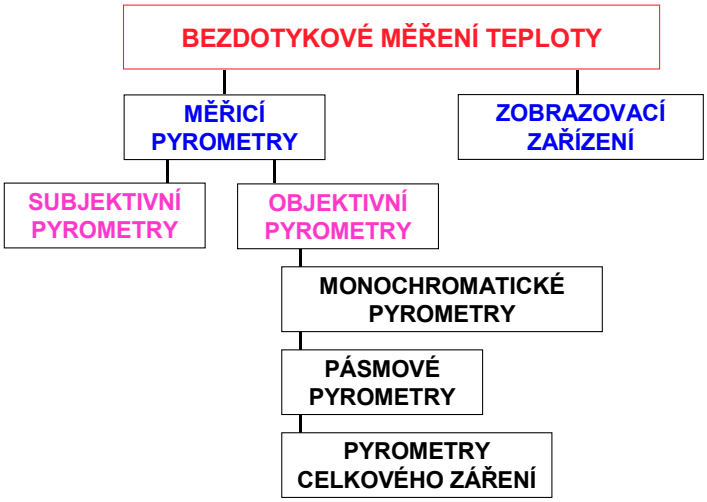
Hodnoty emisivity pro vybrané povrchy

těleso	**emisivita**
černé těleso	1
černý matový lak	0,99
voda	0,95
cihly	0,85
zoxidovaný ocelový plech	0,75
zoxidovaný hliník	0,55
lesklý ocelový plech	0,25

Při aplikaci bezdotykových teploměrů pro měření teploty povrchu těles je **znalost hodnoty emisivity nezbytná.**

5

Rozdělení bezdotykových teploměrů

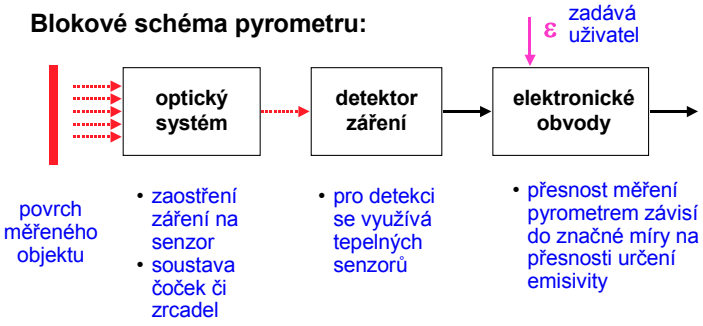


6

Pyrometry celkového záření

- vyhodnocují teplotu podle Stefan-Boltzmannova zákona pro šedé těleso: $H = \varepsilon.\sigma.T^4$
- pracují teoreticky v celém spektru vlnových délek od $\lambda = 0$ do $\lambda = \infty$
- v praxi dochází ke spektrálnímu omezení vlivem optiky

Blokové schéma pyrometru:



7

Tepelné senzory IČ-záření

Termočlánkové baterie

– baterie termočlánků obsahuje až 30 měřicích spojů na ploše 4 mm²

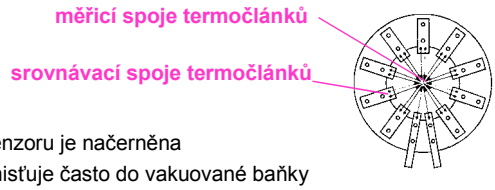
Bolometry

– načerněné tenkovrstvé odporové senzory teploty

Pyroelektrické senzory

– založeny na pyroelektrickém jevu

Provedení senzoru s termočlánkovou baterií:



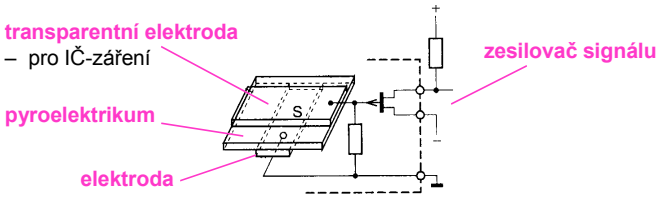
- citlivá část senzoru je načerněna
- senzor se umisťuje často do vakuované baňky

8

Pyroelektrické senzory

- založeny na **pyroelektrickém jevu**
  – změna spontánní polarizace pyroelektrika při změně teploty
- pyroelektrika:
  – např. keramické látky na bázi titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého

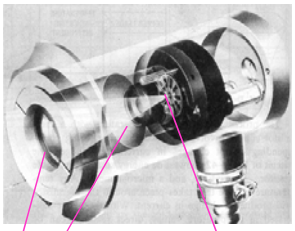
Schématické uspořádání pyroelektrického senzoru :



- senzor představuje kondenzátor, na jehož elektrodách se při změně polarizace v pyroelektriku naindukuje náboj
- při aplikaci pyroelektrického senzoru musí být tepelné záření cyklicky přerušováno

9

Provedení přenosných pyrometrů



zaměřovací systém s laserem nebo dalekohledem

optický systém

detektor záření (baterie termočlánků)

- vstupní okénko pyrometru bývá chráněno tenkou polyetylenovou folií, která propouští IČ-záření
- elektronické obvody jsou řízené μP
- měřicí rozsah -20 °C až 1500 °C

displej

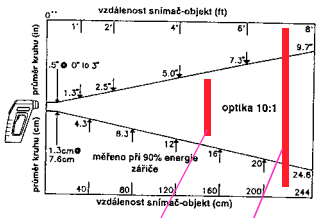
ovládací tlačítka

10

Zaměření měřeného objektu

- plocha měřeného objektu musí zcela vyplňovat zorné pole pyrometru
- tato plocha roste se čtvercem vzdálenosti
- nesplnění tohoto požadavku vede k chybným výsledkům měření (měří se průměrná teplota pozorované oblasti, tj. objektu a jeho okolí)
- měření je nezávislé na vzdálenosti přístroje od měřeného objektu, pokud obraz objektu kryje obrys přijímače záření
- kontrola se provádí vizuálně okulárem nebo podle diagramu na přístroji či pomocí laserového zaměřovače

Zorné pole IČ-teploměru:



Laserové zaměřování:

- bodové
- kruhové

Velikost objektu a zorné pole:

objekt

zorné pole

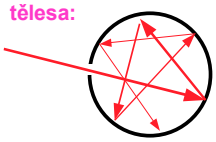
chybně správně správně chybně

11

Kalibrace pyrometrů

- kalibrace se provádí pomocí **černého tělesa**
- reálné černé těleso má hodnotu emisivity 0,99 > ε > 0,98

Princip černého tělesa:



Provedení černého tělesa:

PID regulátor teploty

- zařízení poskytuje stabilní teploty i pod 0 °C
- vybavení rozhraním RS 232 umožňuje počítačové řízení při nastavování teploty (automatické testování)
- rozsahy teplot u vyráběných zařízení: od -20 °C až přes 1000 °C

Pásmové pyrometry

- měří teplotu prostřednictvím záření v úzkém pásmu vlnových délek
- šíře pásma vlnových délek je od 10 nm do jednotek μm
- pásmo vlnových délek závisí na citlivost použité optiky a senzoru záření
- jako senzorů záření se využívají kvantové senzory IČ-záření

Kvantové senzory:

- využívají fyzikálních jevů vznikajících při interakci fotonů dopadajících na strukturu senzoru
- **fotodioda**
  - vznik fotoelektrického napětí (proudu)
  - PN-přechod na Si-diodě
- **fotoodpor**
  - změna elektrické vodivosti (odporu)
  - fotoodpory na bázi PbS, InSb, PbSe

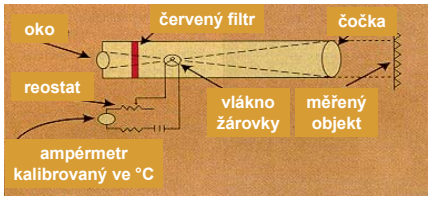
Pásmové pyrometry vykazují příznivější dynamické vlastnosti a vyšší citlivost než pyrometry s tepelnými senzory

13

Subjektivní pyrometry

- do této skupiny můžeme zařadit **jasový pyrometr**
- k měření teploty se využívá úzkého spektrálního pásma v oblasti viditelného záření
- přístroj pracuje kompenzační metodou, při níž se porovnává záře měřeného objektu se září porovnávacího zdroje
- porovnání se provádí subjektivně, čidlem je lidské oko
- jako senzorů záření se využívají **kvantové senzory IČ-záření**

Jasový pyrometr:

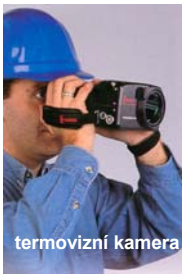


Měřicí rozsah těchto pyrometrů je 700 °C až 2300 °C

14

Termovizní systémy

- slouží pro měření rozložení teploty na povrchu těles - **snímání teplotních polí**
- termovizní systémy pracují většinou s rozkladem obrazu pozorovaného pole
- **rozklad obrazu:**
  - **opticko-mechanický**
    - obraz se rozloží do řádek a bodů pomocí vertikálně kmitajícího zrcadla a horizontálně rotujícího hranolu či zrcadla
    - pro detekci záření se užívá kvantového detektoru (např. InSb)
  - **elektronický**
    využívá řádkových pyroelektrických senzorů
- **viditelný obraz teplotního pole** je možno sledovat na displeji či obrazovce vyhodnocovacího zařízení
- problematické je zadání emisivity


termovizní kamera

teplotní obraz izolátorů

Měřicí rozsah je -30 °C až 1200 °C, **rozlišení** až 0,2 °C

15

Aplikační možnosti bezdotykových teploměrů

Stabilní přístroje

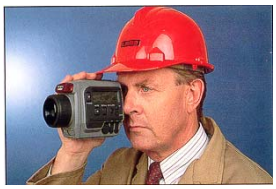
- pro kontinuální monitorování a řízení
- pevné zaměření na určitý bod
- ve spojení s vhodným mechanickým zařízením mohou monitorovat širší oblast

Přenosné přístroje

- pro příležitostná měření
- bateriové napájení
- nejsou uzpůsobeny pro zapojení do regulačního obvodu

senzor

vyhodnocovací jednotka



nastavení emisivity

16

Použití pyrometrů

- měření **rozložení teplot** na povrchu objektů
  - měření rozložení teplot na technologickém zařízení
  - rozložení teplot na elektronických obvodech
  - sledování teplot na povrchu biologických objektů
- měření teplot **pohybujících se objektů**
  - měření teploty potravinářských výrobků (pekárny)
  - měření teploty rotujících objektů, běžicích pásů apod.
- měření **rychlých změn teploty**
  - bezdotykové teploměry mají velmi příznivé dynamické vlastnosti T_{90} leží v rozmezí 100 ms až 1 s
- **diagnostická a inspekční měření**
  - prevence vzniku poruchových a havarijních stavů (teplotní změny na elektrických obvodech, na tepelných zařízeních ap.)
  - diagnostika v lékařství (teplotní pole na povrchu těla)

17

Přednosti a nedostatky bezdotykového měření teploty

Výhody:

- zanedbatelný vliv měřicího zařízení na měřený objekt
- možnost měření rotujících a pohybujících se těles
- možnost měření rychlých teplotních změn
- možnost snímání rozložení teplot na celém povrchu objektu (termovize)

Nevýhody:

- chyba způsobená nejistotou stanovení emisivity měřeného objektu
- chyba způsobená prostupností prostředí (absorbce tepelného záření v prostředí mezi měřeným objektem a pyrometrem - sklo, CO_2, vodní páry, dým)
- chyba způsobená odraženým zářením z okolního prostředí

18