

BEZDOTYKOVÉ TEPLoměRY

Bezdotykové teploměry doznaly v poslední době značného pokroku a rozšíření díky pokroku v elektronice a optice. Přístroje byly původně označovány jako radiační pyrometry nebo radiační teploměry, nyní často jako IČ-teploměry. Radiační pyrometry nacházely původně uplatnění v takových provozech a aplikacích, kde bylo třeba měřit vysoké teploty často v malém prostoru, kde nebylo možno použít dotykový teploměr. Jednalo se zejména o aplikace v metalurgii, chemickém a zejména silikátovém průmyslu (sklářství, cementárny, vápenky, keramický průmysl). V průběhu posledních let se aplikace IČ-teploměru posunula k nižším teplotám, včetně měření teplot nižších než 0 °C, takže se s nimi setkáváme v potravinářství, elektronice, průmyslu papírenském, farmaceutickém, textilním, gumárenském, při zpracování plastických hmot apod. Přenosné IČ-teploměry nacházejí široké uplatnění při detekci tepelných ztrát a poruch, při kontrole potrubních systémů, nádrží apod.

Pro pochopení hlavních rozdílů v uspořádání přístrojů a jejich aplikačních možností je důležité uvést základní teoretické poznatky z této oblasti.

Teoretické základy bezdotykové pyrometrie

Měření teploty bezdotykovými teploměry je založeno na vyhodnocování tepelného záření těles. Část tepelné energie látek se neustále přeměňuje v energii, kterou tyto látky vysílají ve formě elektromagnetického záření. Při rovnováze mezi energií přijímanou a vysílanou může být stav zářiče charakterizován určitou teplotou. Vysílané záření se nazývá tepelné a je složeno z různých vlnových délek. Intenzita vyzařování H (W m^{-2}) je dána vztahem

$$H = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1)$$

kde je 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 tzv. 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 T a podle Stefan-Boltzmannova zákona platí

$$H_0 = \sigma T^4 \quad (2)$$

kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Indexem 0 je označeno dokonale černé těleso. Intenzita vyzařování má integrální charakter a skládá se z příspěvků při jednotlivých vlnových délkách podle vztahu

$$H_0 = \int_0^{\infty} H_{0\lambda} d\lambda \quad (3)$$

kde je $H_{0\lambda}$ spektrální hustota intenzity vyzařování (W m^{-3}), λ vlnová délka (m).

Závislost spektrální hustoty intenzity vyzařování na vlnové délce a teplotě je dána Planckovým vyzařovacím zákonem

$$H_{0\lambda} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left(\exp \frac{hc}{k\lambda T} \right)} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(\exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1 \right)} \quad (4)$$

kde je h Planckova konstanta, k Boltzmannova konstanta, c rychlost světla ve vakuu. Konstanta $c_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{ (W m}^2)$, $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ (K m)}$.

Závislost je graficky znázorněna na obr. 1. Plocha pod křivkou pro danou teplotu je rovna intenzitě vyzařování H_0 při této teplotě. Maximum vyzařování se posouvá se vzrůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám podle Wienova zákona posuvu.

Skutečné těleso vyzařuje (i pohlcuje) méně než černé těleso. Jeho spektrální hustota intenzity vyzařování H_λ je dána vztahem

$$H_\lambda = \varepsilon_\lambda H_{0\lambda} \quad (5)$$

kde $\varepsilon_\lambda(1)$ je emisivita, resp. pohltivost pro vlnovou délku λ , $\varepsilon_\lambda < 1$.

Látky, které mají pro různou vlnovou délku různou emisivitu ε_λ , vykazují také různě velké odchylky od záření černého tělesa; jsou to tzv. selektivní zářiče. Existují však tělesa, jejichž emisivitu můžeme považovat za konstantní v dosti značném rozsahu vlnových délek. Takové zářiče označujeme jako šedá tělesa s emisivitou ε .

Emisivita je definována jako poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii ideálně černého tělesa při stejné teplotě. Emisivita černého tělesa je rovna 1,0. Emisivita je velmi důležitým faktorem IČ-termometrie a její vliv není možno zanedbávat.

Emisivita závisí na materiálu, úpravě povrchu, oxidaci povrchu a obecně platí

$$\varepsilon = f(\lambda, T) \quad (6)$$

Ve vztahu k emisivitě ε resp. ε_λ je i odrazivost (reflektance) ρ, ρ_λ , což je míra schopnosti odrážet záření a prostupnost (transmitance) τ, τ_λ , jako míra schopnosti propustit záření. Platí:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1,0 \quad (7)$$

Je-li objekt ve stavu tepelné rovnováhy, nedochází k žádnému ohřívání ani ochlazování; energie, která se vyzařuje musí být rovna energii pohlcované, takže emisivita ε se rovná pohltivosti (absorbanci) α .

Hodnoty emisivity ε pro vybrané povrchy jsou uvedeny v tab. 1. Pro reálná tělesa je hodnota emisivity vždy menší než 1. Při aplikaci bezdotykových teploměrů pro měření teploty povrchu těles je znalost hodnoty emisivity nezbytná.

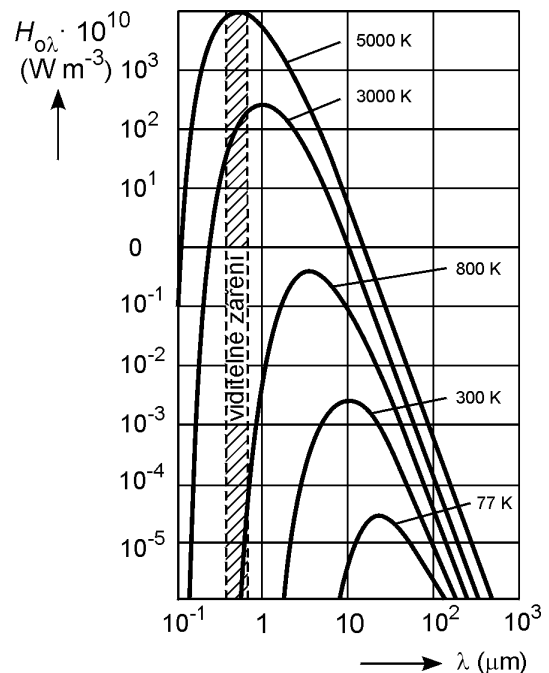
Přístroje založené na měření teplotního záření umožňují měření v širokém rozsahu teplot od -40°C až do $8\,000^\circ\text{C}$. Podle oblasti spektra, které k měření využívají, můžeme IČ-teploměry rozdělit do několika skupin.

Pyrometry celkového záření

Pyrometry celkového záření, označované též jako širokopásmové přístroje, pracují v oblasti vlnových délek od $0,3\ \mu\text{m}$. Někdy se tyto přístroje označují jako radiační pyrometry nebo úhrnné pyrometry, protože měří v široké oblasti vyzařovaného teplotního záření. Schéma uspořádání radiačního pyrometru je na obr. 2.

Teplota se vyhodnocuje podle Stefan-Boltzmannova zákona, který pro šedé těleso můžeme psát

$$H = \varepsilon \sigma T^4 \quad (8)$$

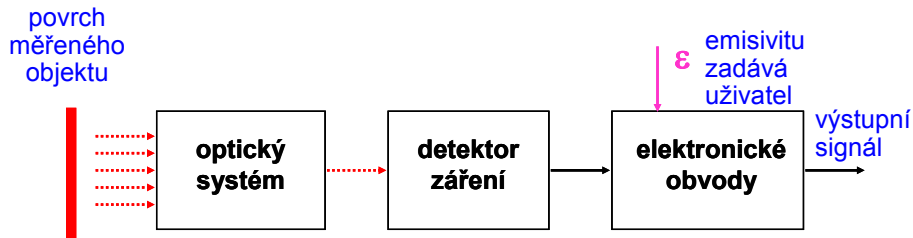


Obr. 1 Vyzařování dokonale černého tělesa

Tab. 1 Emisivita ε pro vybrané povrchy

Černé těleso	1,00
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

Tepelné záření, vysílané měřeným objektem, se soustřeďuje optickým systémem na čidlo radiačního pyrometru. Optický systém bývá sestaven z čoček nebo zrcadel. Čidlem bývá nejčastěji baterie termočlánků (až 30 měřicích spojů na ploše 4 mm²), dále bolometr (fóliový odporový teploměr) nebo termistor. Povrch čidla bývá začerněn. Přijímač záření i optika musí být pokud možno nezávislá na vlnové délce. Tato podmínka je splněna jak pro termočlánek, tak i pro bolometr. Volba optiky se řídí měřicím rozsahem, který bývá standardně (600 až 2 000) °C a (0 až 1 000) °C. V rozmezí nižších teplot je lepší pracovat jen se zrcadlovou optikou s kovovým povrchem zrcadel. Vstupní okénko takového pyrometru bývá chráněno před prachem tenkou fólií z umělé hmoty, která propouští infračervené záření.



Obr. 2 Blokové schéma bezdotykového teploměru

Užitím vhodných polovodičových snímačů záření lze dosáhnout vysoké citlivosti, ovšem pouze v určitém pásmu vlnových délek. Tyto přístroje se vyznačují nízkou časovou konstantou (řádově 10⁻² s) na rozdíl od přístrojů s tepelnými snímači a vzhledem k vysoké citlivosti mohou být použity i pro měření teploty těles malých rozměrů (ϕ tělesa 1,5 mm ze vzdálenosti 150 mm).

Všechny radiační pyrometry pracují s malými chybami pouze v případech, kdy emisivita $\varepsilon \rightarrow 1$. Tuto podmínku splňují dobře uzavřené prostory, objekty bez lesku apod. Při měření se často používá uzavřených keramických trubíc, které jsou vloženy uzavřeným koncem do měřeného prostředí (např. pece). Na dno trubky se pak zaměří pyrometr.

Aby pyrometr měřil teplotu zářiče správně, musí být zaručeno, že na přijímač záření dopadají jen tepelné paprsky zářiče. Zdrojem častých chyb je rušivé působící denní světlo; např. těleso ozářené sluncem nelze měřit. Měření je nezávislé na vzdálenosti přístroje od měřeného tělesa, pokud obraz tělesa kryje obrys přijímače záření. Kontrola se provádí vizuálně okulárem.

Obsahuje-li atmosféra mezi objektem a radiačním pyrometrem složky absorbující IČ-záření, dochází k ovlivnění výstupního údaje.

Ke zpracování signálu se u současně vyráběných přístrojů využívá moderních elektronických obvodů řízených mikroprocesorem. Do paměti se ukládají údaje o maximální a minimální měřené teplotě, střední hodnota teploty a údaj o rychlosti změny teploty. Na displeji je k dispozici měřený údaj i hlášení o poruchových stavech. Velikost emisivity se zadává prostřednictvím obslužné klávesnice.

Pásmové pyrometry

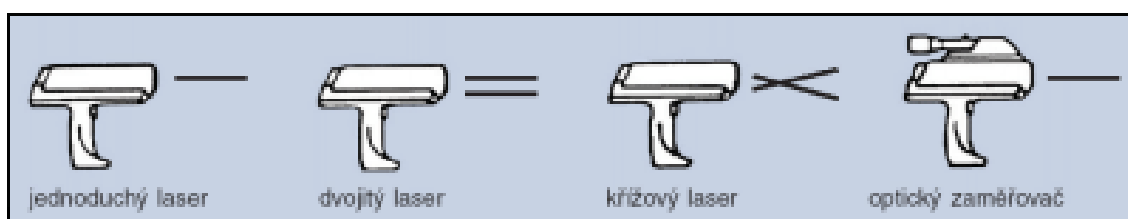
Tyto přístroje pracují v relativně úzkém rozmezí vlnových délek, přičemž volba tohoto rozmezí souvisí s požadovaným účelem měření. V poslední době bylo vyvinuto mnoho různých úzkopásmových přístrojů pro specifické aplikace. Měřicí rozsahy jsou značně proměnné a jako příklad lze uvést (-50 až +600) °C, (0 až 1 000) °C, (600 až 3 000) °C, (500 až 2 000) °C aj.

Požadované pásmo vlnových délek se vymezuje aplikací vhodné optiky, optického filtru a vhodnou spektrální citlivostí detektoru.

Jako čidla pásmových pyrometrů se využívá fotoelektrických detektorů, tj. fotonek, fotočlánků, fotodiod, fototranzistorů a fotoodporů. Jejich výhodou je velmi rychlá reakce na změny teploty a možnost měření teploty i malých objektů. Spektrální citlivost je závislá na typu čidla; např. selenové fotočlánky jsou citlivé v oblasti viditelného záření, křemíkové fotočlánky jsou citlivé v rozsahu 0,6 μ m až 1,8 μ m, fotoodpory PbS mezi 0,5 μ m až 3,6 μ m apod. Obecné schéma pásmového pyrometru odpovídá rovněž schématu na obr. 2.

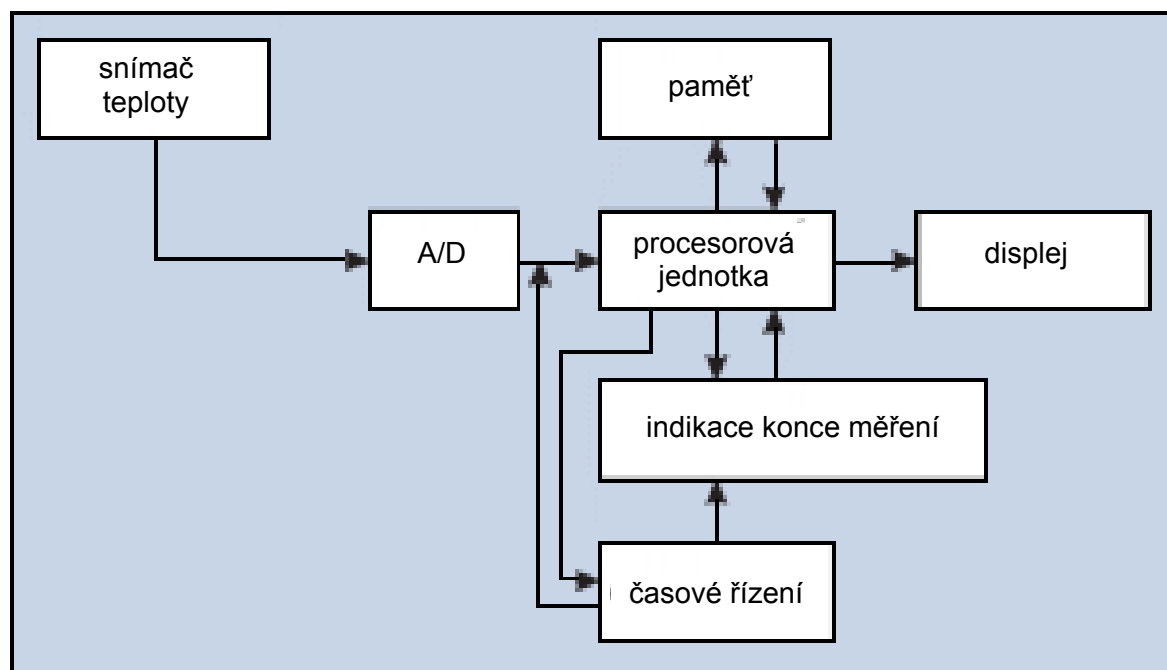
Energie vyzařovaná měřeným objektem prochází **optickým systémem** pyrometru a dopadá na detektor, který má požadovanou spektrální charakteristiku. Optický systém mívá pevnou ohniskovou vzdálenost (fixfokus). Volbou ohniskové vzdálenosti objektivu se určuje velikost snímané (měřené) plochy, kterou detektor na měřeném objektu „vidí“, a tím se definuje zorné pole přístroje. Zorný úhel má být takový, aby obraz měřeného objektu vyplnil celé zorné pole přístroje. Jestliže měřený objekt zorné pole přístroje nevyplňuje, je naměřená teplota průměrem teploty objektu a jeho pozadí. Pro zajištění správné teploty povrchu určitého objektu doporučují výrobci přístrojů, aby měřený objekt přesahoval plochu zorného pole nejméně o 50 %.

Většina pásmových pyrometrů umožňuje zaměřit přístroj na žádanou oblast měřeného objektu pomocí hledáčku podobně jako u fotoaparátu anebo pomocí vestavěného zdroje laserového záření, které usnadní zaměření tím, že na měřeném objektu vizuálně vyznačí snímanou plochu (obr. 3).



Obr. 3 Způsoby zaměření objektu u přenosných pyrometrů

Fotoelektrický detektor převádí tepelné záření na elektrické napětí, proud nebo odpor. Spektrální citlivost detektoru ve spojení s optikou určí spektrální charakteristiku pyrometru. Výstupní signál je zpracováván v elektronických obvodech. Blokové schéma elektronického modulu je znázorněno na obr. 4. Signál se v A/D převodníku digitalizuje, zpracuje se mikroprocesorem, který podle vloženého programu zajišťuje např. linearizaci, různé korekce a matematické úpravy měřených dat, jejich ukládání do paměti, kompenzaci vnějších vlivů a převody fyzikálních jednotek. Většina pásmových pyrometrů má displej, na kterém je možné číst naměřené hodnoty v požadovaných jednotkách (stupeň Celsia, stupeň Fahrenheita, kelvin). Také bývá možné zobrazit maximální a minimální teplotu v jistém časovém intervalu, vypočtenou průměrnou teplotu, rozdíl teplot apod.



Obr. 4 Blokové schéma elektronické části teploměru

Pásmové pyrometry jsou kalibrovány pro měření teploty absolutně černého tělesa. Měřený objekt je málokdy černým tělesem, a proto údaj pyrometru je všeobecně nižší než skutečná teplota. Pokud se u objektu nevezme v úvahu skutečná emisivita, bude přístroj ukazovat teplotu nižší, než je skutečná teplota měřeného objektu. Přístroje bývají vybaveny možností korekce emisivity měřeného povrchu. Důležitým úkolem je určení skutečné emisivity měřené plochy. To umožní, aby pyrometr měřil skutečnou teplotu. Protože pásmové pyrometry pracují bezdotykově, reagují na změny teploty téměř okamžitě. Umožňují tudíž měřit teplotu pohybujících se objektů nebo objektů, jejichž teplota se rychle mění.

I přes korekce může docházet u bezdotykových teploměrů k dalším chybám, způsobeným absorpcí tepelného záření v prostředí. Sklo, dým, některé plyny (např. CO₂, vodní pára) absorbují tepelné záření a naměřený údaj je potom nižší. U pásmových pyrometrů lze při vhodné volbě detektoru měřit tak, aby se absorpce záření těmito plyny rušivě neuplatňovala.

Aplikační možnosti bezdotykových teploměrů

Bezdotykové teploměry se vyrábí buď jako přenosné přístroje sloužící pro příležitostná měření nebo jako stabilní přístroje pro nepřetržitá měření (obr. 5).

Přenosné pyrometry bývají kompaktní přístroje a slouží většinou k příležitostnému měření. U kompaktních přenosných přístrojů tvoří optická část s detektorem, elektronikou, indikátorem a napájecími obvody jeden celek. Tyto přístroje jsou určeny pro měření obsluhovatelem. Přenosné přístroje mají bateriové napájení a nejsou uzpůsobeny pro zapojení do regulačního obvodu. Vyžadují periodické nabíjení napájecího zdroje.

Stabilní pyrometry jsou napájeny síťovým napětím a jsou instalovány ve vhodném místě pro kontinuální monitorování daného procesu. Přístroj tvoří obvykle dva samostatné celky. Snímací část, která obsahuje optiku a detektor záření, se umísťuje v blízkosti měřeného objektu. Optika může být pevně zaměřena na určitý bod nebo může ve spojení s mechanickým zařízením snímat širší oblast. Vyhodnocovací zařízení s elektronickými obvody se umísťuje v dozorň či na vhodném místě anebo je součástí nadřazeného měřicího a řídicího systému. Pyrometrické snímače bývají zabudovány tak, aby mohly trvale sledovat určitou plochu měřeného povrchu (zářiče). Při některých aplikacích je nutné těleso pyrometru chladit. Jeho teplota ovšem musí být vyšší než teplota rosného bodu. To se týká zejména optiky, jejíž orosení by působilo velkou chybou měření. Horké plyny a plameny jsou selektivními zdroji záření, jejichž teplotu může běžný pyrometr měřit jen stěží. Je proto vhodné umístit do topeniště na jednom konci uzavřenou žárovou trubicí a pyrometr zaměřit na její dno.



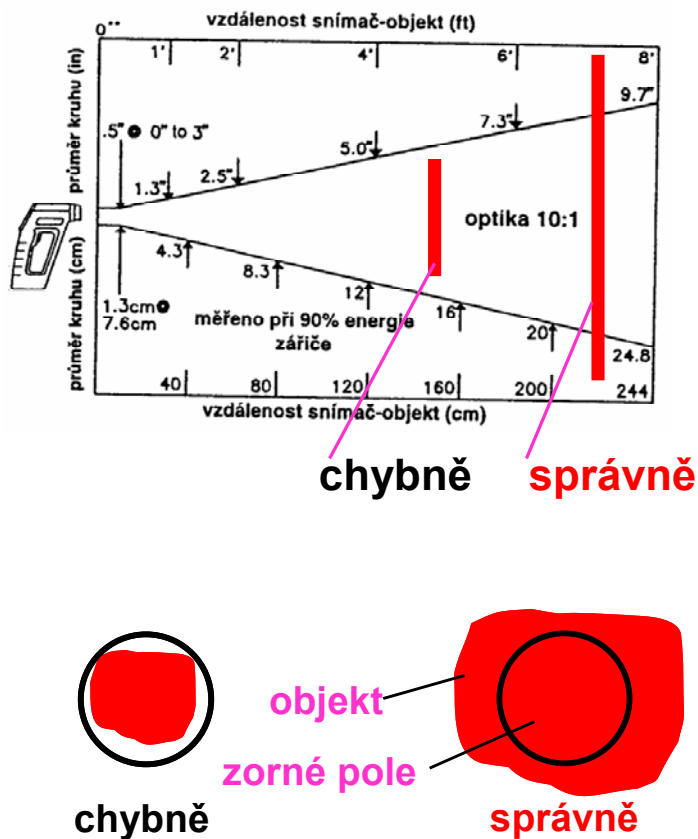
Obr. 5 Příklady provedení přenosného a stabilního bezdotykového teploměru

Bezdotykové teploměry mají velmi příznivé dynamické vlastnosti. Jejich odezva je velmi rychlá; časová konstanta T_{90} leží v rozmezí 100 ms až 1 s.

Bezdotykových teploměrů se s výhodou využívá pro diagnostická a inspekční měření.

Vlivy působící při měření bezdotykovými teploměry

Předpokladem správné funkce radiačních nebo pásmových pyrometrů je dodržení správné velikosti zaměřovací plošky na tělese, jehož teplota se měří. Velikost této plošky závisí na zaměřovacím úhlu pyrometru, na vlastnostech optické části pyrometru (ohnisková délka), na velikosti účinné plochy detektoru a na zaměřovací vzdálenosti. Vztah mezi zaměřovací vzdáleností a rozměrem měřené plochy výrobci většinou uvádějí v podobě grafu nebo tabulky. Při měření musí plocha měřeného objektu zcela vyplňovat zorné pole pyrometru. Pokud je tato podmínka splněna, tak výsledek měření je nezávislý na vzdálenosti přístroje od měřeného objektu. Nesplnění tohoto požadavku vede k chybným výsledkům měření, protože se měří průměrná teplota pozorované oblasti, tj. měřeného objektu a jeho okolí. Velikost snímané plochy roste se čtvercem vzdálenosti mezi pyrometrem a měřeným objektem. Souvislost mezi velikostí zorného pole IČ-teploměru a plochou snímaného objektu je patrná z obr. 6.



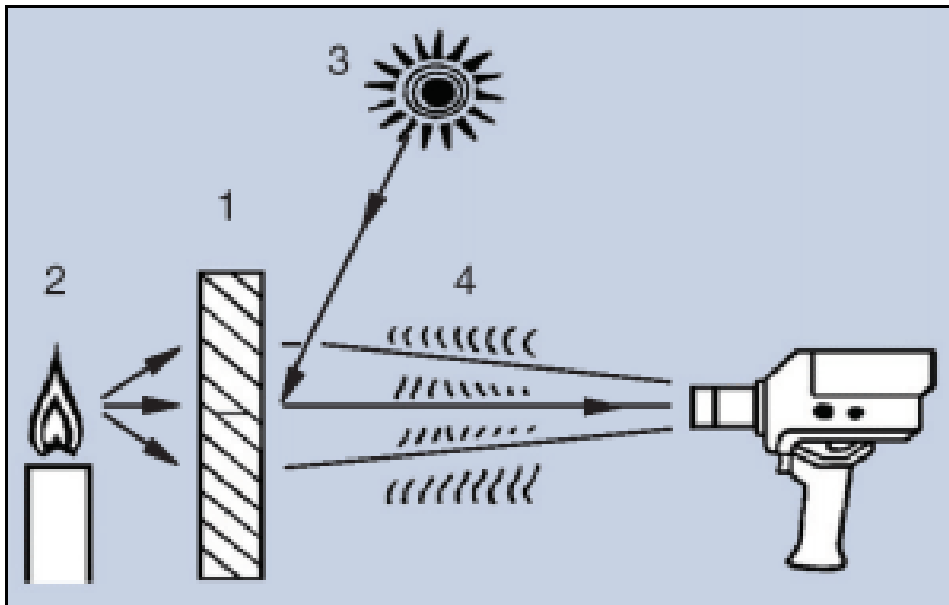
Obr. 6 Velikost zorného pole pyrometru a zaměření měřeného objektu

Hlavní zdroje chyb při měření teploty bezdotykovými teploměry pyrometry jsou schematicky znázorněny na obr. 7:

- měřený objekt **1** může být lesklý, drsný, barevný, černý nebo také průhledný, přičemž tyto vlastnosti se při měření uplatňují rozdílně,
- za průhledným měřeným objektem se může v některých případech nacházet zdroj rušivého záření **2**,
- u neprůhledného měřeného objektu může být zdrojem rušení odraz záření pocházejícího z rušivého zdroje **3** (např. slunce),
- prostředí **4** mezi měřeným povrchem a pyrometrem má proměnný činitel prostupu (CO_2 , H_2O , prach).

Další chyby mohou být způsobeny:

- nesprávně nastavenou emisivitou,
- nedodržení zaměřovací vzdálenosti určené výrobcem,
- znečištěnou optikou, stárnutím detektoru, odchylkami teploty přístroje od jmenovité hodnoty apod.



Obr. 7 Hlavní zdroje chyb při bezdotykovém měření teploty

Kalibrace bezdotykových teploměrů

Bezdotykové teploměry je nutno pravidelně kalibrovat a k tomu se velmi často používá černého tělesa.

Základem kalibrátorů s černým tělesem je obvykle válcová dutina vyrobená z kovového materiálu, povrchově upravena černou barvou. Emisivita povrchu dna dutiny je známa a pohybuje se v rozmezí 0,98 až 0,99. Teplota dna válcové dutiny je udržována na požadované hodnotě pomocí vhodného regulátoru teploty.

Při kalibraci se bezdotykový teploměr zaměří na plochu dna válcové dutiny (obr. 8).

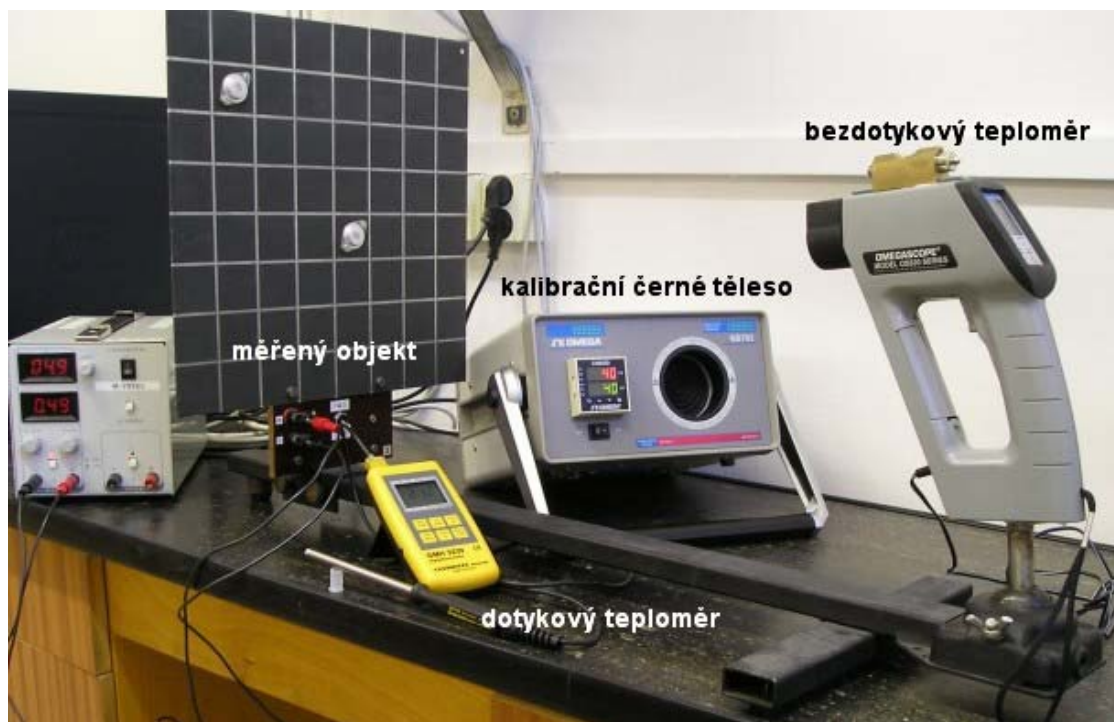


Obr. 8 Kalibrace bezdotykového teploměru

MĚŘENÍ ROZLOŽENÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY BEZDOTYKOVÝM IČ–TEPLOMĚREM

Popis měřicí aparatury

Základem měřicí aparatury (obr. 9) je **vyhřívaná kovová deska** o velikosti 35x35 cm, která může být vytápěna jedním nebo dvěma výkonovými tranzistory. Teplotu povrchu desky je možno měřit jednak dotykově termočlánkem a jednak bezdotykově IČ-teploměrem. Vyhřívaná deska je pohyblivě uchycena na upevňovací lavici společně s výkyvným držákem IČ-teploměru doplněného laserovým zaměřovačem. Na povrchu vyhřívané desky je vyznačen rastr, který slouží spolu s laserovým zaměřovačem k zaměření bezdotykového teploměru na požadované místo. Rastr rozděljuje desku na 8×8 stejných čtverců. Výkonové tranzistory, které slouží jako zdroj tepla, jsou umístěny uvnitř čtverců [2;2], resp. [3;2] a [5;5] - souřadnicový zápis [řádek; sloupec]. Zapojení příslušného tranzistoru se ovládá přepínačem. K napájení topného obvodu se používá **stabilizovaný zdroj P130R51D** (návod k přístroji viz *příloha A*).



Obr. 9 Laboratorní stanice pro bezdotykové měření teploty

Ruční bezdotykový teploměr

K bezdotykovému měření teploty se používá **přenosný IČ-teploměr OS 520**, který patří do skupiny pásmových pyrometrů a jeho vzhled je patrný z obr. 10.

Přístroj je vybaven digitálním LCD-displejem, který zobrazuje aktuální měřenou teplotu, dále minimální, maximální nebo střední teplotu, případně rozdíl teplot, nastavenou hodnotu emisivity a další znaky (obr. 11).

Přístroj umožňuje:

- měření teploty povrchu objektu ve vzdálenosti od 132 mm do přibližně 59 m
- měření teploty různých povrchů při nastavení emisivity od 0,1 do 1,00 s krokem 0,01

Teploměr je vybaven tlačítkovou spouští s elektronickou aretací, zvukovou a vizuální signalizací překročení mezních hodnot.



Obr. 10 Ruční infračervený teploměr OS 520



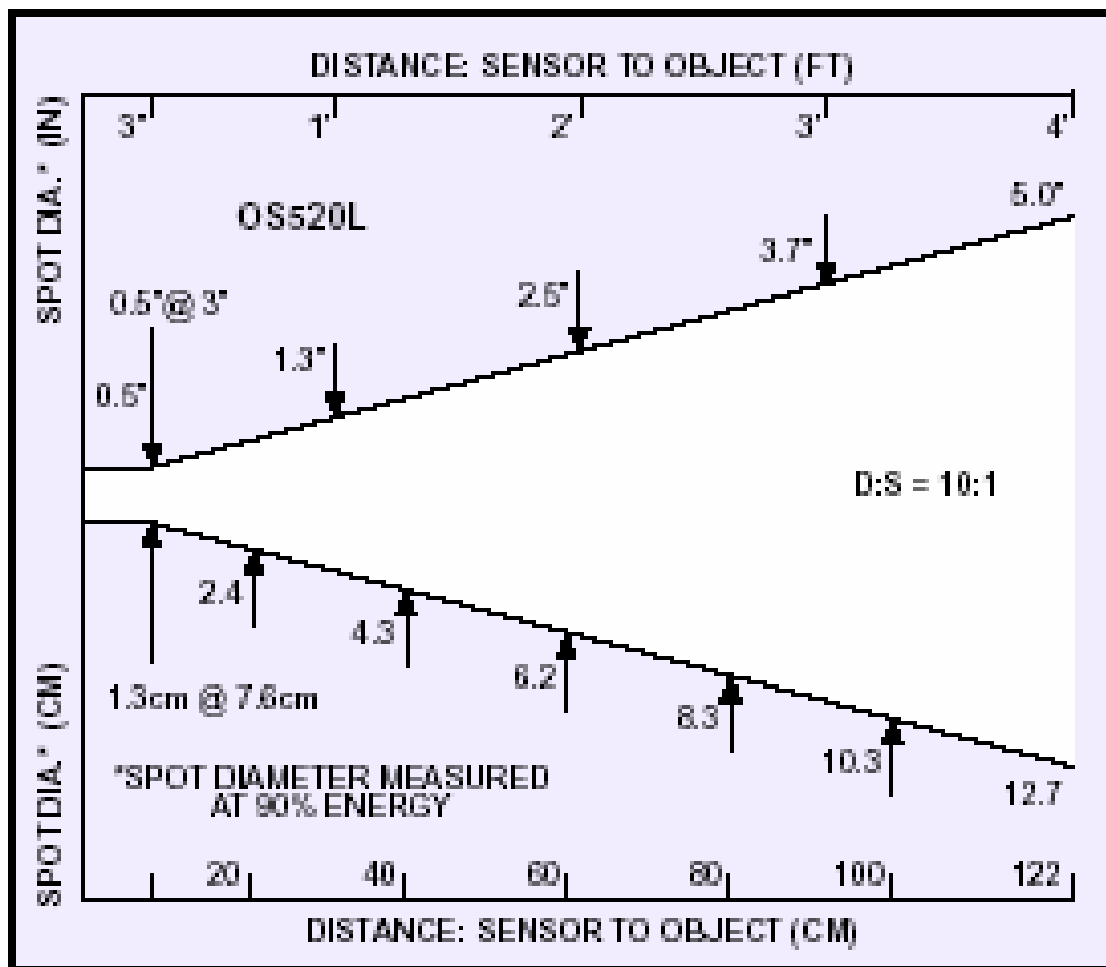
Obr. 11 Displej teploměru OS 520

Teploměr OS 520 je napájen ze 4 baterií velikosti AA nebo ze síťového adaptéru. Analogový výstup 1 mV na stupeň umožňuje připojení k zařízení pro sběr dat (např. k zapisovači nebo počítači).

Podrobnější popis přístroje spolu s pokyny k obsluze jsou obsaženy v návodu k přístroji (viz **příloha B**).

Zorné pole teploměru OS 520 je znázorněno na obr. 12.

↓ průměr měřené plochy (cm, resp. in)



→ vzdálenost snímače a měřeného objektu (cm)

Obr. 12 Zorné pole teploměru OS 520

Černé těleso

Ke kalibraci teploměru se využívá kalibrační zařízení s černým tělesem OMEGA BB702 (obr. 13).



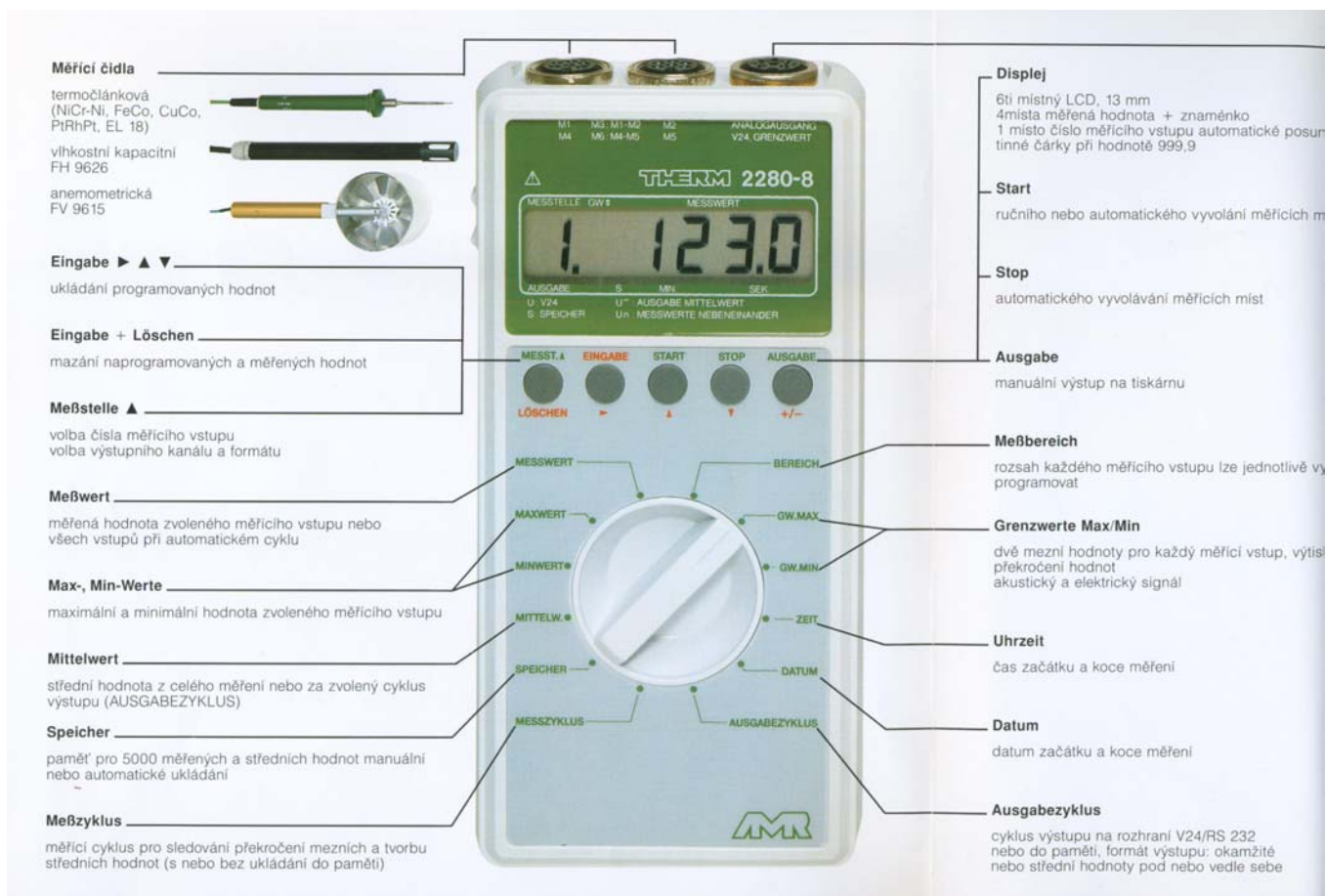
Obr. 13 Kalibrační zařízení s černým tělesem

Základem kalibračního zařízení je s černá válcová dutina umístěná na čelním panelu přístroje. Teplota této dutiny je udržována na požadované hodnotě PID-regulátorem s přesností $\pm 0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Požadovanou hodnotu teploty je možno nastavit pomocí tlačítek na panelu regulátoru v rozmezí od teploty, která je o $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší než je teplota okolí až do $215\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Další podrobnosti o kalibračním zařízení jsou uvedeny v návodu k přístroji (viz *příloha C*).

Teploměry pro dotykové měření teploty

Pro dotykové měření teploty se využívá **termočlánek typu T**, který je přilepen na rubové straně vyhřívané desky v poli [3; 3]. K vyhodnocení signálu termočlátku se používá přenosný **měřicí přístroj THERM 2280-8**. Jedná se o programovatelný měřicí přístroj umožňující měřit až 6 vstupních veličin. Na vstup je možno připojovat různé typy termočlávků, odporových teploměrů, čidlo vlhkosti či průtoku. Přístroj, jehož funkce je řízena mikroprocesorem, měří okamžité hodnoty, sleduje překročení mezních hodnot, počítá průměry a diference a hodnoty ukládá do paměti (paměť o kapacitě 32 kB pojme až 5 000 naměřených hodnot). Přístroj je vybaven analogovým i digitálním výstupem. Základní funkce přístroje jsou patrné z obr. 14.



Obr. 14 Programovatelný měřicí přístroj THERM 2280-8

Další podrobnější údaje jsou uvedeny v návodu k přístroji (viz *příloha D*).

Pro kontrolní dotykové měření v libovolném místě vyhřívané desky je možno použít **digitální teploměr GREISINGER typ GMH 3230** s výměnnými termočláňkovými snímači (obr. 15). Pro měření povrchové teploty jsou v laboratoři k dispozici teploměrné sondy s termočláňky typu K (NiCr-Ni) s odpruženým měřicím spojem termočláňku ve dvojitým provedení, které je patrné z obr. 16.



Obr. 15 Digitální teploměr GREISINGER typ GMH 3230



Obr. 16 Termočláňkové sondy

Další podrobnější údaje k digitálnímu teploměru jsou uvedeny v návodu k přístroji (viz *příloha E*).

Poznámka: Přílohy A až E obdrží posluchači v laboratoři před začátkem měření.

Zadání laboratorní úlohy:

1. Proved'te kalibraci bezdotykového teploměru pomocí černého tělesa OMEGA BB 702
2. Stanovte emisivitu vyhřívané desky pomocí dotykového měření povrchové teploty termočlánkem měď-konstantan (typ T) s vyhodnocovacím zařízením THERM 2280-8.
3. Proměřte rozložení teploty na povrchu desky IČ-teploměrem OS 520 při vyhřívání desky jedním výkonovým tranzistorem. Naměřená data zpracujte graficky.
4. Proměřte teplotu vybraných míst dotykovými sondami digitálního teploměru GREISINGER a porovnejte s údajem teploměru THERM a bezdotykového teploměru.

Pokyny k provedení práce:

1. Kalibrace bezdotykového teploměru pomocí černého tělesa OMEGA BB 702

Zapněte kalibrační zařízení s černým tělesem, nastavte požadovanou hodnotu teploty 35 °C a vyčkejte ustálení teploty černého tělesa. Vzhledem k tomu, že emisivita černého tělesa je deklarována výrobcem hodnotou 0,96, nastavte na tuto hodnotu emisivitu na displeji IČ-teploměru. Teplotu černého tělesa změřte ze vzdálenosti asi 40 cm. Při zaměřování teploměru respektujte polohu laserového zaměřovače vůči optice IČ-teploměru (paralaxa). Odečet teploty proveďte pětkrát, zaznamenejte průměrnou hodnotu. Měření opakujte postupně po 5 °C až do 60 °C.

2. Stanovení emisivity vyhřívané desky

Obvod vytápění desky propojte se svorkami zdroje.

Páčkový přepínač na spodní části desky určuje, který výkonový tranzistor bude zdrojem tepla. Pokud je přepínač v horní poloze, je v provozu tranzistor umístěný v poli [2; 2], resp. [3; 2], při přepnutí přepínače do dolní polohy vyhřívá desku tranzistor v poli [5; 5]. Podle zadání zvolte vyhřívání desky buď tranzistorem v poli [2; 2], resp. [3; 2] nebo [5; 5]. Na napájecím zdroji nastavte napájecí napětí na hodnotu zadanou asistentem (např. v rozmezí 10 až 15 V).

K ustálení teploty vyhřívané desky dojde asi po 20 min. Ustálení teploty kontrolujte měřením teploty termočlánkem umístěným v poli [3; 3]. Pro ustálený stav teploty zaznamenejte hodnoty napájecího proudu a napětí a vypočtete příkon topení.

Vzdálenost IČ-teploměru od vyhřívané desky upravte tak, aby zorné pole bezdotykového teploměru odpovídalo kružnici vepsané do čtverce rastru desky. IČ-teploměr zaměřte na pole [3; 3], jehož teplota je měřena kontaktním termočlánkem. Při zaměřování IČ-teploměru respektujte paralaxu.

Hodnotu emisivity na IČ-teploměru upravte tak, aby teplota udávaná bezdotykovým teploměrem byla stejná jako teplota měřená termočlánkem. Při vyhodnocování měření berte v úvahu výsledek kalibračního měření s černým tělesem. Zjištěná hodnota emisivity odpovídá emisivitě vyhřívané desky. Měření opakujte minimálně pětkrát.

3. Měření rozložení teploty na povrchu desky

Na IČ-teploměru nastavte emisivitu vyhřívané desky a postupně měřte teplotu jednotlivých polí. Naměřené hodnoty zapište do tabulky a zpracujte do 3D-grafu. V závěru protokolu diskutujte výsledky měření.

4. Porovnání dotykového a bezdotykového měření teploty

Proměřte postupně teplotu vybraných míst na vyhřívané desce jak dotykovými teploměrnými sondami, tak IČ-teploměrem a porovnejte výsledky měření.

Teplotu pole [3; 3] změřte jak teploměrem THERM s termočlánkem umístěným na zadní stěně desky, tak oběma sondami GREISINGER z obou stran vyhřívané desky.

Dále změřte dotykovými sondami a IČ-teploměrem teplotu povrchu vyhřívacího tranzistoru a dalších 3 polí např. [1; 1], [1; 4] a [4; 6],