

# Bezkontaktní měření teploty

---

I když je **bezkontaktní měření teploty** velmi jednoduché - opravdu stačí "namířit na měřený objekt a na displeji odečíst teplotu" - pro dosažení správných hodnot, co nejvyšší přesnosti a pro využití všech předností, které tato technika nabízí, je potřebné znát alespoň základní principy a vlastnosti tohoto měření.

## Teoretický úvod

### Jaké jsou výhody bezdotykového měření teploty?

1. **Je rychlé** (v milisekundovém rozsahu) - šetří se čas a navíc umožňuje uskutečňovat mnohem více měření.
2. **Umožňuje měření teploty pohybujících se objektů** (rotujících součástí, výrobků na dopravnících apod).
3. **Může se bezpečně provádět měření na nebezpečných nebo nesnadno dostupných objektech** (součásti pod elektrickým napětím, pohyblivé součásti, vzdálené objekty).
4. **Lze bez problémů měřit i velmi vysoké teploty** (nad 1300 °C). V těchto případech není vůbec možno použít dotykových teploměrů, nebo mají velmi omezenou životnost.
5. **Není zde žádné ovlivnění měřeného objektu** - není z něho při měření odebírána žádná energie. Například v případě špatných vodičů tepla, jako jsou plasty nebo dřevo, jsou měření ve srovnání s dotykovým měřením velmi přesná bez zkreslení měřených hodnot.
6. **Není zde riziko kontaminace a nejsou zde žádné mechanické účinky na povrch měřeného objektu.** Nedojde tedy např. k poškrábání lakovaných povrchů a je možno měřit i měkké povrchy. Měření v potravinářství je naprosto hygienické.

### Na co je třeba dbát při používání bezdotykových teploměrů

1. **Měřený objekt musí být pro infračervený teploměr opticky** (infračerveně opticky) **viditelný** . Vysoké úrovně kouře nebo prachu snižují přesnost měření. Pevné překážky, jako jsou uzavřené kovové reakční nádoby, dovolují pouze povrchová měření - vnitřní teplota v nádobě nemůže být takto měřena.
2. **Optika čidla musí být chráněna před prachem a kondenzujícími kapalinami** (výrobce pro to dodává příslušná zařízení).
3. **Je možno měřit pouze povrchovou teplotu**, přičemž **je nutno brát v úvahu různou emisivitu** jednotlivých materiálů.

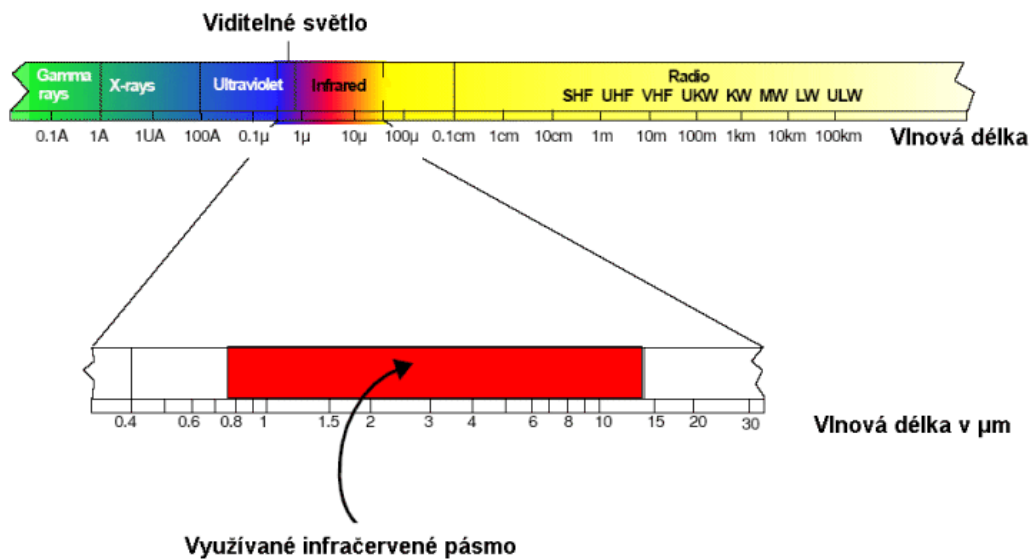
## Shrnutí

Hlavními výhodami bezdotykových teploměrů jsou rychlost a snadnost měření, možnost měření i vzdálených nebo pohybujících se předmětů a předmětů pod napětím,

neovlivňování měřeného povrchu a schopnost měřit i vysoké teploty až do 3000 °C. Pamatujte, že lze měřit pouze povrchovou teplotu.

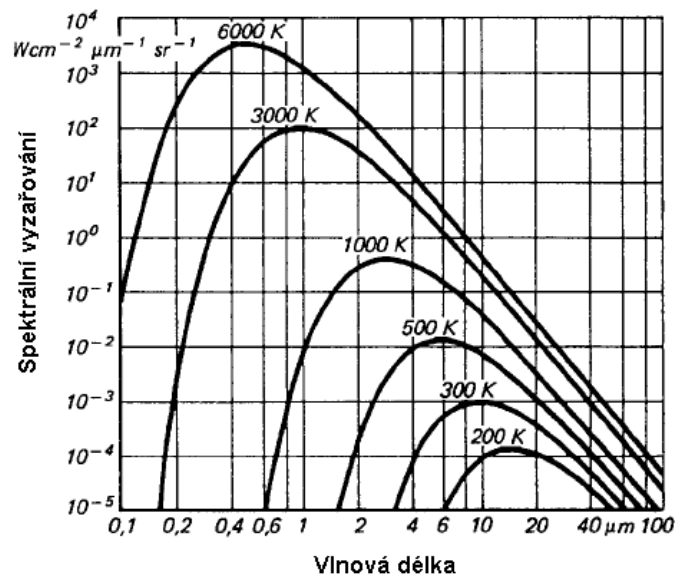
## Princip

Každé uskupení hmoty o teplotě nad absolutní nulu ( $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ ) vysílá záření, odpovídající jeho teplotě. To se nazývá charakteristické záření. Jeho příčinou je vnitřní mechanický pohyb molekul. Intenzita tohoto pohybu závisí na teplotě objektu. Protože pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetické záření (fotonové částice). Tyto fotony se pohybují rychlostí světla a chovají se dle známých optických zákonů. Mohou být odklány, soustředěny čočkami nebo odraženy odraznými povrchy. Spektrum tohoto vyzařování pokrývá vlnové délky od 0,7 do 1000  $\mu\text{m}$ . Z tohoto důvodu toto záření nemůže být normálně viditelné pouhým okem. Tato oblast vlnových délek leží za červenou částí viditelného světla a nazývá se proto "infra"-červená (z latiny).



Obrázek 1: Spektrum záření

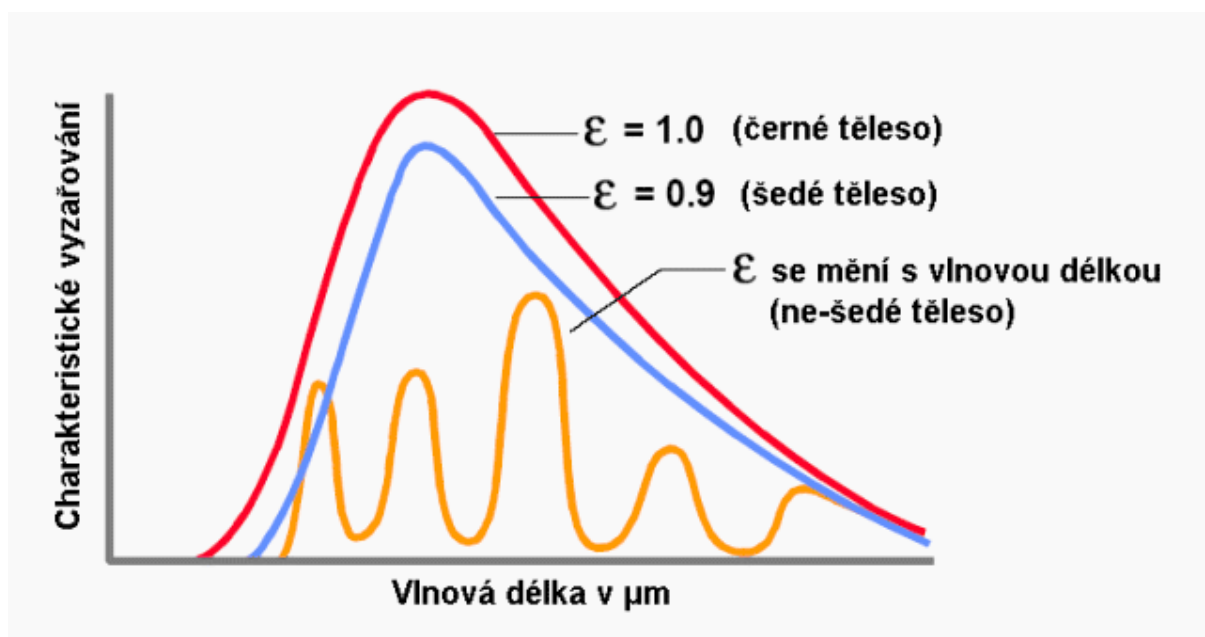
Následující diagram ukazuje vyzařování tělesa při různých teplotách. Jak je patrné, tělesa při vysokých teplotách vyzařují ještě i malé množství viditelného záření. Proto každý může vidět předměty při velmi vysokých teplotách (nad 600 °C) žhnoucí někde mezi červenou a bílou. Zkušební taviči dovedou dle barvy odhadnout dosti přesně teplotu. Od r.1930 se používaly v ocelárnách a železárnách klasické pyrometry s mizícím vláknem. Neviditelná část spektra však obsahuje až 100 000 krát více energie. Na tom staví infračervená technologie. Na diagramu je rovněž vidět, že maximum vyzařování se posunuje směrem ke stále kratším vlnovým délkám když roste teplota měřeného objektu a že křivky tělesa se při různých teplotách nepřekrývají. Vyzařovaná energie v celém vlnovém rozsahu (plocha pod každou křivkou) roste se 4. mocninou teploty. Tyto vztahy byly zjištěny v r.1879 Stefanem a Boltzmannem a ilustrují, že z vyzařovaného signálu lze jednoznačně určit teplotu.



Obrázek 2: Rozložení intenzity záření na vlnové délce

Z obrázku je patrné, že ideální by bylo nastavit infračervený teploměr na co nejširší možné vlnové pásmo, aby získal co nejvíce energie (odpovídající ploše pod křivkou), neboli signálu z měřeného tělesa. Jsou však určité případy, v kterých to není vždy výhodné. Například na diagramu intenzita vyzařování při 2  $\mu\text{m}$  roste mnohem více se zvyšováním teploty než při 10  $\mu\text{m}$ . Čím větší je rozdíl vyzařování při určitém teplotním rozdílu, tím přesněji infračervený teploměr pracuje. Podle posunu maxima vyzařování ke kratším vlnovým délkám s rostoucí teplotou (Wienův zákon posunu) odpovídá rozsah vlnových délek měřicímu teplotnímu rozsahu pyrometru. Při nízkých teplotách infračervený teploměr pracující při 2  $\mu\text{m}$  by přestával pracovat pod 600 °C a neviděl by téměř nic, neboť by bylo příliš málo vyzařované energie. Dalším důvodem pro výrobu přístrojů s různými vlnovými rozsahy jsou vlastnosti emisivity některých materiálů známých jako "ne-šedá tělesa" (např. sklo, kovy a plastové povlaky). Diagram zachycuje vyzařování ideálního, tzv. "černého tělesa". Mnoho těles však emituje při stejné teplotě méně energie. Vztah mezi skutečnou vyzařovanou energií a energií vyzařovanou černým tělesem stejné teploty je znám jako emisivita  $\epsilon$  (epsilon) a může mít maximální hodnotu 1 (těleso v tom případě odpovídá ideálnímu černému tělesu) a minimální hodnotu 0. Tělesa s emisivitou menší než 1 se nazývají šedá tělesa. Tělesa, jejichž emisivita závisí rovněž na teplotě a vlnové délce se nazývají ne-šedá tělesa (non-gray bodies).

Mnoho nekovových materiálů jako je dřevo, plasty, guma, organické materiály, kámen nebo beton mají povrch, který odráží velmi málo, a proto mají vysokou emisivitu mezi 0,8 a 0,95. Naopak kovy - zvláště ty s leštěným nebo lesklým povrchem - mají emisivitu kolem 0,1.



Obrázek 3: Zavislost emisivity na vlnové délce

## Shrnutí

**Emisivita je mírou schopnosti daného předmětu vyzařovat infračervenou energii**, která nese informaci o jeho teplotě. Emisivita **může nabývat hodnot od 0 (lesklé zrcadlo) do 1,0 (černé těleso)**. Většina organických, nabarvených nebo zoxidovaných povrchů má emisivitu blízkou hodnotě 0,95. Proto mají některé jednodušší teploměry emisivitu pevně nastavenou na tuto hodnotu. **Dokonalejší přístroje disponují možností uživatelského nastavení emisivity**, aby ji bylo možno lépe přizpůsobit skutečným podmínkám měření.

**Jestliže potřebujete měřit lesklý předmět** (zejména s teploměrem s pevně nastavenou emisivitou 0,95), ošetřete dle možnosti jeho povrch matnou černou barvou nebo vhodnou samolepicí páskou a měřte teplotu na tomto upraveném místě.

## Měření

**Úkol:** Stanovte emisivitu vzorků materiálů s různou povrchovou úpravou pomocí infračerveného teploměru a dotykového teploměru.

**Pomůcky:** Infra teploměr s pevně nastavenou emisivitou (0,95), dotykový teploměr, zdroj, tepla, vzorky materiálu.

**Postup:** Topení s připevněnými vzorky připojíme ke zdroji. Napětí nastavíme tak aby protékal maximální povolený proud (označeno na zdroji jinak cca 10-11V max 2.5A). Při měření bezdotykovým teploměrem dbáme na to, abychom měřili opravdu jen vzorek a ne i široké okolí. Teploměr potřebuje při určité velikosti objektu nějakou maximální vzdálenost, aby měl v zorném (měřeném) poli jen měřený objekt. Pozor zaměřovací laser je umístěn mimo osu a jako takový při malých vzdálenostech ukazuje nesmyslně, je určen pro zaměřování ploch na větší vzdálenosti. Před změřením teploty vždy vypneme topení a cca 30 sekund vyčkáme, aby měla teplota šanci se vyrovnat na celém objemu měřeného vzorku. Teplotu měříme na označených plochách materiál, tedy měď leštěný a oxidovaný povrch, hliník leštěný a oxidovaný povrch a železo oxidované/leštěné.

Pro stanovení emisivity potřebujeme alespoň 5 páru skutečné teploty a teploty změřené na povrchu o neznámé emisivitě, měříme tedy pár skutečná teplota (termočlánek) a infračervená teplota.

Materiál necháme ohřívat maximálně na 60°C kdy v průběhu provedeme alespoň 5 měření.

**Zpracování:** Naměřené hodnoty vložíme do tabulky a vyneseme do grafu. Emisivitu potom určíme podle vztahu

$$\varepsilon_m = \frac{t_{I\check{C}}}{t_{\check{c}erna} \varepsilon_{tepl}}$$

Kde  $\varepsilon_m$  je emisivita materiálu t jsou teploty naměřené patřičnými teploměry a  $\varepsilon_{tepl}$  je 0.95 (emisivita nastavená na IČ teploměru)

Pro odstranění chyby měření máme dvě možnosti, buď vypočteme emisivitu pro každou kombinaci teplot a vypočteme průměr pro daný povrch, nebo lépe, určíme ze směrnice spojnice trendu kdy, pokud máme spojnici trendu ve tvaru  $y=kx+q$ , je hledaná emisivita rovna k, pokud jste vynášeli na x skutečnou teplotu a na y naměřenou infrateploměrem. Druhá metoda je lepší jelikož odstraňuje chybu způsobenou měřením pozadí (Obzvláště u leštěných povrchů).

Výsledky se pokuste zdůvodnit v závěru a porovnejte s vašimi očekáváními.