

MĚŘENÍ TEPLoty

V nauce o teple je základní veličinou **teplota**. Pro měření teploty jsou zavedeny různé teplotní stupnice, z nichž je v praktickém životě nejvíce rozšířena Celsiova stupnice. Nula této stupnice je definována jako rovnovážný stav chemicky čisté vody a ledu a teplotní stupeň je definován jako jedna setina teplotního intervalu mezi bodem tuhnutí a bodem varu vody, který odpovídá rovnovážnému stavu mezi vodou a její sytou párou. Pro určování termodynamických veličin je třeba používat termodynamickou teplotu, která se udává v kelvinech. Platí, že rozdíl teplot 1 kelvin (1 K) se rovná rozdílu teplot 1 °C a nula termodynamické teploty (absolutní nula) je posunuta na hodnotu $-273,15\text{ °C}$.

Při konkrétních praktických měřeních teploty se využívá teplotní závislosti různých veličin, které jsou snadno přístupné přímému měření. Podle druhu této veličiny **rozeznáváme teploměry dilatační, bimetalické, odporové, termočláňkové a radiční, eventuálně speciální**.

Dilatační teploměry využívají teplotní roztažnost látek ve skupenství plynném, kapalném nebo pevném. V praxi se nejčastěji používají skleněné teploměry naplněné kapalinou (líh, rtuť aj.). Tato kapalina je shromážděná v nádobce, ze které vystupuje do kapiláry. Stupnice, na které se čte přírůstek objemu kapaliny v závislosti na teplotě, je obvykle vynesena ve stupních Celsia. Obvykle používanou náplní je rtuť. Rozsah rtuťových teploměrů je na jedné straně omezen bodem tuhnutí rtuti (-38 °C), na druhé straně bodem varu (asi 350 °C). Rozsah rtuťových teploměrů lze zvýšit tím, že prostor nad rtutí vyplníme plynem pod tlakem až několik MPa, tím lze zvýšit rozsah měřených teplot až do 650 °C . Pro nízké teploty se jako náplně teploměrů používají organické kapaliny (např. pentan pro rozsah od -200 °C do $+20\text{ °C}$). Přesnost těchto teploměrů bývá asi 1 % rozsahu, u speciálních provedení až $0,05\text{ °C}$.

V technické praxi se často pro regulaci teplot používají **kontaktní teploměry**. Jsou to rtuťové teploměry, do nichž jsou zavedeny dva drátky připojené ke spínacímu relé. První drátek je pevný, zavedený do nádoby se rtutí, druhý drátek je posuvný a jeho polohu můžeme nastavit podle žádané teploty. Stoupne-li teplota tak, že se rtuťový sloupec dotkne posuvného drátku, uzavře se přes rtuť elektrický obvod a sepne relé, které např. vypne elektrické topení.

Bimetalické teploměry jsou tvořeny spojením pásků dvou kovů, které se liší v teplotní roztažnosti. V důsledku této skutečnosti způsobují změny teploty deformaci soustavy, kterou je možno zaznamenat a převést na určení teploty. Tento typ teploměru bývá často používán v jednodušších regulačních systémech teploty (např. chladničky, žehličky). Rozsah: od -85 °C až do 650 °C , dosahovaná přesnost až 0,5 % údaje.

Odporové teploměry jsou založeny na měření změny elektrického odporu s teplotou. Obvykle to jsou platinové rezistory o jmenovitém odporu buď $100\ \Omega$ nebo $1000\ \Omega$. Ze změn jejich odporu lze měřit teplotu v rozsahu od -233 °C až do 500 °C s přesností 0,1 °C.

Termočláňkové teploměry měří termoelektrická napětí vznikající rozdílem teplot mezi spoji dvou různých kovů. Vzniklá termoelektrická napětí se převádějí na odpovídající změny teploty. V technické praxi se používají zejména tyto dvojice kovů:

- Fe/konstantan pro rozsah od -185 °C až do 720 °C s přesností 0,4 % údaje,
- NiCr/NiAl pro rozsah od -250 °C až do 1370 °C s přesností 0,4 % údaje,
- PtRh5/Pt pro rozsah od 0 °C až do 1500 °C s přesností 0,25 % údaje.

Měřená termoelektrická napětí se pohybují v rozsahu jednotek až desítek mV.

Radiační teploměry (pyrometry) měří teplotu na základě záření emitovaného z povrchu objektu. Teploměry porovnávají intenzitu monochromatického světla s okalibrovaným zdrojem nebo měří zářivou energii emitovanou zdrojem v širokém spektrálním oboru. Měřicí rozsah je od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do cca $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$, přesnost 0,3 % rozsahu.

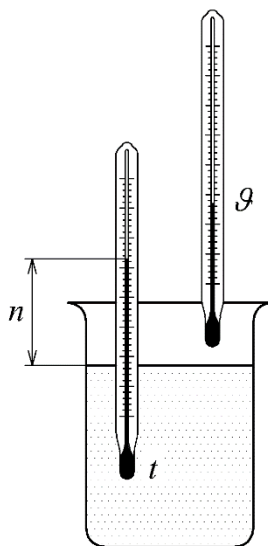
Speciální teploměry jsou např. kryogenické teploměry pro měření velmi nízkých teplot nebo teplotně citlivá barviva používaná pro orientační měření v rozsahu od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností asi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Použití teploměru s velkou přesností ovšem ještě nezaručuje přesné měření teploty, protože každý teploměr více či méně narušuje teplotní pole, do něhož zasahuje. Při měření časově proměnné teploty vzniká další chyba vlivem zpoždění údaje teploměru. Zaručit měřenou teplotu s krajní chybou menší než $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ není snadné a odstranění systematických chyb měření je pro jednotlivé druhy teploměrů individuální a často obtížná úloha.

Kapalinové teploměry mají stupnici kalibrovanou při úplně ponořeném sloupci do příslušné lázně. Nemůžeme-li při měření ponořit teploměr dostatečně hluboko, je potřeba provést opravu na neponořenou část sloupce – korekci na vyčnívající sloupec. Za zjednodušených předpokladů lze tuto korekci Δt vyjádřit následujícím vztahem:

$$\Delta t = (\bar{\beta}_k - \bar{\beta}_s)n(t - \vartheta), \quad (1)$$

kde $\bar{\beta}_k$, $\bar{\beta}_s$ jsou střední součinitelé teplotní roztažnosti teploměrné kapaliny (rtuti) a skla, n je počet dílků (ve $^{\circ}\text{C}$) rtuťového sloupce teploměru, které vyčnívají z lázně, t je teplota změřená teploměrem, ϑ je střední teplota vyčnívajícího rtuťového sloupce, tj. teplota okolí (obr. 1).



Obr. 1

Pro rtuťový teploměr zhotovený z běžně užívaného skla je rozdíl $\bar{\beta}_k - \bar{\beta}_s = 0,00016\text{ K}^{-1}$, takže korekce daná vztahem (1) činí přibližně

$$\Delta t = 0,00016n(t - \vartheta). \quad (2)$$

Pro lihový teploměr je $\overline{\beta}_l - \overline{\beta}_s = 0,0011 \text{ K}^{-1}$, β_l charakterizuje líh. Teplotu ϑ přibližně změříme pomocným teploměrem jako teplotu blízkého okolí vyčnívajícího sloupce, korekce Δt se přičítá k hodnotě t čtené na teploměru (s příslušným znaménkem vyplývajícím z použití vzorců (1), eventuelně (2)). Tato korekce je do 1 %.

Příklad:

Údaj teploměru je $90 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota okolí $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Teploměr je ponořen po dílek $30 \text{ }^\circ\text{C}$, tedy $n = 90 - 30 = 60$ dílků vyčnívá z kapaliny. Korekce na vyčnívající sloupec činí

$$\Delta t = 0,00016 \cdot 60 \cdot (90 - 20) = 0,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

Korekce údaje teploty na vyčnívající sloupec má svůj význam u velmi přesných měření teploty pomocí kvalitních a přesně kalibrovaných teploměrů. Při demonstračních měřeních tuto korekci obvykle neprovádíme.

Při měření teploty se můžeme dopustit i dalších chyb. Teplotní údaje máme číst raději z větší vzdálenosti, kolmo ke stupnici, abychom se vyvarovali chyby vznikající paralaxou. Mrtvý chod teploměru je způsoben ulpíváním rtuti na stěnách kapiláry a chybu vznikající v důsledku tohoto jevu potlačíme mírným poklepem na teploměr před čtením teploty. Poloha teploměru má být svislá, protože v této poloze jsou teploměry kalibrovány. Velikosti uvedených chyb jsou řádu $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, u přesnějších teploměrů řádu $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$. Proto je bereme v úvahu pouze tehdy, provádíme-li velmi přesná měření.