

8 Návody na laboratórne merania

(2. časť)

8.1 Meranie teploty

Z pozorovania vyplynulo, že vnímanie teplejšieho a chladnejšieho korešponduje so zmenou objemu látok, napríklad so zvýšeným pocitom tepla sa objem látok zväčšoval a naopak pri pocite chladu sa zmenšoval. Rozťažnosť sa stala meradlom teploty. Zároveň sa pozorovaním zistilo, že miera rozťažnosti sa líši podľa použitej teplomernej látky. Postupným experimentálnym pozorovaním však bolo zistené, že priebehy sú pre zriedené plyny pri konštantnom tlaku vzájomne lineárne a tak sa stali najvhodnejšou teplomernou látkou pre presné meranie teploty. Lineárna závislosť umožnila presnú kvantifikáciu teploty, ako fyzikálnej veličiny a vznik presne definovaných *teplotných stupníc*, medzi ktoré patrí napríklad Celziova teplotná stupnica. Vedci zistili, že pre všetky dostatočne zriedené plyny je vždy smernica závislosti objemu na Celziovej teplote (pri konštantnom tlaku) rovnaká a rovná $1/(273,15\text{ }^{\circ}\text{C})$. Tiež rozpínavosť plynov vykazovala rovnaké správanie vrátane číselnej hodnoty smernice závislosti tlaku plynu od teploty pri konštantnom objeme. To umožnilo s veľkými výhodami zaviesť tzv. *absolútnu teplotu* v Kelvinoch so zodpovedajúcou Kelvinovou teplotnou stupnicou. *Absolútna teplota* je priamo úmerná objemu ideálneho plynu pri konštantnom tlaku, resp. tlaku ideálneho plynu pri konštantnom objeme.

8.1.1 Teplota

Teplota je stavová veličina, ktorá vyjadruje mieru strednej kinetickej energie stavebných častíc látky. Nultý zákon termodynamiky opisuje teplotu ako veličinu, ktorá má v každom mieste izolovanej sústavy v rovnováhe rovnakú hodnotu.

Teplota ako pojem bola primárne zavedená z dôvodu vnímania rôznych pocitov zmyslami. Tu má pôvod aj jej medzinárodný názov vyjadrený latinským slovom "temperatūra", čo znamená "príjemný pocit". V praktickom živote však bolo potrebné popísať lepšie tieto pocity, čo viedlo k snahám o jej kvantifikáciu a teda aj zostrojenie zariadenia, ktoré by ju umožňovalo presne merať. Najskôr bolo pozorované, že zvýšenie teploty spôsobuje zmenu rozmerov, alebo tvaru. Sledované javy tak umožňovali pomocou viditeľných prejavov indikovať veľkosť teploty, čím sa začalo s jej meraním. Najskôr sa začalo používať meranie teploty pomocou rozťažnosti kvapalín. Prvé záznamy sú už zo staroveku. Héron Alexandrijský popísal vzduchový termoskop, ktorý je najstarším doloženým prístrojom slúžiacim k indikácii tepelných stavov. Postupne sa vyvíjali rôzne druhy teplomerov, od dilatačných až po moderné elektrické, ktoré využívajú závislosť elektrických veličín od teploty.

Na meranie teploty sa používajú rôzne teplotné stupnice. Najznámejšia je Celziova teplotná stupnica a Kelvinova teplotná stupnica, existujú však aj Farenheitova, Réaumurova teplotná stupnica a pod. (Obr. 39).

8.1.2 Teplotné stupnice

➤ Kelvinova teplotná stupnica

teplotná stupnica nazvaná podľa britského matematika a fyzika Williama Thomsona Kelvina. Kelvinova teplotná stupnica sa označuje aj názvom termodynamická teplotná stupnica a patrí medzi absolútne teplotné stupnice, tzn. že jej začiatok sa nachádza v absolútnej nule. Druhému základnému bodu Kelvinovej teplotnej stupnice zodpovedá teplota trojného bodu vody, ktorá má hodnotu 273,16 K. Jeden Kelvin je definovaný ako 273,16-ta časť termodynamickej teploty trojného bodu vody.

➤ Celziova teplotná stupnica

Celziovu teplotnú stupnicu navrhol v roku 1736 švédsky astronóm Anders Celsius. Ako základný teplotný bod určil teplotu 0 °C, ktorá zodpovedá teplote rovnovážneho stavu chemicky čistej vody a jej plynného skupenstva – nasýtenej vodnej pary pri tlaku 101 325 Pa. Ako druhý význačný bod určil 100 °C. Je to teplota, ktorá zodpovedá rovnovážnemu stavu chemicky čistej vody a jej tuhého skupenstva – ľadu pri tlaku 101 325 Pa. Úsečku medzi týmito význačnými teplotami rozdelil na 100 rovnakých dielikov a jednému dieliku priradil teplotu 1 °C. Po Celzioví upravil túto teplotnú stupnicu jeho krajan Carl von Linne, ktorý stupnicu otočil, čím vznikla v súčasnosti známa podoba Celziovej teplotnej stupnice. Celziova teplotná stupnica patrí vo svete medzi najpoužívanejšie (okrem angloamerických krajín). V súčasnosti je °C odvodenou jednotkou SI sústavy.

➤ Fahrenheitova teplotná stupnica

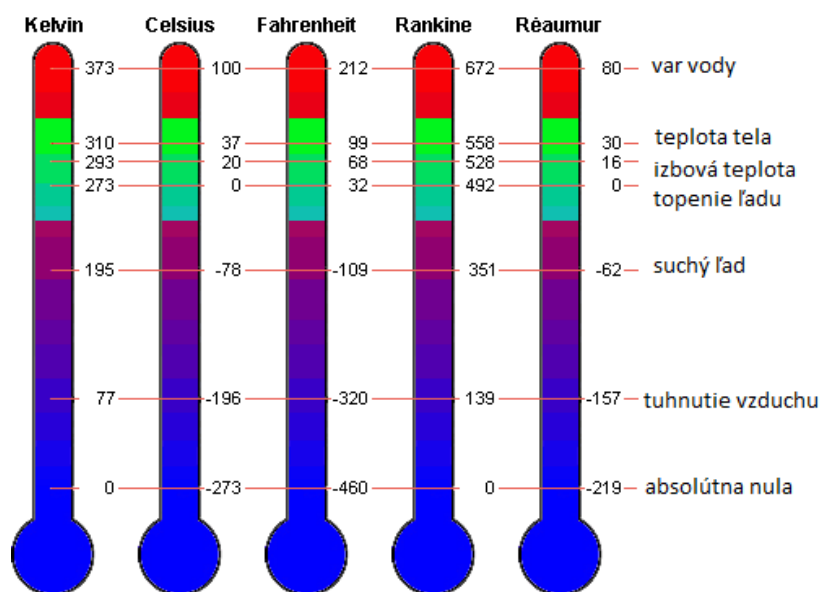
Jedná sa o teplotnú stupnicu navrhnutú v roku 1724 nemeckým fyzikom Danielom Gabrielom Fahrenheitom. Ako základný bod stupnice zvolil teplotu zodpovedajúcu zmesi vody, ľadu a salmiaku (chloridu amónneho), čo zodpovedá teplote 0 °F. Ako druhý význačný bod použil teplotu zdravého ľudského tela, ktorá zodpovedala 96 °F. Potom 0 °C zodpovedá 32 °F. Fahrenheitova teplotná stupnica sa používa dodnes v angloamerických krajinách.

➤ Rankinova teplotná stupnica

Teplotná stupnica bola nazvaná podľa jej objaviteľa, ktorým bol škótsky inžinier William John Macquom Rankin. Má identický jednotkový interval ako Fahrenheitova teplotná stupnica (1 °R zodpovedá 1 °F), ale jej začiatok sa nachádza v absolútnej nule. Platí teda $0\text{ °R} = 0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$.

➤ Réaumurova teplotná stupnica

Stupnica bola navrhnutá v roku 1730 francúzskym prírodovedcom René Antoinom Ferchault de Réaumur. Teplotná nula Réaumurovej teplotnej stupnice je zhodná s nulou teploty Celziovej teplotnej stupnice a teda platí: $0\text{ °R} = 273,15\text{ K} = 0\text{ °C}$. Hlavný teplotný interval, teda interval medzi teplotou topenia ľadu a teplotou varu vody pri predpísaných podmienkach, bol rozdelený na 80 stupňov a teda platí: $80\text{ °R} = 373,15\text{ K} = 100\text{ °C}$.



Obrázok 39 Porovnanie teplotných stupníc (oskole.sk, 2019)

➤ Medzinárodná teplotná stupnica IPTS-90

Pre praktické merania bola v roku 1927 stanovená tzv. Medzinárodná praktická teplotná stupnica (International Practical Temperature Scale – IPTS). Medzinárodná teplotná stupnica vznikla ako pomôcka pre rýchlu kalibráciu meracích prístrojov, pretože plynová termometria je síce najpresnejšou, no súčasne časovo a technicky veľmi náročnou metódou. Táto stupnica sa generálnymi konferenciami pre miery a váhy dopĺňala a postupne upravovala. Vybrané definičné teplotné body ITS-90 sú uvedené v Tab. 1.

Tabuľka 1 Vybrané definičné teplotné body v IPTS

Teplota		Látka	Stav
T , K	t , °C		
24,5561	-248,5939	Ne	Trojný bod
54,3584	-218,7916	O ₂	Trojný bod
83,8058	-189,3442	Ar	Trojný bod
234,3156	-38,8344	Hg	Trojný bod
273,16	0,01	H ₂ O	Trojný bod
302,9146	29,7646	Ga	Bod tuhnutia

Teplomery

➤ Vývoj teplomerov

História vývoja teplomerov sa začala vynálezom talianskeho fyzika, astronóma matematika a filozofa Galilea Galileiho v roku 1592. Jeho málo presný a navyše na atmosférickom tlaku závislý teplomer bol založený na teplotnej rozťažnosti vzduchu. Po Galileovi experimentovali s podobnými teplomermi Otto von Guericke a Gaspar Schott. Zdokonalili termoskop tým, že použili uzavretý systém s dvomi bankami na koncoch spojovacej trubičky v tvare U, v ktorej bola tekutina. Ešte v tom istom storočí sa objavujú teplomery, v ktorých teplomernou látkou je kvapalina. Predpokladá sa, že prvý teplomer zostrojil v roku 1631 francúzsky lekár Jean Rey, ktorý použil ako teplonosnú látku vodu. Nevýhodou tohto teplomera bola malá rozťažnosť vody. Preto sa hľadali iné vhodné tekutiny. Ako najvhodnejšie sa ukázali lieh a ortuť. Prvý liehový teplomer zostrojil v roku 1641 toskánsky veľkvojvoda Ferdinand II. V tom čase síce teplomery už mali stupnice, tie však neboli jednotné, takže údaje zmerané jednotlivými teplomermi sa nemohli porovnávať. Prvé teplomery s „normalizovanou“ stupnicou boli zostrojené až okolo roku 1650. Roku 1724 prichádza nemecký fyzik Daniel G. Fahrenheit už s moderným ortuťovým teplomerom a s prvou teplotnou stupnicou. Od tej doby sa vývoj teplomerov nezastavil. V roku 1730 navrhol Francúzsky prírodovedec René Antoine Ferchaut de Réaumur svoju stupnicu, v roku 1742 švédsky astronóm Celsius zavádza Celziovu stupnicu a nakoniec v roku 1848 britský fyzik lord William Thomson Kelvin zaviedol termodynamickú stupnicu. Bolo teda vyvinutých niekoľko teplotných stupníc a vývoj dilatačných teplomerov bol prakticky ukončený. V ďalších rokoch boli teplomery modifikované najmä podľa typu teplomernej látky, ale aj podľa účelu použitia. Napríklad teplota nad bodom varu Ortuti ($356\text{ }^{\circ}\text{C}$) až do $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa meria ortuťovým teplomerom, u ktorého sa kapilára plní dusíkom a teplomer je zhotovený z kremíkoveho skla. U lekárskejších ortuťových teplomerov, ktoré sú určené pre teplotný interval $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ je kapilára na nádobke s ortuťou zúžená, takže sa v tomto mieste pri poklese teploty ortuťový stĺpec pretrhne a teplomer tak stále ukazuje maximálnu nameranú teplotu. Je teda potrebné pred ďalším použitím teplomer „striasť“. Na Obr. 40 je ukážka Galileiho teplomeru.

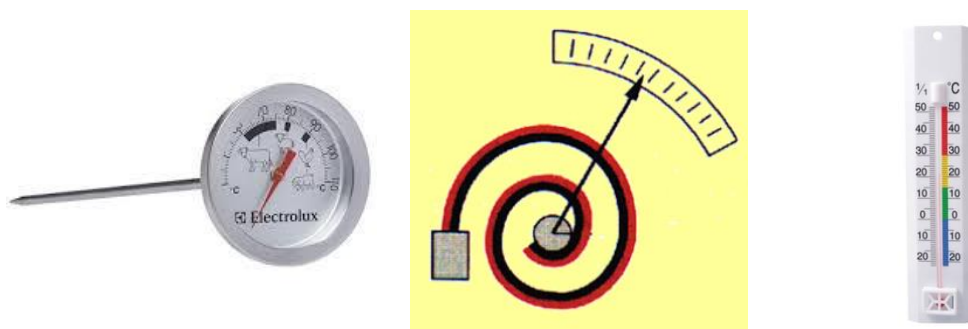


Obrázok 40 Galileiho teplomer

Typológia teplomerov

➤ Dilatačné teplomery

Dilatačné teplomery (Obr. 41) využívajú dĺžkovú alebo objemovú teplotnú rozťažnosť. Objemovú teplotnú rozťažnosť využívajú prevažne kvapalinové teplomery, kde sa ako teplomerná látka používa najčastejšie lieh alebo ortuť.



Obrázok 41 Dilatačné teplomery (izito.sk, 2019)

Kvapalinový teplomer predstavuje uzavretá sklenená banka, vo vnútri ktorej je vložená uzavretá sklenená kapilára s teplomernou látkou, ktorá podľa teploty mení svoj objem. Za sklenenou kapilárou je umiestnená stupnica s príslušným delením jednotlivých teplotných intervalov a s vyznačením význačných bodov podľa účelu použitia kvapalinového teplomera. Z pohľadu fyzikálnej teórie závisí zmena objemu teplomernej látky od teploty podľa vzťahu:

$$V = V_0(1 + \beta\Delta t)$$

kde β je koeficient teplotnej objemovej rozťažnosti (K^{-1}), V je výsledný objem (m^3), V_0 je začiatkový objem (m^3) a Δt je rozdiel teplôt ($^{\circ}C$).

Dĺžkovú teplotnú rozťažnosť využívajú tzv. bimetalické teplomery. Bimetal znamená dvojkov. Základným konštrukčným prvkom je bimetalický pásik, ktorý sa skladá z dvoch rôznych kovov s rozdielnym koeficientom dĺžkovej teplotnej rozťažnosti. Pásik je navinutý do tvaru slimáka a spojený s ručičkou meracieho prístroja. Zmeny teploty sa prejavujú zmenou dĺžky bimetalu a následne zmenou výchylky na meracej stupnici teplomera. Zmenu dĺžky materiálu pri zmene teploty o Δt vyjadríme vzťahom:

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta t)$$

kde α je koeficient teplotnej dĺžkovej rozťažnosti (K^{-1}), l je výsledná dĺžka (m), l_0 je začiatková dĺžka (m) a Δt je rozdiel teplôt ($^{\circ}C$).

➤ Tlakové teplomery

Tlakové teplomery (Obr. 42) zaznamenávajú meraný tlak prostredníctvom merania sily, ktorej účinok je v rovnováhe s účinkom meraného tlaku. Meranie sily sa môže realizovať napríklad pružinou alebo stĺpcom kvapaliny. Z prístrojov, ktoré patria do tejto skupiny, sa najčastejšie používajú piestové, zvonové a prstencové tlakomery.



Obrázok 42 Tlakové teplomery (meteoshop.sk, 2019)

➤ Odporové teplomery

Odporové teplomery (Obr. 43) využívajú zmenu elektrického odporu vodiča alebo polovodiča v závislosti od teploty. Elektrický odpor kovov a ich zliatin so stúpajúcou teplotou rastie, pri polovodičoch, elektrolytoch a uhlíku klesá. Z kovových materiálov sa na výrobu odporových teplomerov najčastejšie používa platina, niekedy železo, meď, nikel, chróm, striebro, zlato a ich zliatiny. Najkvalitnejším materiálom je čistá platina. Platinové odporové teplomery sú medzinárodne uznávaným štandardom v rozsahu teplôt (-183 – 630) °C.



Obrázok 43 Odporové teplomery (marveb.sk, 2019)

➤ Termoelektrické teplomery

Termoelektrický teplomer (Obr. 44) sa tiež označuje aj ako termočlánok. Ide o teplomer, ktorého merací princíp je založený na využití termoelektrického javu (elektróny, ktoré sú nositeľmi elektrického prúdu, sa významne podieľajú na vedení tepla). Zmenou teploty dvoch rôznych kovov sa mení vzniknuté termoelektrické napätie.



Obrázok 44 Termoelektrický teplomer (meteoshop.sk, 2019)

➤ **Radiačný teplomer**

Radiačný teplomer (Obr. 45) je určený na meranie vysokých teplôt.



Obrázok 45 Radiačné teplomery (meteoshop.sk, 2019)

Teplomer meria intenzitu žiarenia zdroja a na základe jej hodnoty určí teplotu zdroja. Meranie radiačnými teplomermi je založené na uplatnení Planckovho vyžarovacieho zákona, Wienovho zákona a Stefan-Boltzmanovho zákona