

# Vývoj teplotných stupníc

Teplota je jednou z dôležitých technologických veličín. V minulosti bolo meranie teploty kvapaliny, plynu či nejakej látky otázkou a zároveň výzvou pre mnohých vedcov, ktorí sa ňou preto zaoberali. Vďaka nim je pre nás meranie teploty dnes už v podstate samozrejmosťou.

Na to, aby sme mohli teplotu merať, potrebujeme najprv o nej niečo vedieť. Teplota je stavová veličina, ktorá charakterizuje tepelný stav látok. Je mierou vnútornej energie v stave termodynamickej rovnováhy. Základnou jednotkou teploty je jeden kelvin, hoci u nás sa najčastejšie používa stupeň Celzia.

Ak sú dve rovnaké látky s rôznou teplotou umiestnené vedľa seba, teda sú v tepelnom kontakte, látka s vyššou teplotou sa ochladzuje a látka s nižšou teplotou sa zohrieva. Táto tepelná výmena prebieha až dovtedy, kým sa ich teplota nevyrovná. Vtedy sú látky v tepelnej rovnováhe. Tomuto princípu hovoríme nultý zákon termodynamiky:

*Ak tri alebo viac systémov je navzájom v tepelnom kontakte a všetky sú navzájom v rovnováhe, potom ktorékoľvek dva sú tiež vo vzájomnej rovnováhe.*

Jeden z troch systémov môže predstavovať prístroj kalibrovaný na meranie teploty – teplomer. Keď sa kalibrovaný teplomer dá do tepelného kontaktu so systémom a dosiahne sa stav tepelnej rovnováhy, potom získame kvantitatívne meranie teploty systému.

## Princíp teplomera

Teplomer je nástroj, ktorý meria teplotu systému kvantitatívnym spôsobom. Najjednoduchší spôsob, ako to urobiť, je najštrší materiál, ktorý má vlastnosti meniace sa pravidelne s jeho teplotou. Najvýhodnejší „pravidelný“ spôsob je lineárny:  $t(x) = ax + b$ , kde  $t$  je teplota materiálu a mení sa so zmenou materiálu  $x$ . Konštanty  $a$  a  $b$  závisia od použitého materiálu a môžu sa stanoviť špecifikovaním dvoch bodov na stupnici (napr. bod mrazu a bod varu).

Príkladom vhodnej látky je ortuť. Je tekutá v teplotnom rozsahu od  $-38,9$  do  $356,7$  °C. Ortuť ako kvapalina so zvyšovaním teploty expanduje. Rýchlosť jej expanzie je lineárna a môže byť presne nakalibrovaná.

Na obr. 1 je znázornený ortuťový teplomer pozostávajúci z banky naplnenej ortuťou, ktorá môže expandovať do kapiláry. Rýchlosť jej expanzie je kalibrovaná stupnicou na skle.



Obr.1 Ortuťový teplomer

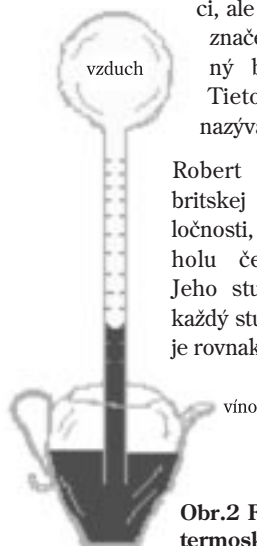
## Vývoj teplomerov a teplotných stupníc

Jeden z prvých pokusov vytvoriť štandardnú teplotnú stupnicu sa objavil okolo roku 170, keď pán Galen vo svojich lekárskejších dielach opísal štandardnú „neutrálnu“ teplotu, zloženú z rovnakých množstiev vriacej vody a ľadu. Na druhej strane tejto teploty boli štyri stupne tepla, resp. štyri stupne chladu.

Prvé zariadenia na meranie teploty sa nazývali termoskopy. Termoskopy pozostávali zo sklenenej banky s dlhou trubicou, rozširujúcou sa smerom nadol do nádoby so zafarbenou vodou. V roku 1610 použil Galileo namiesto zafarbenej vody víno. Časť vzduchu v banke bola vypudená pred jej umiestnením do kvapaliny, aby kvapalina stúpala do trubice. Ako sa zvyšok vzduchu v banke otepľoval alebo chladil, hladina kvapaliny v trubici sa menila odzrkadľujúc zmenu teploty vzduchu. Vyrytá stupnica na trubici poskytovala kvantitatívne meranie zmeny. Vzduch v banke je považovaný za tepelné médium, t. j. médium, ktorého vlastnosti sa menia s teplotou.

V roku 1641 bol pre Ferdinanda II. vyvinutý prvý uzavretý teplomer, ktorý ako termometrické médium používal kvapalinu, a nie vzduch. Tento teplomer tvorilo utesené sklenené zariadenie s alkoholom, s 50 „stupňovým“ značením na jeho trubici, ale nebol na nej

značený žiadny „fixný bod“ pre nulu. Tieto termoskopy sa nazývali „liehové“.



Obr.2 Florentinový termoskop

Robert Hook, správca britskej Kráľovskej spoločnosti, pridal do alkoholu červené farbivo. Jeho stupnica, v ktorej každý stupeň reprezentuje rovnaký prírastok obje-

mového ekvivalentu (približne 1/500 objemu teplomernej kvapaliny) potrebovala len jeden fixný bod. Zvolil bod mrazu vody. Pomocou takejto stupnice Hook ukázal, že štandardná stupnica môže byť zavedená pre termoskopy rôznych veľkostí. Hookov originálny teplomer sa stal známym ako štandard Gresham College a britská Kráľovská spoločnosť ho využívala do roku 1709 (prvé zrozumiteľné metrologické záznamy o poveternostnej situácii používali Hookovu stupnicu).

V roku 1702 astronóm Ole Roemer z Kodane založil svoju stupnicu na dvoch fixných bodoch: jedným bol sneh (alebo drvený ľad) a druhým bod varu vody. Týmto teplomerom potom zaznamenával denné teploty v Kodani v rokoch 1708 – 1709.

Ortuť ako teplomerová kvapalina bola použitá prvýkrát v roku 1724. Tepelná rozťažnosť ortuti je veľká a rovnomerná, ortuť neprilnieva ku sklu a je kvapalná v širokom rozsahu teplôt. Jej striebřistý vzhľad umožňuje jednoduché odčítanie teploty zo stupnice.

Aj pán Fahrenheit použil ortuťový teplomer. Kalibráciu tejto stupnice opísal nasledovne:

*„Umiestnením teplomera do zmesi chloridu amónneho alebo morskej soli, ľadu a vody, získame na stupnici bod, ktorý je označený ako nula. Druhý bod získame, ak použijeme rovnakú zmes bez soli. Označíme tento bod ako hodnotu 30. Tretí bod s hodnotou 96 získame, ak teplomer umiestnime do úst, takže získame teplotu, ktorá sa vyžaduje u zdravého človeka.“*

Na tejto stupnici meral Fahrenheit bod varu vody a získal hodnotu 212. Neskôr „nastavil“ aj bod mrazu vody na hodnotu 32, takže interval medzi bodom varu a mrazu vody mohol byť reprezentovaný racionálnym číslom 180. Teploty merané na tejto stupnici sú označované ako stupne Fahrenheitita (°F).

V roku 1745 Carolus Linnaeus z Upsuly (Švédsko) opísal stupnicu, v ktorej bol bod mrazu nulou a bod varu hodnotou 100 v centigrádovej stupnici (stupnica so sto stupňami). Anders Celsius (1701 – 1744) použil obrátenú stupnicu, v ktorej hodnota 100 reprezentovala bod mrazu a nula reprezentovala bod varu vody, samozrejme, tiež so 100 stupňami medzi dvomi definíčnými bodmi.

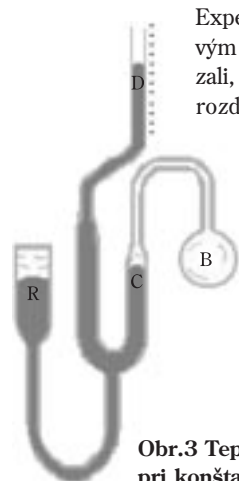
Pred používaním centigrádovej stupnice dostala v roku 1948 prednosť nová stupnica využívajúca stupne Celzia ( $^{\circ}\text{C}$ ). Celziová stupnica je definovaná trojným bodom vody, ktorý je definovaný ako  $0,01^{\circ}\text{C}$  s podmienkou, že stupeň Celzia je rovný rovnakej teplotnej zmene, akou je stupeň na stupnici ideálneho plynu.

Na Celziovej stupnici je bod varu pri štandardnom atmosferickom tlaku  $99,975^{\circ}\text{C}$ , na rozdiel od  $100$  stupňov, definovaných v centigrádovej stupnici.

Premena zo stupňov Celzia na stupne Fahrenheita je podľa nasledovného vzťahu:  $^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$ .

Francúzsky fyzik J. A. C. Charles ukázal v roku 1780, že pre rovnaký prírastok teploty preukazujú všetky plyny rovnaký nárast objemu. Pretože expanzný koeficient plynov je veľmi podobný, je možné vytvoriť teplotnú stupnicu založenú na jednom fixnom bode, a nie na dvoch, ako v prípade Fahrenheitovej a Celziovej stupnice. Predstavuje to návrat späť k teplomeru, ktorý ako teplomerné médium využíval plyn. V teplomere s plynom pri konštantnom objeme sa pomocou trubice s veľmi malým objemom spája veľká banka B (obr. 3) s plynom (napr. vodíkom) pod stanoveným tlakom a s „manometrom“ naplneným ortuťou. (Banka je teplocitlivá časť a mala by obsahovať takmer všetok vodík.) Hladina ortuti na úrovni C sa môže nastaviť zdvíhaním alebo znížením nádržky s ortuťou R. Tlak vodíka, ktorý je premennou  $x$  v lineárnom vzťahu s teplotou, je rozdiel medzi hladinami D a C a plus tlak nad hladinou D.

V roku 1887 P. Chappuis vykonával rozsiahle štúdie plynových teplomerov s konštantným tlakom alebo s konštantným objemom využívajúc pri tom vodík, dusík a oxid uhličitý ako teplomerné médium. Na základe jeho výsledkov uznal Medzinárodný výbor pre miery a váhy stupnicu s konštantným objemom vodíka založenú na fixnom bode ľadu ( $0^{\circ}\text{C}$ ) a pary ( $100^{\circ}\text{C}$ ) ako praktickú stupnicu pre medzinárodnú metrologiu.



Obr.3 Teplomer s plynom pri konštantnom objeme

Experimenty s plynovým teplomerom ukázali, že je veľmi malý rozdiel v teplotnom rozsahu pre rôzne plyny. Je teda možné nastaviť teplotnú stupnicu, ktorá je nezávislá od termometrického média, ak je to

plyn pri nízkom tlaku. V tomto prípade sa všetky plyny správajú ako „ideálny plyn“ a majú veľmi jednoduchý vzťah medzi svojím tlakom, objemom a teplotou:  $pV = (\text{konštanta})T$ . Táto teplota sa nazýva termodynamická teplota a dnes je akceptovaná ako základná miera teploty. Na tejto stupnici nie je, prirodzene, definovaná nula – je to bod, pri ktorom je tlak ideálneho plynu rovný nule, a teplota pri ňom je takisto rovná nule. S týmto jedným bodom na stupnici stačí definovať už len jeden fixný bod. V roku 1933 Medzinárodný výbor pre miery a váhy ako druhý fixný bod uznal trojný bod vody, teda teplotu, pri ktorej sú skupenstvá voda, ľad a vodná para v rovnováhe. Jeho hodnota je stanovená na  $273,16$ . Jednotka teploty na tejto stupnici sa nazýva kelvin, po Lordovi Kelvinovi (William Thompson, 1824 – 1907) a jej symbolom je K (nepoužíva sa symbol stupňa  $^{\circ}$ ).

Premena stupňov Celzia na kelviny je podľa nasledovného vzťahu:  $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$ .

*Termodynamická teplota je základnou mierou teploty. Jej jednotka je kelvin, ktorý je definovaný ako  $1/273,16$  termodynamické teploty trojného bodu vody.*

Sir William Siemens v roku 1871 navrhol teplomer, ktorého teplomerné médium bol kovový vodič. Odpor teplomerného média sa mení s teplotou. Platina pri vysokej teplote neoxiduje a má relatívne rovnakú zmenu odporu s teplotou v širokom rozsahu. Platinový odporový teplomer sa dnes široko používa ako termoelektrický teplomer a pokrýva teplotný rozsah od  $-260$  do  $1235^{\circ}\text{C}$ .

T. J. Seedback v roku 1826 objavil, že keď sa vodiče z rôznych kovov na jednom konci roztavia a zahrievajú, prúd tečie z jedného do druhého. Generovaná elektromotorická sila môže kvantitatívne súvisieť s teplotou, a preto môže byť systém použitý ako teplomer – známy ako termočlánok. Termočlánok sa používa v priemysle. Ako teplomerné médium sa v tomto prípade používa mnoho rôznych kovov, napr. platina a platina – rhódium, nikel – chróm a nikel – hliník.

Vývoj teplomerov ako aj stupníc, pomocou ktorých určíme meranú teplotu, prešiel svojím štádiom vývoja. Databázy pre štandardizovanie teplomerov sú uchovávané a udržiavané v Národnom inštitúte štandardov a technológií. Okolnosť, že existuje viacero štandardizovaných stupníc je možno dôvodom, prečo sa na celom svete nepoužíva rovnaká a jednotná stupnica na určenie teploty.

#### Zdroj

<http://unidata.ucar.edu/staff/blynds/tmp.html>

Andrea Potančoková