

Úloha 7

Stanovení součinitele délkové teplotní roztažnosti

Teplotní roztažnost pevných látek

Teplotní roztažnost je jev, kdy při dodání/odebrání tepla tělesu se změny rozměry tělesa. Teplotní objemová roztažnost je charakterizována **součinitelem objemové teplotní roztažnosti** β

$$\beta = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

$[\beta] = \text{K}^{-1}$, kde V_0 je objem tělesa při teplotě 0°C , dV je změna objemu při změně teploty o dt .

Součinitel β obecně závisí na teplotě. V nepříliš širokém teplotním intervalu lze součinitel β považovat za konstantní a pro závislost objemu na teplotě platí následující jednoduchý vztah

$$V(t) = V_0(1 + \beta t), \quad (2)$$

kde t je teplota ve $^\circ\text{C}$ a $V(t)$ je objem při teplotě t .

Ve větších teplotních intervalech není lineární aproximace podle (2) dostatečně přesná a je nutné uvažovat závislost objemu na teplotě jako závislost druhého, eventuálně třetího stupně. Relaci pro $V(t)$ pak můžeme zapsat ve tvaru

$$V(t) = V_0(1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3), \quad (3)$$

kde součinitele β_1 , β_2 , β_3 považujeme za teplotně nezávislé. Některé látky projevují i v poměrně úzkém intervalu teplot nepravidelnosti v hodnotách objemové roztažnosti. Typickým příkladem je voda, u níž v oboru $(0-10)^\circ\text{C}$ není vhodné zavést součinitel β dle vztahu (2).

Pro těleso, u kterého převládá jeden rozměr (např. tyč), zavádíme délkovou roztažnost charakterizovanou **součinitelem délkové teplotní roztažnosti** α , který je dán analogicky vztahem

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{dt}, \quad (4)$$

$[\alpha] = \text{K}^{-1}$, kde l_0 je délka tyče při teplotě 0°C , dl je změna délky při změně teploty o dt .

Za předpokladu, že sledujeme délkovou roztažnost v nepříliš širokém intervalu teplot, můžeme opět psát pro teplotní závislost lineární vztah

$$l(t) = l_0(1 + \alpha t), \quad (5)$$

kde t je teplota ve $^{\circ}\text{C}$ a $l(t)$ je délka při teplotě t . Pro pevné látky a rozsah teplot 0°C až 100°C nabývá součinitel délkové teplotní roztažnosti hodnot v intervalu $10^{-6} - 10^{-4}\text{K}^{-1}$. Hodnoty součinitelů α pro některé materiály jsou uvedeny v tabulce 1.

Roztažnost pevných látek měříme přístroji, které nazýváme **dilatometry**. Při měření dilatometry používáme různé měřicí metody, např. zrcátkové, umožňující odečíst délkové změny s přesností 10^{-6} m. Změny délky lze rovněž měřit kapacitními nebo indukčními snímači a optickými interferenčními metodami s přesností až 10^{-8} m.

Tab. 1 Součinitel α pro některé materiály

materiál	$\alpha \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$
hliník	25
měď	17
železo	12
ocel	12,1
dural	23
mosaz	19

Zadání:

- 1) Stanovte součinitel délkové teplotní roztažnosti dvou tyčí z různých materiálů a jeho nejistotu.
- 2) Graficky zpracujte závislosti prodloužení tyče Δl na přírůstku teploty Δt .

Teorie:

Měřená tyč délky l_0 leží na dvou podporách, z nichž jedna tyč fixuje. Tyč je protékána vodou z termostatu, čímž je zajištěno, aby tyč měla v celém objemu stejnou teplotu. Volný konec tyče je opřen o indikátorové hodinky, který zobrazuje změnu délky tyče, která je způsobena změnou teploty lázně.

Při měření pomocí **indikátorových hodinek** vyjdeme ze vztahu (4), který lze v případě lineární závislosti prodloužení na změně teploty lze zapsat takto

$$\alpha = \frac{1}{l_0} K, \quad (6)$$

kde K je konstanta a vypočteme ji jako podíl přírůstků délky tyče Δl a přírůstku teploty Δt

$$K = \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (7)$$

Δl a Δt jsou udány takto

$$\Delta l = l_2 - l_1, \quad \Delta t = t_2 - t_1. \quad (8)$$

Měření

- Zapište počáteční hodnoty na indikátorových hodinkách u obou tyčí při aktuální teplotě okolí.
- Teplotu na termostatu zvyšujte po 3°C do cca 50 °C.
- Při každé teplotě zapište údaj (dílky) na obou indikátorových hodinkách.
- Naměřené hodnoty zpracujte graficky, na osu x zadejte teploty, na osu y údaj z indikátorových hodin. Směrnice této závislosti je rovna konstantě K podle (7).
- Za hodnotu l_0 vezměte délku tyče při pokojové teplotě, protože rozdíl v délce tyče při teplotě 0°C a pokojové teplotě je běžným měřidlem nepostižitelný (je řádově menší než chyba měřidla) $l_0 = (600 \pm 1)$ mm

Nejistota měření

- Nejistota typu A součinitele délkové teplotní roztažnosti α je dána nejistotou typu A směrnice K .
- Nejistota typu B součinitele délkové teplotní roztažnosti α je dána nejistotou délky l_0 .
- Standardní nejistoty měřených veličin stanovte podle obecných vztahů pro šíření nejistot nepřímo měřené veličiny – podle textu *Chyby a nejistoty měření*.