

## Měření teplotního součinitele délkové roztažnosti pevných látek

Úkol: Změřte teplotní součinitel roztažnosti oceli, hliníku a mědi.

### **Pomůcky**

Elektrický dilatometr, tyč ocelová, hliníková, měděná, termistorový teploměr (2 ks), sonda k termistorovému teploměru (2 ks), indikátorové hodinky, pásové měřítko, vodiče (2 ks), topné těleso, regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí YE – 4T.

### **Teorie**

Objem látek všech tří skupenství se teplotou mění. Hovoříme proto o teplotní roztažnosti, pokud ji kvantitativně změříme, patří k důležitým technickým charakteristikám látek. U pevných těles, jejichž jeden rozměr (délka) výrazně převyšuje ostatní (tyče, dráty, trubice), měříme teplotní součinitel délkové roztažnosti  $\alpha$ . Pro menší teplotní rozdíly  $\Delta t = t - t_0$  lze považovat závislost délky  $l$  na teplotě  $t$  za lineární a platí

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

kde  $l_0$  je délka při teplotě  $t_0$ ,  $l$  délka při teplotě  $t = t_0 + \Delta t$  a  $\alpha$  průměrný teplotní součinitel délkové roztažnosti v intervalu  $\Delta t$ . Ze vztahu (1) lze  $\alpha$  vyjádřit jako

$$\alpha = \frac{l(t) - l_0}{l_0\Delta t}, \quad (2)$$

odkud je zřejmé, že součinitel  $\alpha$  je číselně roven relativnímu prodloužení při jednotkovém zvýšení teploty a že jeho jednotkou v soustavě SI je  $\text{K}^{-1}$ . Zavedeme-li značení  $y = l - l_0$  a

$k = \frac{y}{\Delta t}$ , přechází vztah (2) do tvaru

$$\alpha = \frac{k}{l_0}. \quad (3)$$

Pro teplotní součinitel objemové roztažnosti  $\beta$  pevných látek přibližně platí  $\beta = 3\alpha$ .

### **Postup měření**

1. Měřenou tyč na jedné straně pevně uchyťme do elektrického dilatometru tak, aby se druhým koncem dotýkala hrotu indikátorových hodinek. Hodinky vynulujeme otočením stupnice.

- Délku  $l_0$  tyče změříme od bodu jejího pevného uchycení až ke konci, který se dotýká hrotu indikátorových hodiněk.
- Sondy termistorových teploměrů vložíme do otvorů dřevěných hranolů upevněných na tyči blízko obou jejích konců.
- Do tyče zasuneme topné těleso, které je napájeno ze zdroje malého stejnosměrného napětí.
- Pro každou tyč provedeme 5 měření pro 5 hodnot ohřívacího napětí (např. 2, 4, 6, 8 a 10 V). Po každém zvýšení hodnoty napětí vždy vyčkáme do ustálení výchylky indikátorových hodiněk (maximálně však 5 minut), poté současně odečteme výchylku indikátorových hodiněk  $y$  a teploty  $t'$ ,  $t''$  obou teploměrů. Naměřené hodnoty zapisujeme do předem připravené tabulky (Tabulka 1). Chybu  $\overline{\Delta k}$  vyhodnoťte jako odhad krajní chyby přímo měřené veličiny  $k$ .
- Získané hodnoty  $l_0$  a  $\overline{k}$  dosadíme do vztahu (3) a vypočítáme  $\overline{\alpha} = \frac{\overline{k}}{l_0}$ .

Tabulka 1: Tabulka pro zápis naměřených hodnot.

n	$y$ (mm)	$t'$ (°C)	$t''$ (°C)	$t = \frac{(t' + t'')}{2}$ (°C)	$\Delta t = t - t_0$ (°C)	$k = \frac{y}{\Delta t}$ (mm·K <sup>-1</sup> )	$\Delta$ (mm·K <sup>-1</sup> )	$\Delta^2$ (mm·K <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
1								
2								
3								
4								
5								
						$\overline{k} =$	$\sum \Delta =$	$\sum \Delta^2 =$

### Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (3) vyplývá, že nepřímo měřený teplotní součinitel délkové roztažnosti je funkcí dvou proměnných:  $\alpha = \alpha(k, l_0)$ . Chybu měření proto udává vztah

$$\overline{\Delta\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial k}\right)^2 |\overline{\Delta k}|^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial l_0}\right)^2 |\overline{\Delta l_0}|^2}, \quad (4)$$

který po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\alpha}{\partial k} = \frac{1}{l_0} \text{ a } \frac{\partial\alpha}{\partial l_0} = -\frac{k}{l_0^2}$$

a použití (3) přechází ve

$$\overline{\Delta\alpha} = \overline{\alpha} \sqrt{\left(\frac{\overline{\Delta k}}{\overline{k}}\right)^2 + \left(\frac{\overline{\Delta l_0}}{l_0}\right)^2}. \quad (5)$$

Střední chybu  $\overline{\Delta k}$  vypočítáme při zpracování výsledků přímého měření podle Tabulky 1, střední chybu  $\overline{\Delta l_0}$  volíme podle použitého délkového měřidla (polovina nejmenšího dílku stupnice).

### **Doporučená literatura**

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 5.1.0 Měření teplotního součinitele roztažnosti látek, s. 80. 5.1.1 Měření teplotního součinitele roztažnosti pevných látek průtokovým dilatometrem, s. 81-83.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 2. vyd. Praha: SPN, 1983. 3.1.4.1 Roztažnost látek pevných, s. 199-201.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 4.3 Teplotní roztažnost, s. 149-152.