

Meranie koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka – projekt

Žaneta Gerháťová

Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita
Priemyselná 4, P. O. Box 9, 918 43 Trnava, SR
e-mail: zaneta.gerhatova@truni.sk

Abstract: *Measurement of thermal expansion of aluminium – project.* In this paper we present the project “Measurement of thermal expansion of aluminium.” This measurement was realized by means of computer-based experiment. The original experimental apparatus from the firm NTL was supplemented by the module of the thermometer from Internet School Experimental System (ISES) and digital indicator from the firm Mahr. Via the measurement we found out that the resulting value of the thermal expansion of aluminium nearly coincides with the table values.

Keywords: computer-based experiment, experiment linear expansion coefficient, project, thermal expansion of solid state

1 Úvod

Kvapaliny a plyny menia svoj objem pri stálom tlaku so zmenou teploty. Podobne aj tuhé telesá menia so zmenou teploty svoj objem (resp. dĺžkové rozmery). Hovoríme o teplotnej rozťažnosti tuhých látok. Môžeme konštatovať, že teplotná rozťažnosť tuhých látok je vlastne objemová odpoveď materiálu na zvyšujúcu sa teplotu. Atómy tuhej látky pri zvyšovaní teploty kmitajú okolo rovnovážnych polôh a s teplotou sa menia aj rovnovážne polohy. Táto zmena nie je nekonečná, materiál sa môže rozťahovať iba po určitú hraničnú hodnotu v nejakom intervale teplôt. Schopnosť materiálu rozťahovať sa charakterizuje koeficient teplotnej rozťažnosti materiálu. Ak si všimame zmenu rozmerov telesa vo vybranom smere, hovoríme o **lineárnej rozťažnosti** [1].

Miera teplotnej rozťažnosti je daná jednoznačne určeným koeficientom lineárnej teplotnej rozťažnosti danej látky. Hodnoty koeficientu sa menia v závislosti od príslušného materiálu. V prípade anizotropných materiálov, ktoré sa vyznačujú tým, že v rôznych smeroch majú rôzne vlastnosti (napr. kompozity, polykrystalické látky a i.), môže byť pre každý smer iný koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti.

Okrem tejto „kladnej“ rozťažnosti existuje aj negatívna rozťažnosť, kedy sa materiál pri zvyšovaní teploty správa naopak. Pri zvýšení teploty znižuje svoj objem. Táto vlastnosť je spojená s tepelnými kmitmi mriežky a fázovými premenami v materiály. V prípade, že by boli nájdené použiteľné materiály s negatívnym koeficientom teplotnej rozťažnosti, dali by sa vyrobiť kompozitné materiály s nulovou teplotnou rozťažnosťou [1].

Na základe experimentálnych výsledkov možno usudzovať, že dĺžkové rozmery tuhých látok v pomerne širokom intervale teplôt sa menia s teplotou lineárne, podobne ako objem ideálneho plynu. To znamená, že napr. dĺžka l tyče, ako funkcia termodynamickkej teploty T , sa vyjadruje vzťahom [2]:

$$l = l_0 + k(T - T_0), \quad (1)$$

v ktorom l_0 predstavuje dĺžku tyče pri teplote $T = T_0$. Ak za T_0 zvolíme teplotu topenia ľadu pri normálnom tlaku, potom $T - T_0$ predstavuje Celziovu teplotu t .

Vtedy vzťah (1) môžeme písať v tvare [2]:

$$l = l_0(1 + \alpha t), \text{ kde} \quad (2)$$

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

predstavuje konštantu závislú od materiálu – koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti. Jej jednotkou je K^{-1} . Zo vzťahu (2) vyplýva, že koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti α môžeme definovať aj nasledovne:

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

Vzťah (4) môžeme prečítať ako relatívny prírastok dĺžky pri jednotkovej zmene teploty prepočítaný na jednotku dĺžky (v SI na 1 m). Hoci experimentálne získané koeficienty α sa mierne menia so zmenou teploty, môžeme α pre väčšinu praktických účelov pre daný materiál považovať za konštantu. V tabuľke 1 sa nachádzajú hodnoty koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti pre niektoré látky.

Tabuľka 1. Koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti látok α [3]

Látka	α / K^{-1}	Látka	α / K^{-1}
hliník	$2,4 \cdot 10^{-5}$	sklo	$1,0 \cdot 10^{-5}$
mosadz	$1,9 \cdot 10^{-5}$	zinok	$2,9 \cdot 10^{-5}$
meď	$1,7 \cdot 10^{-5}$	oceľ	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Pomocou koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti môžeme charakterizovať zmenu rozmerov so zvyšujúcou sa teplotou v jednom smere nasledovne:

$$\frac{dl}{l_0} = \alpha dt \quad (5)$$

Pri väčších rozdieloch teploty však dĺžkové rozmery telies závisia od teploty zložitejším spôsobom [2]. V takom prípade sa experimentálnymi závislosťami prekladajú polynómy vyšších stupňov, napr. [2]:

$$l = l_0(1 + at + bt^2) \quad (6)$$

Koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti vtedy závisí od teploty podľa vzťahu [2]:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{dt} = a + 2bt \quad (7)$$

2 Zadanie projektu „Meranie koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka“

Motivácia

Stavbári nestavajú mosty z jedného kusa, rovnako tak sa aj železničné koľaje (obr. 1), potrubia (obr. 2) a mnohé ďalšie stavby. Ak by to urobili, riskovali by, že v zime, keď mrzne, sa skrátia a následne potrhajú. V lete, v horúčavách, by sa zas predĺžili a narušili. Viete, čo je príčinou týchto javov?



Obr. 1. Koľajnice

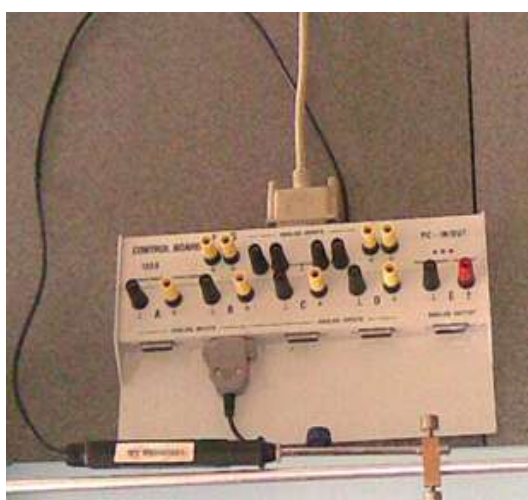


Obr. 2. Potrubie

Úloha: Prostredníctvom počítačom podporovaného experimentu určite koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka α , z ktorého je zhotovená dilatačná rúrka.

Cieľ merania: Určiť koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka α , z ktorého je zhotovená dilatačná rúrka.

Metóda merania: Dĺžkovú rozťažnosť materiálu charakterizuje koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti α , ktorý je definovaný rovnicou (4), kde l_0 je počiatočná dĺžka vzorky, dL je zmena dĺžky spôsobená teplotnou zmenou dT .



Obr. 3. Modul teplomer pripojený k panelu ISES



Obr. 4. Digitálny odchýlkomer

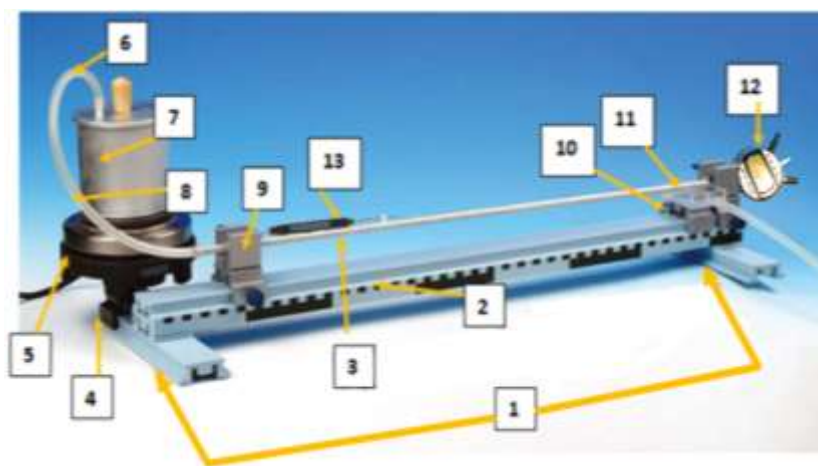
Aparatúra na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok je systém skonštruovaný firmou NTL, ktorý pracovníci Katedry fyziky Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity v Trnave doplnili o modul na

snímanie teploty rozsahu $-20\text{ °C} \div 120\text{ °C}$ zo systému ISES s presnosťou 2% (obr. 3) a o digitálny odchýlkomer (obr. 4) s chybou merania $\pm 5\ \mu\text{m}$. Teplomer sa nachádza v tesnej blízkosti vzorky (dilatačná rúrka z hliníka) a meria jej teplotu. Signál z neho je priamo snímaný a zaznamenávaný pomocou programu ISES v počítači. Ovládací panel ISES BASIC (obr. 3) je medzičlánkom, do ktorého sa pripájajú jednotlivé meracie moduly. Obsahuje 4 vstupné kanály pre moduly, 1 výstupný kanál pre moduly, 4 binárne výstupy, 2 vstupné a 2 výstupné porty. Panel ISES je s počítačom spojený prostredníctvom prevodníka – ADDA karty, inštalovanej v počítači (PC). Digitálny odchýlkomer meria predĺženie vzorky a okamžite ho zaznamenáva v PC.

Pomôcky: PC, panel ISES BASIC, softvér a hardvér ISES, teplomer – modul ISES, digitálny odchýlkomer od firmy Mahr, dilatačná rúrka z hliníka, aparátúra na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok od firmy NTL.

Postup merania:

- a) Zostavte aparátúru na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok (obr. 5).



Obr. 5. Aparátúra na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok – popis komponentov

Komponenty experimentálnej aparátúry:

- 1 Pätko so vsuvkou
- 2 Kofajnica so stupnicou, $l = 750\text{ mm}$
- 3 Hliníková dilatačná rúrka
- 4 Bežec, $h = 34\text{ mm}$
- 5 Varič malý, 500 W
- 6 Silikónová hadica, $d = 3/6\text{ mm}$, $l = 100\text{ cm}$
- 7 Parný hrnček
- 8 Voda
- 9 Bežec s rovnobežným svorníkom
- 10 Bežec s vaničkou
- 11 Bežec s rovnobežným svorníkom
- 12 Digitálny odchýlkomer
- 13 Teplomer – modul ISES

- b) Odmerajte dĺžku tyče l_0 (merajte od bodu upevnenia na obr. 5 je to bod 9) a teplotu tyče t_0 .
- c) Do parného hrnčeka nalejte do $1/3$ vodu.

- d) Pripojte teplomer na panel ISES pripojený k počítaču a otvorte si program ISES.
- e) V programe ISES kliknite na ponuku „**Experiment**“ a nastavte si všetky parametre merania, predovšetkým: vzorkovanie (v akých časových intervaloch sa bude merať teplota).
- f) Po spustení experimentu sa vám na obrazovke počítača ukáže graf závislosti teploty od času.
- g) Digitálny odchýlkomer pripojte k PC a zapnite ho. Na digitálnom odchýlkomeri nastavte nulovú hodnotu.
- h) Vodu v hrnčeku zohrievajte, až kým teplota tyče nedosiahne teplotu 90 °C.
- i) Po vypnutí variča, pri každom poklese teploty tyče o 5 °C, kliknite na klávesnici počítača na klávesu F1, na obrazovke PC sa vám zobrazí hodnota zmeny predĺženia Δl tyče.
- j) Namerané hodnoty rastúcej teploty a zmeny predĺženia tyče zapíšte do tabuľky 2.

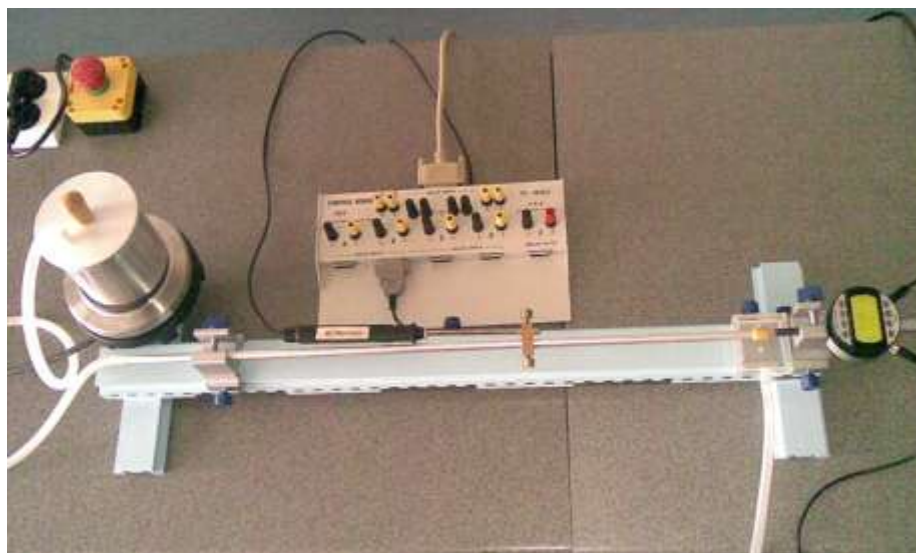
Tabuľka 2. l_0 [mm] t_{\max} [°C]

Číslo merania	t [°C]	$\Delta l = l - l_0$ [mm]	$\Delta t = t - t_0$ [°C]	Redukcia predĺženia $\Delta l - l_{\min}$ [mm]	Relatívne predĺženie $(l - l_1) / l_1$ [mm]

- k) Zostrojte graf závislosti zmeny relatívneho predĺženia od teploty.
- l) Vynesenými bodmi preložte priamku a určite hodnotu koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka α .

3 Výsledky merania

Zostavili sme si aparátúru na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok (obr. 6).



Obr. 6. Aparatúra na meranie dĺžkovej rozťažnosti tuhých látok – reálne usporiadanie v laboratóriu

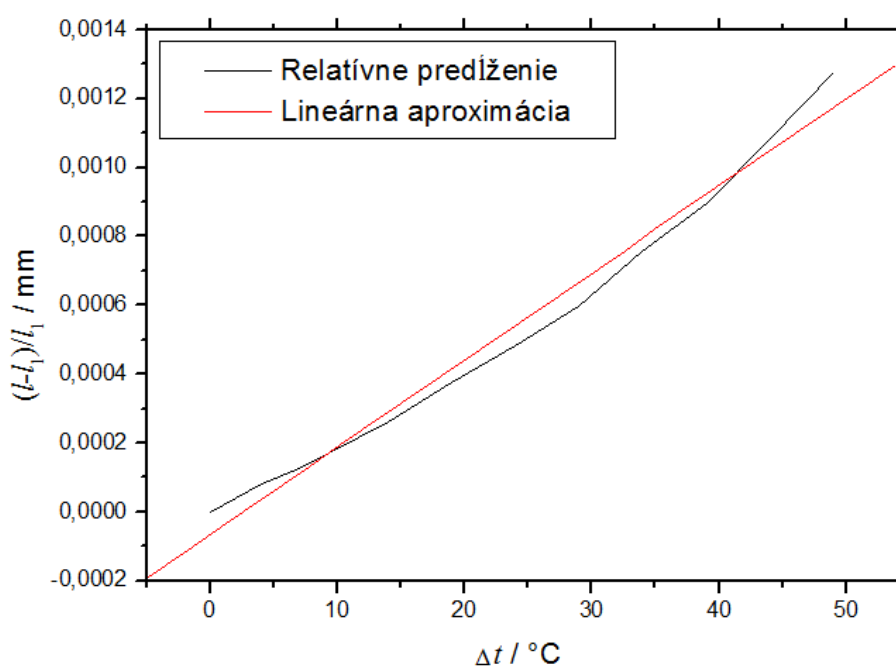
Najskôr sme odmerali dĺžku tyče pri teplote 26,3 °C. Hodnota dĺžky $l = 550$ mm. Potom sme postupovali tak, že sme vo variči zohriali vodu, až kým para nezohriala tyč na viac než 90 °C. Potom sme počkali kým teplota, ktorú sme merali priamo na tyči, neklesne na 90 °C a zaznamenali sme hodnotu predĺženia. Túto hodnotu sme získali z digitálneho odchýlkomera umiestneného pri konci tyče. Čakali sme, kým teplota neklesla o 5 °C a zaznamenali sme ďalšiu hodnotu teploty a predĺženia. Takýmto spôsobom sme postupne uskutočnili 11 meraní. Namerané údaje sme zapísali do tabuľky 2,

a potom aj hodnoty zmeny predĺženia Δl , zmeny teploty Δt , rozdielu dĺžok $(l - l_1)$ a relatívneho predĺženia $[(l - l_1) / l_1]$. Tieto údaje sme písali do tabuľky v opačnom poradí, v akom sme ich namerali. Poslednú nameranú teplotu (prvú v tabuľke 2) sme určili za teplotu $t_0 = 41 \text{ }^\circ\text{C}$. Potom dĺžka tyče $l_0 = 550,096 \text{ mm}$.

Tabuľka 2. Namerané hodnoty závislosti predĺženia od zmeny teploty $l_0 = 550,096 \text{ mm}$, $t_{\text{max}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_0 = 41 \text{ }^\circ\text{C}$

Číslo merania	t [$^\circ\text{C}$]	$\Delta l = l - l_0$ [mm]	$\Delta t = t - t_0$ [$^\circ\text{C}$]	$l - l_1$ [mm]	Relatívne predĺženie $(l - l_1) / l_1$ [mm]
1	41	0,096	0	0	0
2	45	0,140	4	0,044	0,00007999
3	48	0,165	7	0,069	0,00012543
4	55	0,239	14	0,143	0,00025995
5	60	0,302	19	0,206	0,00037448
6	65	0,361	24	0,265	0,00048173
7	70	0,425	29	0,329	0,00059808
8	75	0,513	34	0,417	0,00075805
9	80	0,588	39	0,492	0,00089439
10	85	0,693	44	0,597	0,00108527
11	90	0,799	49	0,703	0,00127796

Pomocou programu Origin sme získali graf závislosti relatívneho predĺženia od zmeny teploty (obr. 7). Danú krivku sme lineárne aproximovali, a tak sme získali rovnicu priamky $y = a + bx$, kde $b = \alpha = 2,5363 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$ (obr. 8).



Obr. 7. Graf závislosti relatívneho predĺženia od zmeny teploty a jeho lineárna aproximácia

Linear Regression for Data1_B:			
Y = A + B * X			
Parameter	Value	Error	
A	-6,55365E-5	3,23692E-5	
B	2,53089E-5	1,12832E-6	
R	SD	N	P
0,99117	5,93297E-5	11	<0.0001

Obr. 8. Určenie koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka z rovnice priamky (lineárna regresia) pomocou programu Origin

Určenie hodnoty koeficientu lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka α z rovnice priamky (kvôli korektnosti upozorňujeme, že $l_1 \neq l_0$):

$$y = a + bx$$

$$\Delta l = l_1 \alpha \Delta t$$

$$\frac{l - l_1}{l_1} = \alpha \Delta t$$

$$b = \alpha = 2,5363 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\alpha = (2,54 \pm 0,11) \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$$

4 Záver

Koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti hliníka α , ktorý sme určili z rovnice priamky (lineárna regresia) má hodnotu: $\alpha = (2,54 \pm 0,11) \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$.

Literatúra

- [1] OSLANEC, P.: Teplotná rozťažnosť materiálov, In *Materials engineer – Materiálový inžinier*, 2008. ISSN 1337-8953, dostupné na: http://www.materialing.com/teplotna_roztznost_materialov, citované: 11. decembra 2011.
- [2] DIEŠKA, P.: *Meranie koeficienta dĺžkovej rozťažnosti*. 2009, dostupné na: http://kf.elf.stuba.sk/~cerven/SimulacieAdresar/stare_navody/dilatometer.pdf, citované: 11. decembra 2011.
- [3] HAJKO, V. et al.: *Fyzika v príkladoch*. Bratislava : Alfa. 5. vydanie. 1983.