

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 1

**Zpracoval:** Jan Beran

**Naměřeno:** 3. května 2018

**Obor:** UF

**Skupina:** F2180/06

**Testováno:**

### Úloha . 1: Tepelná vodivost pevných látek

$$T = 23,89\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 985\text{ hPa}$$

$$\varphi = 42\text{ \%}$$

## 1. Úkoly

1. Změřte tepelnou vodivost vybraného stavebního materiálu (sádkarton) absolutní metodou.

## 2. Teorie

Tepelná vodivost značí schopnost dané látky vést teplo. U izolačních stavebních materiálů, kterými se budeme zabývat je požadována vodivost co nejmenší, aby nedocházelo k tepelným ztrátám.

Máme-li homogenní kus stavebního materiálu tloušťky  $d$  a konstantního průřezu  $S$ , jehož plášť je adiabaticky izolován od okolí a oba jeho konce jsou udržovány pomocí ohříváče a chladiče na teplotách  $t_1$  a  $t_2$ , kde ( $t_1 > t_2$ ), pak po dosažení rovnovážného stavu platí pro teplo, které projde materiálem za čas  $\tau$  rovnice

$$Q = \lambda \frac{S}{d} (t_1 - t_2) \cdot \tau, \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je materiálová konstanta, tedy součinitel tepelné vodivosti, resp. měrná tepelná vodivost.

Pakliže teplo dodáváme elektrickým topným tělesem s přivedeným konstantním napětí  $U$  a proudem  $I$  zdroje, tak za čas  $\tau$  dodáme teplo rovno

$$Q = UI\tau. \quad (2)$$

Protože má náš materiál tvar kvádru, tak můžeme jeho povrch spočítat z délky  $a$  a šířky podstavy  $b$ , tedy platí

$$S = ab \quad (3)$$

Pakliže dosadíme rovnice (3) a (2) do rovnice (1) dostaneme rovnici

$$UI = \lambda \frac{ab}{d} (t_1 - t_2),$$

ze které vyjádříme součinitel tepelné vodivosti a dostaneme rovnici

$$\lambda = \frac{UI}{t_1 - t_2} \cdot \frac{d}{ab} \quad (4)$$

### 2.1. Obecné vztahy pro zpracování měření

Zákon přenášení nejistot.

$$u_c(f) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \cdot u_c^2(x_1) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \cdot u_c^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \cdot u_c^2(x_n)} \quad (5)$$

### 3. Postup měření

Při této práci jsme měli zjistit součinitel tepelné vodivosti pro dva materiály. To ovšem nebylo možné, protože jsem neměli k dispozici dostatek chladících podložek. Tudíž jsem měřili pouze jeden materiál.

Sestavili jsme měřící soustavu na pracovním stole takto. Na stůl jsme položili plastovou vanu (kdyby chladič začal protékat), na ni jsem dal chladič, na který jsme dali náš měřený materiál. V tomto materiálu byla již vyryta drážky, do kterých jsme umístili teplotní čidla. Teplotní čidlo umístěné k ohřívači bude měřit teplotu  $t_1$  a teplotní čidlo umístěné u chladiče bude měřit teplotu  $t_2$ . Na měřený materiál jsme položili ohřívač. Vodní chladič jsme připojili na zdroj vody a ohřívač jsme napojili na zdroj elektrického proudu.

### 4. Naměřené hodnoty

$U$	$I$	$t_1$	$t_2$	$a$	$b$	$d$
15,8 V	1,96 A	44,4 °C	27,3 °C	20,8 cm	20,1 cm	1,27 cm

Tabulka 1: Naměřené hodnoty

### 5. Zpracování naměřených hodnot

Jako nejistotu naměřených hodnot napětí a proudu určíme jedničku posledního naměřeného desetinného místa, protože tyto hodnoty byli ukázány přímo na zdroji. Stejně tak určíme i nejistotu pro teploty, protože nebyl k dispozici návod s přesným určením nejistoty měřícího přístroje.

Nejistotu u rozměrů materiálu stanovíme z přístrojů, kterými jsme měřili délky. Tedy pro šířku a délku postavy materiálu jsem použil svinovací metr, které má nejistotu měření 0,1 cm a pro výšku materiálu jsem použil posuvné měřítko, který má nejistotu měření 0,01 cm.

Obecně tedy naměřené intervaly přímo měřených veličin jsou tyto

$$U = (15,8 \pm 0,1) \text{ V} \quad (6)$$

$$I = (1,96 \pm 0,01) \text{ A} \quad (7)$$

$$t_1 = (44,4 \pm 0,1) \text{ °C} \quad (8)$$

$$t_2 = (27,3 \pm 0,1) \text{ °C} \quad (9)$$

$$a = (20,8 \pm 0,1) \text{ cm} \quad (10)$$

$$b = (20,1 \pm 0,1) \text{ cm} \quad (11)$$

$$d = (1,27 \pm 0,01) \text{ cm} \quad (12)$$

Nejistotu měření součinitele teplotní vodivosti určíme ze zákona přenášení nejistot. Dostaneme

$$u_c(\lambda) = \left( \frac{I^2 d^2 u_c(U)^2}{(t_1 - t_2)^2 a^2 b^2} + \frac{U^2 d^2 u_c(I)^2}{(t_1 - t_2)^2 a^2 b^2} + \frac{U^2 I^2 u_c(d)^2}{(t_1 - t_2)^2 a^2 b^2} + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{U^2 I^2 d^2 u_c(t_1)^2}{(t_1 - t_2)^4 a^2 b^2} + \frac{U^2 I^2 d^2 u_c(a)^2}{(t_1 - t_2)^2 a^4 b^2} + \frac{U^2 I^2 d^2 u_c(b)^2}{(t_1 - t_2)^2 a^2 b^4} \right)^{1/2} \quad (13)$$

Po dosazení všech hodnot<sup>1</sup> do rovnice (4) dostaneme výsledek součinitele teplotní vodivosti a při dosazení hodnot do (13) dostaneme celkovou nejistotu tohoto měření. Můžeme tedy napsat výsledek v obvyklém tvaru

$$\lambda = (0,055 \pm 0,0008) \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \quad (14)$$

<sup>1</sup>Všechny výpočty jsem prováděl v matematickém prostředí systému Maple. V dodatku je uveden zdrojový kód celého výpočtu.

## 6. Závěr

Součinitel tepelné vodivosti sádrokartonu, který jsme měřili se obvykle pohybuje kolem hodnoty  $0,20 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . My jsme ovšem naměřili hodnotu jak ukazuje rovnice (14), tedy

$$\lambda = (0,055 \pm 0,0008) \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

což je hodnota, která se liší o něco kolem 50 %. To znamená, že jsme se museli dopustit v měření, nějaké *hrubé chyby*. Protože jsme se hrubé chyby mohli jen těžko dopustit při měření rozměrů a nemohli jsme chybu udělat ani u napětí či proudu, protože tyto dvě veličiny ukazoval sám zdroj je nejpravděpodobnější, že jsme se dopustili chyby při vkládání teplotních čidel do materiálu.

Nejlepší vysvětlení by se našlo, kdyby teplota  $t_1$  byla výrazně vyšší, nebo teplota  $t_1$  byla výrazně nižší. To by ovšem nevedlo k zmenšení měření teplotního součinitele vodivosti, ale naopak k jeho zvětšení. Pakliže jsou teploty  $t_1$  a  $t_2$  příliš blízko sebe, nebo že rozdíl těchto teplot je příliš malý, musela být tedy teplota  $t_1$  (teplota u ohřívače) příliš nízká, což by se ovšem nestalo tím, že by byla sonda špatně v materiálu, to by naopak znamenalo vyšší teplotu než nižší. Analogicky u teploty  $t_2$  (teplota u chladiče) by se očekávalo, že by při špatném zasunutí do materiálu byla nižší.

Bohužel na úplný závěr musíme tedy prohlásit, že jsem se dopustili neznámé hrubé chyby při měření.

## Dodatek

### Zdrojový kód Maplu

```
> l:=U*i/(t1-t2)*d/(a*b);  
> ul:=sqrt((diff(l,U)*uU)^2 + (diff(l,i)*ui)^2 + (diff(l,d)*ud)^2 +  
  (diff(l,t1)*ut1)^2 + (diff(l,t_2)*ut2)^2 + (diff(l,a)*ua)^2 + (diff(l,b)*ub)^2);  
> U:=15.8; uU:=0.1;  
> i:=1.96; ui:=0.01;  
> t1:=44.4; ut1:=0.1;  
> t2:=27.3; ut2:=0.1;  
> a:=20.8*10^(-2); ua:=0.1*10^(-2);  
> b:=20.1*10^(-2); ub:=0.1*10^(-2);  
> d:=1.27*10^(-2); ud:=0.01*10^(-2);  
> l;  
> ul;
```