

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Teodor Duraković

Naměřeno: 10. března 2024

Obor: F

Skupina: St 8:00

Testováno:

Úloha č. 10: Tepelná vodivost pevných látek

$$T = 23.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 99\,316 \text{ Pa}$$

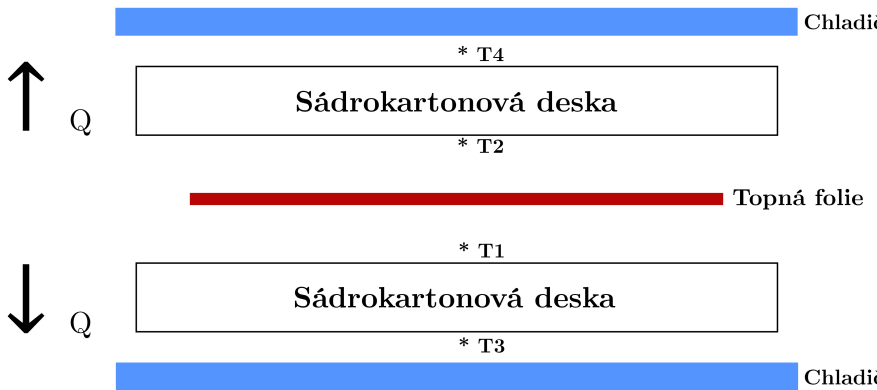
$$\varphi = 42.1 \text{ \%}$$

1. Zadání

Změřit tepelnou vodivost sádrokartonu. Minimalizovat tepelné ztráty a realizovat způsob měření tepelného výkonu procházejícího vodičem za ustáleného stavu.

2. Postup, metody měření

Pracujeme se dvěma deskami sádrokartonu o stejných rozměrech. Teplo dodáváme soustavě topnou fólií Omega, KH-808/10. Folie je vložena **mezi** sádrokartonové desky, teplota je měřena ve čtyřech bodech:



Obrázek 1: Schéma realizované soustavy

Z obou stran sádrokartonové desky je vyfrézován žlábek o hloubce cca. 0.3mm vedoucí do centra desky. Do těchto žlábků jsou umístěny termočlánky typu K, kterými je teplota měřena. Při přípravě měřicí soustavy se snažíme dosáhnout co nejlepšího tepelného kontaktu mezi všemi elementy. Topnou fólii zahříváme konstantním výkonem - měříme proud procházející folií a napětí mezi přívodními svorkami (měříme metodou A). Na čidlech T_1, T_2 budeme pozorovat růst teploty podléhající funkci $T_u - T_0 e^{-h\tau}$, kde T_u je teplota v ustáleném stavu a T_0 je počáteční teplota. Ustálený stav pro nás znamená, že se

folie **již dále neohřívá**, její teplota bude konstantní a tudíž pro ustálený stav můžeme říci, že veškeré přivedené teplo je odebíráno okolím, v našem případě sádrokartonovými deskami. Bude platit

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

$$UI = \lambda \frac{S}{d}(t_1 - t_2) \quad (2)$$

kde U, I jsou napětí a proud na folii, τ je čas (součin těchto členů tvoří výše zmíněné přivedené teplo), λ je součinitel tepelné vodivosti, S je obsah kolmého průřezu vodičem a d je jeho délka. t_1, t_2 jsou teploty u ohříváče, resp. chladiče. Pro výpočet součinitele tepelné vodivosti tedy platí

$$\lambda = \frac{UI}{t_1 - t_2} \frac{d}{S} \quad (3)$$

Jelikož je však teplo odebíráno **dvěma deskami**, nikoliv pouze jednou, bude platit:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4)$$

$$UI = \lambda \frac{S}{d}(t_1 - t_3) + \lambda \frac{S}{d}(t_1 - t_4) = \lambda \frac{S}{d}((t_1 - t_3) + (t_1 - t_4)) \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{UI}{(t_1 - t_3) + (t_1 - t_4)} \frac{d}{S} \quad (6)$$

Pro desky sice uvažujeme stejné rozměry, očekáváme ale, že jimi odebrané teplo se **nebude** rovnat. Jeden chladič je totiž položen na umělohmotné podložce, druhý je vystaven okolí - proto očekáváme, že bude odebírat teplo okolnímu vzduchu a teplo od sádrokartonu nebude odebírat stejně efektivně jako spodní chladič.

Samotný experiment provedeme následovně: Zdroj nastavíme na určitý výkon a soustavu necháme přiblížit ustálenému stavu. Zapišeme hodnoty napětí, proudu a teplot. Toto víckrát opakujeme.

2.1. Použitá měřicí technika

	Rozsah	rozlišení	přesnost	nejistota typu B	vnitřní odpor
Voltmetr	50 V	$1 \cdot 10^{-3}$ V	$\pm 0.02\% + 4$	$\pm 0.007\% + 1.3$	10.1 M Ω
Ampérmetr	4.000 A	$1 \cdot 10^{-3}$ A	$\pm 0.3\% + 3$	$\pm 0.1\% + 1$	5.3 Ω
Teploměr (Typ K na NI9212)	cca 1300 °C	$1 \cdot 10^{-3}$ °C	± 0.4 °C	± 0.13 °C	x
Posuvné měřítko	x	0.01 mm	x	0.006 mm	x
Mikrometr	x	0.005 mm	x	0.003 mm	x

Parametry používaných rozsahů měřících přístrojů

3. Měření

3.1. Dimenze desky

Pro rozměry vodičů získáváme následující údaje:

	\bar{x} [mm]	u_a [mm]	u_b [mm]	u_c [mm]
d	12.532	0.0131	0.003	0.013
a	201.492	0.113	0.006	0.113
b	200.136	0.06	0.006	0.061

tedy:

$$d = 12.532 \pm 0.014 \text{ mm}, a = 201.49 \pm 0.12 \text{ mm}, b = 200.1 \pm 0.06 \text{ mm}$$

$$\nu = 9, p = 0.6827$$

Měřili jsme rozměry pouze jedné desky, jelikož byly obě na první i druhý pohled shledány za rozměrově téměř identické

3.2. Teplota

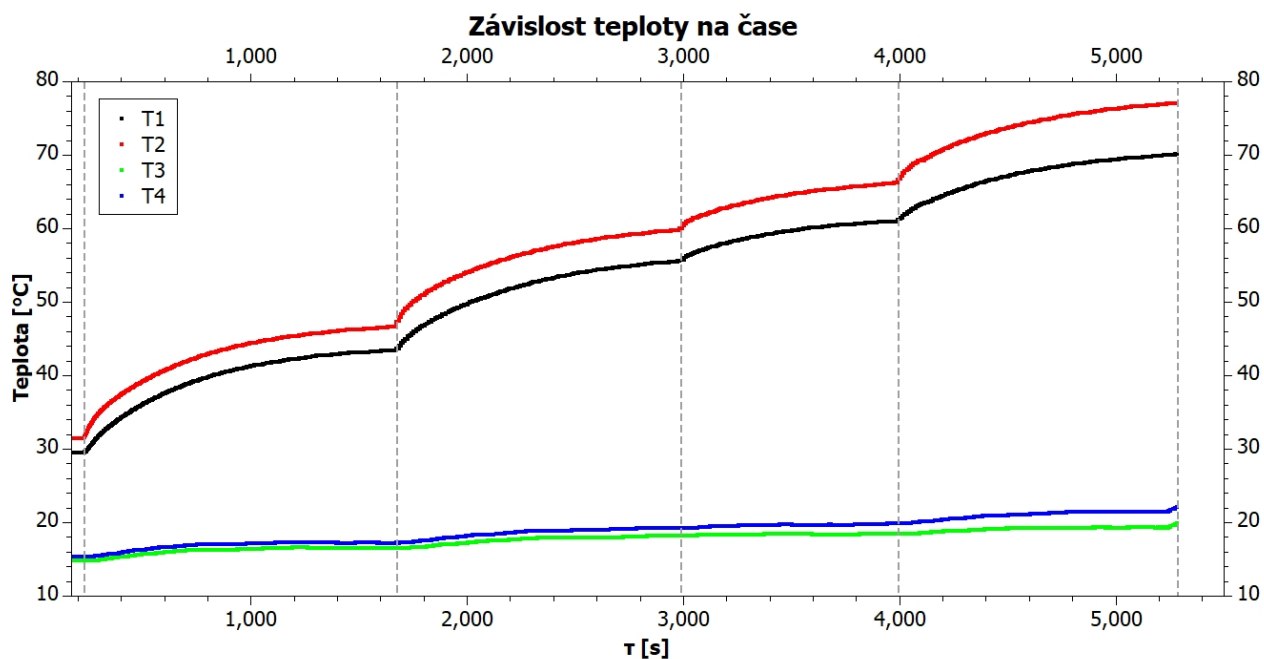
Údaje o teplotě získáváme z termočlánku typu K, platí:

$$U = \beta(T - T_{ref}) \quad (7)$$

$$T = \frac{U}{\beta} + T_{ref} \quad (8)$$

kde T_{ref} je referenční teplota, tj. teplota okolí, U je naměřené napětí, β Seebeckův koeficient, v případě termočlánku K platí $\beta = 42 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ a T je hledaná teplota.

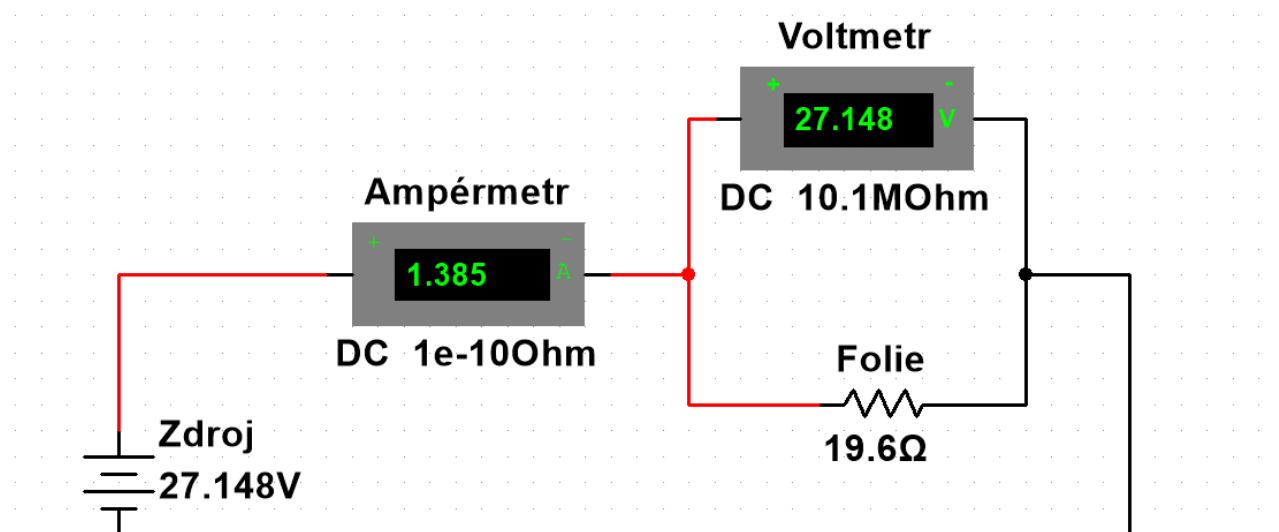
Získáváme:



Důležité jsou pro nás údaje v časech označených čárkovanými liniemi - **jedná se totiž o hodnoty nejbližší ustálenému stavu**. Zapisujeme tedy hodnoty pro 5 ustálených stavů.

3.3. Měření proudu a napětí

Při dosažení ustáleného stavu je vždy odečten proud z ampérmetru a napětí z voltmetru. Jak bylo již zmíněno, hodnoty měříme při zapojení způsobem A:



Folie je ve schématu zakreslena jako rezistor, jelikož se vlastně jedná pouze o rezistor se specifickými dimenzemi.

Při paralelním měření napětí a proudu je nutno eliminovat systematickou chybu. V našem případě je chyba přítomna při měření ampérmetru, jelikož měří proud protékající rezistorem (folií) i voltmetrem. Adjustaci provedeme aplikací formule:

$$I_A = I + I_V \quad (9)$$

$$I = I_A - I_V = I_A - \frac{U_V}{R_V} \quad (10)$$

Pro měření v ustálených stavech získáváme:

n	U [V]	I [A]	I - korekce [A]	P [W]
1	19.825 ± 0.003	1.021 ± 0.002	1.021 ± 0.002	20.24 ± 0.04
2	27.148 ± 0.003	1.382 ± 0.002	1.382 ± 0.002	37.52 ± 0.06
3	31.770 ± 0.004	1.617 ± 0.003	1.617 ± 0.003	51.37 ± 0.08
4	33.598 ± 0.004	1.721 ± 0.003	1.721 ± 0.003	57.82 ± 0.09
5	36.567 ± 0.004	1.900 ± 0.003	1.900 ± 0.003	69.47 ± 0.11

Jelikož studujeme fyziku, místo manuálního výpočtu přístrojových nejistot jsme vynaložili ekvivalentní (ne-li větší) množství času pro výrobu skriptu, který kalkulaci výše uvedené tabulky vykonal za nás. U korigované hodnoty proudu si můžeme všimnout, že se hodnoty při použití zaokrouhlení od původních hodnot nijak neliší. Vždy je však lepší adjustaci provést, než neprovést.

4. Výsledky

Pro 5 ustálených stavů získáváme:

n	P [W]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
1	20.24	29.66	31.85	14.97	15.52	0.2029 ± 0.0018
2	37.52	43.56	46.76	16.61	17.35	0.2069 ± 0.0011
3	51.37	55.70	59.98	18.31	19.37	0.2047 ± 0.0008
4	57.82	61.11	66.32	18.62	19.97	0.2023 ± 0.0007
5	69.48	70.16	77.14	19.96	22.16	0.2053 ± 0.0007

$$\bar{\lambda} = 0.2044 \pm 0.0005 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1} \quad (11)$$

5. Závěr

Pro koeficient tepelné vodivosti jsme získali hodnotu, která se blíží běžně uváděné hodnotě $\lambda = 0.22 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Zároveň se nám nepodařilo nalézt přímý zdroj této chyby (pokud by byla způsobena tepelnými ztrátami, koeficient by byl větší, nikoliv menší). *Úprava po konzultaci: za možný zdroj odchylky měřené hodnoty od hodnoty nalezené on-line byla po diskusi označena skutečnost, že samotný materiál je vyráběn v různých provedeních s mírně odlišnými hodnotami lambda, k odchylce mohla přispět i nehomogenní povaha materiálu, kvůli které se tepelná vodivost v každém bodě plochy bude mírně lišit.*

6. Použitý kód

```
import numpy
from uncertainties import *
R = ufloat (10.1e6, 0)
d = ufloat (12.532e-3, 0.014e-3)
a = ufloat (201.49e-3, 0.14e-3)
b = ufloat (200.1e-3, 0.1e-3)
S = a*b

def calc(n, rel, dig):
    calcdone = []
    for value in n:
        calc_value = float(value) * rel + dig
        calcdone.append(calc_value)
    return calcdone

# Pro voltmetr:
u = [19.825, 27.148, 31.770, 33.598, 36.567]
UERR = (0.00007) #nejistota od vyrobce, NE V PROCENTECH, ABSOLUTNE
UDIG = (0.0013) #cast "digits" vynasobena rozslisenim

#pro ampermetr:
i = [1.021, 1.382, 1.617, 1.721, 1.900]
IERR = (0.001)
IDIG = (0.001)

calcdone = calc(u, UERR, UDIG)

print("Nejistoty napeti:", calcdone)
u1, u2, u3, u4, u5 = [ufloat(x, y) for x, y in zip(u, calcdone)]
uF = [ufloat(x, y) for x, y in zip(u, calcdone)]
print ("U1 =", u1)
print ("U2 =", u2)
print ("U3 =", u3)
print ("U4 =", u4)
print ("U5 =", u5)

calcdone = calc(i, IERR, IDIG)

print("Nejistoty prudu:", calcdone)
i1, i2, i3, i4, i5 = [ufloat(x, y) for x, y in zip(i, calcdone)]
iF = [ufloat(x, y) for x, y in zip(i, calcdone)]
print ("i1 =", i1)
print ("i2 =", i2)
print ("i3 =", i3)
print ("i4 =", i4)
print ("i5 =", i5)

print ("set napeti", uF)
print ("set proudu", iF)
#ADJUSTACE AMPERMETRU:
```

```

print("")
print("\\\\\\\\\\ adjustace ampermetru\\\\\\\\\\\\\\\\")

iCorr = []
for u, i in zip(uF, iF):
    iCorr_value = i - u/R;
    iCorr.append(iCorr_value)
i1c, i2c, i3c, i4c, i5c = iCorr
print ("i1 po korekci =", i1c)
print ("i2 po korekci =", i2c)
print ("i3 po korekci =", i3c)
print ("i4 po korekci =", i4c)
print ("i5 po korekci =", i5c)

P = []
for u, i in zip(uF, iCorr):
    P_value = u*i;
    P.append(P_value)

print (P)
P1,P2,P3,P4,P5 = P
print ("P1 = ", P1)
print ("P2 = ", P2)
print ("P3 = ", P3)
print ("P4 = ", P4)
print ("P5 = ", P5)


T11 = ufloat (29.662,0.13)
T12 = ufloat (31.846,0.13)
T13 = ufloat (14.974,0.13)
T14 = ufloat (15.523,0.13)


#t = 1665.1
T21 = ufloat (43.557,0.13)
T22 = ufloat (46.763,0.13)
T23 = ufloat (16.613,0.13)
T24 = ufloat (17.350,0.13)


#t3 = 2981
T31 = ufloat (55.697,0.13)
T32 = ufloat (59.979,0.13)
T33 = ufloat (18.314,0.13)
T34 = ufloat (19.372,0.13)


#t = 3982
T41 = ufloat (61.105,0.13)
T42 = ufloat (66.317,0.13)
T43 = ufloat (18.617,0.13)
T44 = ufloat (19.971,0.13)


#t = 5276
T51 = ufloat (70.155,0.13)
T52 = ufloat (77.141,0.13)
T53 = ufloat (19.955,0.13)
T54 = ufloat (22.156,0.13)

T1 = T11, T21, T31, T41, T51

T2 = T12, T22, T32, T42, T52

T3 = T13, T23, T33, T43, T53

T4 = T14, T24, T34, T44, T54
lm = []
for P, t1, t2, t3, t4 in zip(P, T1,T2,T3,T4):
    lambda_value = (P/((t1 - t3)+(t2-t4)))* d/S;
    lm.append(lambda_value)

print (lm)

lm1,lm2,lm3,lm4,lm5 = lm
print ("lambda 1 = ", lm1)
print ("lambda 2 = ", lm2)
print ("lambda 3 = ", lm3)
print ("lambda 4 = ", lm4)
print ("lambda 5 = ", lm5)

print ("lambda prumer =", (lm1+lm2+lm3+lm4+lm5)/5)

```