

Ćwiczenie C5

Wyznaczanie współczynnika przewodnictwa cieplnego wybranych materiałów

C5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie mechanizmów transportu energii, w szczególności zjawiska przewodnictwa cieplnego oraz wyznaczenie współczynnika przewodnictwa cieplnego wybranych materiałów.

C5.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Mechanizmy transportu energii,
- prawo Fouriera,
- współczynnik przewodnictwa cieplnego,
- metody wymiany ciepła,
- pojęcie energii wewnętrznej,
- pierwsza zasada termodynamiki,
- ciepło właściwe a ciepło molowe,
- metoda najmniejszych kwadratów.

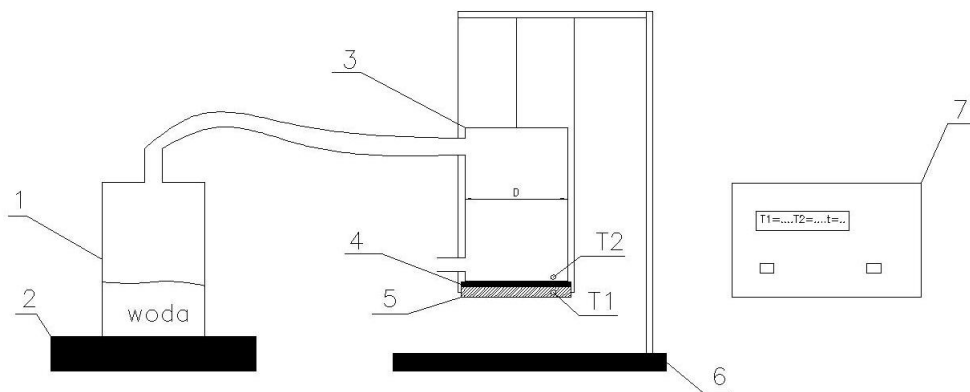
C5.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnik R., Walker J.: *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa.
- [2] Skorko M.: *Fizyka*, WNT, Warszawa.
- [3] Massalski J., Massalska M.: *Fizyka dla inżynierów*, WNT, Warszawa.
- [4] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna*, cz. 2, PWN, Warszawa.
- [5] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

C5.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

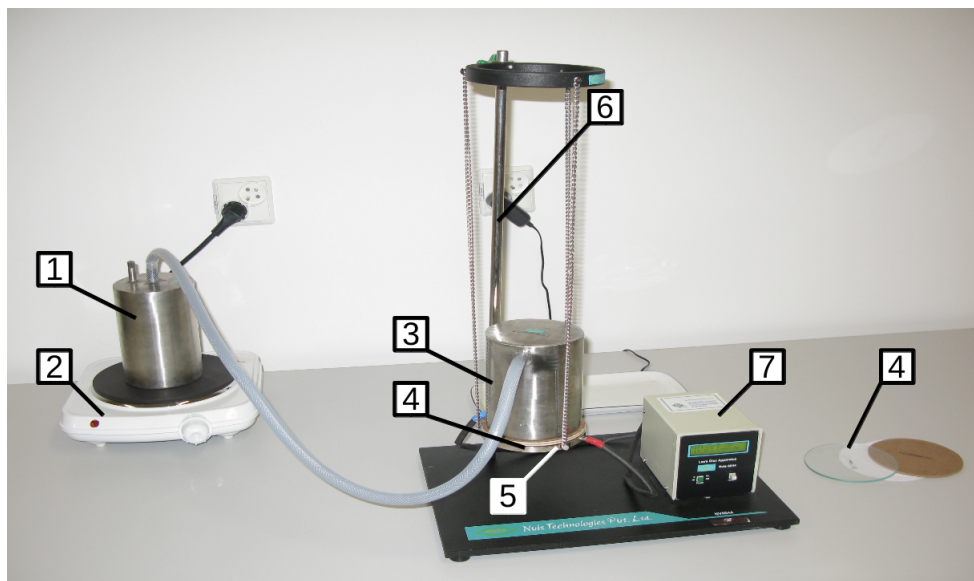
Rysunek C5.1 przedstawia schemat, zaś rysunek C5.2 zdjęcie układu pomiarowego, na który składają się: **1** – parownik, **2** – grzejnik, **3** – komora grzejna, której temperaturę mierzymy czujnikiem **T2**, **4** – badany materiał (dysk o grubości d), **5** – metalowy dysk, którego temperaturę mierzymy czujnikiem **T1**, **6** – statyw, **7** – urządzenie pomiarowe, pozwalające na pomiar temperatury **T1** i **T2** (max. 100°C) oraz czasu (max. 1 h). W skład zestawu pomiarowego wchodzi również suwmiarka i rękawice ochronne (niezbędne przy manipulowaniu gorącą komorą grzejącą).



Rysunek C5.1. Schemat układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia

Powyższy zestaw pomiarowy pozwala na wyznaczenie współczynnika przewodnictwa cieplnego materiałów będących słabymi przewodnikami ciepła za pomocą metody Lee. Metoda polega na doprowadzeniu układu do stanu, w którym metalowy dysk jest w równowadze cieplnej (ciepło pobierane przez dysk jest równe ciepłu traconemu, wtedy temperatura dysku stabilizuje się, $T1 \approx \text{const.}$). Pomiar należy przeprowadzić w następujący sposób:



Rysunek C5.2. Zdjęcie układu pomiarowego

1. Sprawdzić poziom wody w parowniku (powinien on być wypełniony co najmniej do połowy swojej wysokości).
2. Za pomocą suwmiarki zmierzyć średnicę powierzchni grzejnej ($2r$) i grubość dysku wykonanego z badanego materiału (d) – pomiary powtórzyć kilkakrotnie.
3. Zanotować masę metalowego dysku (M) i jego ciepło właściwe (C_w) – dane dostępne na stanowisku pomiarowym.
4. Zestawić układ według schematu pokazanego na Rysunku C5.1:
 - dysk wykonany z badanego materiału umieścić pomiędzy komorą grzejną i metalowym dyskiem;
 - sprawdzić czy wylot gorącego strumienia wody z komory grzejnej znajduje się nad zlewką;
 - podłączyć czujniki temperatury: **T1** do metalowego dysku, **T2** do komory grzejnej.
5. Włączyć grzejnik.
6. Począkać około 15-20 minut, gorący strumień wody przepływając przez komorę grzejną sprawi, że jej temperatura **T2** zacznie wzrastać.
7. Wymiana ciepła między komorą grzejną i metalowym dyskiem poprzez dysk wykonany z badanego materiału sprawi, że zacznie również rosnać temperatura **T1** metalowego dysku.

8. Poczekać do momentu kiedy temperatura metalowego dysku ustabilizuje się (będzie prawie stała w czasie), co wyznacza stan równowagi cieplnej metalowego dysku.
9. Zanotować temperatury **T1** i **T2** jako temperatury równowagi cieplnej T_{1R} i T_{2R} .
10. Założyć rękawice, ostrożnie podnieść komorę grzejącą i wyjąć cienki izolujący krążek wykonany z badanego materiału.
UWAGA: zachować szczególną ostrożność – wysoka temperatura zbiornika i wody.
11. Komorę grzejącą postawić bezpośrednio na metalowy dysk.
12. Podgrzać metalowy dysk do temperatury około 10°C powyżej T_{1R} .
13. Następnie założyć rękawice, komorę grzejącą odłączyć od czujnika temperatury i zdjąć ją z metalowego dysku.
UWAGA: zachować szczególną ostrożność przy zdejmowaniu komory grzejnej – wysoka temperatura zbiornika i wody.
14. Wyłączyć grzejnik.
15. Po około 2-3 min. przykryć metalowy dysk krążkiem wykonanym z badanego materiału.
16. Włączyć pomiar czasu i zarejestrować charakterystykę $T_1(t)$ odczytując **T1** co 30 s aż do temperatury około 10°C poniżej T_{1R} .
17. Wykreślić $T_1(t)$ i metodą graficzną lub najmniejszych kwadratów wyznaczyć $\frac{dT_1}{dt}$ (w zależności od zakresu temperatury będzie to nachylenie stycznej do krzywej $T_1(t)$ w punkcie T_{1R} lub nachylenie otrzymanej prostej $T_1(t)$).

Zadania do wykonania

- C5.1. Wyznaczyć współczynnik przewodnictwa cieplnego wybranego materiału będącego słabym przewodnikiem ciepła.

Uzupełnienie do zadania C5.1

Ciepło pobierane (Q_p) przez metalowy dysk będący w temperaturze T_{1R} jest dostarczane z komory grzejnej będącej w temperaturze T_{2R} na drodze przewodzenia ciepła przez badany (izolujący) materiał o grubości d . Dlatego możemy zapisać, że w jednostce czasu:

$$Q_p = K \frac{T_{2R} - T_{1R}}{d} \pi r^2, \quad (\text{C5.1})$$

gdzie r jest promieniem powierzchni, przez którą ciepło jest wymieniane, zaś K jest współczynnikiem przewodzenia ciepła badanego materiału.

Jednocześnie w procesie wymiany ciepła z otoczeniem (głównie przez promieniowanie cieplne) metalowy dysk traci ciepło (Q_t). Możemy je wyznaczyć poprzez pomiar szybkości chłodzenia dysku w okolicy temperatury jego równowagi cieplnej T_{1R} . Mając $\frac{dT_1}{dt}$ oraz masę dysku (M) i jego ciepło właściwe (C_w) możemy zapisać, że w jednostce czasu:

$$Q_t = M C_w \left(\frac{dT_1}{dt} \right). \quad (\text{C5.2})$$

Wiedząc, że w stanie równowagi cieplnej w jednostce czasu metalowy dysk tyle samo ciepła pobiera od strony komory grzejnej (Q_p) ile traci od swojej spodniej strony (Q_t), otrzymujemy wyrażenie na współczynnik przewodzenia ciepła badanego materiału:

$$K = \frac{M C_w d}{\pi r^2 (T_{2R} - T_{1R})} \left(\frac{dT_1}{dt} \right). \quad (\text{C5.3})$$

C5.5. Rachunek niepewności

Niepewność wyznaczenia r i d obliczamy jako odchylenie standardowe na podstawie serii pomiarów, niepewności określenia T_{1R} i T_{2R} szacujemy w trakcie ich pomiaru, zaś niepewność $\frac{dT_1}{dt}$ wyznaczamy graficznie lub stosując odpowiednie wzory metody najmniejszych kwadratów.

Niepewność współczynnika przewodnictwa cieplnego K obliczamy jako niepewność wielkości złożonej.