

ĆWICZENIE 2

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODZENIA CIEPŁA

Cel ćwiczenia.

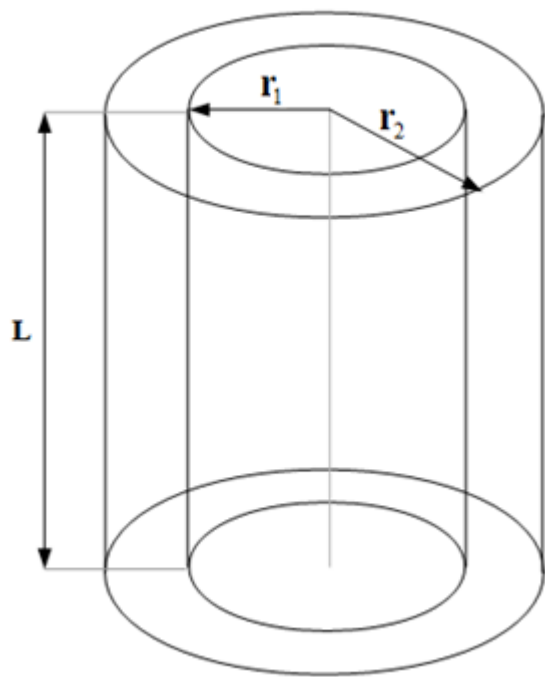
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi zjawiskami fizycznymi towarzyszącymi wymianie ciepła oraz wyznaczenie parametrów fizycznych opisujących te zjawiska (takich jak współczynnik przewodzenia ciepła, opór cieplny, grubość warstwy przyściennej, gradient temperatury).

Zakres wymaganych wiadomości.

Wymiana ciepła pomiędzy organizmem a środowiskiem zewnętrznym: konwekcja, przewodzenie, promieniowanie, parowanie; bilans cieplny, izolacja termiczna, strumień cieplny, warstwa przyścienna, zasada działania termopary, termoogniwo.

Opis ćwiczenia.

Wyznaczanie współczynnika przewodzenia ciepła.



Rysunek 1. Schemat badanego obiektu – walca o promieniu r_1 i wysokości L otoczonego warstwą materiału o promieniu r_2 .

Przewodzenie ciepła jest procesem przenoszenia energii cieplnej przez cząsteczki nie podlegające przemieszczeniom makroskopowym, dlatego też dotyczy głównie ciał stałych. W przypadku jednowymiarowym zależność opisująca strumień ciepły w stanie nieustalonym została sformułowana przez Fouriera jako:

$$\frac{dQ}{Adt} = -\lambda \frac{dT}{dx} \left[\frac{J}{s.m^2} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$dQ/(Adt)$: gęstość strumienia ciepła

λ : współczynnik proporcjonalności (współczynnik przewodzenia ciepła)

$A [m^2]$: powierzchnia wymiany ciepła

dT/dx : gradient temperatury

Zazwyczaj skalarne pole temperatury jest zmienne we wszystkich trzech kierunkach, jednak dla wielu przypadków wystarczy rozpatrywać prosty model jednowymiarowy. W przypadku badanego obiektu, którym jest aluminiowy cylinder ogrzewany w dolnej części za pomocą grzałki elektrycznej, rozpatrywane będzie przewodzenie ciepła w kierunku promieniowym (r). Przyjmujemy, że walec ten jest wystarczająco wysoki aby móc pominąć powierzchnię jego podstawy w procesie przewodzenia ciepła.

Ustalając stacjonarny przepływ ciepła można stosunkowo łatwo wyznaczyć współczynnik przewodzenia ciepła. Metoda ta zakłada stałość rozkładu temperatur wewnątrz próbki materiału – czyli spełnienie warunku $dT/dt=0$. Obierając dwa punkty odległe od osi walca o r_1 oraz r_2 oraz mierząc temperatury w tych punktach (odpowiednio T_1, T_2) można obliczyć współczynnik przewodzenia ciepła.

Równanie różniczkowe pola temperatury, dla jednego kierunku, można rozpisać we współrzędnych cylindrycznych jako:

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{rdT}{dr} \right) = 0 \quad (2)$$

po pierwszym scałkowaniu otrzymujemy:

$$\frac{rdT}{dr} = c_1 \Rightarrow dT = dr \frac{c_1}{r} \quad (3)$$

po kolejnym całkowaniu otrzymujemy całkę ogólną:

$$T = c_1 \ln(r) + c_2 \quad (4)$$

następnie określamy c_1 i c_2 na podstawie warunków brzegowych:

warunek brzegowy I: $r = r_1 \quad T = T_1$

warunek brzegowy II: $r = r_2 \quad T = T_2$

gdzie $T_2 < T_1$

gdzie:

r_1 : promień zewnętrzny walca

r_2 : promień powierzchni walcowej, przez którą rozważany jest transport ciepła.

$$T_1 = c_1 \ln(r_1) + c_2$$

$$T_2 = c_1 \ln(r_2) + c_2$$

Po podstawieniu wartości brzegowych otrzymujemy w oparciu o równanie (4) :

$$T_1 - T_2 = c_1 \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \Rightarrow c_1 = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (5)$$

Podstawiając do równania Fouriera (1) zależność wyznaczoną z równania (3) oraz (5) otrzymujemy:

$$\frac{dQ}{Adt} = -\lambda \frac{dT}{dr} = -\lambda \frac{c_1}{r} = -\lambda \frac{T_1 - T_2}{r \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (6)$$

Zakładając możliwość przepływu strumienia cieplnego jedynie przez powierzchnię boczną walca otrzymujemy:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda 2\pi L \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (7)$$

stąd:

$$\lambda = \frac{dQ}{dt} \frac{1}{2\pi L} \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(T_1 - T_2)} \quad (8)$$

$$\frac{dQ}{dt} [\text{W}] = 6 \text{ W (moc wydzielona w grzałce umieszczonej wewnątrz walca).}$$

Wyznaczanie grubości warstwy przyściennej.

Na podstawie równania Fouriera i prawa Newtona można wyznaczyć grubość warstwy przyściennej d :

$$\frac{dQ}{dt} = A\alpha(T_{pow} - T_{oto}) = -\lambda A \frac{T_{oto} - T_{pow}}{d} \quad (9)$$

gdzie α jest współczynnikiem przejmowania ciepła a λ współczynnikiem przewodzenia ciepła dla niemal nieruchomego powietrza i w przybliżeniu wynosi 0,024 [W/mK], T_{pow} – to temperatura powierzchni, T_{oto} - temperatura otoczenia.

Powierzchnia walca (T_{pow}) ogrzewanego mocą 6W wynosi 42°C (w równowadze termodynamicznej z

otaczającym go powietrzem o temperaturze pokojowej tj. 21°C).

W oparciu o prawo Newtona można wyznaczyć wartość współczynnika przejmowania ciepła α :

$$\alpha = \frac{\frac{dQ}{dt}}{(T_{pow} - T_{oto})A} \quad (10)$$

Znając wartości α i λ można wyznaczyć grubość warstwy przysciennej d :

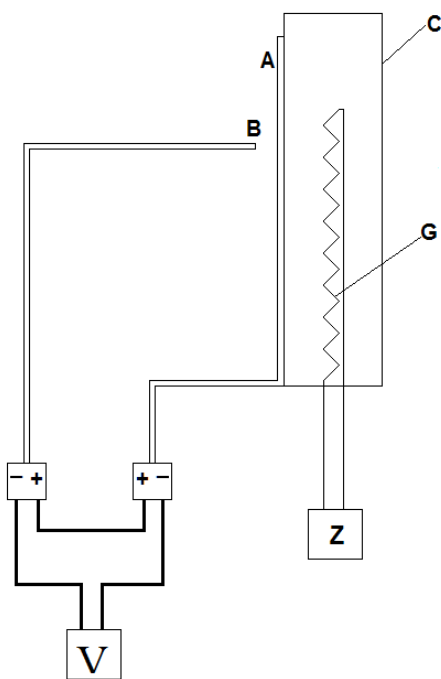
$$d = \frac{\lambda}{\alpha} \quad (11)$$

Dzieląc d przez λ możemy wyliczyć opór cieplny R_w przegrody walcowej jako:

$$R_w = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (12)$$

Współczynnik przejmowania ciepła jest odwrotnością oporu przegrody $R_w = \alpha^{-1}$.

Opis układu pomiarowego.



Schemat 1: Schemat układu pomiarowego. A - nieruchoma termopara, B - ruchoma termopara, C - cylinder, G - grzałka elektryczna, Z - zasilacz, V – woltomierz (zakres 100mV).

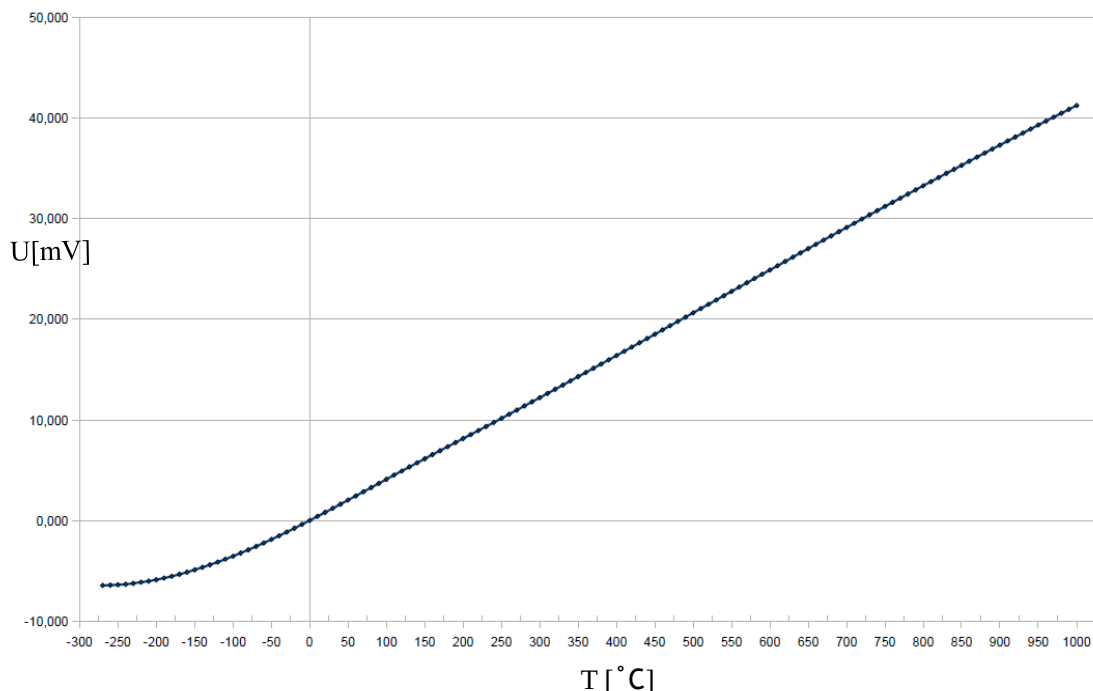
UWAGI:

- zakres woltomierza V543: 100 mV

Maksymalny błąd woltomierza V543 $0,05\%X + 0,01Z$ (X wartość zmierzona, Z- zakres)

- charakterystyka termopary typu K (NiCr-NiAl)

u-współczynnik Seebecka (stała termopary) dla termopary typu K wynosi około 41 [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]



Przebieg ćwiczenia.

1. Połączyć obwód układu pomiarowego. Przed włączeniem układu poprosić prowadzącego o sprawdzenie poprawności wykonanych połączeń.
2. Przy użyciu suwmiarki zmierzyć potrzebne wymiary walca (wysokość, promień) oraz zmierzyć grubość futra. Zmierzyć temperaturę otoczenia.
3. Wykonanie pomiarów w warunkach stacjonarnych:
 - a) ogrzewać walec mocą 10W przez 15 minut, następnie zmniejszyć moc grzania do 6 W
 - b) sprawdzić czy termopara A oraz B znajdują się na jednej wysokości (z dokładnością do grubości osłony termopary nieruchomej)
 - c) mierzyć napięcie na zaciskach łącznika termopar (jest ono miarą różnicy temperatur obu termopar) notując odległość ruchomej termopary od powierzchni walca. Położenie ruchomej termopary należy zmieniać za pomocą śruby mikrometrycznej: co 0,05 mm do odległości 2 mm, następnie co 1 mm.
 - d) po zakończeniu serii pomiarów odsunąć ruchomą termoparę na odległość ok. 2 cm od powierzchni walca i nałożyć dodatkową warstwę izolacji termicznej (futra)
 - e) zbliżyć maksymalnie ruchomą termoparę zanurzając ją w warstwie futra
 - f) powtórzyć serię pomiarów zmiany temperatury obu termopar zwiększając odległość pomiędzy nimi (analogicznie jak w p. c)

Opracowanie wyników:

Z zależności mierzonego napięcia $U = u \Delta T$ wyznaczyć ΔT , dla stałej Seebecka $u = 41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Uwaga: $\Delta T = T_1 - T_2 > 0$ zatem mierzona wartość napięcia połączonych termopar powinna też być > 0

(jeśli woltomierz pokazuje wartości ujemne należy zamienić przewody łączące zestaw termopar z woltomierzem).

Wyniki należy opracować w postaci wykresów zależności ΔT od odległości obu termopar ($r_2 - r_1$).

Wyznaczyć współczynnik nachylenia prostej aproksymującej liniowo zależność ΔT od ($r_2 - r_1$).

Wyznaczyć: współczynnik przejmowania ciepła, opór cieplny przegrody, grubość warstwy przysciennej. Obliczyć błędy pomiarowe, przyjmując dokładność odczytu położenia termopary $\Delta r = 1 \times 10^{-5}$ [m]. Uwaga, położenie odczytujemy na tle podziałki 1 milimetrowej ale wartość ta może być nieznacznie większa ze względu na „luzy śruby”.

Uwaga do obliczenia współczynnika przejmowania ciepła z powierzchni futra. W równaniu 11, A to powierzchnia oddająca ciepło, zatem trzeba oszacować powierzchnię futranego walca okrywającego walec aluminiowy, przyjmując grubość futra 1 cm. Aby obliczyć temperaturę powierzchni futra (T_{pow}) należy od temperatury powierzchni walca, czyli T_1 odjąć wartość różnicy temperatur ($T_1 - T_2$) dla odległości przy której kończy się liniowa zależność ΔT od odległości, czyli: $T_{\text{pow}} = T_2 = T_1 - \Delta T$.

Sprawozdanie zakończyć dyskusją uzyskanych wyników.

Przykładowe tabele pomiarowe.

Tabela 1: Parametry walca i warstwy izolacyjnej

L [m]	r_2 [m]	r_1 [m]

Tabela 2: Tabela pomiarowa do punktów

P [W]	U [mV]	ΔT [K]	λ [W/(mK)]	R_w [m ² K/W]	d [m]	α [W/(m ² K)]

L : wysokość walca

r_1 : promień metalowego walca

r_2 : promień walca wyznaczony położeniem ruchomej termopary

T : temperatura

ΔT : różnica temperatur termopar

P : moc wydzielona w grzałce równa dQ/dt

U : napięcie układu termopar

λ : współczynnik przewodzenia ciepła

d : grubość warstwy przysciennej

Literatura

[1] Wiesław Pudlik, *Wymiana i wymienniki ciepła*, Gdańsk 2012

[2] Politechnika Wrocławska, Group of Dielectric Physics, Zjawiska transportu oraz zasada przewodnictwa cieplnego <http://www.gdp.if.pwr.wroc.pl/pliki/pc.pdf> (stan z dnia 30.09.2014)

[3] Politechnika Wrocławska, Group of Dielectric Physics, Wyznaczanie współczynnika przewodzenia ciepła-terioia <http://www.gdp.if.pwr.wroc.pl/pliki/foze/2t.pdf> (stan z dnia 30.09.2014)

[4] Politechnika Łódzka Instytut Elektroenergetyki, *Pomiary temperatury materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych*, Łódź 2011

- [5] Małgorzata Tafl-Klawe, *Wykłady z fizjologii człowieka*, PZWL, Warszawa 2010
- [6] Konturek S., *Fizjologia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny*, ELSEVIER, Wrocław, 2007
- [7] Traczyk W., Trzebski A., *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, Warszawa, 2004
- [8] K. Cena, J.A.Clark, *Bioengineering thermal physiology and comfort*, ELSEVIER 1981
- [9] Jerzy Jaworski, *Laboratorium ergonomii przewodnik do ćwiczeń*, Olsztyn 2008
- [10] Michał Strzeszewski, *Wprowadzenie do ogrzewnictwa – materiały do wykładów*, Politechnika Warszawska 2004
- [11] Zakład Ergonomii - Pracownia Obciążeń Termicznych, <http://www.ciop.pl/> (stan z dnia 30.09.2014)
- [12] THERMOPEDIA <http://www.thermopedia.com> (stan z dnia 30.09.2014)

Instrukcję opracowała mgr inż. Magdalena Żulpo pod opieką dr hab. Krystiana Kubicy. Ewentualne uwagi proszę kierować na adres : magdalena.zulpo@pwr.edu.pl
--