

34 Wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła w metalach/materiały pomocnicze na podstawie instrukcji/

Link do filmu <https://drive.google.com/file/d/1NsPRetPC3sRalrO2y3-lzJWhhoclrfil/view?usp=sharing>

34.1 Wprowadzenie.

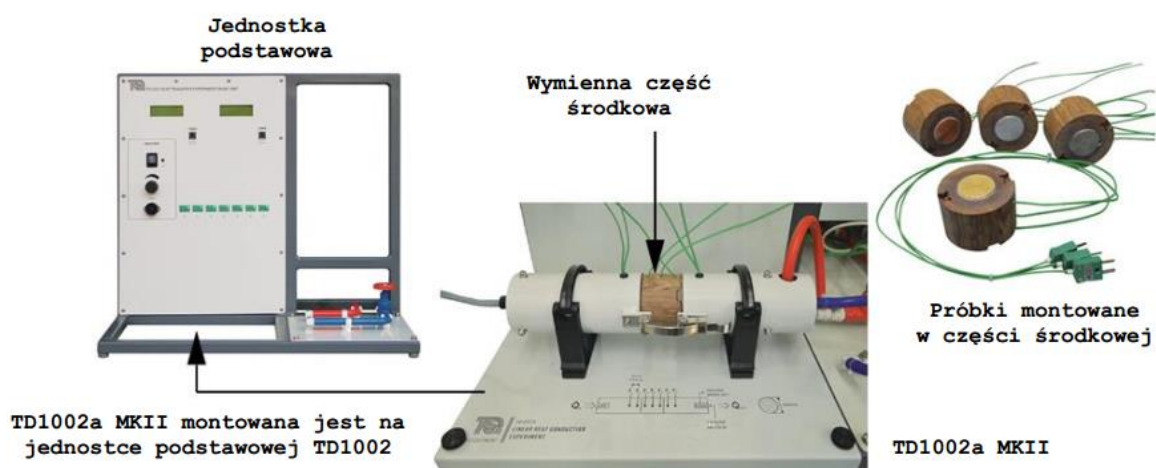
Celem doświadczenia jest zapoznanie się w jaki sposób kształt i materiał komponentu wpływają na przewodzenie ciepła, co jest pomocne w prognozowaniu przepływu energii cieplnej we innych projektach.

Wykonując ćwiczenie należy:

- 1/ zwrócić uwagę co jest charakterystycznego w liniowym przewodzeniu ciepła wzdłuż litego pręta o jednorodnych wymiarach i wykonanego z jednego materiału,
- 2/ zaobserwować wpływ bezpośredniego połączenia różnych materiałów na liniowy przepływ ciepła.
- 3/ zaobserwować sposób eksperymentalnego obliczania przewodności cieplnej materiału na podstawie litego pręta/rdzenia.
- 4/ zaobserwować pożądany wpływ stosowania pasty termoprzewodzącej na połączeniach.

34.2 Opis doświadczenia

Na poniższym rysunku jest przedstawiony tzw. moduł doświadczalny do badania liniowej przewodności cieplnej. Rys.1



Rys.1 Moduł doświadczalny do badania liniowej przewodności cieplnej

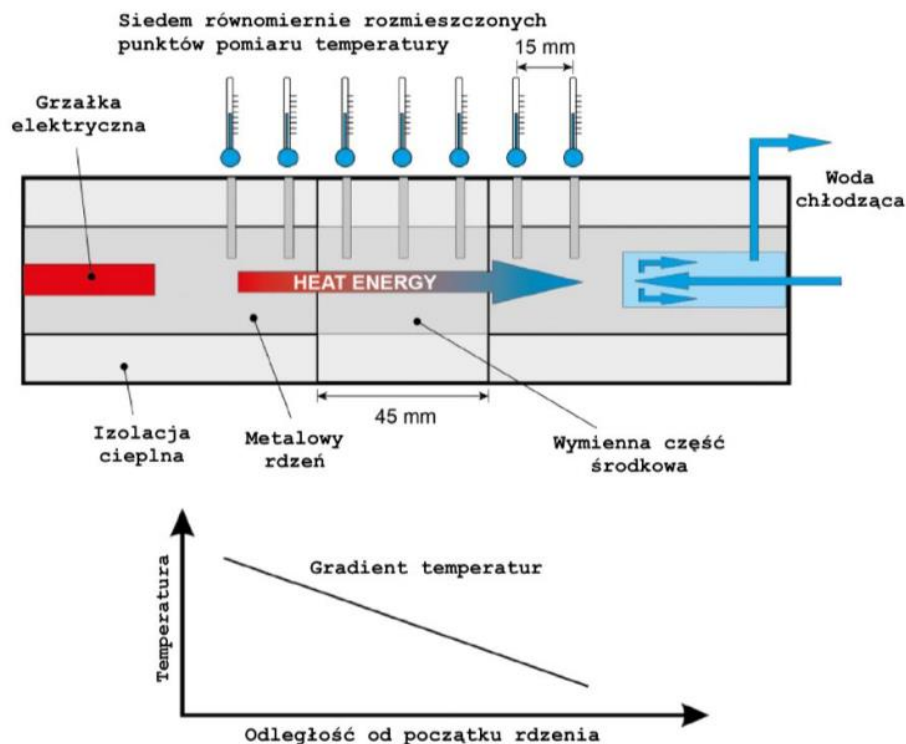
Na rysunku Rys.2 pokazano, jak ciepło przewodzone jest przez mosiężny element o jednolitym, okrągłym przekroju poprzecznym. Na jednym jego końcu znajduje się wytwarzająca energię cieplną grzałka elektryczna (źródło ciepła), a na drugim niewielkich

rozmiarów komora (radiator). Zimna woda doprowadzana z jednostki podstawowej przepływa przez radiator w celu odebrania energii cieplnej. Wyłącznik termiczny znajdujący się przy grzałce sterowany jest przez jednostkę podstawową i wyłącza zasilanie elektryczne grzałki, gdy ta staje się zbyt gorąca.

Siedem równo rozmieszczonych wzdłuż metalowego rdzenia termopar mierzy gradient temperatur pomiędzy źródłem ciepła a radiatorem.

Moduł posiada możliwość wymiany części środkowej rdzenia, co umożliwia montaż elementów z różnych metali (dołączonych w zestawie) i badanie wpływu materiału na rozkład (gradient) temperatur. Metalowy rdzeń jest odpowiednio zaizolowany, dzięki czemu ograniczone są straty ciepła na drodze promieniowania i konwekcji, co przekłada się na większą dokładność pomiarów oraz możliwość porównania ich z teoretycznymi wartościami obliczeniowymi.

Moduł	Szczegóły
Moduł doświadczalny do badania liniowej przewodności cieplnej (TD1002a MkII)	<p>Wymiary netto: 390 mm szerokość x 280 mm głębokość x 130 mm wysokość, masa 4 kg</p> <p>Materiał rdzenia: Mosiądz (typ CZ121) Średnica 30 mm, pole przekroju poprzecznego 0.000707 m²</p> <p>Wymienne elementy środkowe: Mosiądz (typ CZ121), Miedź (typ C101), Aluminium (typ 6082) oraz Stal nierdzewna. 45 mm (grubość), 30 mm (średnica) i 0.000707 m² (pole przekroju poprzecznego).</p> <p>Rozmieszczenie termopar: Centrycznie w odstępach co 15 mm</p>



Rys.2 Zasada działania modułu do badania liniowej przewodności cieplnej

34.2 Montaż urządzenia na jednostce podstawowej

1. Wyłącz zasilania jednostki podstawowej i grzałki.
2. Postaw moduł eksperymentalny z przodu jednostki podstawowej. Za pomocą śrubek ręcznych przymocuj go we właściwej pozycji.
3. Podłącz przewody źródła wody. Upewnij się, że są one podłączone we właściwej

kolejności, gdyż ma to wpływ na wyniki pomiarów.

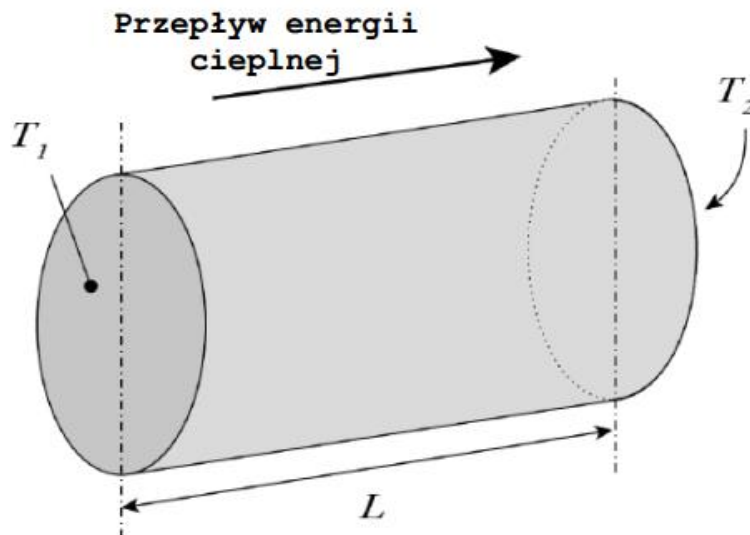
4. Odkręć zasilanie wodne i pozwól jej płynąć przez parę minut. Przez cały czas obserwuj, czy nie występują wycieki.

5. Podłącz termopary z modułu eksperymentalnego do gniazd jednostki podstawowej (zwróć uwagę na oznaczenia numeryczne). Podłącz przewód zasilania grzałki z modułu eksperymentalnego do gniazda jednostki podstawowej.

6. Włącz zasilanie jednostki podstawowej. Ustaw regulację mocy grzałki na minimum i włącz grzałkę

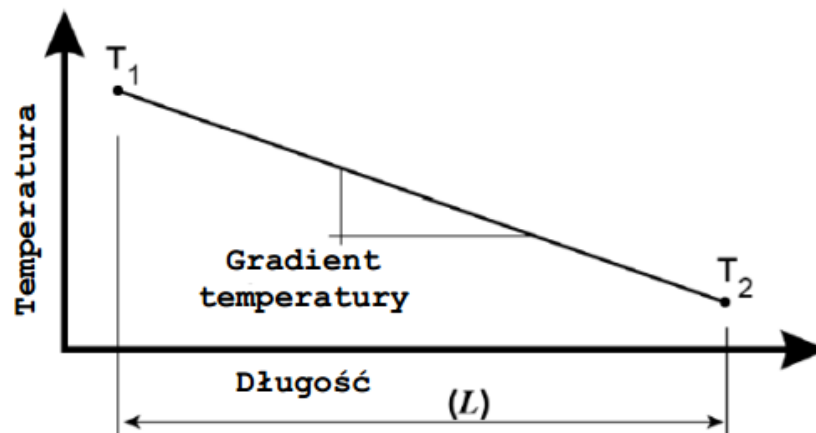
34.3 Opracowanie wyników..

Rozważany jest przykład pręta o okrągłym przekroju poprzecznym, którego temperatura T_1 na jednym końcu jest większa od temperatury T_2 . Energia cieplna w takim przypadku przepływa od gorętszego końca do chłodniejszego (T_1 do T_2).



Rys.3 Pręt o okrągłym przekroju poprzecznym przewodzący ciepło

$$\frac{T_1 - T_2}{L}$$



Rys.4. Sposób wyliczania gradientu temperatury na przykładzie próbki z Rys.3

1. Zapisać dane pomiarowe wg. Tabeli 1

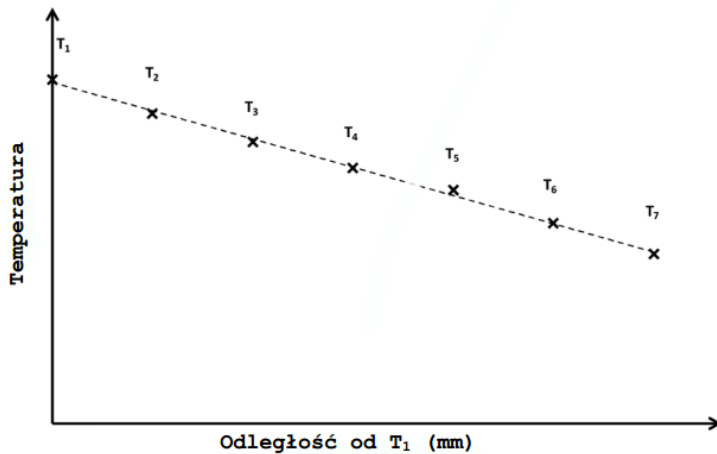
Moduł eksperymentalny: Materiał rdzenia elementu środkowego: Temperatura otoczenia:							
Moc (W)	T ₁ (°K)	T ₂ (°K)	T ₃ (°K)	T ₄ (°K)	T ₅ (°K)	T ₆ (°K)	T ₇ (°K)
Odległość od T₁ (m)	0	0.015	0.030	0.045	0.060	0.075	0.090

Tabela 1

2. Określić współczynnik przewodzenia bez uwzględnienia strat, wykorzystując wzory poniżej:

2.1 dla próbki mosiężnej wykonać:

a/ wykres jak na rysunku 5.



Rys.5 Rozkład temperatury wzdłuż próbki mosiężnej

Uwaga

Z wyników pomiarów dla każdej z nastaw mocy, narysuj wykres zależności temperatury od odległości wzdłuż rdzenia względem lokalizacji pierwszej termopary (T_1) (zob. rys. 5). Punkty na wykresie powinny dać możliwość poprowadzenia dokładnej aproksymowanej linii, ponieważ każdy z komponentów modułu wykonany jest z tego samego materiału. Jeśli trzy linie temperatur ($T_1 - T_2$), ($T_3 - T_4 - T_5$) oraz ($T_6 - T_7$) nie są współliniowe, element środkowy mógł zostać niewłaściwie zamocowany.

b/Oblicz gradient temperaturowy linii dla porównania (Rys.4)

$$k = \frac{\dot{Q}L}{(T_1 - T_2)A} = \frac{WL}{(T_1 - T_2)A}$$

c/ Oblicz współczynnik przewodzenia ciepła wg wzoru:

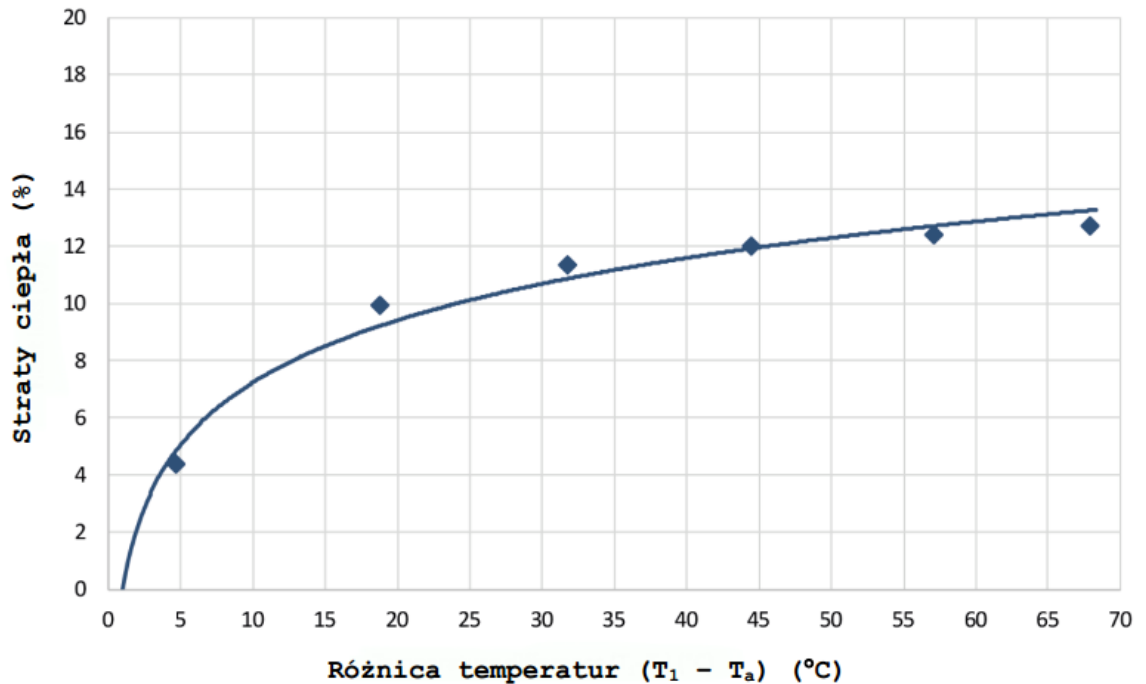
gdzie k - współczynnik przewodzenia ciepła (przewodność ciepła); W – moc, L -odległość między odpowiednimi punktami pomiarowymi, A pole przekroju próbki.

d/ Określić możliwość występowania strat

2.2 dla próbki innej niż mosiężna

a/ powtórzyć procedurę a-c (jak dla próbki mosiężnej) i określić współczynnik przewodzenia ciepła bez uwzględnienia strat

b/ uwzględnić straty przy wykorzystaniu wykresu skalibrowanego



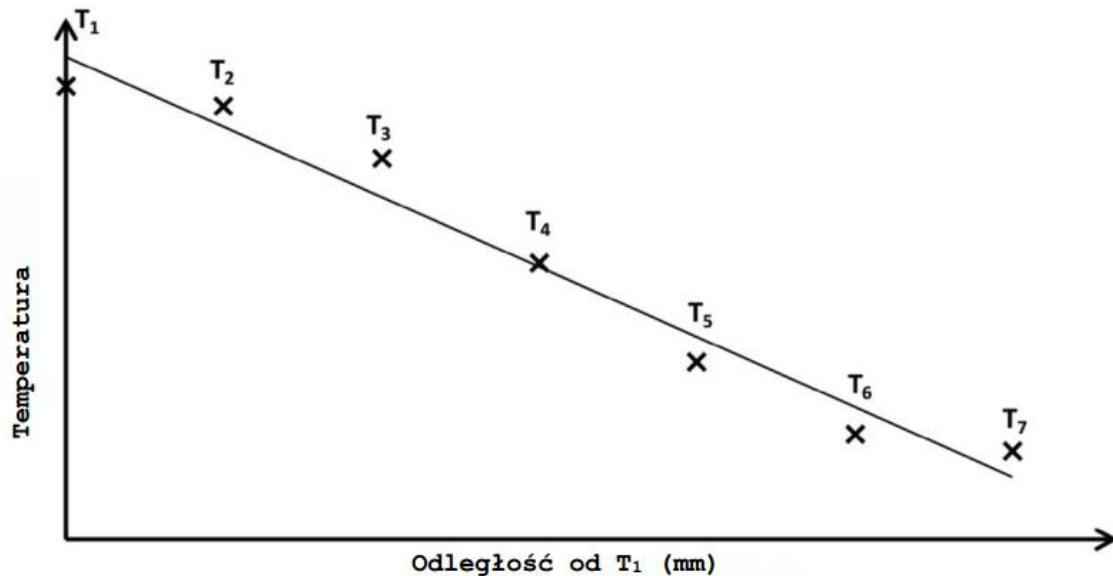
Gdzie T_1 – najwyższa temperatura na stanowisku, T_a – średnia temperatura wynikająca z lokalizacji próbki

Rys.5 Skalibrowany wykres strat ciepła oszacowanych dla eksperymentów z wykorzystaniem próbek mosiężnej, miedzianej i aluminiowej

Analiza wyników

3a. Obliczenia przewodności cieplnej ze wzoru Fouriera

1. Narysuj wykres temperatury od odległości od grzałki
 2. Aproksymuj zaznaczone punkty prowadząc prostą linię (zob. rys. 7) w celu wyznaczenia **całkowitego** gradientu temperatur i porównaj go z wynikiem otrzymanym dla mosiądzu
- Działanie to powinno wykazać, że wprowadzenie materiału o niższej przewodności cieplnej generuje wyższy **całkowity** gradient temperatur oraz wprowadzenie materiału o wyższej przewodności cieplnej generuje niższy **całkowity** gradient temperatur.



Rys.7. Prowadzenie linii aproksymującej przez punkty pomiarowe w celu wykazania całkowitego gradientu temperatur

3. Następnie nanieś na wykres pionowe linie reprezentujące lokalizację ścianek wymiennej sekcji środkowej o grubości 45 mm (zob. rys. 8). Poprowadź dodatkową linię aproksymującą przez punkty pomiarowe sekcji środkowej od T_3 do T_5 . Linia pokazuje gradient temperatur odmienny od całkowitego, ze względu na materiał wykonania próbki.

Określ wartość k wykorzystując w tym celu równanie:

$$k = \frac{(W - \dot{Q}_{Loss})L}{A(T_1 - T_2)}$$

gdzie:

$$\dot{Q} = W$$

$$L = 0.03 \text{ m (odległość między } T_3 \text{ i } T_5)$$

$$A = 0.000707 \text{ m}^2 \text{ (pole powierzchni przekroju poprzecznego próbki)}$$

$$T_1 = T_3 \text{ i } T_2 = T_5$$

3b. Obliczenia przewodności cieplnej z wykorzystaniem metody porównawczej „Cut-bar”

Podstaw wartość przewodności cieplnej gorącego, mosiężnego rdzenia uzyskaną bezpośrednio z równania Fouriera (np. $k = 127 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$), zmierzone wartości temperatur mosiężnej części rdzenia oraz próbki, a także procentowe straty ciepła do równania:

$$k_{specimen} = k_{hotbar} * \frac{\Delta T_{hotbar}}{\Delta T_{specimen}} * (1 - \%Q_{loss})$$

Przewodność cieplna próbki obliczana jest następująco:

Ciepło dostarczone $\dot{Q} = 20W$

$$k_{mosiądz} = 127 * \frac{3.4}{3.1} * (1 - 0.114) = 126 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

$$k_{miedź} = 127 * \frac{3.5}{0.9} * (1 - 0.062) = 463 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

$$k_{aluminium} = 127 * \frac{4.9}{3.7} * (1 - 0.095) = 152 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

$$k_{stal\ nierdzewna} = 127 * \frac{3.1}{17.3} * (1 - 0.282) = 16 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

W Tabeli 2 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia λ [W/(mK)] (w literaturze anglo-saskiej tzw. wartości przewodności cieplnej k) dla wybranych materiałów w temperaturze pokojowej

Materiał (przy 298 K = 24.85°C)		Wartość przewodności cieplnej (k) (W.m ⁻¹ K ⁻¹)
Metale	Aluminium (czyste)	205 do 237
	Aluminium (gatunek 6082)	170
	Mosiądz (typ CZ121)	123
	Mosiądz (63% miedzi)	125
	Mosiądz (70% miedzi)	109 do 121
	Miedź (czysta)	353 do 386
	Miedź (typ C101)	388
	Stal miękka	50
	Stal nierdzewna	16
Gazy	Powietrze	0.026
	Dwutlenek węgla	0.0146
	Wodór	0.172
Inne	Azbest	0.28
	Olej rycynowy	0.18
	Szkło	0.8
	Woda	0.6
	Drewno (miękkie - twarde)	0.07 - 0.2

Tabela 2. Współczynnik przewodzenia dla wybranych materiałów

34.4 Pytania sprawdzające.

1. Podać podstawowe definicje: pola temperatury, powierzchni izotermicznej, gradientu temperatury.
2. Jakie jest podstawowe prawo przewodnictwa cieplnego?
3. Co to jest współczynnik przewodzenia ciepła λ jak się go definiuje i wyznacza?
4. Podaj prawo Fouriera dla ścianki płaskiej w przypadku oporów cieplnych połączonych szeregowo (równolegle)
5. Podaj prawo zachowania energii. W oparciu o nie wytłumacz sposób obliczenia przewodności cieplnej z wykorzystaniem metody porównawczej „Cut-bar”