

# 1

## **Analiza natężenia przepływu ciepła przez materiały stałe dla jednowymiarowych ustalonych warunków przepływów ciepła- zastosowanie równania Fouriera.**

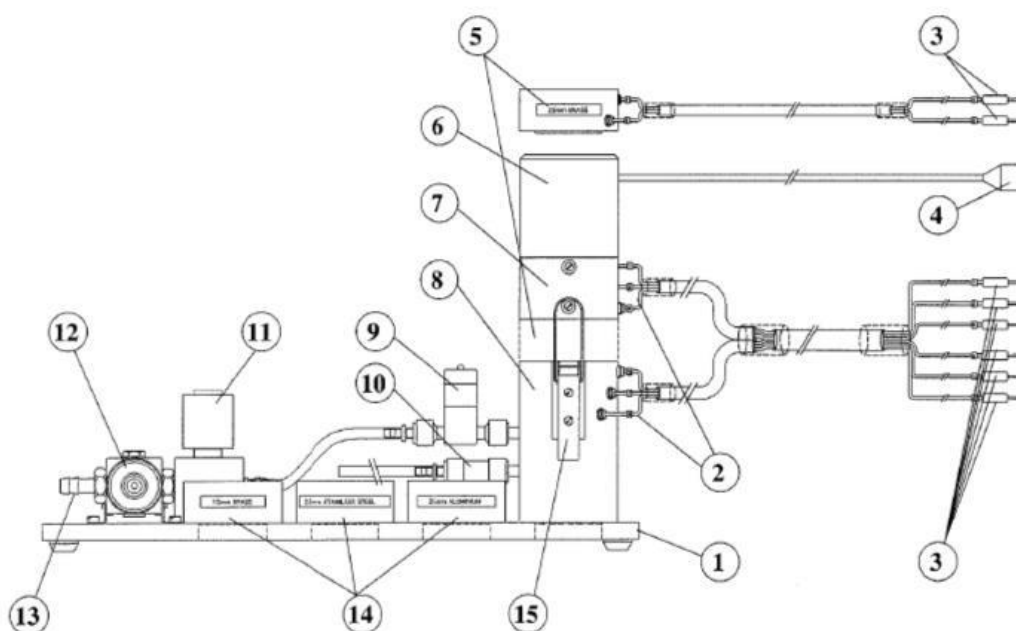


Opracował:  
dr inż. Robert Kłosowiak

Uwaga: Energię elektryczną dostarczoną przez element grzewczy do sekcji ogrzewania przyjmuje się taką samą jak wymiana ciepła w jednostce czasu wzdłuż pręta, to znaczy, że nie ma strat ciepła do otoczenia.

W praktyce nastąpi utrata ciepła. Przy małej mocy grzałki ( mała temperatura na górze pręta ) strata ciepła będzie nieznaczna. Wraz ze wzrostem mocy grzałki ( wyższa temperatura na górze pręta ) strata ciepła wzrośnie, powodując zwiększenie wartości obliczonej przewodności. Jest więc konieczne oszacowanie straty ciepła i zastosowanie korekty w celu uzyskania dokładnych wartości przewodności podczas pracy w wyższych temperaturach.

Umieść HT11C przy HT 10 XC na odpowiednim stole warsztatowym.



Połączd razem część grzejną (6 i 7) i chłodzącą (8), na lekko dopasowanych powierzchniach czołowych pokrytych pastą termiczną ( Zobaczd stronę 3-3 sekcji sterowania 0

Podłączd 8 termoelementów z HT11C do odpowiednich gniazd na przodzie jednostki HT10XC. Upewnid się, czy etykiety na termoelementach (od T1 do T8 ) są dopasowane do naklejek na gniazdach.

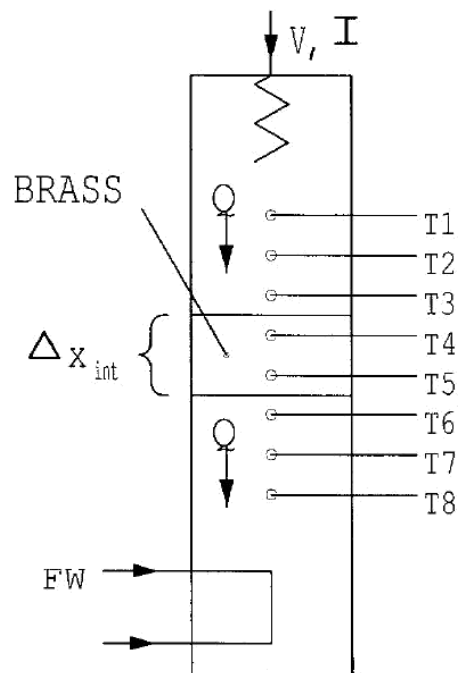
-Nastawid potencjometr kontroli napięcia na konsoli HT10XC na minimum i przełącznik REMOTE/MANUAL na MANUAL, następnid podłączd przewód prowadzący z HT11C do gniazda oznaczonego Output 2 na tyle jednostki obsługi.

-Podłączd zawór kontroli przepływu zimnej wody do gniazda oznaczonego AUXILIARY OUTPUT na konsoli HT10XC.

-Podłączd czujnik przepływu zimnej wody do gniazda oznaczonego Fw (36) na konsoli HT10XC.

-Nastawid pokrętkę AUXILIARY CONTROL na konsoli do minimum następnie podłączysz przewód zasilający z zaworu kontroli przepływu zimnej wody do gniazda AUXILIARY POWER z tyłu jednostki obsługi. (Nie dotyczy , w przypadku korzystania z HT11C )

- Upewnid się ,że zasilanie zimnej wody jest podłączone do wlotu zaworu regulującego ciśnienie na HT11C
- Upewnid się czy urządzenie jest podłączone do zasilania elektrycznego.
- Włączysz przełącznik zasilania na jednostce obsługi.



Schemat układu pomiarowego do zadania 2.

### Cel

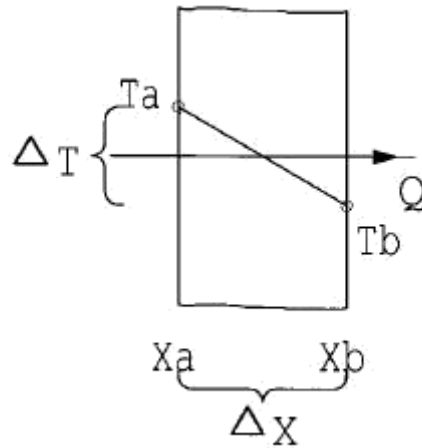
Aby zrozumieć wykorzystanie równania Fouriera dla określenia natężenia przepływu ciepła przez materiały stałe dla jednowymiarowych ustalonych przepływów ciepła.

### Metoda

Aby udowodnić, Prawo Fouriera dla liniowego przewodzenia ciepła wzdłuż prostego pręta, poprzez pomiar zmian temperatury na odległości, w różnym tempie przepływu ciepła przez pręt i przy użyciu pomiarów obliczyć przewodność w pręcie.

### Teoria

Pod warunkiem , że sekcje ogrzewania, pośrednia i chłodzenia są ciasno dociśnięte, tzn. wszystkie powierzchnie czołowe mają dobry kontakt termiczny , te trzy sekcje mogą być uznane za nieprzerwaną ścianę o jednolitym przekroju i materiale.



Zgodnie z prawem przewodzenia ciepła Furiera:

Jeśli płaszczyzna ściany o grubości ( $\Delta x$ ) i powierzchni ( $A$ ) utrzymuje różnicę temperatur ( $\Delta T$ ) wtedy wymiana ciepła w jednostce czasu  $Q$  przez przewodzenie przez ścianę wynosi:

$$q = \delta^{\lambda} (T_a - T_b)$$

$$Q = A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Jeśli materiał ściany jest jednorodny i ma przewodność cieplną  $\lambda$  wtedy:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

Należy zauważyć, że przepływ ciepła jest dodatni w kierunku spadku temperatury stąd znak minus w równaniu.

Dla wygody równanie można przekształcić dla uniknięcia minusa w następujący sposób:

$$Q = A \delta^{\lambda} (T_a - T_b)$$

Uwaga: W ćwiczeniu tym HT11C jest skonfigurowane jako proste płaszczyzny, gdzie  $\lambda$  i  $A$  są stałe, w celu pokazania, że równanie Fouriera może być stosowane do powiązania  $Q$ ,  $\Delta T$  oraz  $\Delta x$ . Efekt zmian w  $\lambda$  lub  $A$  będzie zbadany w późniejszych ćwiczeniach.

### Instrukcja

Aby poznać szczegóły oprzyrządowania i jak nim operować, zapoznaj się z działem eksploatacji (strony 3-1).

Sprawdź czy ekran na panelu jest podświetlony (jeśli mierniki na panelu się nie świecą sprawdź RCD na tyle jednostki obsługi, włącznik powinien być do góry)

Jeśli używamy komputera sprawdzid czy oprogramowanie wskazuje IFK OK. w prawym dolnym rogu oprogramowania.

Włączyd zimną wodę i ustawid zawór kontroli przepływu ( nie regulator ciśnienia ) na około 1,5 l/min. Jeśli używamy oprogramowania wielkość przepływu powinna byd kontrolowana przy użyciu skrzynki sterowniczej w oknie diagramu synoptycznego. ( Jeśli nie używamy komputera użyd przełącznika do wyświetlenia na panelu konsoli( L/min )i pokrętd AUXILARY CONTROL w celu kontrolowania ustawieo. Jeśli używamy HT11 , przepływ zimnej wody jest kontrolowany ręcznym zaworem kontroli obok kolumny pomiarowej).

- Nastawid napięcie grzałki na 10V

Jeśli używamy konsoli nastawiamy napięcie na potencjometrze aby uzyskad odczyty 12 volt na górze panelu z przełącznikiem ustawionym w pozycji V. Należy odczekad w celu ustabilizowania się wartości temperatur.

Gdy temperatury są stabilne zapisad następujące wartości: T1,T2,T3,T6,T7,T8,V,I,Fw.

- Nastawid napięcie grzałki na 15V.

Pozwolid HT11Cna ustabilizowanie i powtórzyd powyższe odczyty.

- Nastawid napięcie grzałki na 20V.

Pozwolid HT11Cna ustabilizowanie i powtórzyd powyższe odczyty.

- Nastawid napięcie grzałki na 24V.

Pozwolid HT11Cna ustabilizowanie i powtórzyd powyższe odczyty.

## **Wyniki i kalkulacje**

Dla tego dwiczenia bieżące wyniki są umieszczone w tabeli w następujących pozycjach:

Napięcie grzejnika	U[V]
Prąd grzejnika	I [A]
Górna temperatura sekcji ogrzewania	T1 [°C]
Środkowa temp. sekcji ogrzewania	T2 [°C]
Dolna temperatura sekcji ogrzewania	T3 [°C]
Górna temperatura sekcji pośredniej	T4 [°C]
Dolna temperatura sekcji pośredniej	T5 [°C]
Górna temp. sekcji chłodzenia	T6 [°C]
Środkowa temp. sekcji chłodzenia	T7 [°C]
Dolna temperatura sekcji chłodzenia	T8 [°C]

Natężenie przepływu zimnej wody

Fw [l/min]

Należy również oszacować i zapisać błędy eksperymentalne dla tych pomiarów.

Stosuje się następujące stałe dla tego ćwiczenia:

Odległość między termoelementami T1 i T3  $x_{13}=0.03$  (m)

Odległość między termoelementami T4 i T5  $x_{45}=0.015$  (m)

Odległość między termoelementami T6 i T8  $x_{68}=0.03$  (m)

Średnica pręta  $D=0.025$  (m)

Uwaga: Odległość między każdym termoelementem to 0.015 m

Odległość między termoelementem T3, T4, T5 i T6 oraz czołem wynosi 0.0075 m

Dla każdego zestawu odczytów uzyskane wyniki zestawiono wg. następujących pozycji:

Przepływ ciepła (moc grzałki)

$$Q = U \cdot I [W]$$

Pole przekroju poprzecznego

$$A = \frac{\pi D^2}{4} [m^2]$$

Przewodność w sekcji ogrzewania

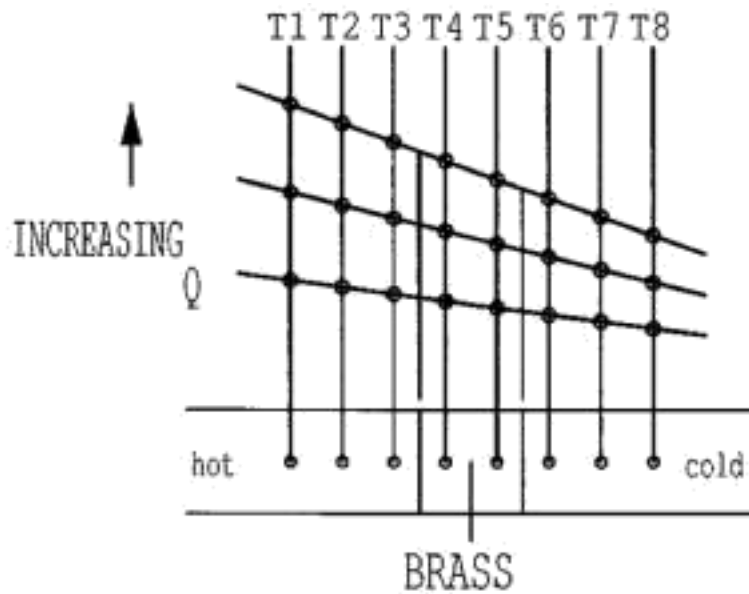
$$\lambda_{hot} = \frac{\delta Q}{A \Delta T}$$

Oszacować łączny wpływ błędów doświadczalnych na obliczone wartości dla Q,  $\Delta T$ ,  $\Delta T_{hot}$ ,  $\Delta T_{int}$ ,  $\Delta T_{cold}$ ,  $\lambda_{hot}$ ,  $\lambda_{int}$ ,  $\lambda_{cold}$  pomierzone wartości dla D,  $\Delta x_{18}$ ,  $\Delta x_{13}$ ,  $\Delta x_{45}$  oraz  $\Delta x_{68}$

Porównać obliczone wartości przewodności cieplnej dla miedzi w trzech sekcjach dla takiego samego przepływu ciepła.

Porównać obliczone wartości przewodności cieplnej dla miedzi w trzech sekcjach dla różnego przepływu ciepła.

Wykreślić wykres temperatury dla pozycji wzdłuż pręta i narysować linię prostą przechodzącą przez punkty. Wykres powinien być podobny do poniższego.



Zaobserwowad , że każdy profil temperatury jest linią prostą oraz gradient linii wzrasta wraz ze wzrostem przepływu ciepła.

Obliczyd średnią przewodność mosiężnego pręta używając gradientu każdej prostej linii oraz odpowiedniego przepływu ciepła przez pręt. Porównad uzyskane wartości z wartościami wcześniej uzyskanymi dla każdej indywidualnej sekcji pręta i skomentowad wszelkie różnice.

Rezultaty powinny byd w przedziale 110- 128 W/m°C dla przewodności cieplnej mosiądzu , przy założeniu braku strat ciepła z urządzenia. Ponieważ mała ilość strat ciepła jest nieunikniona, gdy temperatura pręta wzrasta , wyliczona wartość dla przewodności wzrośnie w wyższych temperaturach.

#### Wnioski

Zademonstrowano jak równanie Fouriera może byd zastosowane do powiązania różnicy temperatur , przepływu ciepła i odległości w stałym materiale o stałym polu przekroju poprzecznego oraz przewodności cieplnej. Zwiększenie przepływu ciepła powoduje zwiększenie gradientu temperatury.

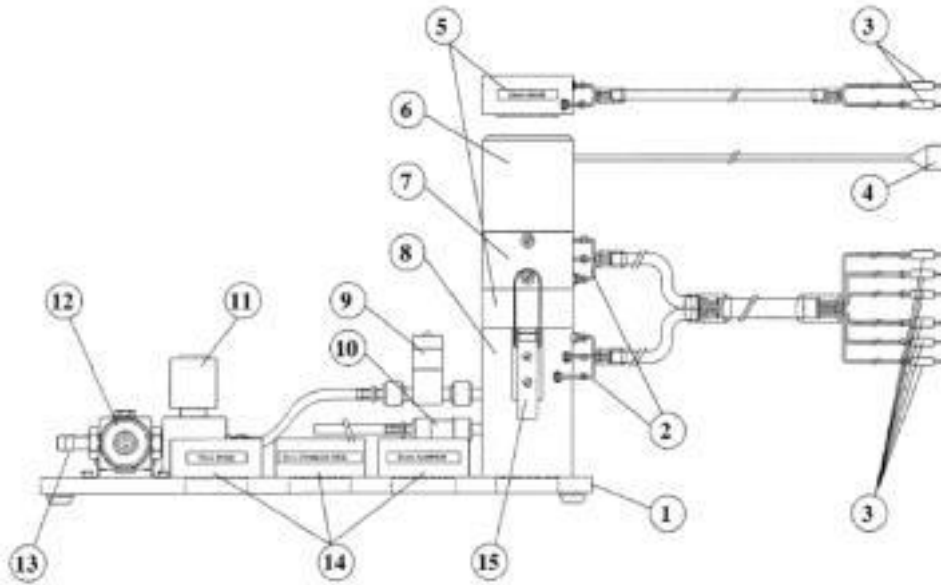
Skomentowad wpływ dokładności pomiaru i strat ciepła z urządzenia na obliczone wartości oraz różnice między wynikami dla każdej sekcji oraz konsekwencje zmian w przewodności cieplnej w wyniku zmiany pola przekroju poprzecznego.

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
**Instytut Energetyki Ciepłej**  
 ite.put.poznan.pl

**Temat:**  
**Analiza natężenia przepływu ciepła przez materiały stałe dla jednowymiarowych ustalonych warunków przepływów ciepła- zastosowanie równania Fouriera.**

Imię Nazwisko:		Rok akademicki:	
Nr indeksu:		Grupa:	
Data wykonania:	Data zaliczenia:	Ocena ze sprawdzianu:	Ocena z ćwiczenia:

1. Schemat stanowiska



- |         |          |
|---------|----------|
| 1 _____ | 8 _____  |
| 2 _____ | 9 _____  |
| 3 _____ | 10 _____ |
| 4 _____ | 11 _____ |
| 5 _____ | 12 _____ |
| 6 _____ | 13 _____ |
| 7 _____ | 14 _____ |



2. Tabela pomiarowa

Nazwa	Jednostka	Pomiary			
Napięcie grzejnika	U[V]	10	15	20	24
Prąd grzejnika	I [A]				
temperatura sekcji grzejnej	T1 [°C]				
	T2 [°C]				
	T3 [°C]				
temperatura sekcji pośredniej	T4 [°C]				
	T5 [°C]				
temperatura sekcji chłodzenia	T6 [°C]				
	T7 [°C]				
	T8 [°C]				
Natężenie przepływu zimnej wody	Fw [l/min]				

3. Obliczenia

4. Podsumowanie i wnioski