

**WOJSKOWA AKADEMIA
TECHNICZNA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
INSTYTUT POJAZDÓW MECHANICZNYCH I TRANSPORTU**

**ZAKŁAD SILNIKÓW POJAZDÓW
MECHANICZNYCH**

**ĆWICZENIE LABORATORYJNE
Z TERMODYNAMIKI TECHNICZNEJ**

Temat: Wymiana i przewodzenie ciepła.

Opracował:

mgr inż. Marek Rajewski

Warszawa 2018

1. POJĘCIA PODSTAWOWE

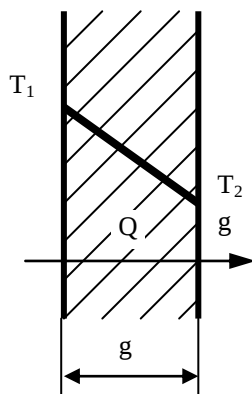
Podstawowym warunkiem wymiany ciepła między ciałami jest różnica temperatur. Wymiana ciepła może następować przez:

- przewodzenie,
- unoszenie (konwekcję),
- promieniowanie.

Poza tym istnieją jeszcze złożone przypadki wymiany ciepła, do których zaliczamy:

- przejmowanie,
- przenikanie.

Przewodzenie to wymiana ciepła w obrębie tego samego ciała, najczęściej stałego. Polega ono na tym, że cząstki części ciała o wyższej temperaturze przekazują część ciepła cząstkom o niższej temperaturze. Schemat przewodzenia ciepła przedstawiono na poniższym schemacie:



Gęstość strumienia ciepła określamy z prawa Fouriera:

$$q = \frac{\lambda}{g} (T_1 - T_2) [\text{W/m}^2],$$

Natomiast strumień ciepła przewodzony przez ściankę:

$$Q = \frac{\lambda}{g} S (T_1 - T_2) [\text{W}]$$

gdzie: T_1, T_2 – temperatury ścianki [K],

g – grubość ścianki [m],

S – pole powierzchni ścianki [m^2],

λ – przewodność cieplna ścianki [W/m K].

Natomiast rozkład temperatury w ściance płaskiej :

$$T(x) = \frac{(T_1 - T_2)}{g} x + T_1$$

Przy ustalonym przewodzeniu ciepła przez ściankę cylindryczną stosujemy następujące zależności:

rozkład temperatury w ściance:

$$T(r) = \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \ln \frac{r}{r_2} + T_2$$

strumień ciepła przewodzonego przez ściankę:

$$Q = 2\pi L \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

gęstość strumienia ciepła:

$$q = \frac{Q}{L} = 2\pi \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

gdzie: r_1, r_2 – promienie ścianki [m],

T_1, T_2 – temperatury ścianki [K],

L – długość cylindra [m].

Przejmowanie ciepła zachodzi wtedy, gdy wzdłuż nieruchomej ścianki o pewnej temperaturze przepływa ciecz lub gaz o temperaturze wyższej lub niższej od temperatury ścianki.

Ilość ciepła przepływającą w procesie przejmowania obliczamy z zależności Newtona:

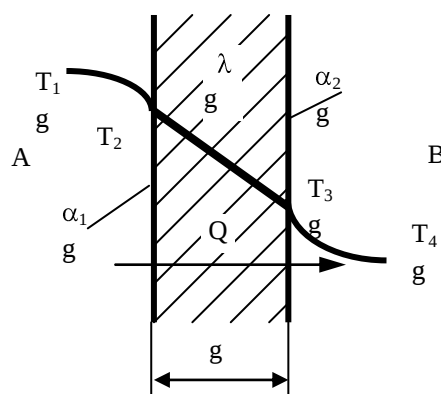
$$Q = \alpha S (T_1 - T_2) [\text{W}]$$

gdzie: T_1, T_2 – temperatury ścianki oraz cieczy lub gazu [K],

S – pole powierzchni ścianki [m^2],

α – współczynnik przejmowania ciepła [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$].

Natomiast przenikanie ciepła to zjawisko przechodzenia ciepła od jednego płynu (cieczy lub gazu) do drugiego przez oddzielającą je ściankę. W przypadku przedstawionym na schemacie



wymiana ciepła między środowiskiem A i B odbywa się w trzech etapach:

- przejmowanie ciepła przez ściankę od płynu o temperaturze T_1 ,
- przewodzenie ciepła przez ściankę,
- przejmowanie ciepła od ścianki przez płyn o temperaturze T_4 .

2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

2.1. Wyznaczanie rozkładu temperatury w ściankach oraz przewodności cieplnej cieczy

Celem ćwiczenia jest zapoznanie ze sposobami wymiany i przepływu ciepła oraz z metodami wyznaczania jego wartości.

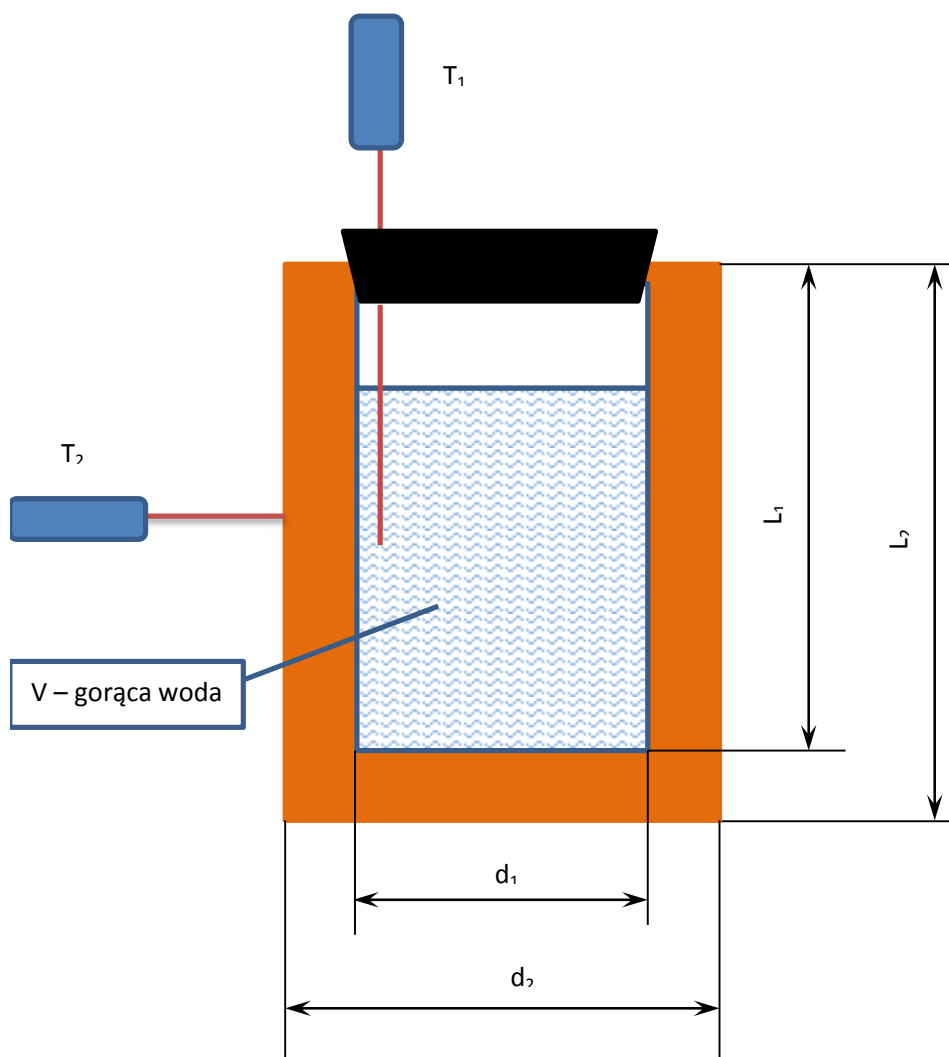
Ćwiczenie polega na wyznaczeniu parametrów wymiany ciepła w naczyniu cylindrycznym wykonanym z określonego materiału. Do naczynia należy wlać ilość wrzącej wody tak, aby możliwe było zamknięcie go korkiem z zamontowaną termoparą. Przed zalaniem wody należy określić stan wyjściowy poprzez pomiar temperatury ścianki zewnętrznej wody przed waniem i otoczenia, wyniki należy wpisać w tabeli 1 protokołu. Następnie, co określony odstęp czasu dokonywać pomiaru temperatury ścianek naczynia wyniki zapisywać w tabeli 1.

Na podstawie wyników pomiarów należy wyznaczyć:

- rozkład temperatury w ścianie naczynia dla wszystkich punktów pomiarowych,
- strumień ciepła przewodzonego przez ściankę,
- strumień ciepła przejmowanego od ścianki do otoczenia,

W obliczeniach przyjąć następujące uproszczenia:

- temperatura wewnętrznej ścianki naczynia jest równa temperaturze omywającej ją cieczy,
- Następnie zamieścić wyniki obliczeń, wykonać wykresy:
- rozkładu temperatury w ścianie (w funkcji grubości ścianki) dla poszczególnych punktów pomiarowych;
 - przebieg strumienia ciepła przewodzonego przez ściankę w czasie;
 - przebieg strumienia ciepła przejmowanego od ścianki do otoczenia w czasie;
 - własne wnioski i spostrzeżenia.



Rys. 1. Schemat naczynia do wykonania ćwiczenia.

Dane :

Cylinder pierwszy:

Materiał stal: Mosiądz

$l_1 = 100$ mm,

$l_2 = 1106$ mm,

$d_1 = 40$ mm,

$d_2 = 70$ mm,

Cylinder drugi:

Materiał: stal

$l_1 = 95$ mm,

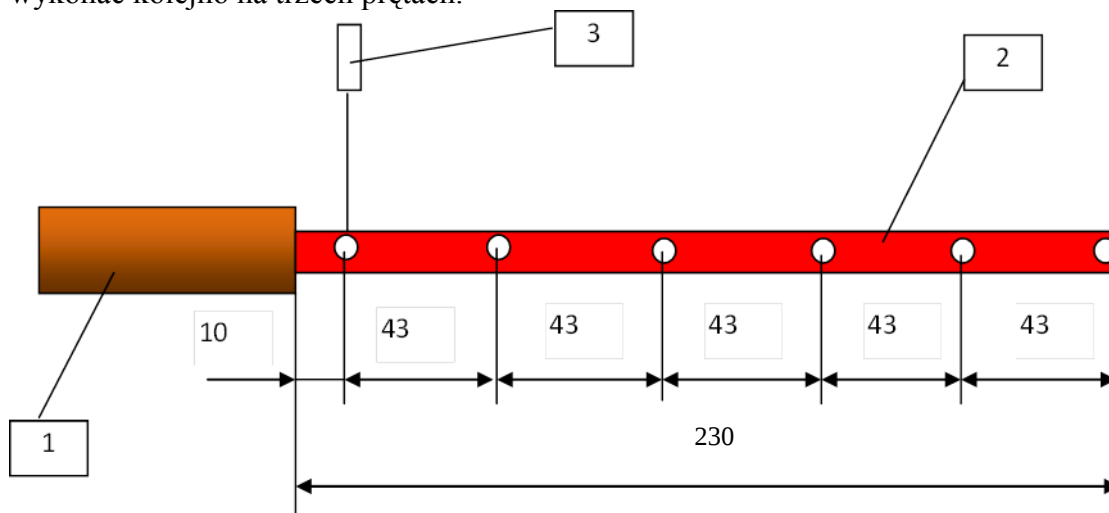
$l_2 = 110$ mm,

$d_1 = 47$ mm,

$d_2 = 64$ mm,

2.3. Wyznaczanie rozkładu temperatury i przewodności cieplnej różnych materiałów

Ćwiczenia polega na określeniu rozkładu temperatury i strumienia ciepła w prętach wykonanych z różnego materiału: stal, miedź i stop aluminium. Schemat układu przedstawiono na rys. 2. Pręt (2) umieszczany jest jednym końcem w elektrycznej nagrzewnicy (1) natomiast drugi koniec jest swobodny w powietrzu. W czasie trwania ćwiczenia należy co określony czas wykonać pomiar temperatury w kolejnych punktach, których rozmieszczenie podano na schemacie. Wyniki pomiaru zamieścić w tabeli 3. Pomiary wykonać kolejno na trzech prętach.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego
1- nagrzewnica, 2- pręt pomiarowy, 3- termopara

Na podstawie wyników pomiarów określić rozkład temperatury w poszczególnych prętach dla kolejnych faz nagrzewania, temperaturę średnią (sposób wyznaczania temperatury zależny od rozkładu) oraz ilość ciepła dostarczonego do pręta. Wyniki obliczeń zamieścić w tabeli 3. Rozkład temperatury dla poszczególnych faz zamieścić na wykresie.

2.4. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych.

Schemat kalorymetru wykorzystywanego do zajęć przedstawiono na rysunku 1. Naczynie kalorymetryczne 2 umieszczone jest w naczyniu zewnętrznym 1 wykonanym z tworzywa sztucznego. Od góry kalorymetr wraz z naczyniem zewnętrznym zamknięte są pokrywą 3, której dolna część wykonana jest z aluminium.

Ćwiczenie rozpoczynamy od określenia masy m_k kalorymetru wraz z pokrywą (na wadze laboratoryjnej). Następnie do kalorymetru wlewamy wodę w ilości ok. 1/3 jego objętości. Mierzmy na wadze masę kalorymetru wraz z wodą m_1 .

Po wyrównaniu się temperatur wody i kalorymetru mierzymy temperaturę wody w kalorymetrze t_1 . Ciało stałe o masie m , którego ciepło właściwe chcemy określać przygotowujemy w stanie rozdrobnionym ogrzewamy w naczyniu (np. przez zanurzenie we wrzącej wodzie lub ogrzewanie w suszarce laboratoryjnej) i mierzymy jego temperaturę t_2 . Po ogrzaniu i zmierzeniu temperatury badaną próbkę szybko wsypujemy do kalorymetru, zamykamy go pokrywą i lekko mieszając czekamy do wyrównania się temperatur kalorymetru, wody i badanego ciała, po wyrównaniu stanu cieplnego zapisujemy temperaturę t_3 . Wszystkie wyniki zapisujemy w tabeli 3 protokołu.

Po zakończeniu pomiarów z poniższego bilansu cieplnego wyznaczamy ciepło właściwe badanego ciała:

$$m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_3) = m_w \cdot c_w \cdot (t_3 - t_1) + m_k \cdot c_k \cdot (t_3 - t_1)$$

Gdzie:

$c_k=896 \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$ - Ciepło właściwe pokrywy i mieszadła

m_k – masa kalorymetru z pokrywą i mieszadłem [kg],

c_k – ciepło właściwe kalorymetru (aluminium) [J/kg $^\circ\text{C}$],

m_w – masa wody [kg],

c_w – ciepło właściwe wody [J/kg $^\circ\text{C}$],

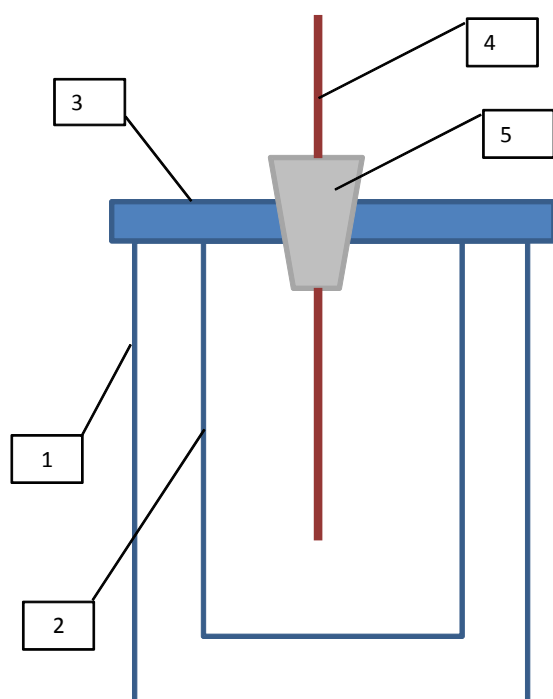
m - masa badanego ciała [kg],

c_p – ciepło właściwe badanego ciała [J/kg $^\circ\text{C}$],

t_1 – temperatura początkowa wody i kalorymetru z pokrywą i mieszadłem [$^\circ\text{C}$],

t_2 - temperatura początkowa badanego ciała [$^\circ\text{C}$],

t_3 – temperatura końcowa: wody, kalorymetru i badanego ciała [$^\circ\text{C}$].



Rys. 1. Schemat kalorymetru

1-naczynie zewnętrzne, 2-naczynie wewnętrzne (właściwy kalorymetr), 3-pokrywa,
4-termometr, 5-gumowy korek, 6-mieszadło

3. Pytania kontrolne

- Co to jest ciepło?
- Co jest miarą ciepła?
- Co to jest wymiana ciepła?
- Podać sposoby wymiany ciepła?
- Co to jest przewodność cieplna?
- Co określa współczynnik przejmowania ciepła?
- Co określa współczynnik przewodzenia ciepła?
- Co to jest ciepło właściwe?
- Jak wyznaczyć ciepło dostarczone do ośrodka?
- Jak wyznaczyć ciepło właściwe ciała stałego?

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
INSTYTUT POJAZDÓW MECHANICZNYCH I TRANSPORTU

TERMODYNAMIKA TECHNICZNA
SPRAWOZDANIE
Z ćwiczenia laboratoryjnego nr

Temat:.....

Data wykonania ćwiczenia:

Data oddania ćwiczenia:

Data poprawy ćwiczenia:

1. Cel ćwiczenia

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Schemat blokowy stanowiska i opis aparatury

Wykonał:		Grupa:	
Prowadzący:			

[illegible][illegible]

5. Wyniki pomiarów

Lp.	Nazwisko i imię	Lp.	Nazwisko i imię
1		4	
2		5	
3		6	
Data i podpis prowadzącego:			

5.a. Wyznaczanie rozkładu temperatury w ściankach oraz przewodności cieplnej cieczy Tabela 1

Lp	t_1 [°C]	t_2 [°C]	Czas [s]	Q_s [W]	Q_{pz} [W]	Uwagi
Temperatura otoczenia t_0 = [°C]						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

5.b. Wyznaczanie rozkładu temperatury i przewodności cieplnej różnych materiałów. Tabela 2.

Pręt							
Masa: m = [g]			c_p =.....[J/kgK]		Temperatura początkowa: t₀ = [°C]		
Lp	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	t ₅ [°C]	t ₆ [°C]	Czas [s]
Temperatura średnia pręta: t_{sr} =.....[°C]					Ciepło dostarczone: Q =[J]		
Pręt							
Masa: m = [g]			c_p =.....[J/kgK]		Temperatura początkowa: t₀ = [°C]		
Lp	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	t ₅ [°C]	t ₆ [°C]	Czas [s]
Temperatura średnia pręta: t_{sr} =.....[°C]					Ciepło dostarczone: Q =[J]		

5.c. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych. Tabela 3

Lp	m_k [g]	m_1 [g]	m_2 [g]	m [g]	m_w [g]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t_3 [°C]	c_p [J/kg°C]	Q [J]
1										
2										
Ciepło właściwe wody: c_w = [J/kg°C]										

[illegible]