

**PJJSS**  
w Pile

## KATEDRA INŻYNIERII MECHANICZNEJ

### LABORATORIUM TERMODYNAMIKI TECHNICZNEJ

#### Ćwiczenie laboratoryjne nr 6

#### **TEMAT: WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ**

##### 1. Wprowadzenie

Przewodzenie ciepła jest jednym ze sposobów wymiany ciepła. Polega ono na przenoszeniu energii wewnątrz ośrodka materialnego, przy ich bezpośrednim styku. Przewodzeniem ciepła rządzi prawo Fouriera, zgodnie z którym natężenie strumienia cieplnego  $q$  jest proporcjonalne do gradientu temperatury mierzonego wzdłuż kierunku przepływu ciepła.

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

$$q = \lim \frac{\Delta Q_h}{\Delta F}$$

gdzie:  $q$  – natężenie strumienia cieplnego;

$\lambda$  – współczynnik przewodności cieplnej; jest wielkością charakteryzującą ośrodek w którym przepływ ciepła następuje;

$\Delta Q_h$  – ilość ciepła przepływająca przez element o powierzchni  $\Delta F$

Znak minus (-) wynika z przepływu ciepła od miejsca o temperaturze wyższej do miejsca o temperaturze niższej.

Ilość ciepła przewodzona w jednostce czasu przez powierzchnię  $F$  prostopadłą do kierunku przepływu wynosi:

$$Q_h = -\lambda \cdot F \cdot \frac{dT}{dx}$$

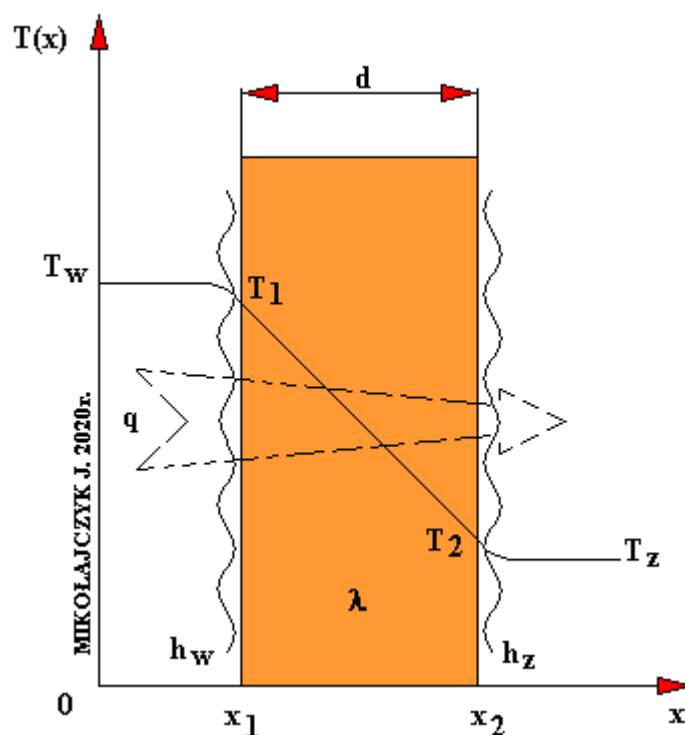
W przypadku przepływu ciepła przez ściankę o grubości  $d$  oraz współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$  (rys. 1) wynosi:

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (T_1 - T_2) \cdot \phi$$

gdzie:  $\phi$  – współczynnik zależny od kształtu ścianki (dla ścianki płaskiej  $\phi=1$ )

Wówczas całkowita ilość ciepła  $Q_h$  jaka przepłynie przez ściankę o powierzchni  $F$  wynosi:

$$Q_h = \frac{\lambda}{d} \cdot (T_1 - T_2) \cdot \phi \cdot F$$



Rys. 1. Jednowymiarowy przepływ ciepła przez płaską ścianę jednowarstwową  
 $d$  – grubość warstwy ścianki;  $q$  – natężenie strumienia cieplnego;  $\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału warstwy ścianki;  $h_w$  – współczynnik konwekcji przepływu ciepła pomiędzy wnętrzem, a powierzchnią wewnętrzną ściany (przegrody);  $h_z$  – współczynnik konwekcji przepływu ciepła pomiędzy ścianą zewnętrzną, a zewnętrznym otoczeniem;  $T_w$  – temperatura wewnątrz rozpatrywanego obiektu;  $T_z$  – temperatura na zewnątrz rozpatrywanego obiektu

Współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda$  ciał stałych wynosi:

- dla najlepszych materiałów izolacyjnych

$$\lambda = 0,02 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

- dla najlepszych przewodników ciepła

$$\lambda = 420 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

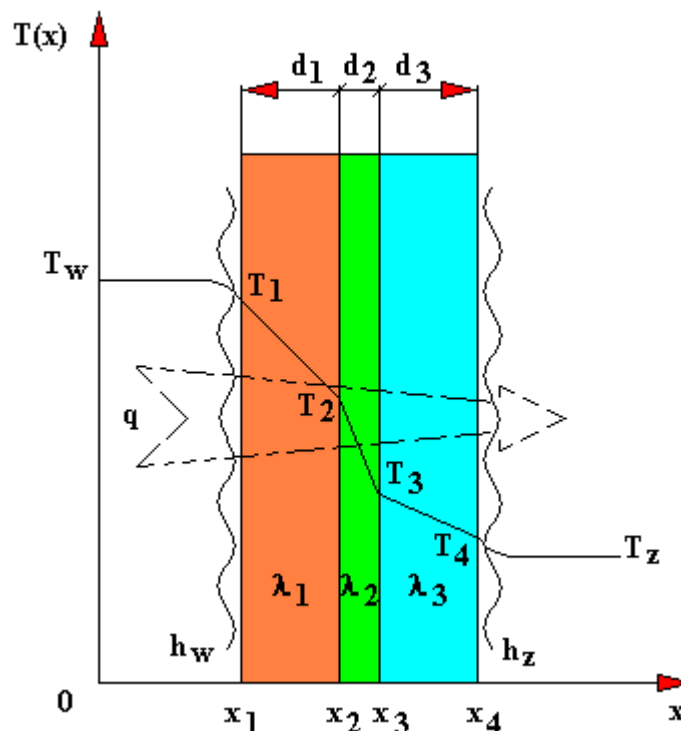
- dla budowlanych materiałów izolacyjnych

$$\lambda = 0,02 \div 2,9 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Przewodność cieplna materiałów izolacyjnych rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Przewodność cieplna metali maleje wraz ze wzrostem temperatury. Stopy metali mają zwykle mniejszą przewodność cieplną niż ich składniki stopowe. W ciałach stałych porowatych o bardzo dużej porowatości uzyskuje się efekt przewodnictwa jak w gazach i zwiększenie przewodnictwa.

Przewodność cieplna w cieczech spowodowana jest bezwładnym ruchem atomów i cząstek oraz związanym z tym przekazywaniem energii podczas zderzeń. Współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda$  dla nich (z wyjątkiem ciekłych metali) zawiera się w granicach:

$$\lambda = 0,08 \div 0,7 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$



Rys. 2. Jednowymiarowy przepływ ciepła przez płaską ścianę wielowarstwową  
 $d_1$  – grubość warstwy ścianki nr 1;  $d_2$  – grubość warstwy ścianki nr 2;  $d_3$  – grubość warstwy ścianki nr 3;  $q$  – natężenie strumienia cieplnego;  $\lambda_1$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału warstwy ścianki nr 1;  $\lambda_2$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału warstwy ścianki nr 2;  $\lambda_3$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału warstwy ścianki nr 3;  $h_w$  – współczynnik konwekcji przepływu ciepła pomiędzy wnętrzem, a powierzchnią wewnętrzną ściany (przegrody) nr 1;  $h_z$  – współczynnik konwekcji przepływu ciepła pomiędzy ścianą zewnętrzną nr 3, a zewnętrznym otoczeniem;  $T_w$  – temperatura wewnątrz rozpatrywanego obiektu;  $T_z$  – temperatura na zewnątrz rozpatrywanego obiektu

Dla układu wielowarstwowego, przedstawionego na rys. 2, ilość ciepła przepływającego przez ściankę złożoną z wielu warstw materiałów o różnym współczynniku przewodnictwa cieplnego  $\lambda$  wynosi:

$$Q = \frac{(T_1 - T_n)}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \cdot t \cdot F$$

gdzie:  $T_1$  – temperatura warstwy wewnętrznej od strony napływu strumienia cieplnego;  
 $T_n$  – temperatura po stronie zewnętrznej układu warstw materiałów o różnym współczynniku przewodności cieplnej  $\lambda$ ;  
 $F$  – powierzchni przepływu ciepła;  
 $d_i$  – grubość poszczególnych warstw;  
 $\lambda_i$  – współczynnik przewodnictwa cieplnego poszczególnych warstw  
 $t$  – czas przepływu ciepła.

Oporem cieplnym materiału ścianki często określa się zależność:

$$\frac{d}{\lambda}$$

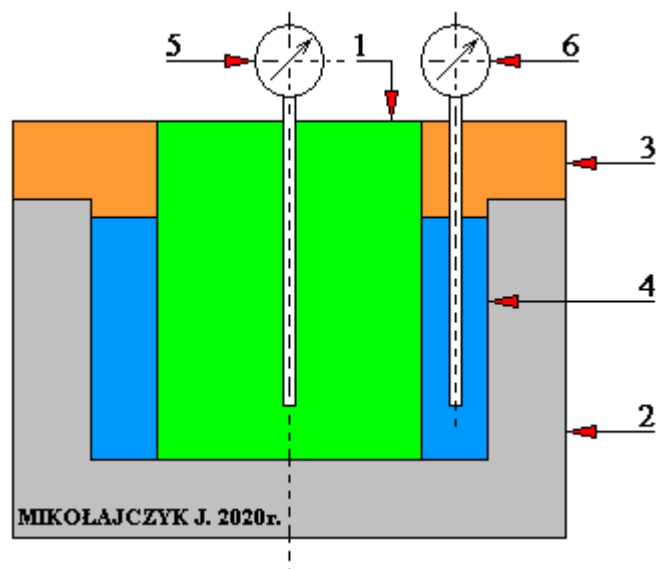
gdzie:  $d$  – grubość ścianki;  
 $\lambda$  – współczynnik przewodnictwa cieplnego danej warstwy materiału.

## 2. Cel ćwiczenia

Celem niniejszego ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika przewodności cieplnej różnych materiałów (aluminium, beton komórkowy, powietrze), porównanie uzyskanych wyników i wyciągnięcie konstruktywnych wniosków praktycznych.

## 3. Opis ćwiczenia

Do wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej wykorzystamy stanowisko przedstawione na rys. 3.



Rys. 3. Stanowisko do wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej materiału elementu badanego

1 – badany element; 2 – zbiornik; 3 – pokrywa; 4 – woda; 5 – termometr  $T_1$ ; 6 – termometr  $T_2$

Czynności do wykonania w ramach realizowanego ćwiczenia:

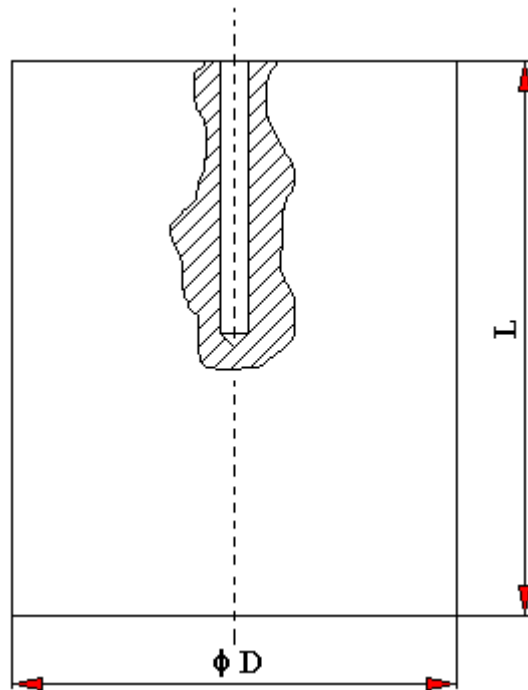
- Napełnić zbiornik 2 wodą o temperaturze ok. 373 K do linii zaznaczonej na wewnętrznej ścianie zbiornika (3 litry wody);
- Zanurzyć w wodzie badany element 1;
- Przykryć zbiornik pokrywą 3;
- Podłączyć termometry  $T_1$  oraz  $T_2$ , zanotować ich wskazania w tabelce jako temperaturę początkową wody 4 i elementu badanego 1;
- Mierzyć kolejne zmiany temperatur wody 4 i elementu badanego 1 oraz czas jaki upłynął od początku ćwiczenia. Wyniki notować w tabelce.

Uwaga: w niniejszym ćwiczeniu jest używana gorąca woda. Należy zachować szczególne środki ostrożności.

Tab. 1. Wyniki pomiarów

Badany materiał	Aluminium	Beton komórkowy	Powietrze	Uwagi
Temperatura wewnętrzna badanego materiału [°C]				
Temperatura zewnętrzna badanego materiału [°C]				
Temperatura początkowa wody [°C]				
Temperatura końcowa wody [°C]				
Czas przepływu ciepła $t$ [sek]				

Przed wykonaniem ćwiczenia należy zwymiarować każdy z badanych materiałów, ponieważ ich wymiary nie są identyczne, więc pola powierzchni bocznej będą różne. Wszystkie z badanych materiałów mają kształt walca. Wewnątrz każdego z walców znajduje się otwór w którym umieszcza się termometr cyfrowy, mierzący temperaturę we wnętrzu badanego materiału.



Rys. 4. Schemat badanego materiału w kształcie walca  
 $\phi D$  – średnica walca;  $L$  – wysokość walca

#### 4. Opracowanie wyników

4.1. Obliczyć powierzchnię przepływu ciepła do wnętrza walca (rys. 4) zanurzonego w wodzie.

$$F = D \cdot h \cdot \pi$$

gdzie:  $F$  – powierzchnia przepływu ciepła;

$D$  – średnica walca;

$h$  – głębokość zanurzenia (w czasie wykonywania ćwiczenia należy zanurzyć walec na głębokość  $h = 160$  [mm]).

4.2. Obliczyć ilość ciepła przekazanego przez wodę.

W zagadnieniach technicznych przyjmuje się, że entalpia właściwa wody  $i$  [kcal/kg] o temperaturze poniżej  $150^{\circ}\text{C}$  jest liczbowo równa temperaturze wody wyrażonej w  $^{\circ}\text{C}$ .

Wobec powyższego ilość ciepła przekazanego przez wodę wynosi:

$$Q = G_w \cdot (i_p - i_k) \text{ [kcal]}$$

gdzie:  $G_w$  – ciepło właściwe wody;

$i_p$  – entalpia początkowa wody;

$i_k$  – entalpia końcowa wody.

Przyjąć  $1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$

4.3. Obliczyć wartość współczynnika przewodności cieplnej badanego materiału w oparciu o uzyskany rozkład temperatury na ściance walca wg następującego wzoru:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot (T_1 - T_2) \cdot t} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

gdzie: Q – ciepło przekazane przez wodę [J];  
δ – grubość ścianki równa połowie średnicy walca [m];  
F – powierzchnia przepływu ciepła [m<sup>2</sup>];  
T<sub>1</sub> – temperatura na powierzchni zewnętrznej walca [K];  
T<sub>2</sub> – temperatura wewnątrz walca [K];  
t – czas przekazania ciepła [sek].

#### 5. Pytania sprawdzające

- Zdefiniować opór przewodzenia ciepła.
- Od czego zależy ilość ciepła przepływającego przez przegrodę?
- Narysować rozkład temperatury w przegrodzie jedno- i wielowarstwowej.

#### 6. Literatura

- Lewiński J.: Wymiana ciepła. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2012.
- Różański S.A.: Fizyka. Repetytorium dla studentów I roku studiów inżynierskich. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2011.
- Różański S.A.: Przez fizykę na skróty. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2013.
- Różański S.A.: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki wspomagane komputerem. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2014.
- Skorka M.: Fizyka. Podręcznik dla studentów wyższych technicznych studiów zawodowych dla pracujących. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1973.
- Staniszewski B.: Termodynamika. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.