

**Katedra Silników Spalinowych
i Pojazdów ATH
ZAKŁAD TERMODYNAMIKI**

**Wyznaczanie współczynnika
przenikania ciepła dla przegrody
płaskiej**

Wstęp teoretyczny

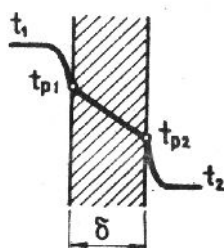
Jednym ze sposobów wymiany ciepła jest przewodzenie. Polega ono na bezpośrednim przekazywaniu energii wewnętrznej drobinom o niższej temperaturze przez stykające się z nimi drobiny tego samego lub innego ciała posiadające wyższą temperaturę. Przewodzenie ciepła zachodzi we wszystkich stanach skupienia materii. W płynach (cieczach lub gazach) przewodzeniu mogą towarzyszyć wzajemne przemieszczenia drobin płynu. Wymiana ciepła, jaka wówczas występuje, nazywa się konwekcją. Ściśle biorąc konwekcją nazywamy wymianę ciepła pomiędzy powierzchnią ciała stałego i przylegającym do niej płynem, w którym oprócz przewodzenia występuje ruch. Ten sposób wymiany ciepła nazywa się również wnikaniem ciepła (przejmowanie ciepła).

Przewodzenie i konwekcja wymagają bezpośredniego kontaktu ciał wymieniających energię. Wymiana ciepła może się odbywać również bez tego kontaktu w sposób zwany promieniowaniem. Polega ono na przekazywaniu energii w formie fal elektromagnetycznych. Z punktu widzenia termodynamiki ten sposób przekazywania energii do układu lub z układu należy również zaliczyć do ciepła.

Zazwyczaj mają miejsce złożone przypadki wymiany ciepła polegające na równoczesnym występowaniu dwóch lub trzech sposobów wymiany ciepła. I tak np. wymiana ciepła pomiędzy spalinami i wodą w kotle parowym odbywa się następująco: powierzchnia zewnętrzna rury kotła otrzymuje od spalin energię w postaci ciepła drogą konwekcji i promieniowania. Ciepło to jest następnie przewodzone poprzez ściankę rury i wewnętrzna powierzchnia rury oddaje je drogą konwekcji i promieniowania. Ciepło to jest następnie przewodzone poprzez ściankę rury i wewnętrzna powierzchnia rury oddaje je drogą konwekcji wodzie płynącej w rurze. Wymianę ciepła pomiędzy dwoma płynami rozdzielonymi przegrodą nazywamy ogólnie przenikaniem ciepła.

Przegroda płaska.

Płaska przegroda (płyta) oddziela dwa płyny o temperaturach t_1 i t_2 . Jeżeli temperatury każdego z płynów są wyrównane w objętości i niezmiennie w czasie, a przegroda jest dostatecznie rozległa, to zagadnienie można traktować jak jednowymiarowe- temperatura jest funkcją tylko współrzędnej mierzonej wzdłuż osi prostopadłej do przegrody. Gęstość strumienia ciepła jest stała na całej powierzchni przegrody i wynosi q . Rozkład temperatury w przegrodzie i przylegających do niej warstwach płynu pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Rozkład temperatur podczas przenikania ciepła przez przegrodę płaską.

Związek pomiędzy różnicą temperatur płynów t_1-t_2 i gęstością strumienia ciepła \dot{q} przenikającego przez przegrodę wyraża równanie:

$$t_1 - t_2 = \dot{q} \cdot (R_{\alpha_1} + R_{\lambda} + R_{\alpha_2}) = \dot{q} \cdot R \quad (1)$$

Suma oporów cieplnych wnikania i przewodzenia jest oporem przenikania ciepła R przegrody, a jego odwrotność nazywa się współczynnikiem przenikania ciepła przegrody:

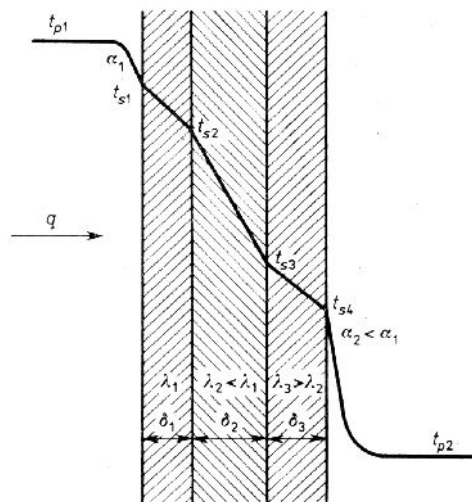
$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

Po wprowadzeniu tego współczynnika związek pomiędzy strumieniem ciepła i różnicą temperatur płynów można zapisać w postaci:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot (t_1 - t_2) \quad (3)$$

W przypadku przegrody wielowarstwowej (rys.2.) należy rozszerzyć równania (1) i (2) wprowadzając sumę oporów przewodzenia wszystkich warstw:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n R_{\lambda_i} + R_{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$



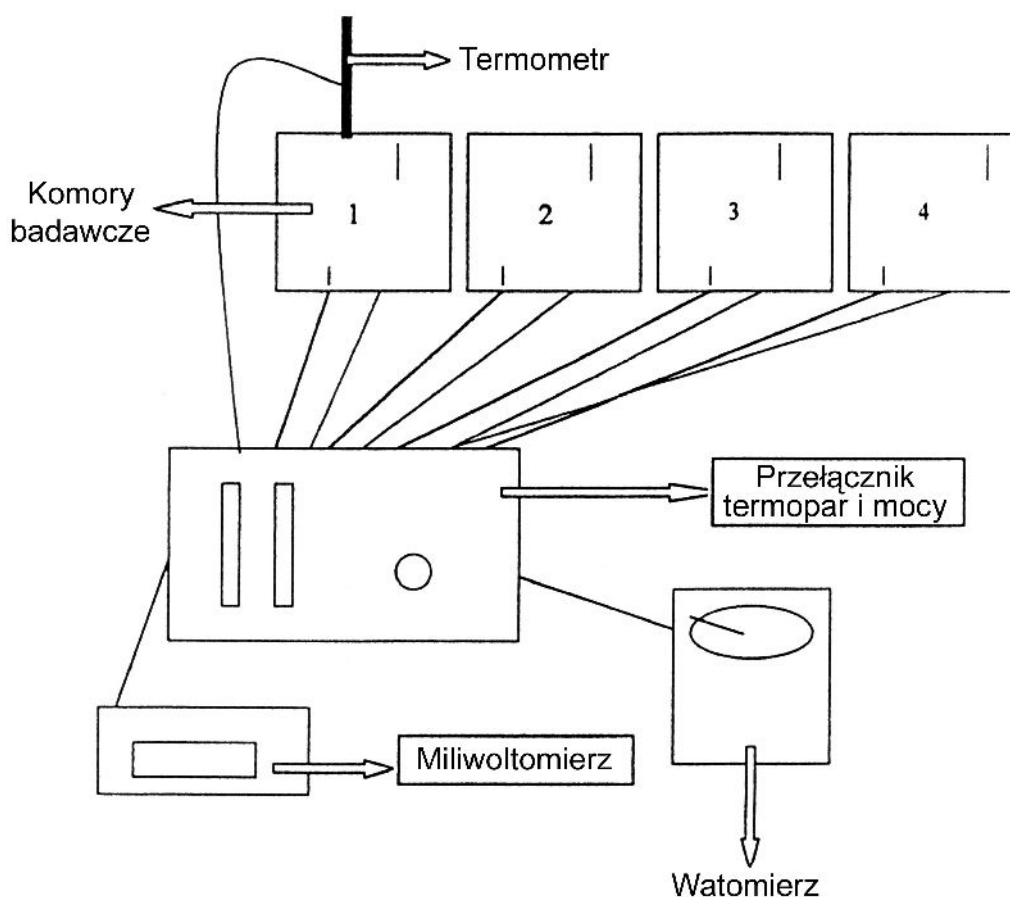
Rys. 2. Rozkład temperatur podczas przenikania ciepła przez wielowarstwową przegrodę płaską.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest badanie współczynnika przenikania ciepła przez następujące rodzaje przegród szklanych:

- szyba pojedyncza,
- szyba pojedyncza ze specjalnymi warstwami odblaskowymi,
- szyba podwójna,
- szyba potrójna

Wymienione przegrody szklane stanowią jedną ze ścian bocznych czterech komór pomiarowych o kształcie sześciątów, których pozostałe ściany są wykonane ze styropianu o grubości 80 mm. Wymiary wewnętrzne każdej ze ścian wynoszą 500×500 mm. Wewnątrz każdej komory pomiarowej jest umieszczone źródło ciepła zasilane energią elektryczną o regulowanej mocy, oraz dwie termopary (górna i dolna) umożliwiające pomiar temperatury wewnątrz. Temperaturę otoczenia mierzy się termoparą oraz kontrolnie termometrem szklanym laboratoryjnym.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego.

Nr termopary	Nr komory	Lokalizacja
1	1	dół
2	1	górze
3	2	dół
4	2	górze
5	3	dół
6	3	górze
7	4	dół
8	4	górze
13	-	otoczenie

Przebieg ćwiczenia

Stanowisko po uruchomieniu musi osiągnąć stan ustalony, który charakteryzuje się brakiem zmian wskazań przyrządów pomiarowych. Korzystnie jest dobrać napięcie zasilające grzejniki w poszczególnych komorach pomiarowych w taki sposób, aby średnie wartości temperatur wewnątrz komór były zbliżone. Zróżnicowanie mocy pobieranych przez elementy grzewcze poszczególnych komór będą pierwszą informacją jakościową dotyczącą własności cieplnych poszczególnych badanych przegród szklanych.

Dla stanu ustalonego moc cieplna grzejnika będzie równa mocy cieplnej przenikającej przez przegrodę szklaną oraz pozostałe przegrody dla każdej z komór.

$$N = F_1 \cdot k \cdot \Delta t + 5 \cdot \frac{F_2 \cdot \Delta t}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5)$$

gdzie:

- N dostarczona moc elektryczna, [W]
- F_1 powierzchnia szyby, [m²]
- F_2 powierzchnia każdej ze ścianek styropianowych, [m²]
- $F_1 = F_2$ = 0,5m×0,5m = 0,25m²
- Δt różnica temperatury (wewnętrznej i otoczenia), [K]
- α_1 współczynnik wnikania ciepła wewnątrz komory, [W/m²K]
- α_2 współczynnik wnikania ciepła na zewnątrz komory, [W/m²K]
- $\alpha_1 = \alpha_2$ = 5 W/m²K (przyjęto jako przybliżoną wartość dla konwekcji swobodnej w powietrzu)
- δ grubość ścianki styropianowej, [m]
 $\delta = 0,08$ m

λ współczynnik przewodzenia ciepła dla styropianu
 $\lambda=0,04 \text{ W/mK}$

k współczynnik przenikania ciepła dla przegrody szklanej, $[\text{W/m}^2\text{K}]$

Temperaturę mierzoną przy pomocy termopary typu (Fe-Ko) wyznacza się w oparciu o charakterystykę tej termopary podaną w formie tabelarycznej stosując interpolację liniową.

Można temperaturę wyznaczyć w sposób przybliżony stosując uproszczoną zależność pomiędzy temperaturą a SEM termopary (obowiązującą w zakresie temperatur $0 \div 100^\circ\text{C}$):

$$t=19,1534 U$$

gdzie:

t jest temperaturą termopary $[\text{C}]$, przy warunku, że tzw. „zimne końce” termopary są umieszczone w topniejącym lodzie

U siła elektromotoryczna termopary (SEM), $[\text{mV}]$

Wyznaczony ze wzoru (5) współczynnik przenikania ciepła dla przegrody szklanej k należy wpisać w odpowiednie miejsce tabelki.

Komora	Charakterystyka komory	Współczynnik przenikania k $[\text{W/m}^2\text{K}]$
1	Kształt sześcianu o bokach 0.5m, pięć ścian ze styropianu, szósta z pojedynczej szyby o grubości 4mm.	
2	Kształt sześcianu o bokach 0.5m, pięć ścian ze styropianu, szósta z pojedynczej szyby o grubości 4mm ze specjalną warstwą.	
3	Kształt sześcianu o bokach 0.5m, pięć ścian ze styropianu, szósta z podwójnej szyby o grubości 4mm.	
4	Kształt sześcianu o bokach 0.5m, pięć ścian ze styropianu, szósta z potrójnej szyby o grubości 4mm.	

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) Podstawy teoretyczne pomiaru
- 2) Schemat stanowiska pomiarowego
- 3) Tabelę z wynikami pomiarów
- 4) Tabelę wartości k otrzymanych z pomiaru

- 5) Obliczenia wartości k dla wybranej przegrody
- 6) Analizę dokładności pomiaru, uwagi własne na temat metody pomiaru oraz przebiegu ćwiczenia.

Załącznik:

Charakterystyki termopary Fe-Ko (typ J) (Źródło: „The temperature Handbook” – Omega Engineering)