

## W/g termodynamiki - ciepło jest jednym ze sposobów transportu energii

„Czysty przepływ ciepła” może wystąpić jedynie w ciałach stałych pozostających w spoczynku.

Proces wymiany ciepła:

- przejmowanie ciepła z ośrodka cieplejszego
- przewodzenie ciepła przez przegrodę
- oddawanie ciepła do ośrodka cieplejszego

Nauka rozpatruje następujące trzy formy (sposoby) wymiany ciepła:

- przewodzenie ciepła
- konwekcja
- promieniowanie

W tych trzech formach wymiany ciepła występują tylko dwa mechanizmy transportu ciepła, a mianowicie:

- zderzenia cząstek
- fala elektromagnetyczna

Konwekcja ( UNOSZENIE ) występuje wówczas, gdy poszczególne makroskopowe cząstki ośrodka, w którym odbywa się ruch ciepła, zmieniają swoje położenie.

Głównie występuje w ośrodkach gazowych i ciekłych.

Rozróżnia się przy tym dwa rodzaje konwekcji:  
swobodną  
wymuszoną.

Przy konwekcji swobodnej ruchy powietrza są wynikiem różnic gęstości spowodowanych wzrostem objętości przy ogrzewaniu. Ten charakter konwekcji jest właściwy dla wnętrza pomieszczeń.

Przy konwekcji wymuszonej ruchy powietrza spowodowane są działaniem wiatru, wentylatorów itp. Ten typ konwekcji przeważa na zewnętrznych powierzchniach budynków.

Konwekcyjną wymianę ciepła między powierzchnią i powietrzem opisuje równanie Newtona

$$q_k = \alpha_k (t_i - v_i)$$

gdzie:

$q_k$  – gęstość strumienia cieplnego [ $W/m^2$ ]

$\alpha_k$  – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję [ $W/m^2K$ ],

$t_i$  – temperatura ośrodka [K],

$v_i$  – temperatura powierzchni [K].

**RÓWNANIA KRYTERIALNE:**

Kryterialne równanie wymiany ciepła w obszarze burzliwym dla powierzchni pionowych przyjmuje W PRZYPADKU KONWEKCJI SWOBODNEJ postać:

$$N_u = 0,135 (G_r P_r)^{1/3}$$

gdzie:

$N_u$  – liczba podobieństwa Nusell't'a,

$G_r P_r$  – iloczyn liczb Grasshoff'a i Prandl'a określający intensywność wymiany ciepła przez konwekcję swobodną,

W PRZYPADKU KONWEKCJI WYMUSZONEJ (ruch powietrza wzdłuż powierzchni) równanie kryterialne przyjmuje postać:

$$Nu = 0,032 Re^{0.8}$$

gdzie:

$Re$  – liczba podobieństwa Reynolds'a

$\alpha_k$  – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję [ $W/M^2K$ ]

wzór uproszczony dla wewnętrznych powierzchni pionowych:

$$\alpha_k = 1,66 t^{1/3}$$

który z niewielkim przybliżeniem rzędu 1% może być stosowany w przedziale temperatur 10-30°C.

Dla powierzchni zewnętrznych współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję można obliczać ze wzoru:

$$\alpha_k = 7,34 v^{0.656} + 3,78 e^{-1,91v} \quad [W/m^2K]$$

PROMIENIOWANIE przenoszenie energii w ośrodku gazowym lub próżni pomiędzy dwoma powierzchniami za pomocą fal elektromagnetycznych.

Wymiana ciepła na powierzchni przegród przez promieniowanie odbywa się za pośrednictwem fal elektromagnetycznych, przy czym następuje tu dwukrotna zamiana postaci energii, tj. cieplnej na elektromagnetyczną na powierzchni ciała wypromieniowującego ciepło i elektromagnetycznej na cieplną na powierzchni ciała pochłaniającego ciepło. Powierzchnie wszystkich ciał o temperaturze powyżej zera bezwzględnego są źródłami promieniowania cieplnego o natężeniu zależnym od właściwości i temperatury powierzchni.

Zdolność materiału wypromieniowywania i pochłaniania ciepła charakteryzuje **współczynnik promieniowania C materiału**. Natężenie promieniowanie ciał absolutnie czarnych jest można opisać **wzorem Stefana-Boltzmana**

$$E_0 = C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4$$

gdzie:

$T$  – temperatura absolutna [K]

$C_0$  – współczynnik promieniowania ciała absolutnie czarnych  $C_0 = 5,77 W/m^2K^4$ .

Stosunek natężenia promieniowania pochłanianego przez powierzchnię ciała szarego do natężenia promieniowania padającego oznaczamy  $e$  i nazywamy współczynnikiem absorpcji.

Zgodnie z prawem Kirchhoffa współczynnik ten charakteryzuje ciała również przy emisji

promieniowania, co opisuje zależność

**$C = \epsilon C_0$**  gdzie:  $C$  — współczynnik promieniowania powierzchni ciała szarego.

Podobnie stosunek natężenia promieniowania odbitego do natężenia promieniowania padającego **nazywamy współczynnikiem odbicia** i oznaczamy  $\rho$  Współczynniki odbicia i absorpcji dla materiałów nieprzezroczystych są związane zależnością

$$\rho + \epsilon = 1 .$$

Dla dwóch przegród równoległych współczynnik wymiany ciepła przez promieniowanie określać można z zależności

$$\alpha_r = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \cdot \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2}$$

gdzie:

$C_1, C_2$  – współczynniki promieniowania powierzchni,  
 $C_0$  współczynnik promieniowania ciała absolutnie czarnego,  
 $t_1, t_2$  – temperatury powierzchni [ $^{\circ}\text{C}$ ].

W rzeczywistości na powierzchniach przegród budowlanych mamy do czynienia z jednoczesną wymianą ciepła przez konwekcję i promieniowanie, tj. ze **złożoną wymianą ciepła**. Dla potrzeb analizy złożonej wymiany ciepła korzystamy z założenia, że gęstość strumienia cieplnego na rozpatrywanej powierzchni jest równa sumie gęstości strumieni cieplnych przekazywanych przez konwekcję i promieniowanie

$$q = q_k + q_r \text{ gdzie: } q \text{ — gęstość strumienia cieplnego,}$$

$q_k$  — gęstość strumienia cieplnego przekazywanego przez konwekcję,  $q_r$  — gęstość strumienia cieplnego przekazywanego przez promieniowanie.

W przypadku pomieszczenia z jedną ścianą zewnętrzną i przy jednakowej emisyjności i temperaturze pozostałych powierzchni zależność powyższą można przedstawić w postaci

$$q = \alpha_k (t_i - v_i) + \alpha_r (t_i - v_i) = \alpha_{i \text{ lub } e} (t_i - v_i)$$

$$\alpha_{i \text{ lub } e} = \alpha_k + \alpha_r$$

gdzie:

$q$  – gęstość strumienia cieplnego [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\alpha_k$  – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],

$t_i$  – temperatura ośrodka [K],

$v_i$  – temperatura powierzchni [K].

#### PRZEWODZENIE CIEPŁA

Przewodzenie ciepła jest zjawiskiem polegającym na przenoszeniu energii cieplnej wewnątrz makroskopowo nieruchomego ośrodka materialnego w wyniku oddziaływań międzycząsteczkowych - CHARAKTERYSTYCZNY DLA CIAŁ STAŁYCH.

**określenie pola temperatur** tj. podania zależności funkcyjnej temperatury od współrzędnych  $x, y$  i  $z$  oraz czas  $\tau$

$$t = f(x, y, z, \tau)$$

Jeżeli temperatura zależy od czasu, to pole temperatur nosi nazwę **pola nieustalonego (niestacjonarnego)**.

Natomiast jeżeli temperatura w każdym punkcie pola jest stała w czasie czyli

$$\frac{\partial}{\partial \tau} f(x, y, z) = 0$$

to pole temperatury nazywamy **polem ustalonym (stacjonarnym)** i wówczas temperaturę określa się jedynie w funkcji współrzędnych

$$t = f(x, y, z).$$

Wtedy w stanie ustalonym

$$t = f(x),$$

a nieustalonym

$$t = f(x, \tau).$$

W tym przypadku pole temperatur znajduje się jako rozwiązanie równania różniczkowego, zwanego równaniem Fouriera lub równaniem przewodnictwa cieplnego

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = a \nabla^2 t$$

gdzie  $a$  – współczynnik wyrównania temperatury [ $m^2/S$ ]

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

w którym:

$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła [ $W/mK$ ]

$$\lambda = \frac{Qd}{\Delta t A \tau}$$

$c$  = ciepło właściwe [ $J/kg.K$ ],

$\rho$  - gęstość materiału [ $kg/m^3$ ]

lub empirycznym prawem Fouriera

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = -\lambda gradt$$

gdzie:

$q$  – natężenie strumienia cieplnego,

$\frac{dt}{dx} = gradt$  - gradient temperatury.

Dla przepływu jednokierunkowego

$$t = f(x, 0).$$

Warunki brzegowe opisują sposób wymiany ciepła na granicy obszaru o jednorodnych cechach cieplnych. Najczęściej wyróżnia się następujące warunki brzegowe:

- warunek brzegowy I rodzaju, gdy znany jest rozkład temperatury na brzegu obszaru w dowolnej chwili

$$t_F(\tau) = f(\tau)$$

indeks  $F$  oznacza brzeg obszaru

- warunek brzegowy II rodzaju, gdy znany jest rozkład gęstości strumienia cieplnego na brzegu obszaru w dowolnej chwili

$$q_F(\tau) = f(\tau)$$

- warunek brzegowy III rodzaju, gdy wymiana ciepła między powierzchnią o otaczającym ośrodkiem odbywa się wg prawa Newtona

$$-\lambda(\text{grad}t)_F = \alpha(t_F - t_0)$$

$\alpha$  - współczynnik przejmowania ciepła

$t_F$  – temperatura na brzegu obszaru

$t_0$  – temperatura otaczającego ośrodka.

- warunek brzegowy IV rodzaju, obejmujący warunki ciągłości temperatury i gęstości strumienia cieplnego na brzegu obszarów, w których przewodzenie ciepła opisane jest różnymi równaniami (np. na skutek różnych cech fizycznych i termicznych materiałów)

$$t_{1F}(\tau) = t_{2F}(\tau)$$

$$\lambda_1(\text{grad } t_1)_F = \lambda_2(\text{grad } t_2)_F$$

### **założenia przenikania ciepła przez przegrody**

- przepływ ciepła odbywa się w warunkach ustalonych, tzn. strumień cieplny i temperatury nie zmieniają się w czasie,
- pole temperatur jest jednowymiarowe (wzdłuż grubości przegrody),
- ruch ciepła odbywa się prostopadle do płaszczyzny przegrody.

Odwrotność oporu przenikania ciepła nosi nazwę współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] będący stosowana powszechnie MIARĄ IZOLACYJNOŚCI PRZEGRÓD.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}].$$