

PROMIENIOWANIE

Wymiana ciepła z otoczeniem przez promieniowanie cieplne. Przekształcanie energii cieplnej na promienistą – promieniowanie cieplne, proces odwrotny to pochłanianie (absorpcja ciepła). Promieniowanie cieplne ma tę samą naturę, co promieniowanie świetlne, podlega tym samym prawom.

PROMIENIE WIDZIALNE MAJĄ DŁUGOŚĆ OD 0,4 DO 0,8 μm
ZAŚ PROMIENIE PODCZERWONE OD 0,8 DO 40 μm .

Na powierzchni każdego ciała lub w jego wnętrzu zachodzi nieprzerwanie proces zamiany energii cieplnej na promienistą i odwrotnie. Promienie padające na ciało są częściowo pochłonięte, częściowo zaś odbite, a częściowo mogą przechodzić przez ciało bez zmian.

Ta część energii, która została odbita natrafia na inne ciała, gdzie w/w proces się powtarza. Także promieniowanie pochłonięte zostaje wyemitowane np. ciało doskonale czarne pochłania i emituje promieniowanie cieplne bardzo dobrze ($a=\epsilon=1$).

**Podstawowe zależności:
gęstość strumienia (natężenie) promieniowania cieplnego**

$$E = Q/A \cdot \tau = \phi/A \text{ [W/m}^2\text{]}$$

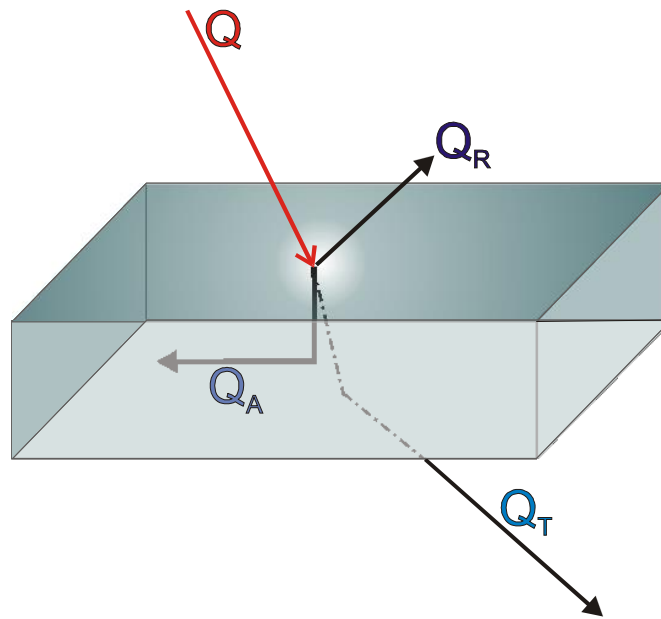
gdzie:

Q – energia promieniowania [J],

A – powierzchnia z której następuje promieniowanie [m²],

τ - czas promieniowania [s]

$\phi = Q/\tau$ - **moc (strumień) promieniowania cieplnego [W]**,



$$Q = Q_A + Q_R + Q_T \quad /:Q$$

$$1 = Q_A/Q + Q_R/Q + Q_T/Q \text{ czyli}$$

$$1 = a + r + t$$

a = współczynnik absorpcji (pochląnianie) = Q_A/Q

r = współczynnik refleksji (odbicie) = Q_R/Q

t = współczynnik transmisji (przepuszczanie) = Q_T/Q

$1 = a + r + t$ - CIAŁO SZARE

najczęściej dla ciał szarych $a + r = 1$

CIAŁO DOSKONAŁE CZARNE - $a = 1$; $r = 0$ i $t = 0$

CIAŁO DOSKONAŁE PRZEZROCZYSTE - $t = 1$; $a = 0$ i $r = 0$

CIAŁO DOSKONAŁE BIAŁE - $r = 1$; $t = 0$ i $a = 0$

Wartości współczynników a , r i t zależą od rodzaju ciała (struktury, rodzaju wiązań chemicznych), długości fal padających promieni, barwy ciała i charakteru powierzchni.

PRAWO STEFANA-BOLTZMANA

Rozwiązanie prawa Plancka daje prawo Stefana-Boltzmana, które głosi, że natężenia promieniowania ciała doskonale czarnego jest proporcjonalne do czwartej potęgi temperatury bezwzględnej tego ciała.

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4$$

gdzie:

σ_0 - stała promieniowania $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$$E_0 = C_0 \cdot (T/100)^4$$

dla ciał szarych $E = C_0 \cdot \varepsilon \cdot (T/100)^4 = C \cdot (T/100)^4$

$$C_0 = \sigma_0 \cdot 10^8$$

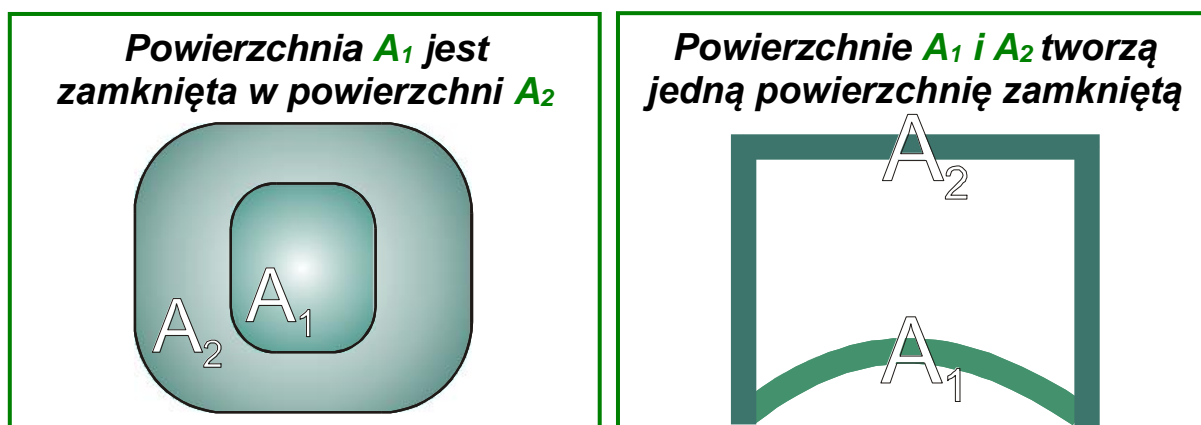
gdzie: ε - stopień czarności ciała czyli emisyjność,

EMISYJNOŚĆ CAŁKOWITA – stosunek natężenia promieniowania ciała szarego do natężenia promieniowania ciała doskonale czarnego w temperaturze T

$$\varepsilon = E/E_0 = \frac{C(T/100)^4}{C_0(T/100)^4}$$

Emisyjność (stopień czarności) przybiera wartości $0 < \varepsilon < 1$ zatem C wynosi od 0 do $5,67 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K}^4]$.

Zgodnie z prawem **Stefana–Boltzmana** można wyznaczać ilość wymienionego ciepła między powierzchniami dwóch ciał zależnie od położenia tych powierzchni:



$$A_2 > A_1$$

zatem:

$$\dot{Q}_{1-2} = \varepsilon_{1-2} \cdot A_1 \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] [W]$$

$$q_{1-2} = \varepsilon_{1-2} \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

ZASTĘPCZY STOPIEŃ CZARNOŚCI ε_{1-2}

wzór ogólny:

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

gdy $A_2 \gg A_1$ wtedy

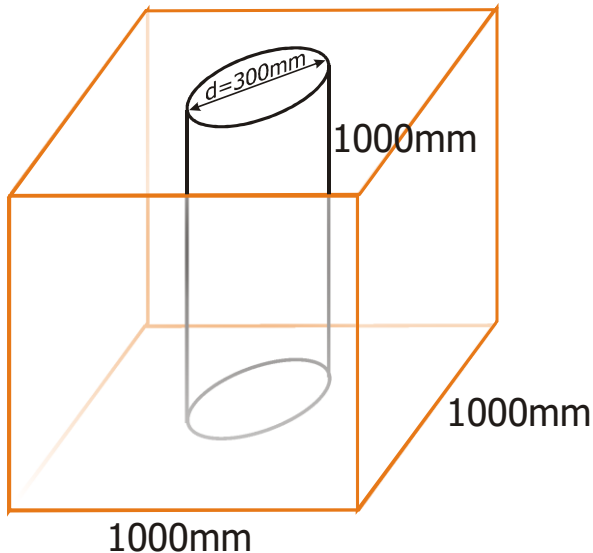
$$\varepsilon_{1-2} \cong \varepsilon_1$$

Dla równoległych dostatecznie dużych płyt położonych blisko siebie zastępczy stopień czerności oblicza się z wg poniższego wzoru, gdyż wtedy $A_1 = A_2$:

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

ZADANIA

ZADANIE 1



W kanale ceglany o przekroju 1000x1000mm znajduje się rurociąg stalowy o średnicy zewnętrznej 300mm. Temperatura zewnętrznej powierzchni rurociągu wynosi 227°C , a temperatura wewnętrznej powierzchni ścianek kanału 30°C . Obliczyć straty ciepłe wskutek promieniowania 1 metra bieżącego rurociągu ($L=1\text{m}$). Stopień czarności wynosi dla stali $\varepsilon_1=0,80$; dla cegły $\varepsilon_2=0,93$.

ZADANIE 2

W dużej hali fabrycznej znajduje się rurociąg stalowy o średnicy zewnętrznej 120mm i długości 20m. Temperatura zewnętrznej powierzchni rurociągu wynosi 300°C , zaś temperatura ścian hali jest równa 17°C . Obliczyć straty ciepłe rurociągu na drodze promieniowania, jeżeli stopień czarności stali $\varepsilon_1=0,80$.

ZADANIE 3

Dwie jednakowej wielkości płyty stalowe o wymiarach 2x2m są umieszczone równolegle, blisko siebie tak, iż wpływ promieniowania na boki można pominąć. Pierwsza z nich ma temperaturę 500°C a druga 80°C . Obliczyć natężenie przepływu ciepła (strumień ciepła) na drodze promieniowania między płytami. Podać temperaturę ekranu stalowego wstawionego między płyty o identycznych wymiarach. Stopień czarności stali $\varepsilon_1=0,82$. O ile % pierwotnej wartości zmniejszy się strumień cieplny po wstawieniu ekranu.

ZADANIE 4

Ściana pieca ma wysokość 3m. Temperatura ściany wynosi 80°C , natomiast temperatura otoczenia 40°C . Obliczyć straty ciepła i porównać na sposób konwekcji i promieniowania. Parametry powietrza dla temperatury 60°C : $Pr=0,722$; $\eta=20\cdot 10^{-6}\text{ Pa}\cdot\text{s}$; $\rho=1,0\text{ kg/m}^3$; $\lambda=0,028\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Ponadto wiadomo, że stopień czarności ściany (emisyjność) wynosi 0,8 zaś czynnik kształtu $f=1$.

ZADANIE 5

Grzałka szamotowa o średnicy 30mm jest umieszczona wewnątrz stalowej rury o średnicy 350mm. Obliczyć ilość ciepła wymienianego między grzałką i rurą przez promieniowanie jeżeli temperatura wewnętrznej powierzchni rury wynosi 80°C a temperatura grzałki wynosi 320°C .

Dane do zadania:

stopnie czarności: szamot $\varepsilon=0,6$; stal $\varepsilon=0,77$

Zakładamy długość rury i grzałki $L=1\text{m}$

ZADANIE 6

Przeanalizować zależność ciepła traconego wskutek promieniowania przez powierzchnię nieizolowanego odcinka stalowego rurociągu ($\varepsilon=0,77$) o średnicy równej 25mm i długości wynoszącej 5m o temperaturze otoczenia 0°C , jeżeli rurociągiem przepływa para wodna o ciśnieniu $4,7\cdot 10^5\text{Pa}$ i temperaturze 423K.

Wyznaczyć ciepło tracone dla innych temperatur otoczenia (-20 ; -10 ; 10 ; 20 ; 30 i 40°C) i porównać.

ZADANIE 7

Obliczyć ile ciepła w ciągu godziny otrzymuje promieniowania powierzchnia 1m^2 stalowych rur kotła parowego, jeżeli źródłem promieniowania jest ścianka paleniska (materiał cegła szamotowa). Temperatura ścianki wynosi 1100°C a temperatura powierzchni stalowych rur 300°C . Stopnie czarności wynoszą odpowiednio: cegła szamotowa $\varepsilon=0,75$; rura stalowa $\varepsilon=0,7$.