

## 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  $\mu\text{m}$   
ZAŚ PROMIENIE PODCZERWONE OD 0,8 DO 40  $\mu\text{m}$ .

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**

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

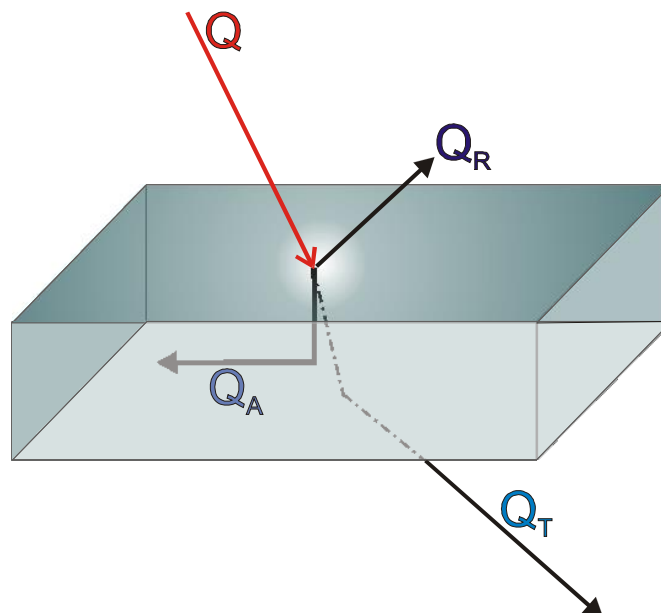
gdzie:

Q – energia promieniowania [J],

A – powierzchnia z której następuje promieniowanie [ $\text{m}^2$ ],

$\tau$  - czas promieniowania [s]

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



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

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

$$1 = a + r + t$$

$a$  = współczynnik absorpcji (pochląnianie) =  $Q_A/Q$

$r$  = współczynnik refleksji (odbicie) =  $Q_R/Q$

$t$  = współczynnik transmisji (przepuszczanie) =  $Q_T/Q$

$$1 = a + r + t \quad \text{- CIAŁO SZARE}$$

najczęściej dla ciał szarych  $a + r = 1$

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

**CIAŁO DOSKONAŁE PRZEźROCYSTE** -  $t=1$ ;  $a=0$  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:

$\sigma_0$ - 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  $E = C_0 \cdot \varepsilon \cdot (T/100)^4 = C \cdot (T/100)^4$

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

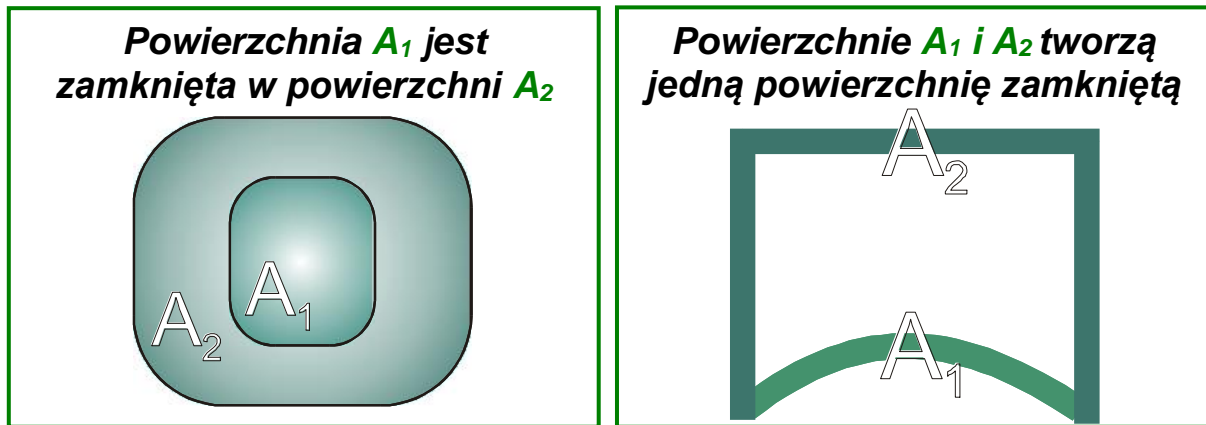
gdzie:  $\varepsilon$  - stopień czarności ciała czyli emisyjność,

**EMISYJNOŚĆ CAŁKOWITA** – stosunek natężenia promieniowania ciała szarego do natężenie 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 [W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>].

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



$$A_2 > A_1$$

zatem:

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

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

### ZASTĘPCZY STOPIEŃ CZARNOŚCI $\varepsilon_{1-2}$

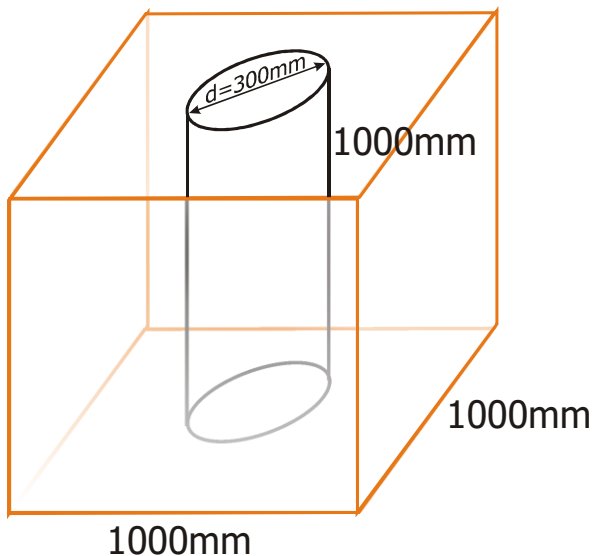
$$\text{wzór ogólny: } \varepsilon_{1-2} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + A_1/A_2 \cdot (1/\varepsilon_2 - 1)}$$

gdy  $A_2 \gg A_1$  wtedy  $\varepsilon_{1-2} \cong \varepsilon_1$

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

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

## 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 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 natężenie przepływu 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 opromieniowania powierzchnia  $1\text{m}^2$  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  $\varepsilon=0,7$ .