

CIEPŁO, PALIWA, SPALANIE

CIEPŁO (Q) – jedna z form przekazu energii między układami termodynamicznymi.

Proces przekazu energii za pośrednictwem oddziaływania termicznego
- **WYMIANA CIEPŁA.**

Zmiana energii wewnętrznej układu, spowodowana tym oddziaływaniem nazywana jest - **ILOŚCIĄ CIEPŁA** dostarczoną układowi.

POJĘCIA PODSTAWOWE

- 1. CIEPŁO WŁAŚCIWE** - ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy o 1 stopień (1K). Jednostka (SI) [J/kg·K]. Analogicznie wielkości odniesione do 1 mola lub jednostki objętości nazywa się odpowiednio CIEPŁEM MOLOWYM lub CIEPŁEM OBJĘTOŚCIOWYM. Dla gazów wyróżnia się CIEPŁO WŁAŚCIWE IZOBARYCZNE ($p=\text{const}$) i CIEPŁO WŁAŚCIWE IZOHORYCZNE ($V=\text{const}$).
- 2. POJEMNOŚĆ CIEPLNA.** Jest to iloczyn masy i ciepła właściwego danej substancji.

$$q = m \cdot c \left[\frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

- 3. CIEPŁO SPALANIA (Q_c)** – ilość ciepła powstała podczas całkowitego i zupełnego spalania jednostki paliwa przy założeniu, że spaliny zostały ochłodzone do temperatury pierwotnej substratów, a para wodna pochodząca z wilgoci paliwa i spalania wodoru ulega skropleniu.
- 4. WARTOŚĆ OPAŁOWA (Q_w)** - ilość ciepła powstała podczas całkowitego i zupełnego spalania jednostki paliwa przy założeniu, że spaliny zostały ochłodzone do temperatury pierwotnej substratów, a para wodna pochodząca z wilgoci paliwa i spalania wodoru znajduje się w postaci pary.

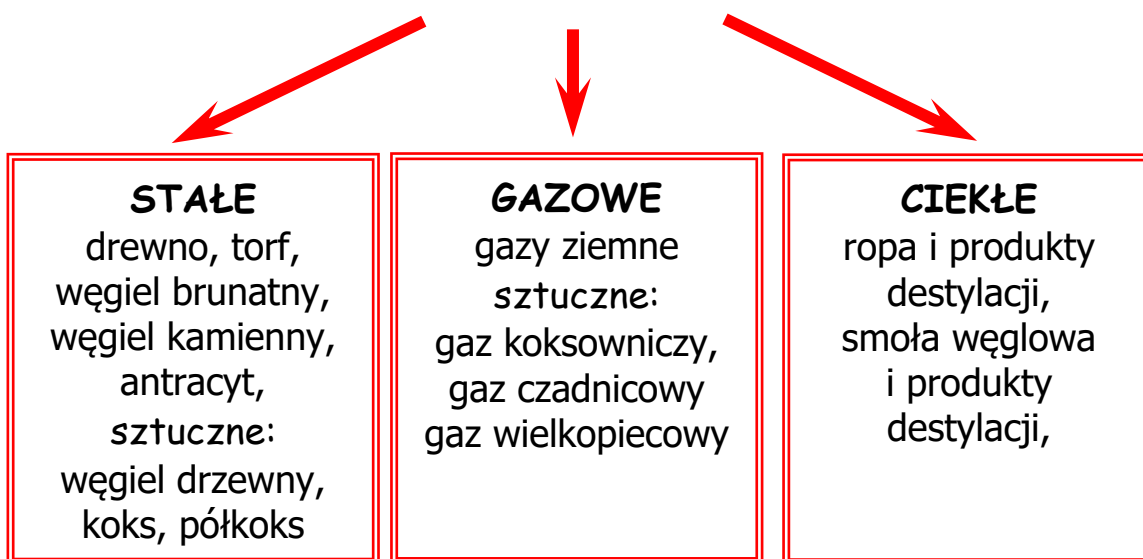
$$Q_w = Q_c - r_0 W$$

gdzie:

r_0 – 2500 kJ/kg,

PALIWA PRZEMYSŁOWE

Materiały palne, które w ocenie techniczno-ekonomicznej mogą być źródłem energii.



PALIWA NATURALNE – powstały w wyniku metamorfozy substancji organicznych zawierających w swym składzie węgiel, wodór, tlen i azot.

HUMOLIT – produkty metamorfozy roślin np. tofr, węgiel kamienny, (łc. humus 'ziemia' + gr. lihtos 'kamień')



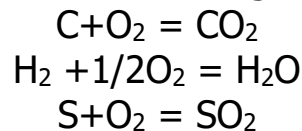
SAPROPELIT – produkty metamorfozy zwierząt np. ropa naftowa,



WŁAŚCIWOŚCI PALIW

Paliwo składa się z substancji palnej i balastu. Substancjami niepalnymi w paliwach stałych i ciekłych są wilgoć i popiół, natomiast w paliwach gazowych – azot, dwutlenek węgla i para wodna.

Reakcje spalania całkowitego i zupełnego:



Do obliczeń spalania (stechiometrii) bierzemy:

- 1 kg paliwa ciekłego lub stałego,
- 1 m³ paliwa gazowego,

Spalanie zupełne – w spalinach nie składników palnych np.: CO, CH₄; produkt to najtrwalszy związek,

Spalanie całkowite – nie powstaje dym, w popiele nie ma substancji palnych (np. węgla w postaci sadzy), nie ulatnia się para wodna; cała masa paliwa ulega utlenieniu,

Warunki:

$$p_0 = 1000 \text{ hPa lub } 750 \text{ mmHg}$$

$$T_0 = 273 \text{ K}$$

$$\text{gęstość powietrza } \rho = 1,27 \text{ kg/m}^3$$

ZAPOTRZEBOWANIE POWIETRZA DO SPALANIA

Obliczenia ilości i składu spalin

Ilość tlenu dostarczona do spalania 1kg paliwa (stałego lub ciekłego) lub 1m³ paliwa gazowego zgodnie ze stochiometrycznymi równaniami spalania nazywa się TLENEM TEORETYCZNYM.

$$O_t = 22,71 \left(\frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{S^r}{32} - \frac{O^r}{32} \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Dla paliwa gazowego:

$$O_t = 0,5 \frac{\%CO}{100} + 0,5 \frac{\%H_2}{100} + \Sigma \left(m + \frac{n}{4} \right) \frac{\%C_m H_n}{100} - \frac{\%O_2}{100} \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

POWIETRZE TEORETYCZNE – teoretyczna ilość powietrza do spalania

$$V_o = \frac{100}{21} O_t = 4,76 O_t \left[\frac{m^3}{kg} \right] \text{ lub } \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

Liczba nadmiaru powietrza:

$$\lambda = \frac{V_{rzecz}}{V_o} \quad \lambda = \frac{O_c}{O_t}$$

Ilość powietrza do spalania:

$$V = \lambda \cdot V_o$$

Ilość powietrza wilgotnego do spalania:

$$V = \lambda \cdot V_o (1 + 0,0016x)$$

gdzie: x – zawartość wilgoci w [g H₂O/kg powietrza]

Gdy:

$\lambda > 1,0$ spalanie z nadmiarem powietrza (duża ilość spalin, obniżenie temperatury spalania)

$\lambda = 1,0$ spalanie teoretyczne

$\lambda < 1,0$ spalanie z niedomiarem powietrza

ILOŚĆ I SKŁAD SPALIN

Ilość wilgotnych spalin rzeczywistych powstałych przy spalaniu paliwa ciekłego lub stałego

$\lambda > 1,0$

$$V_{sp} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

PALIWA STAŁE

$$V_{sp} = 22,71 \left(\frac{C^r}{12} + \frac{S^r}{32} + \frac{W_c}{18} + \frac{H_2^r}{2} + \frac{N_2^r}{28} \right) + 0,79V_N + 0,21(\lambda - 1)V_o \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

PALIWA GAZOWE

$$V_{sp} = \frac{\%CO_2}{100} + \frac{\%CO}{100} + \frac{\%H_2}{100} + 3 \frac{\%CH_4}{100} + 3 \frac{\%C_2H_2}{100} + 4 \frac{\%C_2H_4}{100} + 5 \frac{\%C_2H_6}{100} + \frac{\%N_2}{100} + 0,79V + 0,21(\lambda - 1)V_o \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

Do przybliżonych obliczeń WARTOŚCI OPAŁOWEJ służy
(paliwa stałe i ciekłe):

1. wzór Dulonga

$$Q_w = 32800C^r + 142770 \left(H^r - \frac{O^r}{8} \right) + 9290S^r - 2500(W_c + 9H^r) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

2. wzór VDI

$$Q_w = 33900C^r + 144030 \left(H^r - \frac{O^r}{8} \right) + 10400S^4 - 2500(W_c + 9H^r) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

paliwa gazowe:

$$Q_w = 12470 \frac{\%CO}{100} + 10620 \frac{\%H_2}{100} + 35330 \frac{\%CH_4}{100} + 63500 \frac{\%C_2H_6}{100} + 59170 \frac{\%C_2H_4}{100} + 56200 \frac{\%C_2H_2}{100} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

ZADANIA:

Zadanie 1

Obliczyć wartość opałową Q_w [kJ/kg] węgla kamiennego o składzie:
 $C^r - 70\%$; $H^r - 4\%$; $S^r - 1\%$; $O^r - 10\%$; $N^r - 1\%$; $A^r - 7\%$; $W_c - 7\%$.

Zadanie 2

Obliczyć wartość opałową i ciepło spalania 1 kg węgla kamiennego o następującym składzie chemicznym: $C^r - 67\%$; $H^r - 4\%$; $S^r - 1\%$; $O^r - 12\%$; $N^r - 1\%$; $A^r - 9\%$; $W_c - 6\%$.

Zadanie 3

Obliczyć wartość opałową 1 m³ gazu ziemnego o następującym składzie chemicznym: $H_2-47\%$; $CH_4-18\%$; $C_2H_4-5\%$; $N_2-6\%$; $CO-18\%$; $CO_2-6\%$.

Zadanie 4

Obliczyć wartość opałową i ciepło spalania 1 kg węgla kamiennego o następującym składzie chemicznym roboczym: $C-69\%$; $H_2-4\%$; $S-1\%$; $O_2-12\%$; $N-1\%$; $H_2O-6\%$; $A-7\%$.

Zadanie 5

Obliczyć teoretyczne zapotrzebowanie powietrza potrzebnego do spalania 1kg węgla kamiennego o następującym składzie chemicznym:
 $C^r - 60\%$; $H^r - 4\%$; $S^r - 0,6\%$; $O^r - 13\%$; $N^r - 1,4\%$; $A^r - 15\%$; $W_c - 6\%$.

Zadanie 6

Obliczyć teoretyczne zapotrzebowanie powietrza potrzebnego do spalania 1m³ gazu ziemnego o składzie: $H_2-48\%$; $CH_4-16\%$; $C_2H_4-2\%$; $CO-15\%$; $CO_2-6\%$; $O_2-2\%$ i $N_2-11\%$.

Zadanie 7

Obliczyć ilość i skład spalin wilgotnych powstałych ze spalania gazu ziemnego wysokometanowego z 10% namiarem powietrza. Skład gazu: $CH_4 = 97\%$; $C_2H_4=1,0\%$ i $N_2=2,0\%$. Współczynnik nadmiaru powietrza λ wynosi 1,1.

Zadanie 8

Obliczyć ilość i skład spalin wilgotnych powstałych ze spalania zupełnego 1 kg benzyny z 14m³ powietrza. Skład paliwa: $C^r-85\%$ i $N^r-15\%$.

Zadanie 9

1kg koksu o składzie 87% C i 13% popiołu został spalony zupełnie w 11 m³ powietrza. Obliczyć skład objętościowy spalin.

Zadanie 10

1m³ acetyleny spala się całkowicie z 13m³ powietrza. Obliczyć skład objętościowy spalin.

Zadanie 11

Obliczyć skład objętościowy spalin powstałych z całkowitego spalania oleju gazowego z 20% namiarem powietrza. Skład oleju: C=86%; H₂=13%; S=0,4%; O₂=0,5% i N₂=0,1%.

Zadanie 12

Obliczyć ilość i skład spalin wilgotnych powstałych ze spalania węgla kamiennego z liczbą nadmiaru powietrza $\lambda=2,0$. Skład: C^r – 70%; H^r - 4%; S^r - 1%; O^r – 10%; A^r – 7%; N^r – 1%; W_c – 7%.

Zadanie 13

Obliczyć współczynnik nadmiaru powietrza, jeżeli analiza spalin otrzymanych ze spalania zupełnego czystego wodoru wykazała zawartość w spalinach tlenu równą 4,2%.

Zadanie 14

Obliczyć współczynnik nadmiaru powietrza, jeżeli analiza spalin otrzymanych ze spalania zupełnego węgla wykazała, że w spalinach są: CO₂-12%; O₂-7,9%.

Zadanie 15

1kg koksu o składzie 88%C i 12% popiołu został spalony w 6,5 m³ powietrza. Obliczyć skład objętościowy spalin i współczynnik nadmiaru powietrza.

Zadanie 16

Obliczyć ilość ciepła otrzymaną ze spalania 1 kg węgla kamiennego o następującym składzie chemicznym: C – 71%; H₂ - 4%; S - 1%; O₂ – 10%; N₂ – 1%; A^r – 7%; W_c – 6%, jeżeli analiza spalin wykazała zawartość: CO₂ – 12%; CO – 2,5%; O₂ – 6% i N₂ – 79,5%.