

## Teoria maszyn cieplnych

### Lista nr 3 – Spalanie cz. 1

#### PODSTAWOWE PRAWA I WZORY:

- 1) Skład paliw gazowych

Ilość węgla C:

$$n'_C = CO + CH_4 + mC_mH_n + CO_2 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol gazu suchegopaliwa}} \quad (1)$$

Ilość wodoru H<sub>2</sub>:

$$n'_{H_2} = H_2 + 2CH_4 + \frac{1}{2} nC_mH_n \frac{\text{kmol}}{\text{kmol gazu suchegopaliwa}} \quad (2)$$

Ilość tlenu O<sub>2</sub>:

$$n'_{O_2} = \frac{1}{2} CO + CO_2 + O_2 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol gazu suchegopaliwa}} \quad (3)$$

Ilość azotu N<sub>2</sub>:

$$n'_{N_2} = N_2 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol gazu suchegopaliwa}} \quad (4)$$

Ilość wilgoci w gazie:

$$n'_{H_2O} = X_{zg} \quad (5)$$

gdzie  $X_{zg}$  to molowy stopień zawilżenia gazu

$$X_{zg} = \frac{p_p}{p - p_p} \quad (6)$$

gdzie  $p_p$  to ciśnienie składnikowe pary,  $p$  ciśnienie gazu.

- 2) Skład paliw stałych

Ilość węgla C:

$$n'_C = \frac{c}{12} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (7)$$

Ilość siarki S:

$$n'_S = \frac{s}{32} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (8)$$

Ilość wodoru H<sub>2</sub>:

$$n'_{H_2} = \frac{h}{2} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (9)$$

Ilość tlenu O<sub>2</sub>:

$$n'_{O_2} = \frac{o}{32} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (10)$$

Ilość azotu N<sub>2</sub>:

$$n'_{N_2} = \frac{n}{28} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (11)$$

Ilość wilgoci w paliwie:

$$n'_{H_2O} = \frac{w}{18} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (12)$$

- 3) Ilość utleniacza przy spalaniu zupełnym i całkowitym  
Teoretyczna ilość tlenu:

$$n_{O_2, \min} = n'_c + n'_s + \frac{1}{2} n'_{H_2} - n'_{O_2} \text{ kmol/j.p.} \quad (13)$$

Teoretyczna ilość utleniacza:

$$n_{amin} = \frac{n_{O_2, \min}}{z_{O_2}} \text{ kmol/j.p.} \quad (14)$$

gdzie  $z_{O_2}$  to udział molowy tlenu (dla powietrza  $z_{O_2} = 0,21$ ).

Stosunek nadmiaru powietrza:

$$\lambda = \frac{n'_a}{n_{amin}} \quad (15)$$

gdzie  $n'_a$  to rzeczywista ilość powietrza użyta przy spalaniu.

- 4) Skład spalin przy spalaniu zupełnym i całkowitym  
Ilość dwutlenku węgla  $CO_2$ :

$$n''_{CO_2} = n'_c \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (16)$$

Ilość dwutlenku siarki  $SO_2$ :

$$n''_{SO_2} = n'_s \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (17)$$

Ilość azotu  $N_2$ :

$$n''_{N_2} = n'_{N_2} + z_{N_2} n'_a \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (18)$$

gdzie  $z_{N_2}$  to udział molowy azotu w utleniaczu (dla powietrza atmosferycznego  $z_{N_2} = 0,79$ ).

Ilość tlenu  $O_2$ :

$$n''_{O_2} = z_{O_2} n'_a - n_{O_2, \min} = z_{O_2} (\lambda - 1) n_{amin} \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (19)$$

Ilość wilgoci:

$$n''_{H_2O} = n'_{H_2} + n'_{H_2O} + X_{za} n'_a \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (20)$$

gdzie  $X_{za}$  to molowy stopień zawilżenia powietrza użytego do spalania.

Jednostkowa ilość spalin suchych  $n''_{ss}$

$$n''_{ss} = n''_{CO_2} + n''_{SO_2} + n''_{N_2} + n''_{O_2} \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (21)$$

Jednostkowa ilość spalin mokrych  $n''_s$

$$n''_s = n''_{CO_2} + n''_{SO_2} + n''_{N_2} + n''_{O_2} + n''_{H_2O} \frac{\text{kmol}}{\text{j.p.}} \quad (22)$$

5) Udziały molowe składników spalin suchych

$$[CO_2] = \frac{n_{CO_2}''}{n_{ss}''}, [SO_2] = \frac{n_{SO_2}''}{n_{ss}''}, [N_2] = \frac{n_{N_2}''}{n_{ss}''}, [O_2] = \frac{n_{O_2}''}{n_{ss}''}, \quad (23)$$

6) Molowy stopień zawilżenia spalin

$$[H_2O] = X_z'' = \frac{n_{H_2O}''}{n_{ss}''} = \frac{P_n}{p - p_n} \quad (24)$$

7) Teoretyczny udział molowy dwutlenku węgla  $[CO_2]$

$$k_{max} = \left( \frac{n_{CO_2}''}{n_{ss}''} \right)_{\lambda=1} \quad (25)$$

8) Strumień objętości powietrza do spalania

$$\dot{V}_{pow} = \dot{m}_{pal} n_a'' V_n \quad (26)$$

gdzie  $V_n = 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$ .

9) Strumień objętości spalin

$$\dot{V}_{sp} = \dot{m}_{pal} n_s'' V_n \quad (27)$$

**1.** W palenisku kotła spalanie jest zupełne i całkowite. Strumień masy paliwa wynosi  $m_{pal} = 2500 \text{ kg/h}$ . Skład paliwa:  $c = 0,74$ ,  $h = 0,05$ ,  $s = 0,01$ ,  $n = 0,02$ ,  $o = 0,06$ ,  $w = 0,07$ ,  $p = 0,05$ . Współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda = 1,37$ . Obliczyć strumień powietrza doprowadzonego do kotła oraz strumień odprowadzonych spalin. **Odp:  $V_{pow} = 26524,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $V_{sp} = 27584,6 \text{ m}^3/\text{h}$**

**2.** Wyznaczyć wydajność  $m_{pow}$  [kg/s] sprężarki powietrza działającej w zespole turbiny gazowej, w której spala się  $m_p = 2500 \text{ kg/h}$  paliwa o składzie masowym:  $c = 0,86$ ,  $h = 0,122$ ,  $o = 0,014$ ,  $s = 0,004$ , przy stosunku nadmiaru powietrza  $\lambda = 7,3$ . **Odp:  $m_{pow} = 71,21 \text{ kg/s}$**

**3.** Dla koksu o składzie elementarnym:  $c = 0,76$ ,  $h = 0,008$ ,  $s = 0,0085$ ,  $n = 0,0075$ ,  $o = 0,016$ ,  $p = 0,14$ ,  $w = 0,06$ , wyznaczyć: a) jednostkowe zużycie powietrza  $n_a''$  oraz jednostkową ilość spalin suchych  $n_{ss}''$  po spalaniu zupełnym i całkowitym przy stosunku nadmiaru  $\lambda = 1,3$ , b) skład spalin suchych, c) temperaturę  $t''_R$  punktu rosy spalin, jeżeli powietrze użyte do spalania ma następujące parametry:  $\phi_a = 0,65$ ,  $t_a = 15^\circ\text{C}$ ,  $p_a = p'' = 105 \text{ kPa}$ . **Odp: a)  $n_a'' = 0,403 \text{ kmol pow./kg koksu}$ ,  $n_{ss}'' = 0,4017 \text{ kmol spalin such./kg koksu}$ ; b)  $[CO_2] = 0,1583$ ,  $[SO_2] = 0,000661$ ,  $[O_2] = 0,0486$ ,  $[N_2] = 0,7931$ , c)  $t''_R = 23,8^\circ\text{C}$**

**4.** Silnik samochodowy spala  $m_p = 10 \text{ kg/h}$  benzyny o składzie masowym  $c = 0,84$ ,  $h = 0,16$  używając równocześnie jako utleniacza  $n_a'' = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kmol/s}$  powietrza atmosferycznego. Zakładając dla uproszczenia, że powietrze użyte do spalania nie zawiera wilgoci, a spalanie przebiega całkowicie i zupełnie, obliczyć skład spalin wilgotnych. **Odp:  $(CO_2) = 9,2 \%$ ,  $(N_2) = 74,9 \%$ ,  $(H_2O) = 10,5 \%$ ,  $(O_2) = 5,4 \%$**

**5.** Spalono całkowicie i zupełnie  $n_g = 200 \text{ kmol}$  gazu palnego o składzie:  $CO = 0,5$ ,  $N_2 = 0,2$ ,  $H_2 = 0,2$ ,  $O_2 = 0,1$  używając do tego celu jako utleniacza  $m_a = 9 \text{ t}$  powietrza atmosferycznego. Obliczyć skład spalin suchych. **Odp:  $[CO_2] = 24,9 \%$ ,  $[N_2] = 71,3 \%$ ,  $[O_2] = 3,8 \%$**

6. Etylen  $C_2H_4$  spalono całkowicie i zupełnie w powietrzu wzbogaconym w tlen, którego udział molowy wynosi  $z_{O_2} = 40\%$  a resztę stanowi azot powietrzny. Stosunek nadmiaru utleniacza wynosi  $\lambda = 1,2$ . Obliczyć skład spalin suchych. **Odp:  $[CO_2] = 25 \%$ ,  $[N_2] = 67,5 \%$ ,  $[O_2] = 7,5 \%$**

7. Paliwo gazowe o składzie  $H_2 = 0,1$ ,  $C_2H_2 = 0,6$ ,  $CO = 0,1$ ,  $CO_2 = 0,05$ ,  $N_2 = 0,05$ ,  $O_2 = 0,1$  spalono całkowicie i zupełnie przy użyciu powietrza suchego, którego stosunek nadmiaru wynosi  $\lambda = 1,1$ . Obliczyć: a) skład spalin wilgotnych, b) molowy stopień zawilżenia spalin  $X_z$  c) maksymalny udział dwutlenku węgla  $CO_2$  w spalinach suchych  $k_p$ . **Odp: a)  $(CO_2) = 0,159$ ,  $(H_2O) = 0,083$ ,  $(O_2) = 0,018$ ,  $(N_2) = 0,74$ , b)  $X_z = 0,09$ , c)  $k_p = 0,192 = 19,2 \%$**