

13.4. W palenisku kotła wodnego spala się przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,7$ $B = 90$ kg/h węgla kamiennego o następującym składzie kilogramowym: $c = 0,67$, $h = 0,04$, $o = 0,08$, $w = 0,10$, reszta popiołu. Zakładając, że spalanie jest całkowite i zupełne obliczyć:

- a) zapotrzebowanie powietrza atmosferycznego \dot{V}_{pow} m³/h o ciśnieniu $p_{pow} = 0,11$ MPa i temperaturze $T_{pow} = 293$ K,
- b) strumień spalin wilgotnych \dot{V}_{sw} m³/h, jeżeli ich ciśnienie $p_{sw} = 0,1$ MPa, a temperatura $T_{sw} = 500$ K.

ROZWIĄZANIE

Obliczymy ilość poszczególnych składników, oprócz popiołu, zawartych w 1 kg paliwa wilgotnego :

- węgiel C

$$n'_C = \frac{c}{12} = \frac{0,67}{12} = 0,05583 \frac{\text{kmol C}}{\text{kg pw}}$$

- wodór H₂

$$n'_{H_2} = \frac{h}{2} = \frac{0,04}{2} = 0,02 \frac{\text{kmol H}_2}{\text{kg pw}}$$

- tlen O₂

$$n'_{O_2} = \frac{o}{32} = \frac{0,08}{32} = 0,0025 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kg pw}}$$

- wilgoć H₂O

$$n'_{H_2O} = \frac{w}{18} = \frac{0,10}{18} = 0,00555 \frac{\text{kmol H}_2\text{O}}{\text{kg pw}}$$

Minimalne zapotrzebowanie tlenu do spalania 1kg paliwa wilgotnego

$$n_{Smin} = n'_C + \frac{1}{2} n'_{H_2} - n'_{O_2} = 0,05583 + \frac{1}{2} \cdot 0,02 - 0,0025 = 0,06333 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kg pw}}$$

Zapotrzebowanie powietrza do spalania 1 kg paliwa wilgotnego

$$n'_L = \frac{\lambda n_{Smin}}{0,21} = \frac{1,7 \cdot 0,06333}{0,21} = 0,5127 \frac{\text{kmol pow.}}{\text{kg pw}}$$

Strumień powietrza w kmol/h potrzebny do spalenia B kg/h paliwa

$$\dot{n}_{pow} = B n'_L = 90 \cdot 0,5127 = 46,14 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Strumień objętości powietrza

$$\dot{V}_{pow} = \frac{\dot{n}_{pow} (MR) T_{pow}}{p_{pow}} = \frac{46,14 \cdot 8314 \cdot 293}{0,11 \cdot 10^6} = 1022 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Spaliny składają się z dwutlenku węgla CO_2 , wody H_2O , azotu N_2 i tlenu O_2 . Ilości poszczególnych składników spalin powstałych ze spalania 1 kg paliwa

$$n''_{\text{CO}_2} = n'_C = 0,05583 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kg pw}}$$

$$n''_{\text{H}_2\text{O}} = n'_{\text{H}_2} + n'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,02 + 0,00555 = 0,02555 \frac{\text{kmol H}_2\text{O}}{\text{kg pw}}$$

$$n''_{\text{N}_2} = 0,79 n'_L = 0,79 \cdot 0,5127 = 0,4050 \frac{\text{kmol N}_2}{\text{kg pw}}$$

$$n''_{\text{O}_2} = 0,21 n'_L - n_{\text{smi}} = 0,21 \cdot 0,5127 - 0,06333 = 0,04434 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kg pw}}$$

Całkowita ilość spalin powstałych ze spalania 1 kg paliwa wilgotnego

$$n''_{sw} = n''_{\text{CO}_2} + n''_{\text{H}_2\text{O}} + n''_{\text{N}_2} + n''_{\text{O}_2} = 0,05583 + 0,02555 + 0,4050 + 0,04434 = 0,5308 \frac{\text{kmol sw}}{\text{kg pw}}$$

Strumień spalin powstałych ze spalania B kg/h paliwa

$$\dot{n}_{sw} = B n''_{sw} = 90 \cdot 0,5308 = 47,72 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Strumień objętości spalin

$$\dot{V}_{sw} = \frac{\dot{n}_{sw} (MR) T_{sw}}{p_{sw}} = \frac{47,72 \cdot 8314 \cdot 500}{0,1 \cdot 10^6} = 1984 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

13.7. $V_1 = 3 \text{ m}^3$ metanu CH_4 o ciśnieniu $p_1 = 1,4 \text{ bar}$ i temperaturze $t_1 = 32^\circ\text{C}$ zmieszano z $m_2 = 12,4 \text{ kg}$ tlenku węgla CO i spalono zupełnie w $n_{pow} = 3,5 \text{ kmol}$ powietrza. Z jakim współczynnikiem nadmiaru powietrza λ odbyło się spalanie? Jaki był udział molowy pary wodnej w spalinach wilgotnych (H_2O)?

ROZWIĄZANIE

Temperatura bezwzględna metanu

$$T_1 = t_1 + 273 = 32 + 273 = 305 \text{ K}$$

Liczba kilomoli metanu

$$n_1 = \frac{p_1 V_1}{(MR)T} = \frac{1,4 \cdot 10^5 \cdot 3}{8314 \cdot 305} = 0,166 \text{ kmol}$$

Liczba kilomoli tlenku węgla

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{12,4}{28} = 0,443 \text{ kmol}$$

Stałą M_2 w kg/kmol, równą liczbowo masie cząsteczkowej, odczytano z tablicy 1. Liczba kilomoli paliwa gazowego

$$n = n_1 + n_2 = 0,166 + 0,443 = 0,609 \text{ kmol}$$

Udział molowy CH_4 w paliwie gazowym

$$CH_4 = \frac{n_1}{n} = \frac{0,166}{0,609} = 0,273$$

Udział molowy CO w paliwie gazowym

$$CO = \frac{n_2}{n} = \frac{0,443}{0,609} = 0,727$$

Suma udziałów powinna być równa jedności, sprawdzamy

$$CH_4 + CO = 0,273 + 0,727 = 1$$

Zawartość węgla C w 1 kilomolu paliwa gazowego

$$n'_C = CH_4 + CO = 0,273 + 0,727 = 1 \frac{\text{kmol C}}{\text{kmol gs}}$$

Zawartość wodoru H_2 w 1 kilomolu paliwa gazowego

$$n'_{H_2} = 2CH_4 = 2 \cdot 0,273 = 0,546 \frac{\text{kmol H}_2}{\text{kmol gs}}$$

Zawartość tlenu O_2 w 1 kilomolu paliwa gazowego

$$n'_{O_2} = 0,5CO = 0,5 \cdot 0,727 = 0,364 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol gs}}$$

Minimalne zapotrzebowanie tlenu do spalania 1 kilomola gazu

$$n_{S_{\min}} = n'_C + 0,5n'_{H_2} - n'_{O_2} = 1 + 0,5 \cdot 0,546 - 0,364 = 0,908 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol gs}}$$

Ilość doprowadzonego powietrza odniesiona do 1 kilomola paliwa gazowego

$$n'_L = \frac{n_{pow}}{n} = \frac{3,5}{0,609} = 5,75 \frac{\text{kmol pow}}{\text{kmol gs}}$$

Współczynnik nadmiaru powietrza

$$\lambda = \frac{0,21n'_L}{n_{S_{\min}}} = \frac{0,21 \cdot 5,75}{0,908} = 1,33$$

Spaliny po zupełnym spaleniu paliwa gazowego składają się z dwutlenku węgla CO₂, pary wodnej H₂O, azotu N₂ doprowadzonego z powietrzem oraz reszty tlenu O₂ doprowadzonego w nadmiarze z powietrzem. Ilość CO₂ powstała ze spalania 1 kilomola paliwa

$$n''_{CO_2} = n'_C = 1 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kmol gs}}$$

Ilość H₂O powstała ze spalania 1 kilomola paliwa

$$n''_{H_2O} = n'_{H_2} = 0,546 \frac{\text{kmol H}_2\text{O}}{\text{kmol gs}}$$

Ilość N₂ w spalinach przypadająca na 1 kilomol paliwa

$$n''_{N_2} = 0,79n'_L = 0,79 \cdot 5,75 = 4,54 \frac{\text{kmol N}_2}{\text{kmol gs}}$$

Ilość O₂ w spalinach przypadająca na 1 kilomol paliwa

$$n''_{O_2} = 0,21n'_L - n_{S_{\min}} = 0,21 \cdot 5,75 - 0,908 = 0,300 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol gs}}$$

Całkowita ilość spalin wilgotnych powstałych ze spalania 1 kmol paliwa

$$n''_{sw} = n''_{CO_2} + n''_{H_2O} + n''_{N_2} + n''_{O_2} = 1 + 0,546 + 4,54 + 0,300 = 6,386 \frac{\text{kmol sw}}{\text{kmol gs}}$$

Udział molowy H_2O w spalinach wilgotnych

$$(H_2O) = \frac{n''_{H_2O}}{n''_{sw}} = \frac{0,546}{6,386} = 0,0855$$