

**23.03.2007.**

## REŠENJA ZA KOLOKVIJUM 1 – GORIVA I SAGOREVANJE

### Zadatak 1.

Na osnovu elementarne analize radne mase jedne vrste uglja:  $C=46,4\%$ ;  $H=5,2\%$ ;  $O=5,8\%$ ;  $N=2,5\%$ ;  $S=6,6\%$ ;  $A=9,4\%$ ;  $W_H=11,1\%$  i  $W_G=13\%$ , odrediti gornju i donju toplotnu moć radne mase.

### Rešenje:

Gornja toplotna moć radne mase:

$$H_{g(r)} = 340 \cdot C_{(r)} + 1420 \cdot \left( H_{(r)} - \frac{O_{(r)}}{8} \right) + 93 \cdot S_{(r)},$$

$$H_{g(r)} = 340 \cdot 46,4 + 1420 \cdot \left( 5,2 - \frac{5,8}{8} \right) + 93 \cdot 6,6,$$

$$H_{g(r)} = 22744,3 \frac{kJ}{kg} = 22,74 \frac{MJ}{kg}.$$

Donja toplotna moć radne mase:

$$H_{d(r)} = 340 \cdot C_{(r)} + 1190 \cdot \left( H_{(r)} - \frac{O_{(r)}}{8} \right) + 93 \cdot S_{(r)} - 25 \cdot (W_{H(r)} + W_G),$$

$$H_{d(r)} = 340 \cdot 46,4 + 1190 \cdot \left( 5,2 - \frac{5,8}{8} \right) + 93 \cdot 6,6 - 25 \cdot (11,1 + 13),$$

$$H_{d(r)} = 21112,6 \frac{kJ}{kg} = 21,11 \frac{MJ}{kg}.$$

### Zadatak 2.

Data je elementarna analiza analitičke mase jednog uzorka uglja:  $C=51,8\%$ ;  $H=12\%$ ;  $O=5\%$ ;  $N=0,5\%$ ;  $S=3,8\%$ ;  $A=15\%$  i  $W_H=11,9\%$ . Potrebno je izračunati elementarni sastav gorive mase ovog goriva.

### Rešenje:

Odnos masenih udela svakog od elemenata u gorivoj i analitičkoj masi:

$$\Phi_{(a),(g)} = \frac{100}{100 - (A_{(a)} + W_{H(a)})},$$

$$\Phi_{(a),(g)} = \frac{100}{100 - (15 + 11,9)},$$

$$\Phi_{(a),(g)} = 1,37.$$

Elementarni sastav gorive mase:

$$C_{(g)} = \Phi_{(a),(g)} \cdot C_{(a)}, \quad C_{(g)} = 1,37 \cdot 51,8, \quad C_{(g)} = 70,86\%,$$

$$H_{(g)} = \Phi_{(a),(g)} \cdot H_{(a)}, \quad H_{(g)} = 1,37 \cdot 12, \quad H_{(g)} = 16,42\%,$$

$$\begin{aligned}
 O_{(g)} &= \Phi_{(a),(g)} \cdot O_{(a)}, & O_{(g)} &= 1,37 \cdot 5, & O_{(g)} &= 6,84\% , \\
 N_{(g)} &= \Phi_{(a),(g)} \cdot N_{(a)}, & N_{(g)} &= 1,37 \cdot 0,5, & N_{(g)} &= 0,68\% \text{ i} \\
 S_{(g)} &= \Phi_{(a),(g)} \cdot S_{(a)}, & S_{(g)} &= 1,37 \cdot 3,8, & S_{(g)} &= 5,20\% .
 \end{aligned}$$

**Zadatak 3.**

Za poznato čvrsto gorivo sa karakteristikama:  $H_{g(a)}=23,31\text{MJ/kg}$ ;  $W_{H(a)}=4\%$  i  $H_{(a)}=3\%$ , potrebno je odrediti donju toplotnu moć analitičke i radne mase ovog goriva, ako je sadržaj grube vlage 15%.

**Rešenje:**

Donja toplotna moć analitičke mase:

$$\begin{aligned}
 H_{d(a)} &= H_{g(a)} - 25 \cdot (9 \cdot H_{(a)} + W_{H(a)}), \\
 H_{d(a)} &= 23310 - 25 \cdot (9 \cdot 3 + 4),
 \end{aligned}$$

$$H_{d(a)} = 22535 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 22,54 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} .$$

Donja toplotna moć radne mase:

$$H_{d(r)} = \Phi_{(a),(r)} \cdot H_{d(a)} - 25 \cdot W_G = \frac{100 - W_G}{100} \cdot H_{d(a)} - 25 \cdot W_G ,$$

$$H_{d(r)} = \frac{100 - 15}{100} \cdot 22535 - 25 \cdot 15 ,$$

$$H_{d(r)} = 18779,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 18,78 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} .$$

**Zadatak 4.**

Za poznato čvrsto gorivo sa karakteristikama:  $H_{g(a)}=23,31\text{MJ/kg}$ ;  $H_{g(r)}=32,87\text{MJ/kg}$ ;  $H_{g(r)}=18,65\text{MJ/kg}$ ;  $W_{H(r)}=4\%$  i  $H_{(r)}=3\%$ , potrebno je odrediti donju toplotnu moć radne mase, na vazduhu suve mase i gorive mase ovog goriva.

**Rešenje:**

Maseni udeo grube vlage u radnoj masi:

$$H_{g(a)} = \Phi_{(r),(a)} \cdot H_{g(r)} = \frac{100}{100 - W_G} \cdot H_{g(r)} ,$$

$$W_G = 100 - \frac{H_{g(r)}}{H_{g(a)}} \cdot 100 ,$$

$$W_G = 100 - \frac{18,65}{23,31} \cdot 100 ,$$

$$W_G = 20\% .$$

Donja toplotna moć radne mase:

$$H_{d(r)} = H_{g(r)} - 25 \cdot (9 \cdot H_{(r)} + W_{H(r)} + W_G) ,$$

$$H_{d(r)} = 18650 - 25 \cdot (9 \cdot 3 + 4 + 20) ,$$

$$H_{d(r)} = 17375 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 17,38 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Odnos masenih udela svakog od elemenata u analitičkoj i radnoj masi i maseni udeli vodonika i higroskopne vlage u analitičkoj masi:

$$\Phi_{(r),(a)} = \frac{100}{100 - W_G},$$

$$\Phi_{(r),(a)} = \frac{100}{100 - 20},$$

$$\Phi_{(r),(a)} = 1,25,$$

$$H_{(a)} = \Phi_{(r),(a)} \cdot H_{(r)}, \quad H_{(a)} = 1,25 \cdot 3, \quad H_{(a)} = 3,75\% \text{ i}$$

$$W_{H(a)} = \Phi_{(r),(a)} \cdot W_{H(r)}, \quad W_{H(a)} = 1,25 \cdot 4, \quad W_{H(a)} = 5\%.$$

Donja toplotna moć analitičke mase (1. način):

$$H_{d(a)} = H_{g(a)} - 25 \cdot (9 \cdot H_{(a)} + W_{H(a)}),$$

$$H_{d(a)} = 23310 - 25 \cdot (9 \cdot 3,75 + 5),$$

$$H_{d(a)} = 22341,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 22,34 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Donja toplotna moć analitičke mase (2. način):

$$H_{d(a)} = \Phi_{(r),(a)} \cdot (H_{d(r)} + 25 \cdot W_G) = \frac{100}{100 - W_G} \cdot (H_{d(r)} + 25 \cdot W_G),$$

$$H_{d(a)} = 1,25 \cdot (17375 + 25 \cdot 20),$$

$$H_{d(a)} = 22343,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 22,34 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Odnos masenih udela svakog od elemenata u gorivoj i analitičkoj masi:

$$H_{g(a)} = \Phi_{(a),(g)} \cdot H_{g(a)} = \frac{100}{100 - (A_{(a)} + W_{H(a)})} \cdot H_{g(a)},$$

$$\Phi_{(a),(g)} = \frac{H_{g(g)}}{H_{g(a)}},$$

$$\Phi_{(a),(g)} = \frac{32,87}{23,31},$$

$$\Phi_{(a),(g)} = 1,41.$$

Donja toplotna moć gorive mase:

$$H_{d(g)} = \Phi_{(a),(g)} \cdot (H_{d(a)} + 25 \cdot W_{H(a)}) = \frac{100}{100 - (A_{(a)} + W_{H(a)})} \cdot (H_{d(a)} + 25 \cdot W_{H(a)}),$$

$$H_{d(g)} = 1,41 \cdot (22341,3 + 25 \cdot 5),$$

$$H_{d(g)} = 31680,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 31,68 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

**Zadatak 5.**

Gasovito gorivo sledećeg zapreminskog sastava sagoreva u vazduhu:  $CO=20\%$ ;  $H_2=27\%$ ;  $CH_4=9\%$ ;  $C_3H_8=10\%$ ;  $CO_2=8\%$ ;  $N_2=10\%$ ;  $H_2O=5\%$ ;  $O_2=7\%$  i  $SO_2=4\%$ . Sagorevanje se odvija u prisustvu viška vazduha od 30% u odnosu na teorijsku količinu.

- (a) Odrediti minimalnu i stvarnu količinu vazduha potrebnu za sagorevanje navedenog gasovitog goriva.
- (b) Odrediti procentualni zapreminski sastav vlažnih produkata sagorevanja.

**Rešenje:**

(a)

Zapreminski sastav produkata sagorevanja:

$$r_{CO} = 0,2; r_{H_2} = 0,27; r_{CH_4} = 0,09; r_{C_3H_8} = 0,1; r_{CO_2} = 0,08; r_{N_2} = 0,1; r_{H_2O} = 0,05;$$

$$r_{O_2} = 0,07 \text{ i } r_{SO_2} = 0,04.$$

Minimalna količina kiseonika potrebna za potpuno sagorevanje:

$$O_{\min} [m^3 / m^3] = 0,5(r_{CO} + r_{H_2}) + \Sigma(m + 0,25n)r_{C_mH_n} - r_{O_2},$$

$$O_{\min} = 0,5 \cdot (0,2 + 0,27) + (1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 0,09 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 0,1 - 0,07,$$

$$O_{\min} = 0,845 \frac{m^3}{m^3}.$$

Minimalna količina vazduha potrebna za potpuno sagorevanje:

$$L_{\min} [m^3 / m^3] = \frac{O_{\min} [m^3 / m^3]}{0,21},$$

$$L_{\min} = \frac{0,845}{0,21},$$

$$L_{\min} = 4,02 \frac{m^3}{m^3}.$$

Stvarna dovedena količina vazduha za sagorevanje:

$$L_S = \lambda L_{\min},$$

$$L_S = 1,3 \cdot 4,02,$$

$$L_S = 5,23 \frac{m^3}{m^3}.$$

(b)

Zapremina ugljen-dioksida u produktima sagorevanja:

$$V_{CO_2} [m^3 / m^3] = r_{CO_2} + r_{CO} + \Sigma r_{C_mH_n} m,$$

$$V_{CO_2} = 0,08 + 0,2 + 0,09 \cdot 1 + 0,1 \cdot 3,$$

$$V_{CO_2} = 0,67 \frac{m^3}{m^3}.$$

Zapremina vodene pare u produktima sagorevanja:

$$V_{H_2O} [m^3 / m^3] = r_{H_2O} + r_{H_2} + 0,5 \Sigma r_{C_mH_n} n,$$

$$V_{H_2O} = 0,05 + 0,27 + 0,5 \cdot (0,09 \cdot 4 + 0,1 \cdot 8),$$

$$V_{H_2O} = 0,9 \frac{m^3}{m^3}.$$

Zapremina kiseonika u produktima sagorevanja:

$$V_{O_2} [m^3 / m^3] = O_S - O_{\min} = (\lambda - 1) O_{\min},$$

$$V_{O_2} = (1,3 - 1) \cdot 0,845,$$

$$V_{O_2} = 0,25 \frac{m^3}{m^3}.$$

Zapremina azota u produktima sagorevanja:

$$V_{N_2} [m^3 / m^3] = r_{N_2} + 3,76 O_S = r_{N_2} + 3,76 \lambda O_{\min},$$

$$V_{N_2} = 0,1 + 3,76 \cdot 1,3 \cdot 0,845,$$

$$V_{N_2} = 4,13 \frac{m^3}{m^3}.$$

Zapremina sumpor-dioksida u produktima sagorevanja:

$$V_{SO_2} [m^3 / m^3] = r_{SO_2},$$

$$V_{SO_2} = 0,04 \frac{m^3}{m^3}.$$

Ukupna zapremina vlažnih produkata sagorevanja:

$$V = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{SO_2},$$

$$V = 0,67 + 0,9 + 0,25 + 4,13 + 0,04,$$

$$V = 6 \frac{m^3}{m^3}.$$

Zapreminski sastav vlažnih produkata sagorevanja:

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V} \cdot 100, \quad CO_2 = \frac{0,67}{6} \cdot 100, \quad \boxed{CO_2 = 11,17\%vol},$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V} \cdot 100, \quad H_2O = \frac{0,9}{6} \cdot 100, \quad \boxed{H_2O = 15\%vol},$$

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V} \cdot 100, \quad O_2 = \frac{0,25}{6} \cdot 100, \quad \boxed{O_2 = 4,17\%vol},$$

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V} \cdot 100, \quad N_2 = \frac{4,13}{6} \cdot 100, \quad \boxed{N_2 = 68,83\%vol} \text{ i}$$

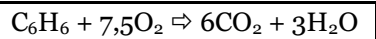
$$SO_2 = \frac{V_{SO_2}}{V} \cdot 100, \quad SO_2 = \frac{0,04}{6} \cdot 100, \quad \boxed{SO_2 = 0,67\%vol}.$$

### Zadatak 6.

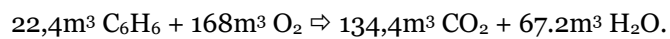
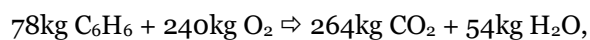
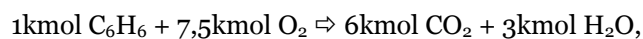
Napisati stehiometrijsku jednačinu potpunog sagorevanja jednog tečnog goriva, benzola ( $C_6H_6$ ), i na osnovu nje odrediti količinu kiseonika potrebnu za sagorevanje navedenog goriva (u kg/kg, kg/m<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>/kg i m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>).

### Rešenje:

Stehiometrijska jednačina potpunog sagorevanja benzola:



Količine materije, mase i zapremine svih jedinjenja koja učestvuju u reakciji (sve količine su date za 1kmol goriva):



Minimalna količina kiseonika potrebna za potpuno sagorevanje benzola:

$$\boxed{O_{\min} = 7,5 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} = 7,5 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}},$$

$$O_{\min} = \frac{240 \text{ kg}}{78 \text{ kg}} = \frac{168 \text{ m}^3}{78 \text{ kg}},$$

$$\boxed{O_{\min} = 3,08 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 2,15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}.$$