



## Основе сагоревања



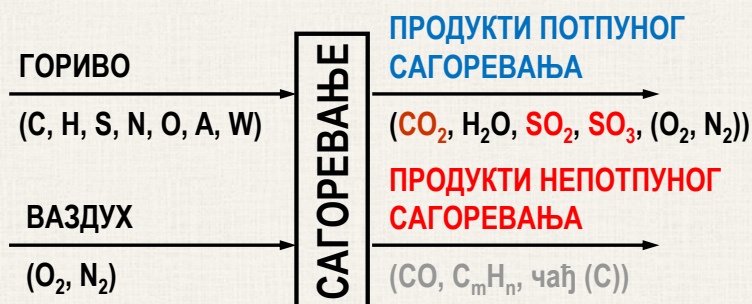
### Сагоревање

- Сагоревање - **сложен физичко-хемијски процес оксидације горива праћен интензивним ослобађањем топлоте.**
- Током процеса сагоревања добијају се продукти који се могу одредити помоћу једноставних хемијских једначина – **стехиометријске једначине.**





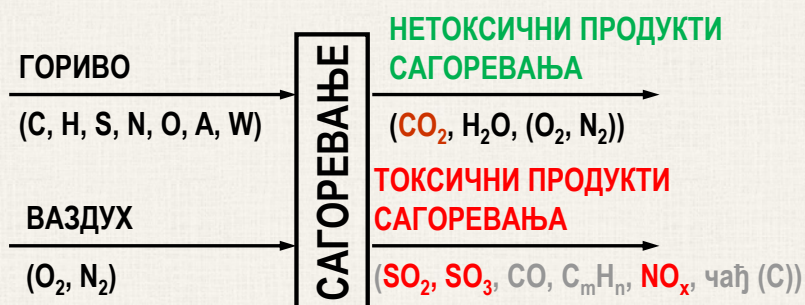
## Продукти сагоревања – класификација по критеријуму потпуности сагоревања



3



## Продукти сагоревања – класификација по критеријуму ТОКСИЧНОСТИ



4



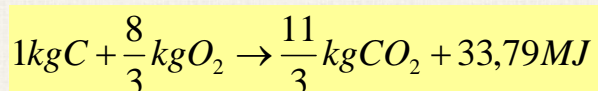
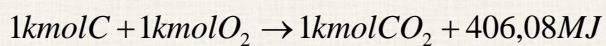
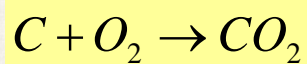
## Стехиометријске једначине дефинишу

- међусобне односе у којима се једине угљеник, водоник и сумпор са кисеоником
- количину ваздуха која је потребна за потпуно сагоревање
- количину продуката сагоревања која настаје у процесу
- количину топлоте која се током процеса ослобађа.

5



## Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника

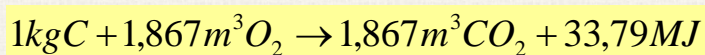
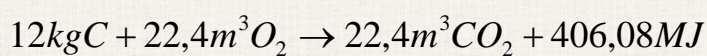
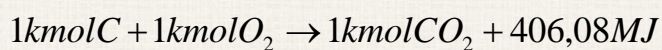
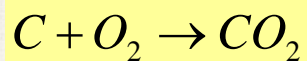


6





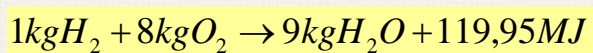
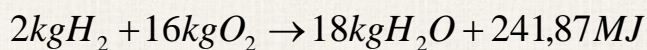
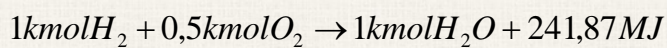
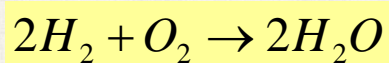
## Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника



7



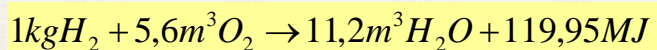
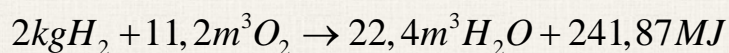
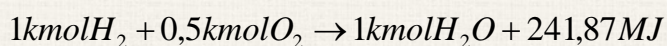
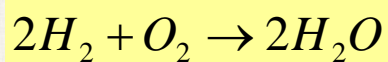
## Стехиометријска једначина сагоревања водоника



8



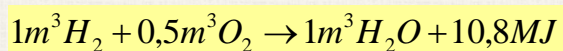
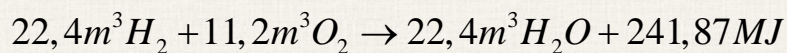
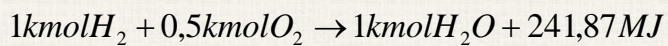
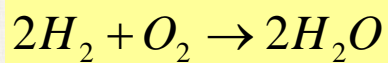
## Стехиометријска једначина сагоревања водоника



9



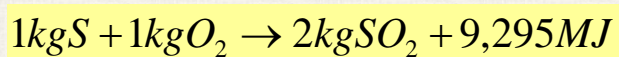
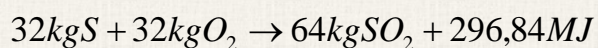
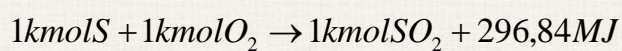
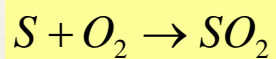
## Стехиометријска једначина сагоревања водоника



10



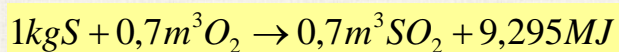
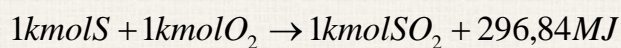
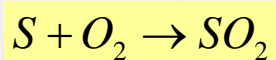
## Стехиометријска једначина сагоревања сумпора



11



## Стехиометријска једначина сагоревања сумпора

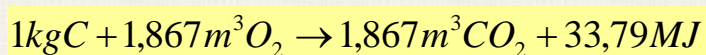
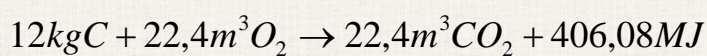
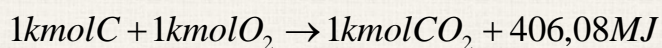
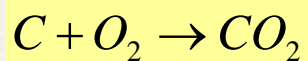


12





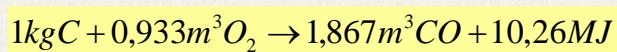
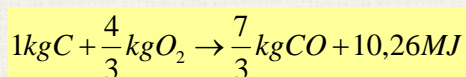
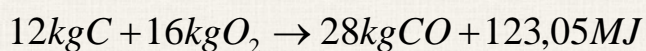
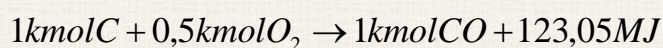
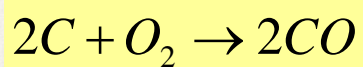
## Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника



13



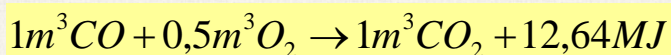
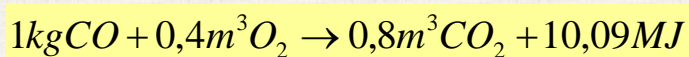
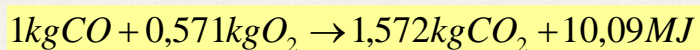
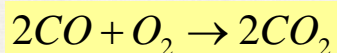
## Стехиометријска једначина сагоревања угљеника у угљен моноксид



14



## Стехиометријска једначина сагоревања угљен моноксид у угљен диоксид

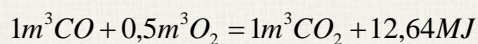
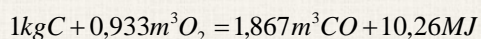
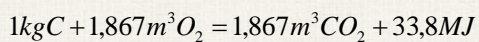


15



## Хесов закон

- Количина топлоте која се добије или утроши током одређене термохемијске реакције не зависи од пута одвијања реакције, већ само од почетног и крајњег стања.



$$10,26 + 1,867 \cdot 12,64 = 33,8\text{MJ}$$

16





## Теоријска количина кисеоника за потпуно сагоревање

$$O_{\min} (kg / kg) = \frac{8}{3} g_C + 8 g_H + g_S - g_O$$

$$O_{\min} (m^3 / kg) = 1,867 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H + 0,7 \cdot g_S - 0,7 \cdot g_O$$

17



## Одређивање теоријске количине ваздуха

$$L_{\min} (kg / kg) = \frac{O_{\min} (kg / kg)}{0,23}$$

$$L_{\min} (m^3 / kg) = \frac{O_{\min} (m^3 / kg)}{0,21}$$

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

18



## Стварна количина ваздуха и коефицијент вишка ваздуха

- Стварна количина ваздуха

$$L = \lambda \cdot L_{\min}$$

- Коефицијент вишка ваздуха

- $\lambda > 1$  сиромашна смеша
- $\lambda < 1$  богата смеша

19



## Количина продуката сагоревања

$$V_{CO_2} (m^3 / kg) = 1,867 \cdot g_C$$

$$V_{SO_2} (m^3 / kg) = 0,7 \cdot g_S$$

$$V_{H_2O} (m^3 / kg) = 11,2 \cdot g_H + 1,24 (g_W + g_{W_1})$$

$$V_{O_2} (m^3 / kg) = 0,21 (\lambda - 1) L_{\min}$$

$$V_{N_2} (m^3 / kg) = 0,8 \cdot g_N + 0,79 L$$

$$V_v (m^3 / kg) = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

$$V_s (m^3 / kg) = V_v - V_{H_2O} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

20



## Састав продуката сагоревања

$$CO_{2v} (\% v/v) = \frac{V_{CO_2}}{V_v} 100$$

$$CO_{2s} (\% v/v) = \frac{V_{CO_2}}{V_s} 100$$

$$SO_{2v} (\% v/v) = \frac{V_{SO_2}}{V_v} 100$$

$$SO_{2s} (\% v/v) = \frac{V_{SO_2}}{V_s} 100$$

$$H_2O_v (\% v/v) = \frac{V_{H_2O}}{V_v} 100$$

$$O_{2v} (\% v/v) = \frac{V_{O_2}}{V_v} 100$$

$$O_{2s} (\% v/v) = \frac{V_{O_2}}{V_s} 100$$

$$N_{2v} (\% v/v) = \frac{V_{N_2}}{V_v} 100$$

$$N_{2s} (\% v/v) = \frac{V_{N_2}}{V_s} 100$$

21



## Температура сагоревања

- Температура коју имају гасовити продукти, као резултат загревања топлотом која је настала сагоревањем горива
- Пропорционална је топлотној моћи горива
- Обрнуто пропорционална запремини продуката сагоревања и њиховом топлотном капацитету.

22





## Калориметарска температура сагоревања

- Температура сагоревања коју имају продукти сагоревања при потпуном сагоревању, при чему не долази до топлотних губитака насталих дисоцијацијом продуката сагоревања на повишеним температурама и услед размене топлоте са околином

$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_v + h_G}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

23



## Теоријска температура сагоревања

- Температура сагоревања коју имају продукти сагоревања при потпуном сагоревању, при чему се узимају у обзир топлотни губици настали дисоцијацијом продуката сагоревања на повишеним температурама, а не узимају се у обзир губици услед размене топлоте са околином

$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_v + h_G - Q_d}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

24



## Стварна температура сагоревања

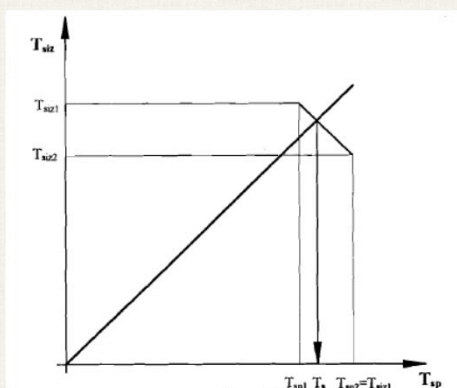
- Температура сагоревања коју имају продукти сагоревања при потпуном сагоревању, при чему се узимају у обзир топлотни губици настали дисоцијацијом продуката сагоревања на повишеним температурама и услед размене топлоте са околином

$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_v + h_G - Q_d - Q_{tg}}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

25



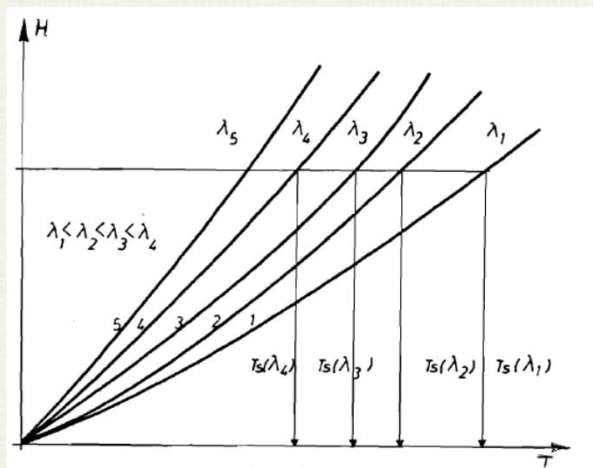
## Одређивање температуре сагоревања



26



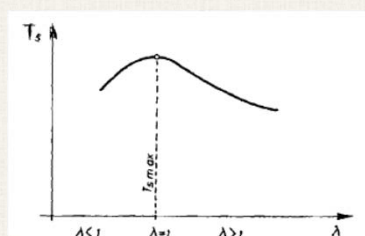
## Одређивање температуре сагоревања



27



## Температура сагоревања



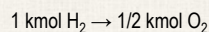
28





## Теоријска количина кисеоника за потпуно сагоревање

$n$  атома водоника  $\rightarrow n/2$  молекула водоника



$$O_{\min} (\text{kmol} / \text{kmol}) = m + \frac{n}{4}$$

$$O_{\min} (\text{kmol} / \text{kmol}) = m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2}$$

$$O_{\min} (m^3 / \text{kg}) = \frac{22,4 \left( m + \frac{n}{4} \right)}{12m + n}$$

$$O_{\min} (m^3 / \text{kg}) = \frac{22,4 \left( m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} \right)}{12m + n + 16o}$$

$$O_{\min} (\text{kg} / \text{kg}) = \frac{32 \left( m + \frac{n}{4} \right)}{12m + n}$$

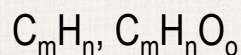
$$O_{\min} (\text{kg} / \text{kg}) = \frac{32 \left( m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} \right)}{12m + n + 16o}$$

29



## Количина продукта сагоревања

$$V_{CO_2} (m^3 / \text{kg}) = \frac{22,4m}{12m + n}$$



$$V_{H_2O} (m^3 / \text{kg}) = \frac{11,2n}{12m + n}$$

Гасовита  
горива

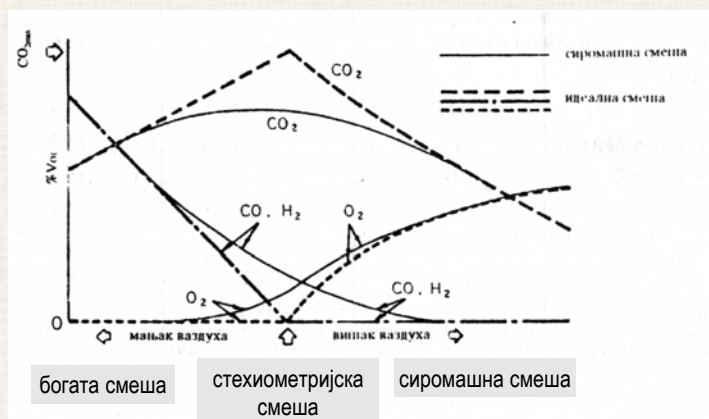
$$V_{CO_2} (m^3 / m^3) = r_{CO} + r_{CO_2} + \sum r_i \cdot m_i$$

$$V_{H_2O} (m^3 / m^3) = r_{H_2} + r_{H_2O} + \frac{1}{2} \sum r_i \cdot n_i$$

30



## Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продукта сагоревања

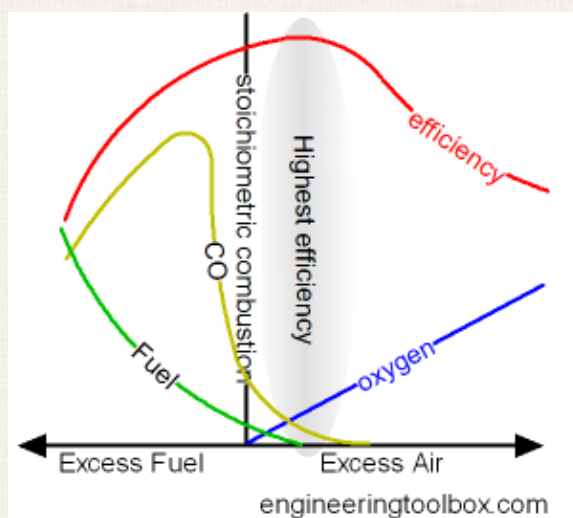


Слика 3.4: Састав теоријских и стварних продуката сагоревања

31



## Ефикасност прцеса сагоревања



32



## Коефицијент вишка ваздуха

$$\lambda = \frac{L}{L_{\min}} = \frac{L}{L - \Delta L} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta L}{L}}$$

$$V_{O_2} = \frac{O_2}{100} V_s$$

$$V_{O_2} = 0,21(\lambda - 1)L_{\min} = 0,21(\lambda L_{\min} - L_{\min}) = 0,21(L - L_{\min}) = 0,21 \cdot \Delta L$$

$$\Delta L = \frac{O_2}{100} V_s \frac{100}{21} = \frac{O_2}{21} V_s$$

$$V_{N_2} = \frac{N_2}{100} V_s$$

$$V_{N_2} = \frac{N_2}{100} V_s = 0,79 \cdot L$$

$$L = \frac{N_2}{100} V_s \frac{100}{79} = \frac{N_2}{79} V_s$$

33



## Коефицијент вишка ваздуха

$$\lambda = \frac{L}{L_{\min}} = \frac{L - \Delta L}{L_{\min}} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta L}{L}}$$

$$\Delta L = \frac{O_2}{100} V_s \frac{100}{21} = \frac{O_2}{21} V_s$$

$$L = \frac{N_2}{100} V_s \frac{100}{79} = \frac{N_2}{79} V_s$$

$$\lambda = \frac{L}{L_{\min}} = \frac{L - \Delta L}{L_{\min}} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta L}{L}} = \frac{1}{1 - \frac{\frac{O_2}{21} V_s}{\frac{N_2}{79} V_s}} = \frac{1}{1 - \frac{79 \cdot O_2}{21 \cdot N_2}}$$

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}}$$

34





## Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продуката сагоревања

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2}$$

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5(CO + H_2) - 2CH_4}{100 - (RO_2 + O_2 + CO + H_2 + CH_4)}}$$