

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.

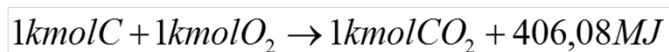
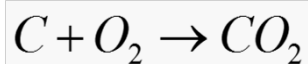




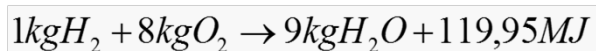
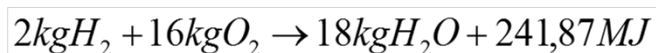
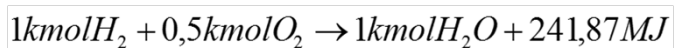
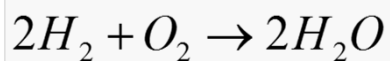
	<h2 style="text-align: center;">Стехиометријске једначине дефинишу</h2>
	<ul style="list-style-type: none"> ■ међусобне односе у којима се једине угљеник, водоник и сумпор са кисеоником ■ количину ваздуха која је потребна за потпуно сагоревање ■ количину продуката сагоревања која настаје у процесу ■ количину топлоте која се током процеса ослобађа.

	<h2 style="text-align: center;">Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника</h2>
	$C + O_2 \rightarrow CO_2$ $1\text{kmol}C + 1\text{kmol}O_2 \rightarrow 1\text{kmol}CO_2 + 406,08\text{MJ}$ $12\text{kg}C + 32\text{kg}O_2 \rightarrow 44\text{kg}CO_2 + 406,08\text{MJ}$ $1\text{kg}C + \frac{8}{3}\text{kg}O_2 \rightarrow \frac{11}{3}\text{kg}CO_2 + 33,79\text{MJ}$

	<p>Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника</p>
--	--



	<p>Стехиометријска једначина сагоревања водоника</p>
--	---



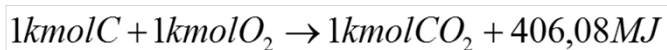
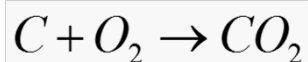
	Стехиометријска једначина сагоревања водоника
	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ $1\text{kmol}H_2 + 0,5\text{kmol}O_2 \rightarrow 1\text{kmol}H_2O + 241,87\text{MJ}$ $2\text{kg}H_2 + 11,2\text{m}^3O_2 \rightarrow 22,4\text{m}^3H_2O + 241,87\text{MJ}$ $1\text{kg}H_2 + 5,6\text{m}^3O_2 \rightarrow 11,2\text{m}^3H_2O + 119,95\text{MJ}$

	Стехиометријска једначина сагоревања водоника
	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ $1\text{kmol}H_2 + 0,5\text{kmol}O_2 \rightarrow 1\text{kmol}H_2O + 241,87\text{MJ}$ $22,4\text{m}^3H_2 + 11,2\text{m}^3O_2 \rightarrow 22,4\text{m}^3H_2O + 241,87\text{MJ}$ $1\text{m}^3H_2 + 0,5\text{m}^3O_2 \rightarrow 1\text{m}^3H_2O + 10,8\text{MJ}$

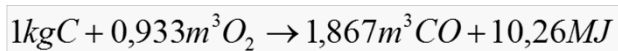
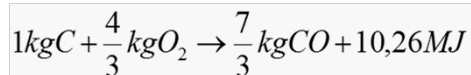
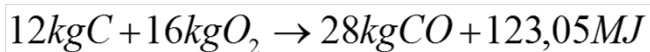
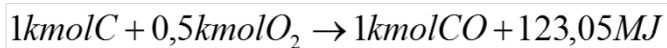
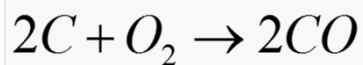
	Стехиометријска једначина сагоревања сумпора
	$S + O_2 \rightarrow SO_2$ $1\text{kmol}S + 1\text{kmol}O_2 \rightarrow 1\text{kmol}SO_2 + 296,84\text{MJ}$ $32\text{kg}S + 32\text{kg}O_2 \rightarrow 64\text{kg}SO_2 + 296,84\text{MJ}$ $1\text{kg}S + 1\text{kg}O_2 \rightarrow 2\text{kg}SO_2 + 9,295\text{MJ}$

	Стехиометријска једначина сагоревања сумпора
	$S + O_2 \rightarrow SO_2$ $1\text{kmol}S + 1\text{kmol}O_2 \rightarrow 1\text{kmol}SO_2 + 296,84\text{MJ}$ $1\text{kg}S + 0,7\text{m}^3O_2 \rightarrow 0,7\text{m}^3SO_2 + 9,295\text{MJ}$

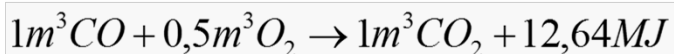
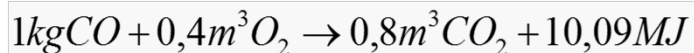
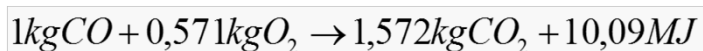
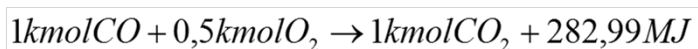
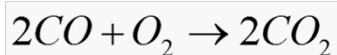
Стехиометријска једначина потпуног сагоревања угљеника



Стехиометријска једначина сагоревања угљеника у угљен моноксид

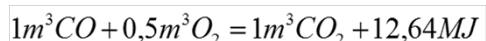
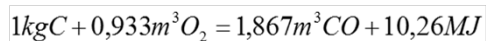
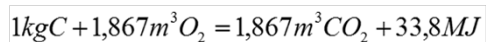


Стехиометријска једначина сагоревања угљен моноксид у угљен диоксид



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.



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

Теоријска количина кисеоника за потпуно сагоревање

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

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

Одређивање теоријске количине ваздуха

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

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

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

	<h2 style="text-align: center;">Стварна количина ваздуха и коэффициент вишка ваздуха</h2>
	<p>■ Стварна количина ваздуха</p> $L = \lambda \cdot L_{\min}$ <p>■ Коэффициент вишка ваздуха</p> <ul style="list-style-type: none"> – $\lambda > 1$ сиромашна смеша – $\lambda < 1$ богата смеша

	<h2 style="text-align: center;">Количина продуката сагоревања</h2>
	$V_{CO_2} (m^3 / kg) = 1,867 \cdot g_c$ $V_{SO_2} (m^3 / kg) = 0,7 \cdot g_s$ $V_{H_2O} (m^3 / kg) = 11,2 \cdot g_H + 1,24 (g_W + g_{W_1})$ $V_{O_2} (m^3 / kg) = 0,21 (\lambda - 1) L_{\min}$ $V_{N_2} (m^3 / kg) = 0,8 \cdot g_N + 0,79 L$ $V_v (m^3 / kg) = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2}$ $V_s (m^3 / kg) = V_v - V_{H_2O} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$

Састав продуката сагоревања

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

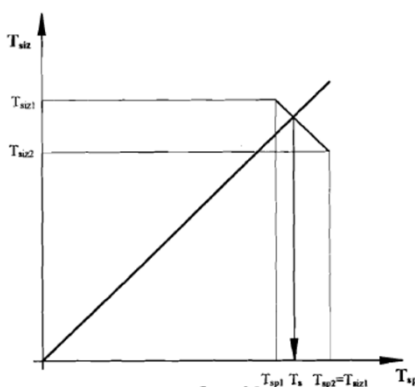
$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_v + h_G - Q_d}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

Стварна температура сагоревања

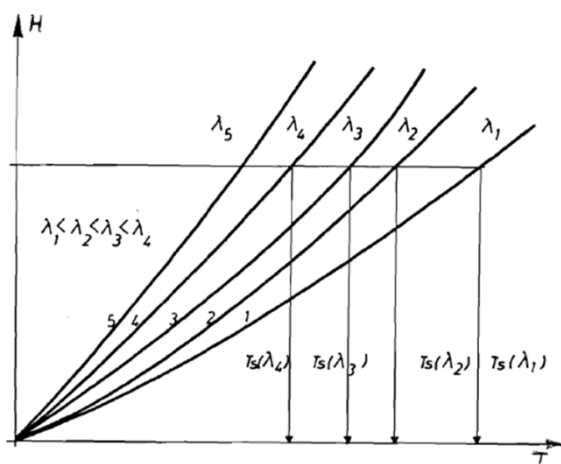
- Температура сагоревања коју имају продукти сагоревања при потпуном сагоревању, при чему се узимају у обзир топлотни губици настали дисоцијацијом продуката сагоревања на повишеним температурама и услед размене топлоте са околином

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

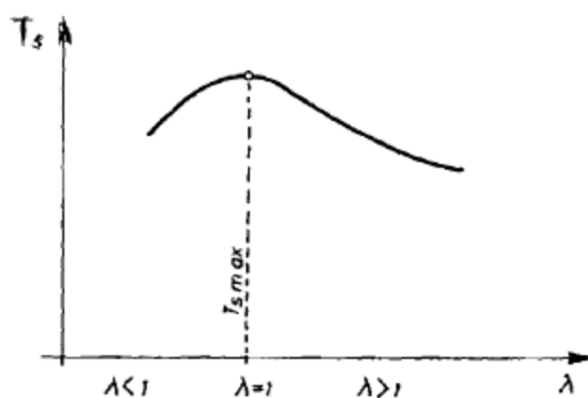
Одређивање температуре сагоревања



Одређивање температуре сагоревања

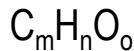
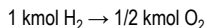


Температура сагоревања



Теоријска количина кисеоника за потпуно сагоревање

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



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

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

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

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

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

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

Количина продуката сагоревања

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

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

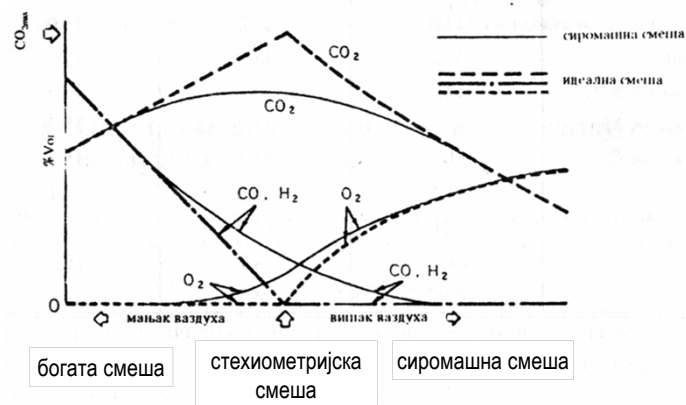


Гасовита
горива

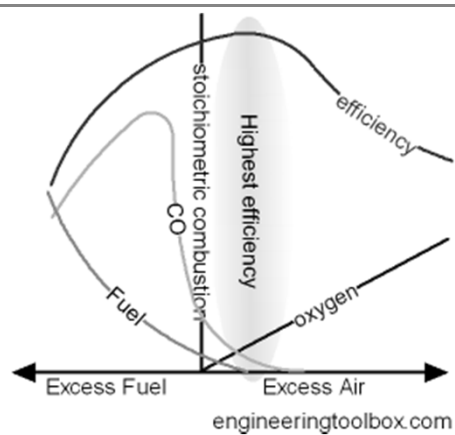
$$V_{CO_2} (m^3 / m^3) = r_{CO} + r_{CO_2} + \sum r_i \cdot m_i$$

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

Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продуката сагоревања



Слика 3.4: Састав теоријских и стварних производа сагоревања



Коефицијент вишка ваздуха

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

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

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

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

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

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

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

Коефицијент вишка ваздуха

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

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

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

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

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

	Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продуката сагоревања
--	--

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

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