



# Сагоревање Б

аудиторне вежбе



## НЕПОТПУНО САГОРЕВАЊЕ

- јавља се при коеф.вишка ваздуха мањем од 1 ( $\alpha < 1$ )
  - продукти непотпуног сагоревања:
    - $H_2$  (несагорели водоник),
    - CO (угљеник који је сагорео само до угљен монооксида),
    - C (чађ – угљеник који уопште није сагорео).
-



## 1. метода

- Претпоставка: Једини продукт непотпуног сагоревања је угљен моноксид ( $\text{CO}$ ).
  - Прорачун се састоји од 2 фазе:
    - 1. фаза (сав  $\text{H}_2$  сагорева у  $\text{H}_2\text{O}$ , сав  $\text{S}$  сагорева у  $\text{SO}_2$ , сав  $\text{C}$  сагорева у  $\text{CO}$ );
    - 2. фаза сав преостали  $\text{O}_2$  из 1. фазе се користи за сагоревање дела  $\text{CO}$  у  $\text{CO}_2$ .
-



## 1. метода

- Прорачун се састоји од 2 фазе:
    - 1. фаза се обавља као и код потпуног сагоревања: одреде се  $O_{\min}$ ,  $L_{\min}$ ,  $L_{\text{stv}}$ ;
    - 2. фаза: прво се одреди стварно унета количина кисеоника у процес сагоревања ( $O_{\text{stv}}$ ), затим се одреди утрошена количина кисеоника за 1. фазу и преостала (неутрошена) количина кисеоника ( $\Delta O_2$ ) за 2. фазу.
-



# 1. метода

- 2. фаза сагоревања:

- уведена количина  $O_2$  у процес сагоревања

$$O_{2stv} = 0,21 \cdot L_{stv} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

- утрошена количина  $O_2$  у 1. фази

$$O_{2utr} = 0,933 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

- неутрошена количина  $O_2$  у 1. фази тј. расположива за 2. фазу

$$\Delta O_2 = O_{2stv} - O_{2utr} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

---



## 1. метода

- у 2. фази се израчунавају количине продуката сагоревања са неутрошеном количном  $O_2$ :

$$V_{CO_2} = 2 \cdot \Delta O_2 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

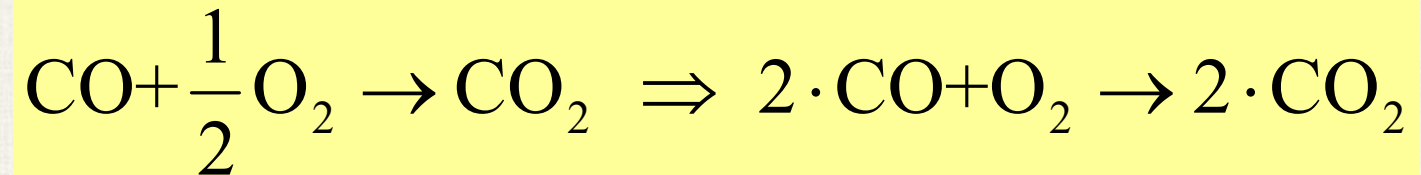
$$V_{CO} = (V_{CO})_1 - 2 \cdot \Delta O_2 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_{stv} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$



## 1. метода

- стехиометријска ј-на сагоревања угљен монооксида (објашњење коефицијената са претходног слајда):





## 1. задатак (текст)

Гориво елементарног састава:  $C=75 \%m/m$ ,  $H=25 \%m/m$ ,  
сагорева при коефицијенту вишка ваздуха:  $\alpha=0,8$ .

Израчунати:

- а) количину продуката сагоревања,
  - б) састав продуката сагоревања,
  - в) температуру сагоревања.
-



## 1. задатак (решење)

Минимално потребна количина кисеоника  $O_{\min}$ :

$$\begin{aligned} O_{\min} &= 1,867 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H + 0,7 \cdot g_S - 0,7 \cdot g_O = \\ &= 1,867 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 + 0,7 \cdot 0 - 0,7 \cdot 0 = 2,800 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \end{aligned}$$

Минимално потребна количина ваздуха  $L_{\min}$ :

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{2,800}{0,21} = 13,330 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Стварно потребна количина ваздуха  $L_{\text{stv}}$ :

$$L_{\text{stv}} = \alpha L_{\min} = 0,8 \cdot 13,330 = 10,664 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$



## 1. задатак (решење)

- 1. фаза сагоревања:
  - сав  $H_2$  сагорева у  $H_2O$

$$V_{H_2O} = 11,2 \cdot g_H + 1,24 \cdot (g_W + g'_W) = 11,2 \cdot 0,25 + 1,24 \cdot 0 = 2,8 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

- сав  $C$  сагорева у  $CO$

$$V_{CO} = 1,867 \cdot g_C = 1,867 \cdot 0,75 = 1,4 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$



## 1. задатак (решење)

- 2. фаза сагоревања:

- уведена количина  $O_2$  у процес сагоревања

$$O_{2stv} = 0,21 \cdot L_{stv} = 0,21 \cdot 10,664 = 2,239 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

- утрошена количина  $O_2$  у 1. фази

$$O_{2utr} = 0,933 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H = 0,933 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

- неутрошена количина  $O_2$  у 1. фази тј. расположива за 2. фазу

$$\Delta O_2 = O_{2stv} - O_{2utr} = 2,239 - 2,1 = 0,139 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$



## 1. задатак (решење)

- количине продуката сагоревања са неутрошеном количином  $O_2$  (на крају 2. фазе):

$$V_{CO_2} = 2 \cdot \Delta O_2 = 2 \cdot 0,139 = 0,278 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

$$V_{CO} = (V_{CO})_1 - 2 \cdot \Delta O_2 = 1,4 - 2 \cdot 0,139 = 1,122 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_{stv} = 0,79 \cdot 10,664 = 8,425 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$



## 1. задатак (решење)

- коначне количине продуката сагоревања са неутрошеном количином и састав продуката сагоревања на крају 2. фазе:

Гас	Количина (m <sup>3</sup> /kg)	Састав (%v/v)
CO	1,122	8,89
CO <sub>2</sub>	0,278	2,20
H <sub>2</sub> O	2,800	22,18
N <sub>2</sub>	8,425	66,73
Влажни п.с.	12,625	100,00



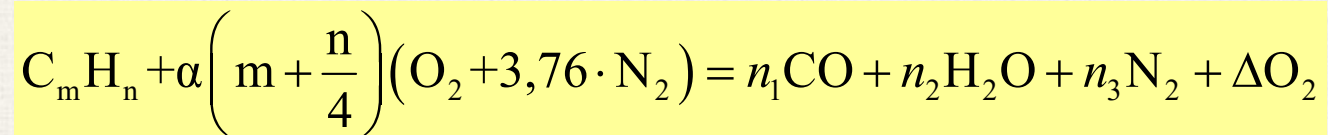
## 2. метода

- Гориво мора да се изрази формулом фиктивног угљоводоника  $C_m H_n$ :
  - Прорачун се састоји од 2 фазе:
    - 1. фаза, стехиометријска  $j$ -на сагоревања фиктивног угљоводоника при истим условима као и за 1. методу;
    - 2. фаза, као и код 1. методе, само се прорачун врши у моларним јединицама и на основу стехиометријске  $j$ -не из 1. фазе.
-



## 2. метода

- 1. фаза, гориво сагорева према:



- биланс количине материје (молова) за поједине елементе:

- угљеник

$$m = n_1$$

- водоник

$$\frac{n}{2} = n_2$$

- азот

$$\alpha \left( m + \frac{n}{4} \right) 3,76 = n_3$$



## 2. метода

- 2. фаза, биланс кисеоника после 1. фазе:

- уведена количина  $O_2$  у процес сагоревања

$$O_{2stv} = \alpha \left( m + \frac{n}{4} \right)$$

- утрошена количина  $O_2$  у 1. фази

$$O_{2utr} = \frac{n_1}{2} + \frac{n_2}{2}$$

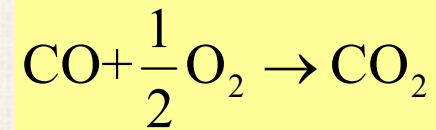
- неутрошена количина  $O_2$  после 1. фазе

$$\Delta O_2 = \alpha \left( m + \frac{n}{4} \right) - \left( \frac{n_1}{2} + \frac{n_2}{2} \right) = m \cdot \left( \alpha - \frac{1}{2} \right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha - 1)$$



## 2. метода

- Неутрошена количина  $O_2$  се користи за сагоревање  $CO$  у  $CO_2$  према стехиометријској формули:



- или:  $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$
- што значи да је за сагоревање 2 kmol  $CO$  потребан 1 kmol  $O_2$ , при чему се добија 2 kmol  $CO_2$ .



## 2. метода

- Коначан биланс сагоревања (количина продуката сагоревања) на крају 2. фазе је:

Гас	Количина (kmol/kmol)
CO	$m - 2 \cdot \Delta O_2$
H <sub>2</sub> O	$\frac{n}{2}$
N <sub>2</sub>	$\alpha \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76$
CO <sub>2</sub>	$2 \cdot \Delta O_2$



## 2. задатак (текст)

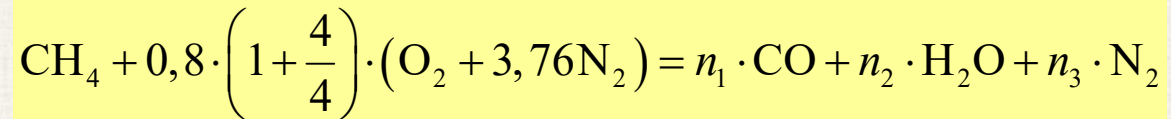
Метан сагорева при коефицијенту вишка ваздуха:  $\alpha=0,8$ . Израчунати:

- а) количину продуката сагоревања,
  - б) састав продуката сагоревања,
  - в) калориметарску температуру сагоревања,
- ако су познати подаци о тоplotној моћи  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}$ :  $H_{\text{dCH}_4}=802,9 \text{ MJ/kmol}$ ,  $H_{\text{CO}}=283,2 \text{ MJ/kmol}$ .
-



## 2. задатак (решење)

а) Сагоревање метана се одвија према:



Неутрошена количина кисеоника после 1. фазе:

$$\Delta\text{O}_2 = m \cdot \left(\alpha - \frac{1}{2}\right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha - 1) = 1 \cdot \left(0,8 - \frac{1}{2}\right) + \frac{4}{4} \cdot (0,8 - 1) = 0,100 \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$$



## 2. задатак (решење)

- количине продуката сагоревања на крају 2. фазе:

$$CO = m - 2 \cdot \Delta O_2 = 1 - 2 \cdot 0,1 = 0,8 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$H_2O = \frac{n}{2} = \frac{4}{2} = 2 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$N_2 = \alpha \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 0,8 \left( 1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 3,76 = 6,016 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$CO_2 = 2 \cdot \Delta O_2 = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$V_v = \sum_{i=1}^k V_i = 9,016 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 2. задатак (решење)

б) састав продуката сагоревања на крају 2. фазе:

Гас	Количина (kmol/kmol)	Састав (%v/v)
CO	0,8	8,87
CO <sub>2</sub>	0,2	2,22
H <sub>2</sub> O	2,0	22,18
N <sub>2</sub>	6,016	66,73
Влажни п.с.	9,016	100,00



## 2. задатак (решење)

в) температура продукта сагоревања при непотпуном сагоревању:

$$t_s = \frac{h_G + L_{stv} \cdot h_{vaz} + H_d - Q_{ns}}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

$Q_{ns}$  - количина топлоте која се изгуби због непотпуног сагоревања (збир производа количине продукта непотпуног сагоревања и њихових топлотних моћи)



## 2. задатак (решење)

Претпостављена температура продуката сагоревања  $t_{sp1}=2000$  °C:

$$t_{siz1} = \frac{802.900 - 0,8 \cdot 283.200}{0,8 \cdot 33,71 + 2 \cdot 43,90 + 6,016 \cdot 33,24 + 0,2 \cdot 54,63} = 1770 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Нова претпостављена температура продуката сагоревања  $t_{sp2}=1800$  °C:

$$t_{siz2} = \frac{802.900 - 0,8 \cdot 283.200}{0,8 \cdot 33,4 + 2 \cdot 42,98 + 6,016 \cdot 32,93 + 0,2 \cdot 53,90} = 1792 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$



### 3. задатак (текст)

Гасовито гориво састава (%v/v):  $C_2H_6=75$ ,  $C_3H_8=20$ ,  $CO_2=5$  двостепено сагорева. У првом степену коефицијент вишка ваздуха износи  $\alpha_1=0,75$ , а у другом  $\alpha_2=0,2$ . Одредити састав продуката сагоревања после првог и другог степена сагоревања.

---



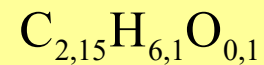
### 3. задатак (решење)

Прво се одређује фиктивна формула гасовитог горива у облику  $C_m H_n O_o$ :

$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,75 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 1 = 2,15$$

$$n = \sum_{i=1}^k r_i \cdot n_i = 0,75 \cdot 6 + 0,2 \cdot 8 = 6,15$$

$$o = \sum_{i=1}^k r_i \cdot o_i = 0,05 \cdot 2 = 0,1$$





### 3. задатак (решење)

Међутим, са аспекта сагоревања број атома угљеника је сложен. Укупан угљеник може да се подели на три врсте: гориви (пореклом из горивих гасова – етана и пропана), негориви (пореклом из угљен диоксида) и укупни (збир претходна два).

$$m_{uk} = 2,15 \quad \text{укупни угљеник}$$

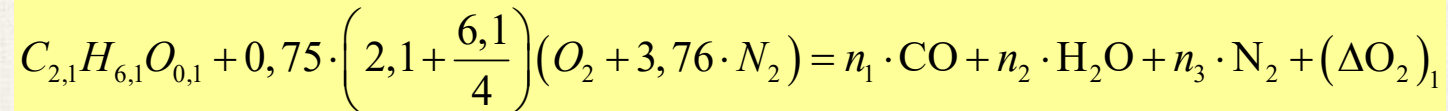
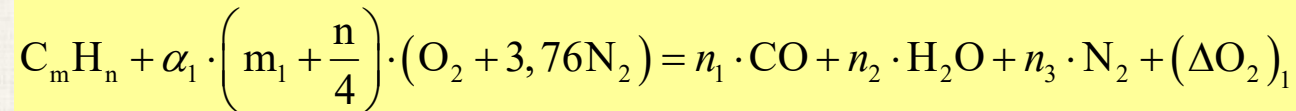
$$m_{gor} = 2,10 \quad \text{гориви угљеник}$$

$$m_{negor} = 0,05 \quad \text{негориви угљеник}$$



### 3. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуtroшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

$$\begin{aligned} (\Delta O_2)_1 &= m_{\text{gor}} \cdot \left( \alpha_1 - \frac{1}{2} \right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha_1 - 1) = 2,1 \cdot \left( 0,75 - \frac{1}{2} \right) + \frac{6,1}{4} \cdot (0,75 - 1) = \\ &= 0,14375 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right) \end{aligned}$$



### 3. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$(CO)_1 = m_{\text{gor}} - 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 2,1 - 2 \cdot 0,14375 = 1,8125 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_1 = \frac{n}{2} = \frac{6,1}{2} = 3,05 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_1 = \alpha_1 \left( m_{\text{gor}} + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 0,75 \left( 2,1 + \frac{6,1}{4} \right) \cdot 3,76 = 10,2225 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_1 = 2 \cdot (\Delta O_2)_1 + m_{\text{negor}} = 2 \cdot 0,14375 + 0,05 = 0,3375 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_1 = \sum_{i=1}^k V_i = 15,4225 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



### 3. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$CO = 11,75 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 19,78 \quad (\%v/v)$$

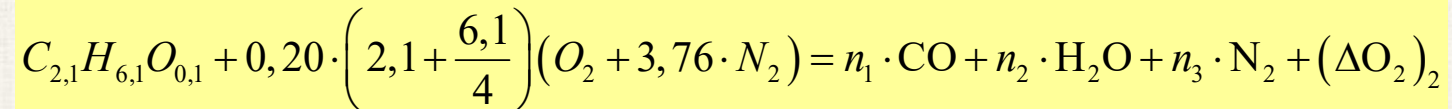
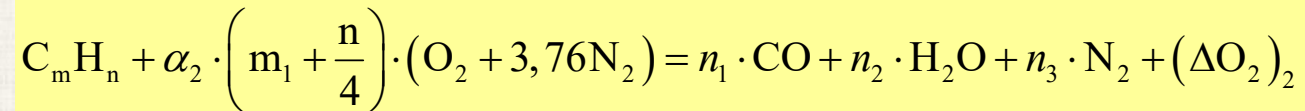
$$N_2 = 66,28 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 2,19 \quad (\%v/v)$$



### 3. задатак (решење)

Сагоревање у 2. степену сагоревања се одвија према:



Доведена количина кисеоника у 2. степен сагоревања:

$$(\Delta O_2)_2 = \alpha_2 \cdot \left( m_{\text{gor}} + \frac{n}{4} \right) = 0,2 \cdot \left( 2,1 + \frac{6,1}{4} \right) = 0,725 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



### 3. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$(CO)_2 = (CO)_1 - 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 1,8125 - 2 \cdot 0,725 = 0,3625 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_2 = \frac{n}{2} = \frac{6,1}{2} = 3,05 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_2 = (N_2)_1 + \alpha_2 \cdot \left( m_{\text{gor}} + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 10,225 + 0,2 \cdot \left( 2,1 + \frac{6,1}{4} \right) \cdot 3,76 = 12,951 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_2 = (CO_2)_1 + 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 0,3375 + 2 \cdot 0,725 = 1,7875 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_2 = \sum_{i=1}^k V_i = 18,1485 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



### 3. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$CO = 2,00 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 16,81 \quad (\%v/v)$$

$$N_2 = 71,35 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 9,84 \quad (\%v/v)$$



#### 4. задатак (текст)

Гасовито гориво састава (%v/v):  $\text{CH}_4=80$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8=20$   
двостепено сагорева. У првом степену коефицијент  
вишка ваздуха износи  $\alpha_1=0,8$ , а у другом  $\alpha_2=0,3$ .

Израчунати:

- а) састав продуката сагоревања после првог и другог степена сагоревања,
  - б) калориметарску температуру сагоревања после 2. степена, ако се ваздух који се доводи у 2. степен загрева на  $t_v=300$  °C.
-

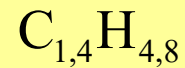


## 4. задатак (решење)

Прво се одређује фиктивна формула гасовитог горива у облику  $C_mH_n$ :

$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,8 \cdot 1 + 0,2 \cdot 3 = 1,4$$

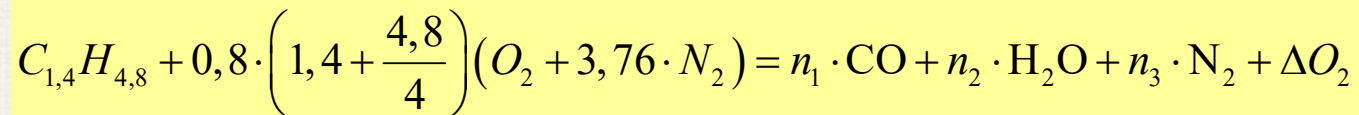
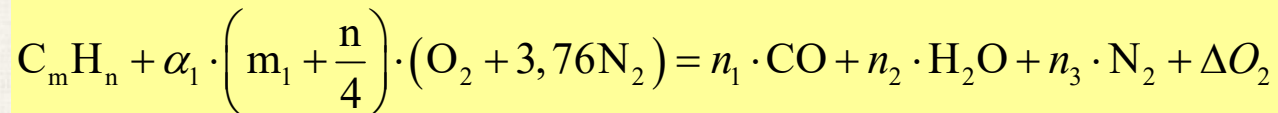
$$n = \sum_{i=1}^k r_i \cdot n_i = 0,8 \cdot 4 + 0,2 \cdot 8 = 4,8$$





## 4. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуτροшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

$$\begin{aligned} (\Delta O_2)_1 &= m \cdot \left( \alpha_1 - \frac{1}{2} \right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha_1 - 1) = 1,4 \cdot \left( 0,8 - \frac{1}{2} \right) + \frac{4,8}{4} \cdot (0,8 - 1) = \\ &= 0,18 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right) \end{aligned}$$



## 4. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$(CO)_1 = m - 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 1,4 - 2 \cdot 0,18 = 1,04 \quad \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_1 = \frac{n}{2} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \quad \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_1 = \alpha_1 \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 0,8 \left( 1,4 + \frac{4,8}{4} \right) \cdot 3,76 = 7,82 \quad \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_1 = 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 2 \cdot 0,18 = 0,36 \quad \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_1 = \sum_{i=1}^k V_i = 11,62 \quad \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



#### 4. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$CO = 8,95 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 20,65 \quad (\%v/v)$$

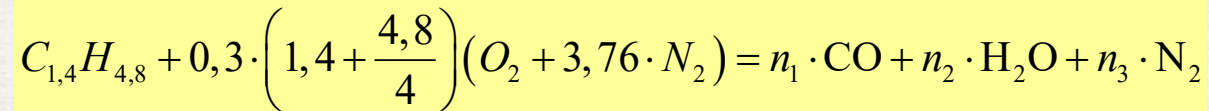
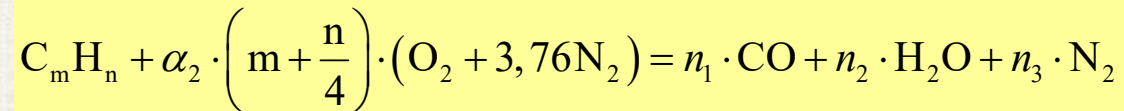
$$N_2 = 67,30 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 3,10 \quad (\%v/v)$$



## 4. задатак (решење)

Сагоревање у 2. степену сагоревања се одвија према:



Доведена количина кисеоника у 2. степен сагоревања:

$$(\Delta O_2)_2 = \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) = 0,3 \cdot \left( 1,4 + \frac{4,8}{4} \right) = 0,78 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 4. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$(CO)_2 = 0 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_2 = \frac{n}{2} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_2 = (N_2)_1 + \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 7,82 + 0,3 \cdot \left( 1,4 + \frac{4,8}{4} \right) \cdot 3,76 = 10,751 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_2 = (CO_2)_1 + (CO)_1 = 0,36 + 1,04 = 1,4 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$O_2 = \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) - \frac{CO}{2} = 0,3 \cdot \left( 1,4 + \frac{4,8}{4} \right) - \frac{1,04}{2} = 0,26 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_2 = \sum_{i=1}^k V_i = 18,1485 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 4. задатак (решење)

- Количине  
продуката  
сагоревања на  
крају 2. степена  
сагоревања могу  
се у овом случају  
одредити као и за  
потпуно  
сагоревање ( $\alpha > 1$ ):

$$O_{\min} = m + \frac{n}{4} = 1,4 + \frac{4,8}{4} = 2,6 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{2,6}{0,21} = 12,38 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$L_{stv} = \alpha \cdot L_{\min} = 1,1 \cdot 12,38 = 13,62 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$CO_2 = m = 1,4 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$H_2O = \frac{n}{2} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$N_2 = 0,79 \cdot L_{stv} = 0,79 \cdot 13,62 = 10,75 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$O_2 = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_{\min} = 0,26 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



#### 4. задатак (решење)

Количина ваздуха која се доводи у 2. степен сагоревања:

$$L_{\text{stv}} = \alpha_2 \cdot L_{\text{min}} = 0,3 \cdot 12,38 = 3,71 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

Ваздух (само онај који се уводи у 2. степен) се загрева на  $t_v = 300$  °C, па је његова енталпија:

$$h_v = c_{pv} \cdot t_v = 29,54 \cdot 300 = 8862 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$

а доња топлотна моћ горива је:

$$H_d = \sum_{i=1}^k r_i \cdot H_{di} = 0,8 \cdot 891.968 + 0,2 \cdot 2.262.176 = 1.166.010 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$



#### 4. задатак (решење)

температура продуката сагоревања при  
предгревању ваздуха:

$$t_s = \frac{L_{stv} \cdot h_{vaz} + H_d}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$



#### 4. задатак (решење)

Претпостављена температура продуката сагоревања  $t_{sp1}=2200$  °C:

$$t_{siz1} = \frac{1.166.010 + 3,71 \cdot 8862}{1,4 \cdot 55,27 + 2,4 \cdot 44,77 + 0,26 \cdot 35,48 + 10,75 \cdot 33,53} = 2162 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ако желимо већу тачност, ова грешка је превелика (преко 1 %), па је нова претпостављена температура продуката сагоревања  $t_{sp2}=2162$  °C:

$$t_{siz1} = \frac{1.166.010 + 3,71 \cdot 8862}{1,4 \cdot 55,15 + 2,4 \cdot 44,61 + 0,26 \cdot 35,42 + 10,75 \cdot 33,48} = 2166 \text{ (}^\circ\text{C)}$$



## 5. задатак (текст)

Гасовито гориво састава (%v/v):  $\text{CH}_4=83$   $\text{C}_2\text{H}_6=12$ ,  
 $\text{C}_3\text{H}_8=5$  двостепено сагорева. У првом степену  
коэффициент вишка ваздуха износи  $\alpha_1=0,8$ , а у другом  
 $\alpha_2=0,15$ . Израчунати:

- а) састав продуката сагоревања после првог степена сагоревања,
  - б) састав продуката сагоревања после другог степена сагоревања,
  - в) калориметарску температуру сагоревања после другог степена сагоревања.
-

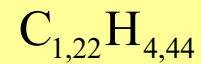


## 5. задатак (решење)

Прво се одређује фиктивна формула гасовитог горива у облику  $C_mH_nO_o$ :

$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,83 \cdot 1 + 0,12 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 = 1,22$$

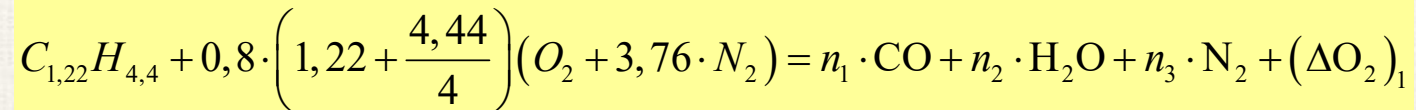
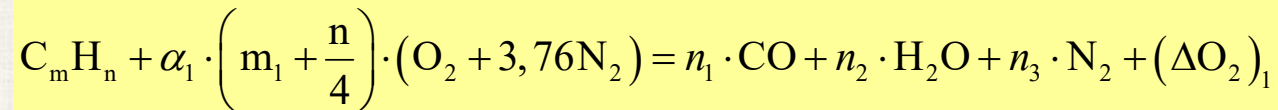
$$n = \sum_{i=1}^k r_i \cdot n_i = 0,83 \cdot 4 + 0,12 \cdot 6 + 0,05 \cdot 8 = 4,44$$





## 5. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуtroшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

$$\begin{aligned} (\Delta O_2)_1 &= m \cdot \left( \alpha_1 - \frac{1}{2} \right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha_1 - 1) = 1,22 \cdot \left( 0,8 - \frac{1}{2} \right) + \frac{4,44}{4} \cdot (0,8 - 1) = \\ &= 0,144 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right) \end{aligned}$$



## 5. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$(CO)_1 = m - 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 1,22 - 2 \cdot 0,144 = 0,932 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_1 = \frac{n}{2} = \frac{4,44}{2} = 2,22 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_1 = \alpha_1 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 0,8 \cdot \left( 1,22 + \frac{4,44}{4} \right) \cdot 3,76 = 7,009 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_1 = 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 2 \cdot 0,144 = 0,288 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_1 = \sum_{i=1}^k V_i = 10,449 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 5. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$CO = 8,92 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 21,25 \quad (\%v/v)$$

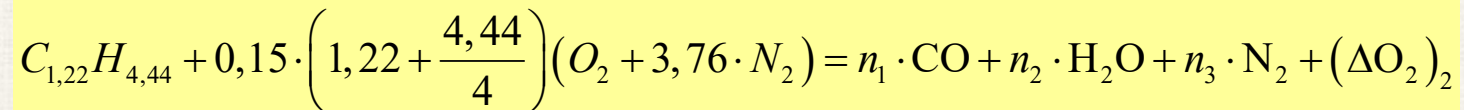
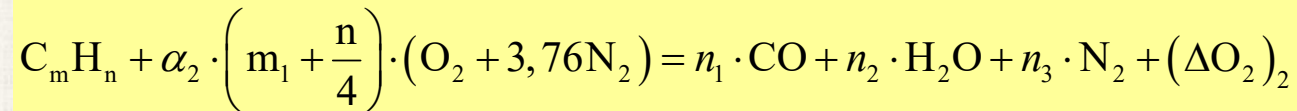
$$N_2 = 67,08 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 2,75 \quad (\%v/v)$$



## 5. задатак (решење)

Сагоревање у 2. степену сагоревања се одвија према:



Доведена количина кисеоника у 2. степен сагоревања:

$$(\Delta O_2)_2 = \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) = 0,15 \cdot \left( 1,22 + \frac{4,44}{4} \right) = 0,349 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 5. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$(CO)_2 = (CO)_1 - 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 0,932 - 2 \cdot 0,349 = 0,234 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_2 = \frac{n}{2} = \frac{4,44}{2} = 2,22 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_2 = (N_2)_1 + \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 7,009 + 0,15 \cdot \left( 1,22 + \frac{4,44}{4} \right) \cdot 3,76 = 8,323 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_2 = (CO_2)_1 + 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 0,288 + 2 \cdot 0,349 = 0,986 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_2 = \sum_{i=1}^k V_i = 11,763 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 5. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$CO = 1,99 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 18,87 \quad (\%v/v)$$

$$N_2 = 70,76 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 8,38 \quad (\%v/v)$$



## 5. задатак (решење)

Доња топлотна моћ горива је:

$$H_d = 22,4 \cdot \sum_{i=1}^k r_i \cdot H_{di} =$$
$$= 22,4 \cdot (0,83 \cdot 35,87 + 0,12 \cdot 64,42 + 0,05 \cdot 92,89) = 944,093 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kmol}} \right)$$

а калориметарска температура сагоревања за  
 $t_{sp1} = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$t_s = \frac{H_d - Q_{ns}}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}} = \frac{944,093 - 0,234 \cdot 283,200}{0,234 \cdot 33,71 + 2,22 \cdot 43,90 + 8,323 \cdot 33,24 + 0,986 \cdot 54,63} = 2014 \text{ } (^\circ\text{C})$$



## 6. задатак (текст)

Гасовито гориво састава (%v/v):  $C_3H_8=70$ ,  $C_4H_{10}=30$ , двостепено сагорева. У првом степену коефицијент вишка ваздуха износи  $\alpha_1=0,7$ , а у другом  $\alpha_2=0,25$ .

Израчунати:

- а) састав продуката сагоревања после првог степена сагоревања,
  - б) температуру сагоревања после другог степена сагоревања,
  - в) колико ће се повећати температура сагоревања после другог степена сагоревања ако се ваздух у првом степену предгрева на  $400\text{ }^\circ\text{C}$ .
-

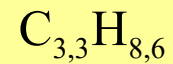


## 6. задатак (решење)

Прво се одређује фиктивна формула гасовитог горива у облику  $C_mH_n$ :

$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,7 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,3$$

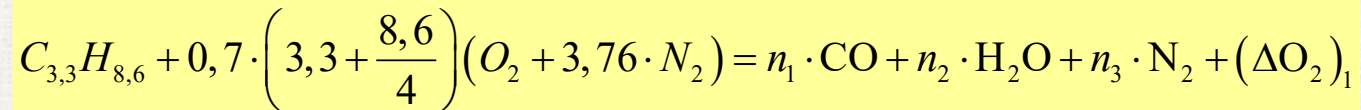
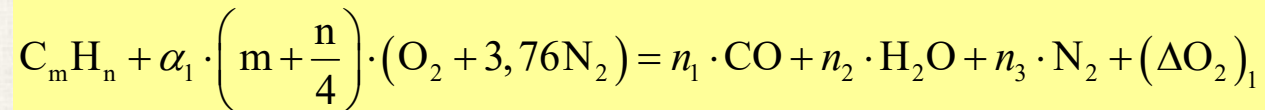
$$n = \sum_{i=1}^k r_i \cdot n_i = 0,7 \cdot 8 + 0,3 \cdot 10 = 8,6$$





## 6. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуτροшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

$$\begin{aligned} (\Delta O_2)_1 &= m \cdot \left( \alpha_1 - \frac{1}{2} \right) + \frac{n}{4} \cdot (\alpha_1 - 1) = 3,3 \cdot \left( 0,7 - \frac{1}{2} \right) + \frac{8,6}{4} \cdot (0,7 - 1) = \\ &= 0,015 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right) \end{aligned}$$



## 6. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$(CO)_1 = m - 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 3,3 - 2 \cdot 0,015 = 3,270 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_1 = \frac{n}{2} = \frac{8,6}{2} = 4,300 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_1 = \alpha_1 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 0,7 \cdot \left( 3,3 + \frac{8,6}{4} \right) \cdot 3,76 = 14,344 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_1 = 2 \cdot (\Delta O_2)_1 = 2 \cdot 0,015 = 0,030 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(V_v)_1 = \sum_{i=1}^k V_i = 21,944 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 6. задатак (решење)

а) Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

$$CO = 14,90 \quad (\%v/v)$$

$$H_2O = 19,59 \quad (\%v/v)$$

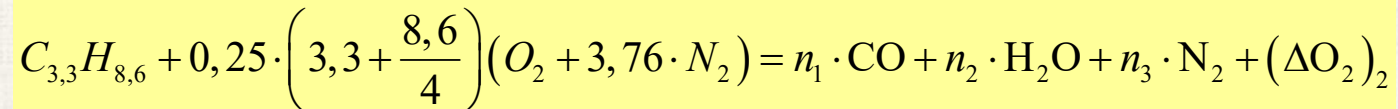
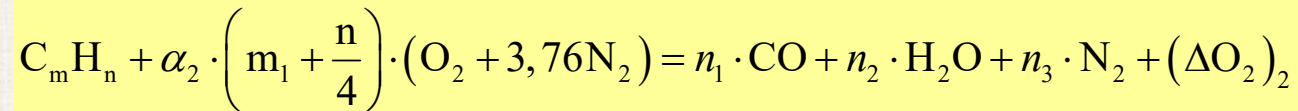
$$N_2 = 65,37 \quad (\%v/v)$$

$$CO_2 = 0,14 \quad (\%v/v)$$



## 6. задатак (решење)

Сагоревање у 2. степену сагоревања се одвија према:



Доведена количина кисеоника у 2. степен сагоревања:

$$(\Delta O_2)_2 = \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) = 0,25 \cdot \left( 3,3 + \frac{8,6}{4} \right) = 1,362 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 6. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 2. степена сагоревања:

$$(CO)_2 = (CO)_1 - 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 3,270 - 2 \cdot 1,362 = 0,546 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(H_2O)_2 = \frac{n}{2} = \frac{4,44}{2} = 2,22 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(N_2)_2 = (N_2)_1 + \alpha_2 \cdot \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76 = 14,344 + 0,25 \cdot \left( 3,3 + \frac{8,6}{4} \right) \cdot 3,76 = 19,467 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$(CO_2)_2 = (CO_2)_1 + 2 \cdot (\Delta O_2)_2 = 0,030 + 2 \cdot 0,1362 = 2,754 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 6. задатак (решење)

Доња топлотна моћ горива је:

$$\begin{aligned} H_d &= 22,4 \cdot \sum_{i=1}^k r_i \cdot H_{di} = \\ &= 22,4 \cdot (0,7 \cdot 92,89 + 0,3 \cdot 123,65) = 2.287,443 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kmol}} \right) \end{aligned}$$

а температура сагоревања за  $t_{sp1} = 2100 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$t_{s1} = \frac{H_d - Q_{ns}}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}} = \frac{2.287.443 - 0,546 \cdot 283.200}{0,546 \cdot 33,87 + 4,3 \cdot 44,34 + 19,467 \cdot 33,39 + 2,754 \cdot 54,96} = 2111 \text{ } (^\circ\text{C})$$



## 6. задатак (решење)

- Минимално потребна количина  $O_2$ :

$$O_{\min} = m + \frac{n}{4} = 3,3 + \frac{8,6}{4} = 5,45 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

- Минимално потребна количина ваздуха:

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{5,45}{0,21} = 25,952 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

- Стварно потребна количина ваздуха:

$$L_{\text{stvl}} = \alpha_1 \cdot L_{\min} = 0,7 \cdot 25,952 = 18,166 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



## 6. задатак (решење)

- Енталпија ваздуха:

$$t_{v1} = 400 \text{ (}^\circ\text{C)} \Rightarrow c_{pv1} = 29,79 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right)$$

$$h_{v1} = c_{pv} \cdot t_{v1} = 29,79 \cdot 400 = 11.916 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$

- Температура сагоревања при предгревању ваздуха у 1. степену сагоревања за  $t_{sp1} = 2300 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$t_{s2} = \frac{H_d + L_{stvl} \cdot h_{v1} - Q_{ns}}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}} = \frac{2.287.443 + 18.166 \cdot 11.916 - 0,546 \cdot 283.200}{0,546 \cdot 34,12 + 4,3 \cdot 45,19 + 19,467 \cdot 33,66 + 2,754 \cdot 55,57} = 2300 \text{ (}^\circ\text{C)}$$



## 6. задатак (решење)

- Повећање температуре сагоревања при загревању ваздуха у 1. степену сагоревања износи:

$$\Delta t = t_{s2} - t_{s1} = 2300 - 2111 = 189 \text{ (}^\circ\text{C)}$$



## 7. задатак (текст)

Са којим коефицијентом вишка ваздуха сагорева угаљ ако је мерењем утврђен следећи састав сувих продуката сагоревања (%v/v):  $\text{CO}_2=7,2$ ;  $\text{O}_2=2,1$ ;  $\text{SO}_2=0,5$ ;  $\text{CO}=0,3$ .

---



## 7. задатак (решење)

У условима непотпуног сагоревања коефицијент вишка ваздуха се рачуна према изразу:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5(CO + H_2) - 2 \cdot CH_4}{100 - (RO_2 + O_2 + CO + H_2 + CH_4)}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{2,1 - 0,5 \cdot 0,3}{100 - (7,2 + 0,5 + 2,1 + 0,3)}} = 1,09$$

а у случају потпуног сагоревања према изразу:

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



## 8. задатак (текст)

Одредити количину ваздуха при којој долази до појаве чађи у продуктима сагоревања за угаљ следећег елементарног састава (%m/m): C=85,95; H=11,31; O<sub>2</sub>=0,51; N=0,31; S=1,75; W=0,15; A=0,02.

---



## 8. задатак (решење)

До појаве чађи у прод.саг. долази када један део угљеника уопште не сагори, тј. када је  $O_{\min}$  ( $L_{\min}$ ) мање од минимално потребне количине  $O_2$  (ваздуха) за сагоревање  $C$  у  $CO$ :

$$O_{\min} = \frac{4}{3} \cdot g_C + 8 \cdot g_H + g_S = \frac{4}{3} \cdot 0,8595 + 8 \cdot 0,1131 + 0,0175 = 2,068 \left( \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,23} = \frac{2,068}{0,23} = 8,991 \left( \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)$$

$$O_{\min} = 0,933 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H + 0,7 \cdot g_S = 0,933 \cdot 0,8595 + 5,6 \cdot 0,1131 + 0,7 \cdot 0,0175 = 1,447 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{1,447}{0,21} = 6,890 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$