



# **Сагоревање**

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 (CO).
- Сагоревање се одвија у 2 фазе:
  - 1. фаза (сав  $H_2$  сагорева у  $H_2O$ , сав S сагорева у  $SO_2$ , сав C сагорева у CO);
  - 2. фаза сав преостали  $O_2$  из 1. фазе се користи за сагоревање дела CO у  $CO_2$ .

# 1. метода

---

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

# 1. метода

- 1. корак прорачуна:

- 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:

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

# 1. метода

- у 2. кораку се израчунавају количине продуката сагоревања са неутрошеном количином  $O_2$ :

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

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

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

# 1. задатак (текст)

---

Гориво елементарног састава:  $C=75 \text{ \%m/m}$ ,  $H=25 \text{ \%m/m}$ , 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  $\text{H}_2$  сагорева у  $\text{H}_2\text{O}$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 11,2 \cdot g_{\text{H}} + 1,24 \cdot (g_{\text{W}} + g'_{\text{W}}) = 11,2 \cdot 0,25 + 1,24 \cdot 0 = 2,8 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

- сав  $\text{C}$  сагорева у  $\text{CO}$

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

# 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

$$O_{2utr} = 0,933 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H = 0,933 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 = 2,1 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$

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

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

# 1. задатак (решење)

- количине продукта 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:

В) израчунати за домаћи!

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

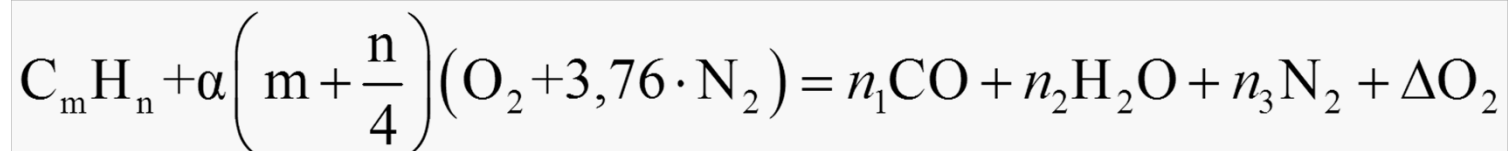
## 2. метода

---

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

## 2. метода

- 1. фаза, гориво сагорева према:



- биланс количине материје (молова) за поједине елементе:
  - угљеник
  - водоник
  - азот

$$m : n_1$$

$$n : n_2$$

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

## 2. метода

### ■ 2. фаза, биланс кисеоника после 1. фазе:

– уведена количина  $O_2$  у процес сагоревања

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

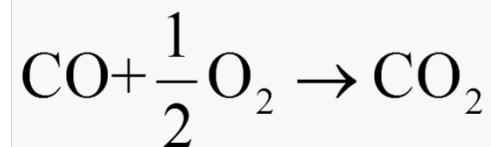
– утрошена количина  $O_2$  у 1. фази  $O_{2\text{utr}} = \frac{n_1}{2} + \frac{n_2}{2}$

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

## 2. задатак (текст)

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

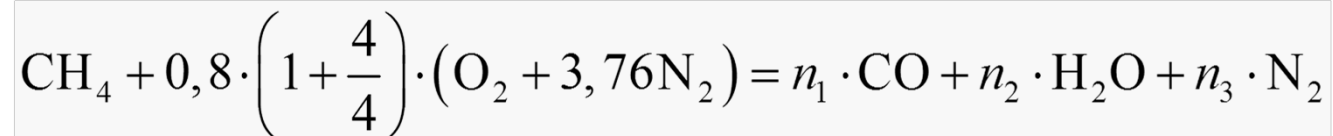
а) количину продукта сагоревања,

б) састав продукта 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:



Неуτροшена 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:

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

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

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

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

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

## 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 продуката 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 продуката 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  $C_mH_nO_o$ :

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

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

$$o = \sum_{i=1}^k r_i \cdot o_i = 0,05 \cdot 2 = 2,15$$



# 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).

$$m_{\text{uk}} = 2,15$$

укупни угљеник

$$m_{\text{gor}} = 2,10$$

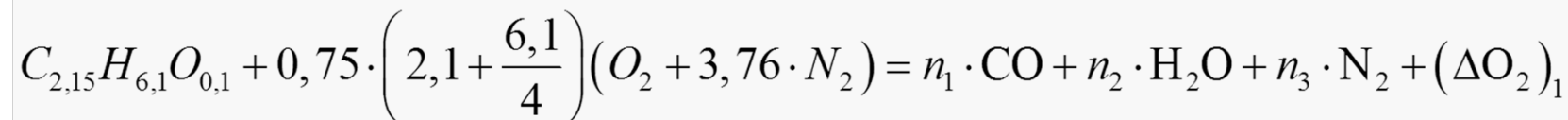
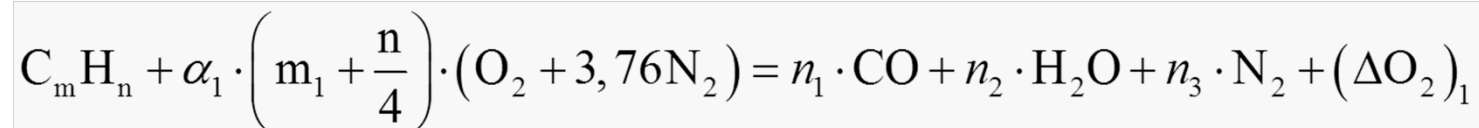
гориви угљеник

$$m_{\text{negor}} = 0,05$$

негориви угљеник

# 3. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуτροшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна за 1. степен сагоревања:

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

# 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:

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

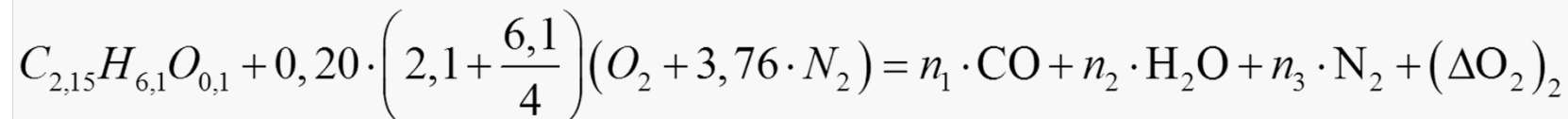
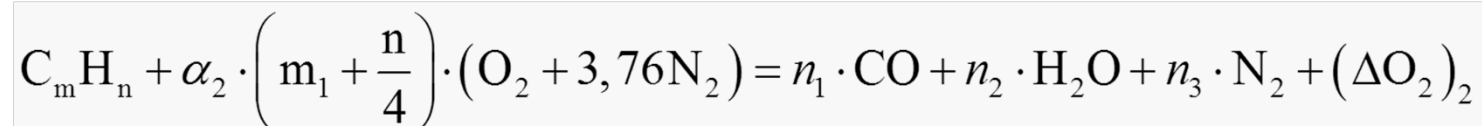
$$H_2O = 19,78 \quad (\%v/v)$$

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

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

# 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  $\alpha_2=0,3$ . Дате су топлотне моћи метана и пропана:  $H_{\text{dCH}_4}=802,9$  MJ/kmol,  $H_{\text{dC}_3\text{H}_8}=2.262,176$  MJ/kmol

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  $t_{\text{V}}=300$  °C.

## 4. задатак (решење)

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

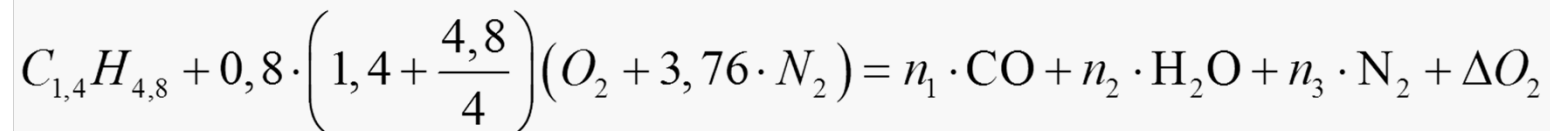
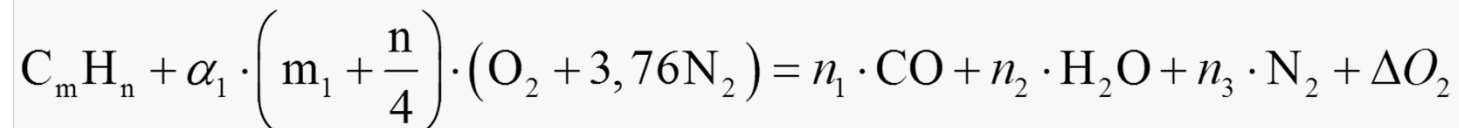
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,8 \cdot 1 + 0,2 \cdot 3 = 1,4$$

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



# 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:

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

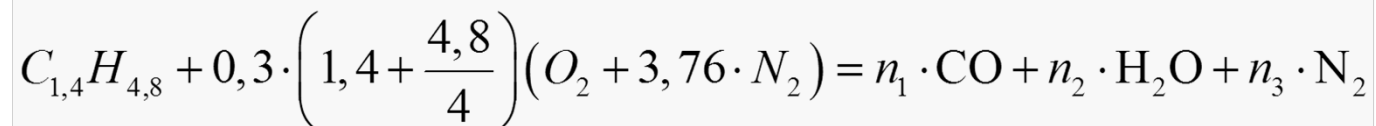
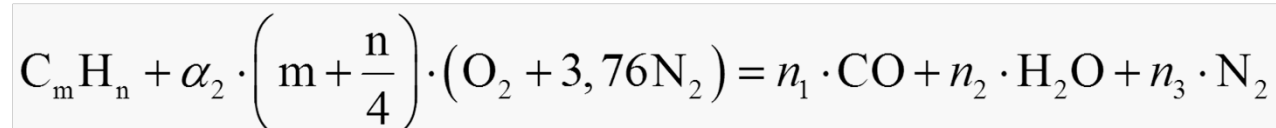
$$H_2O = 20,65 \quad (\%v/v)$$

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

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

## 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:

$$L_{\text{stv2}} = \alpha_2 \cdot L_{\text{min}} = 0,3 \cdot 12,38 = 3,71 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

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:

$$H_d = \sum_{i=1}^k r_i \cdot H_{di} = 0,8 \cdot 802.901 + 0,2 \cdot 2.262.176 = 1.094.756 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$

# 4. задатак (решење)

температура продуката сагоревања при предгревању ваздуха:

$$t_s = \frac{L_{stv2} \cdot h_{vaz} + H_d}{\sum_{i=1}^k V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$

## 4. задатак (решење)

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

$$t_{siz1} = \frac{1.094.756 + 3,71 \cdot 8862}{1,4 \cdot 55,27 + 2,4 \cdot 44,77 + 0,26 \cdot 35,48 + 10,75 \cdot 33,53} = 2033 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ако желимо већу тачност, ова грешка је превелика (преко 1 %), па је нова претпостављена температура продуката сагоревања  $t_{sp2}=2033$  °C:

$$t_{siz1} = \frac{1.094.756 + 3,71 \cdot 8862}{1,4 \cdot 54,74 + 2,4 \cdot 44,05 + 0,26 \cdot 35,20 + 10,75 \cdot 33,29} = 2052 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

## 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  
коефицијент 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  $C_mH_nO_o$ :

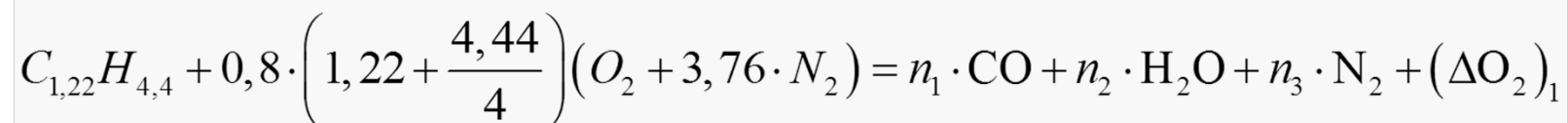
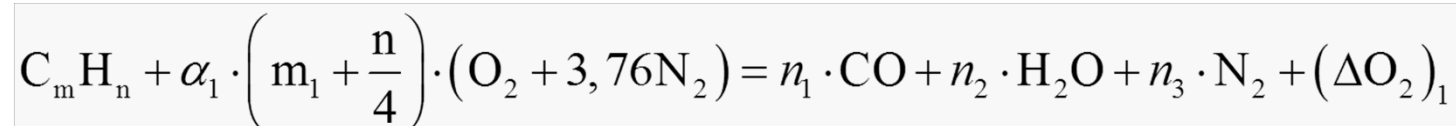
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,83 \cdot 1 + 0,12 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 = 1,22$$

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



# 5. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуτροшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

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

# 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:

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

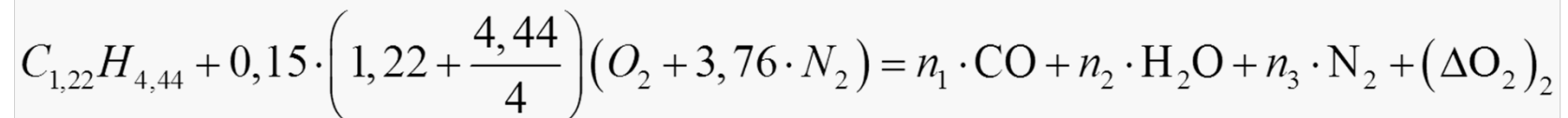
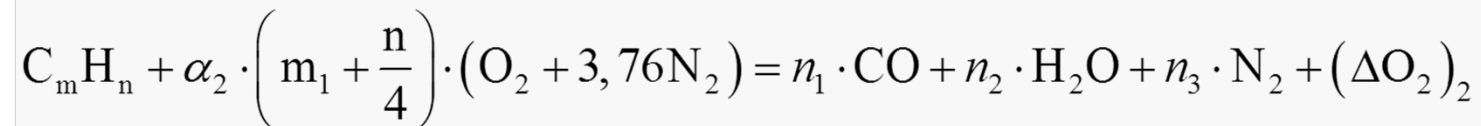
$$H_2O = 21,25 \quad (\%v/v)$$

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

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

# 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

$$t_{\text{sp1}} = 2000 \text{ } ^\circ\text{C}:$$

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

## 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:

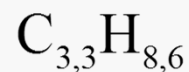
- а) састав продуката сагоревања после првог степена сагоревања,
- б) температуру сагоревања после другог степена сагоревања,
- в) колико ће се повећати температура сагоревања после другог степена сагоревања ако се ваздух у првом степену предгрева на  $400\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 6. задатак (решење)

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

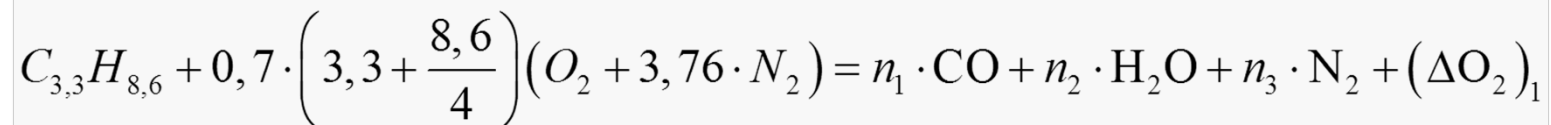
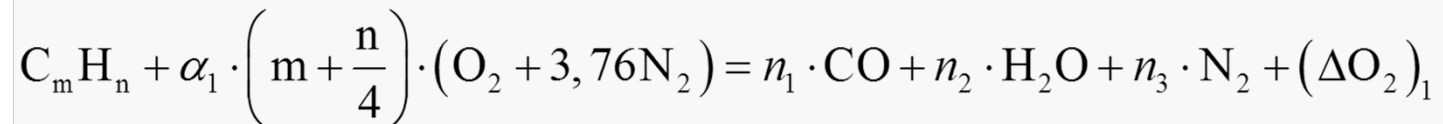
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,7 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,3$$

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



## 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 продукта сагоревања на крају 1.  
степен сагоревања:

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

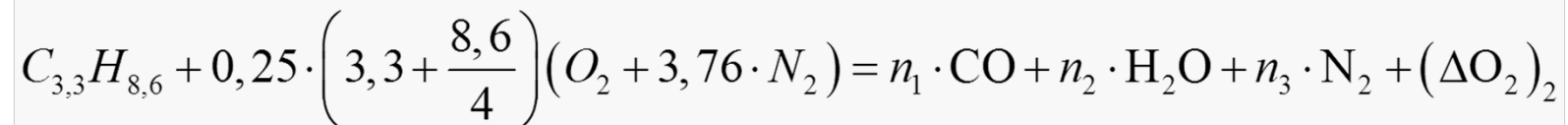
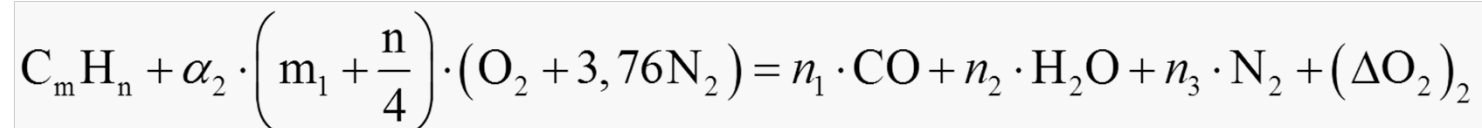
$$H_2O = 19,59 \quad (\%V/V)$$

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

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

## 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:

$$L_{\text{stv1}} = \alpha_1 \cdot L_{\min} = 0,7 \cdot 25,952 = 18,166 \left( \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

# 6. задатак (решење)

- Енталпија ваздуха:

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

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

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

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

## 6. задатак (решење)

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

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