



Сагоревање М

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 (практична за дат масени састав горива)

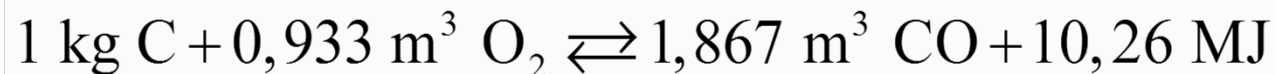
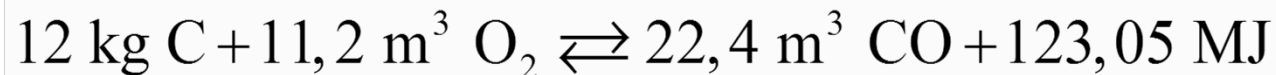
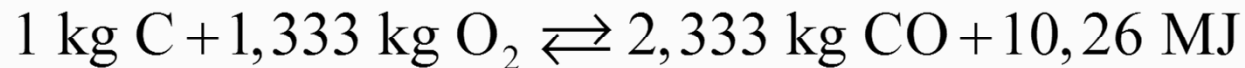
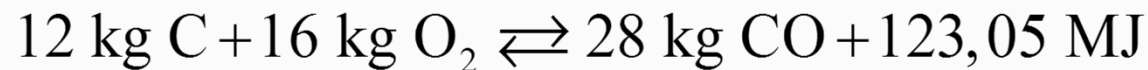
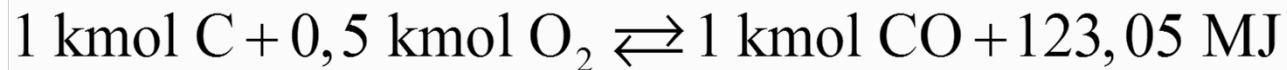
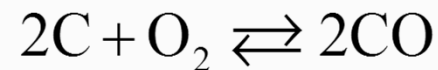
- Претпоставка: Једини продукт непотпуног сагоревања је угљен моноксид (CO).
- Прорачун се састоји од 2 фазе:
 - 1. фаза (сав H_2 сагорева у H_2O , сав S сагорева у SO_2 , сав C сагорева у CO);
 - 2. фаза сав преостали O_2 из 1. фазе се користи за сагоревање дела CO у CO_2 .

1. метода

- Прорачун се састоји од 2 фазе:
 - 1. фаза се обавља као и код потпуног сагоревања: одреде се O_{\min} , L_{\min} , L_{stv} ;
 - 2. фаза: 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 (ΔO_2) за 2. фазу.

1. метода

- Сагоревање угљеника до угљен монооксида:



1. метода

- 1. фаза сагоревања:

- уведена количина O_2 у процес сагоревања

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

- Теоријски потребна количина O_2 у 1. фази

$$O_{\text{min}} = 0,933 \cdot g_{\text{C}} + 5,6 \cdot g_{\text{H}} + 0,7 \cdot g_{\text{S}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

1. метода

■ 2. фаза сагоревања:

- уведена количина O_2 у процес сагоревања

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

- утрошена количина O_2 у 1. фази

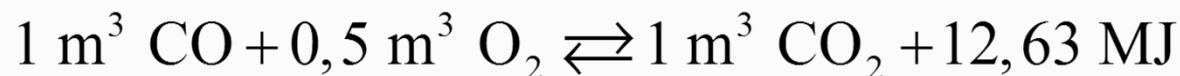
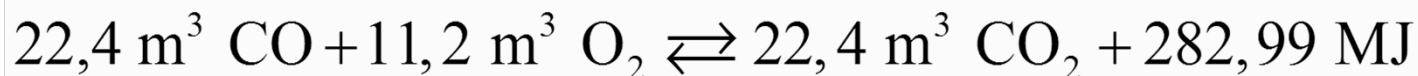
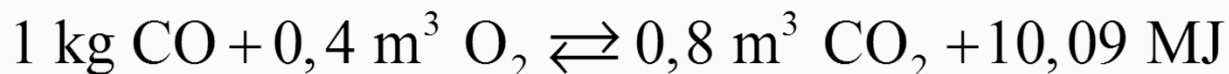
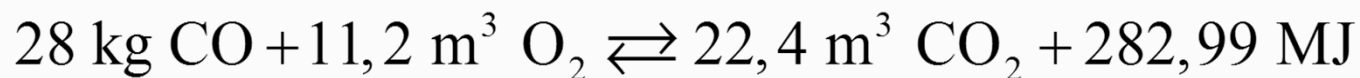
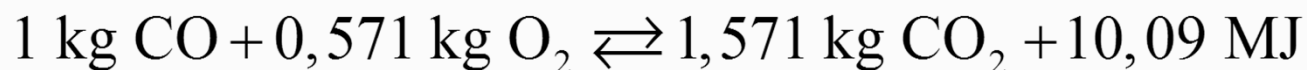
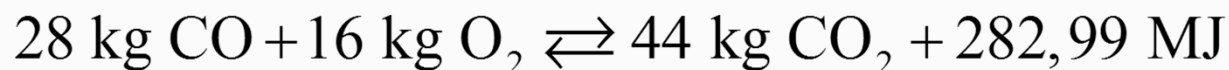
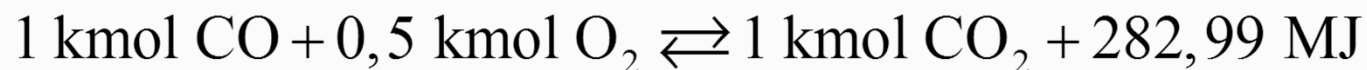
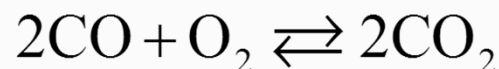
$$O_{\text{min}} = 0,933 \cdot g_{\text{C}} + 5,6 \cdot g_{\text{H}} + 0,7 \cdot g_{\text{S}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

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

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

1. метода

- Сагоревање угљен монооксида:



1. метода

- у 2. фази 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_{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

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

- утрошена количина O_2 у 1. фази

$$O_{\text{utr}} = 0,933 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H = 0,933 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 = 2,100 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

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

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

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:

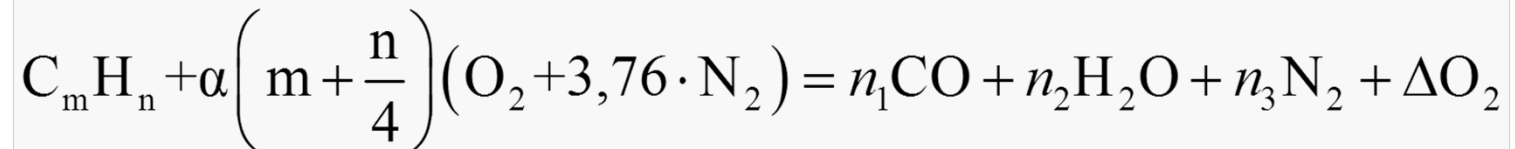
| Гас | Количина (m ³ /kg) | Састав (%V/V) |
|------------------|----------------------------------|------------------|
| CO | 1,122 | 8,89 |
| CO ₂ | 0,278 | 2,20 |
| H ₂ O | 2,800 | 22,18 |
| N ₂ | 8,425 | 66,73 |
| Влажни п.с. | 12,625 | 100,00 |

2. метода

- Гориво мора да се изрази формулом фиктивног угљоводоника C_mH_n :
- Прорачун се састоји од 2 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

$$\frac{n}{2} = n_2 \quad (\text{зато што: } 2H_2 + O_2 \rightleftharpoons 2H_2O)$$

– 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

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

- утрошена количина O_2 у 1. фази

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

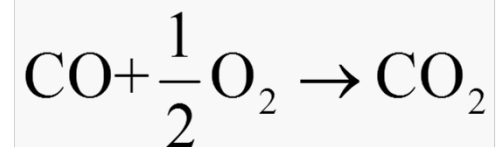
$\frac{n_1}{2}$ зато што је $C + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons CO$

- 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 ₂ O | n 2 |
| N ₂ | $\alpha \cdot \left(m \cdot 1 + \frac{n}{4} \right) \cdot 3,76$ |
| CO ₂ | $2 \cdot \Lambda O_2$ |

2. задатак (текст)

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

а) количину продуката сагоревања,

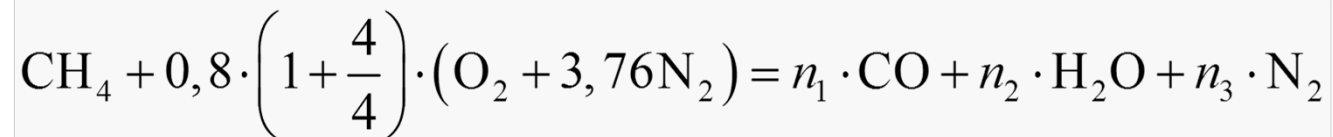
б) састав продуката сагоревања,

в) калориметарску температуру сагоревања, ако су познати подаци о тоplotној моћи CH_4 и 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 ₂ | 0,2 | 2,22 |
| H ₂ O | 2,0 | 22,18 |
| N ₂ | 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 $C_mH_nO_o$:

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

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

$$o = \sum_{i=1}^k r_i \cdot o_i = 0,05 \cdot 2 = 0,10$$



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

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

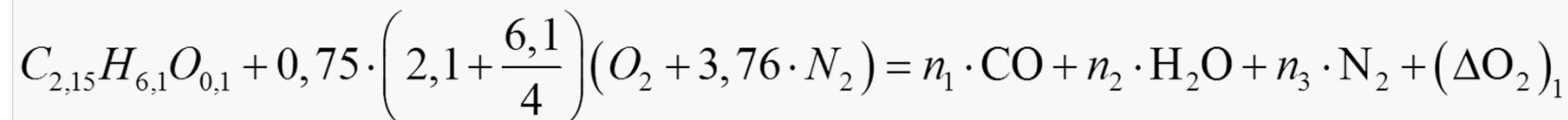
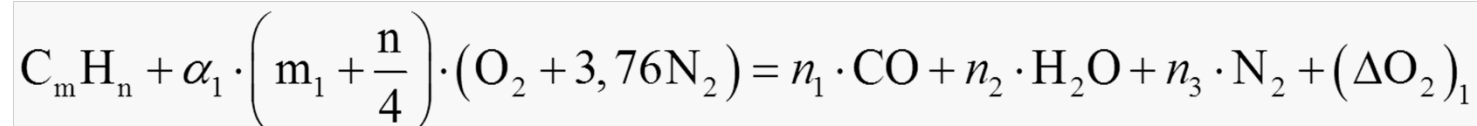
гориви угљеник

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

негориви угљеник

3. задатак (решење)

Сагоревање у 1. степену сагоревања се одвија према:



Неуτροшена количина кисеоника после 1. фазе прорачуна:

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

3. задатак (решење)

- Количине продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

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

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

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

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

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

3. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

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

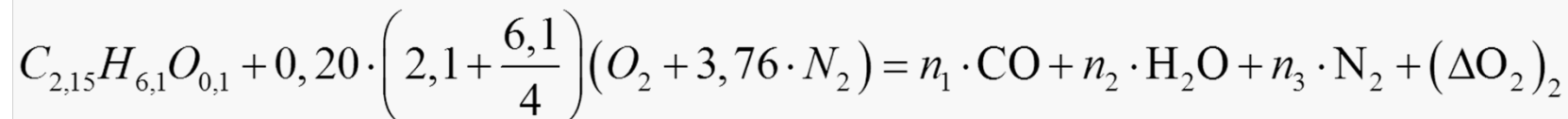
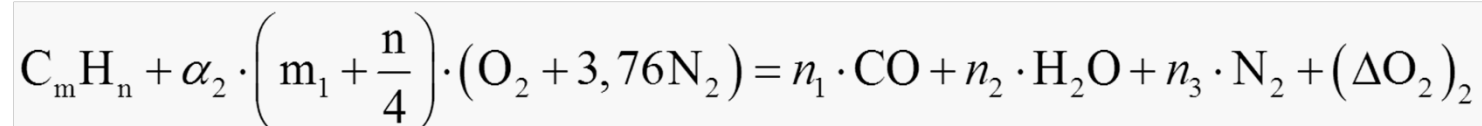
$$H_2O = 19,78 \quad (\% V / V)$$

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

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

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): $CH_4=80$, $C_3H_8=20$ 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 :

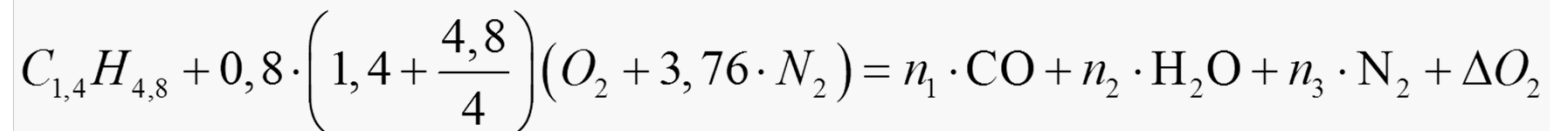
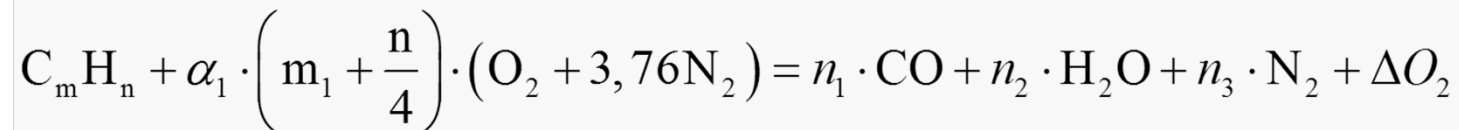
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,8 \cdot 1 + 0,2 \cdot 3 = 1,4$$

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



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:

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

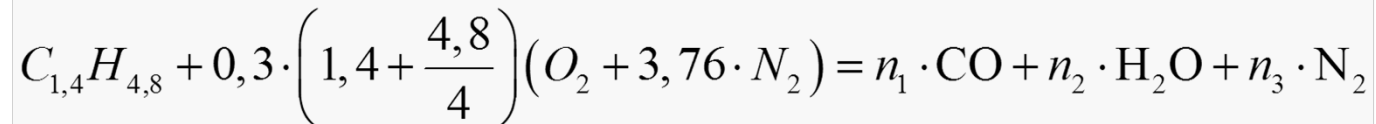
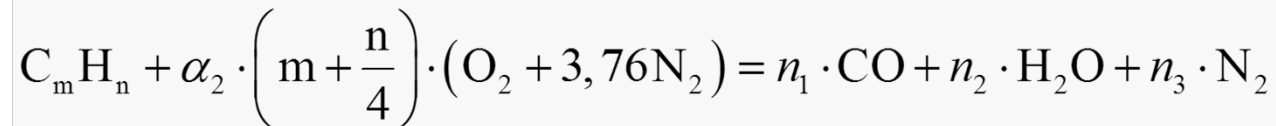
$$H_2O = 20,65 \quad (\% V / V)$$

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

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

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 $t_v = 300$ °С, 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:

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

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): $CH_4=83$ $C_2H_6=12$, $C_3H_8=5$ 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 $C_mH_nO_o$:

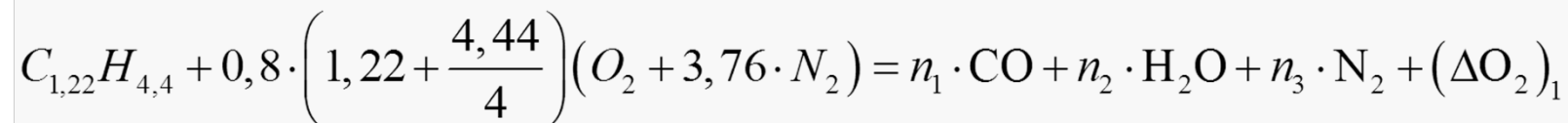
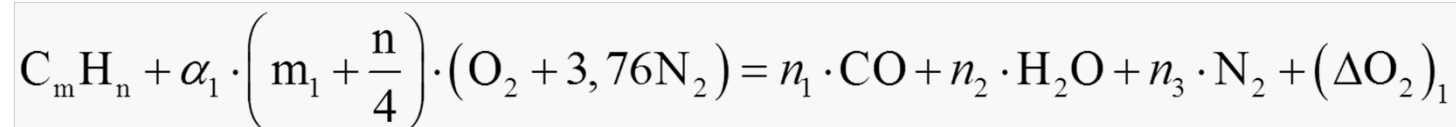
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,83 \cdot 1 + 0,12 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 = 1,22$$

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



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:

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

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

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

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

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

5. задатак (решење)

- Састав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

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

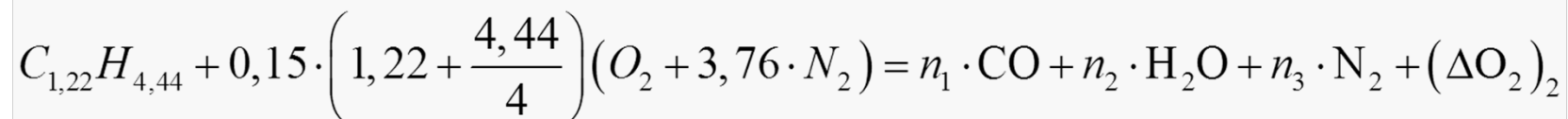
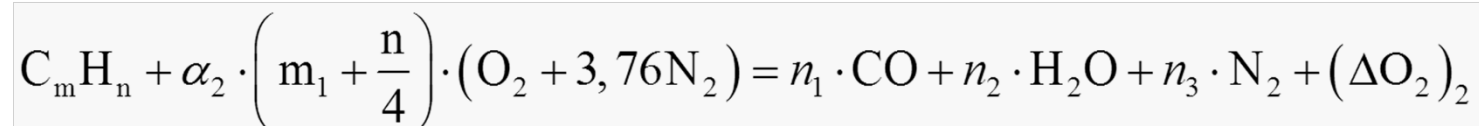
$$H_2O = 21,25 \quad (\% V / V)$$

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

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

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

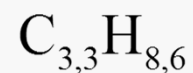
- а) састав продуката сагоревања после првог степена сагоревања,
- б) температуру сагоревања после другог степена сагоревања,
- в) колико ће се повећати температура сагоревања после другог степена сагоревања ако се ваздух у првом степену предгрева на $400\text{ }^\circ\text{C}$.

6. задатак (решење)

Прво се одређује фиктивна формула гасовитог горива у облику C_mH_n :

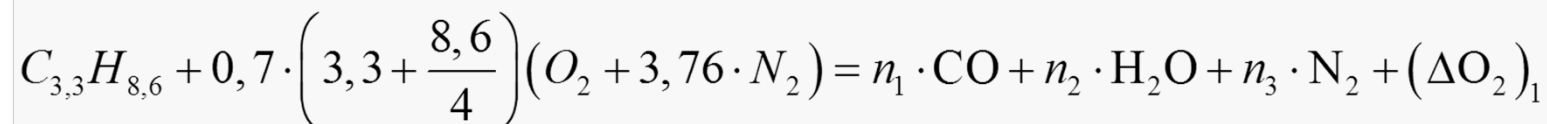
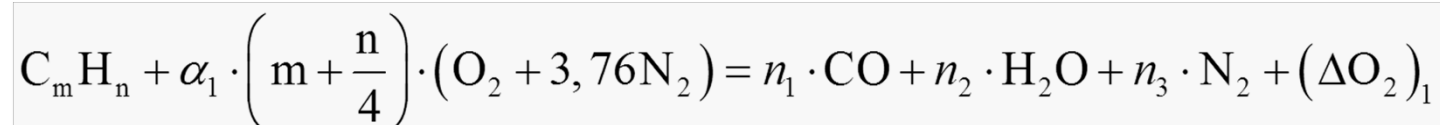
$$m = \sum_{i=1}^k r_i \cdot m_i = 0,7 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,3$$

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



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) Состав продуката сагоревања на крају 1. степена сагоревања:

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

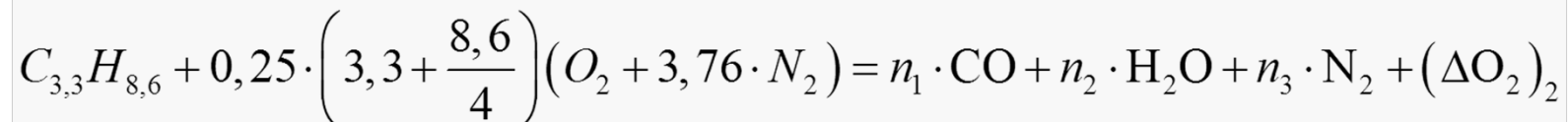
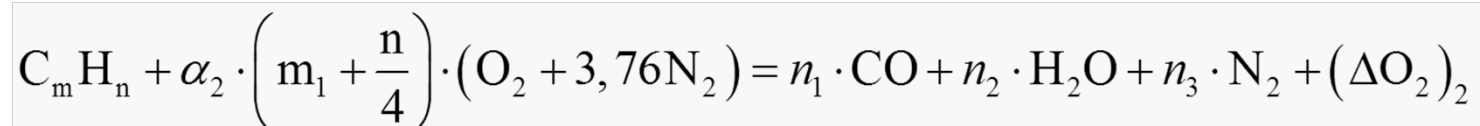
$$H_2O = 19,59 \quad (\% V / V)$$

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

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

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:

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

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 $t_{sp1} = 2300 \text{ }^\circ\text{C}$:

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

6. задатак (решење)

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

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

7. задатак (текст)

Са којим коефицијентом вишка ваздуха сагорева угаљ ако је мерењем утврђен следећи састав сувих продуката сагоревања (% V/V): $CO_2=7,2$; $O_2=2,1$; $SO_2=0,5$; $CO=0,3$.

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): $C=85,95$; $H=11,31$; $O_2=0,51$; $N=0,31$; $S=1,75$; $W=0,15$; $A=0,02$.

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 С у СО:

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

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

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

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