



Горива и индустријска вода

предавања, школска 2022/23

др Владимир Јовановић, ван.проф.



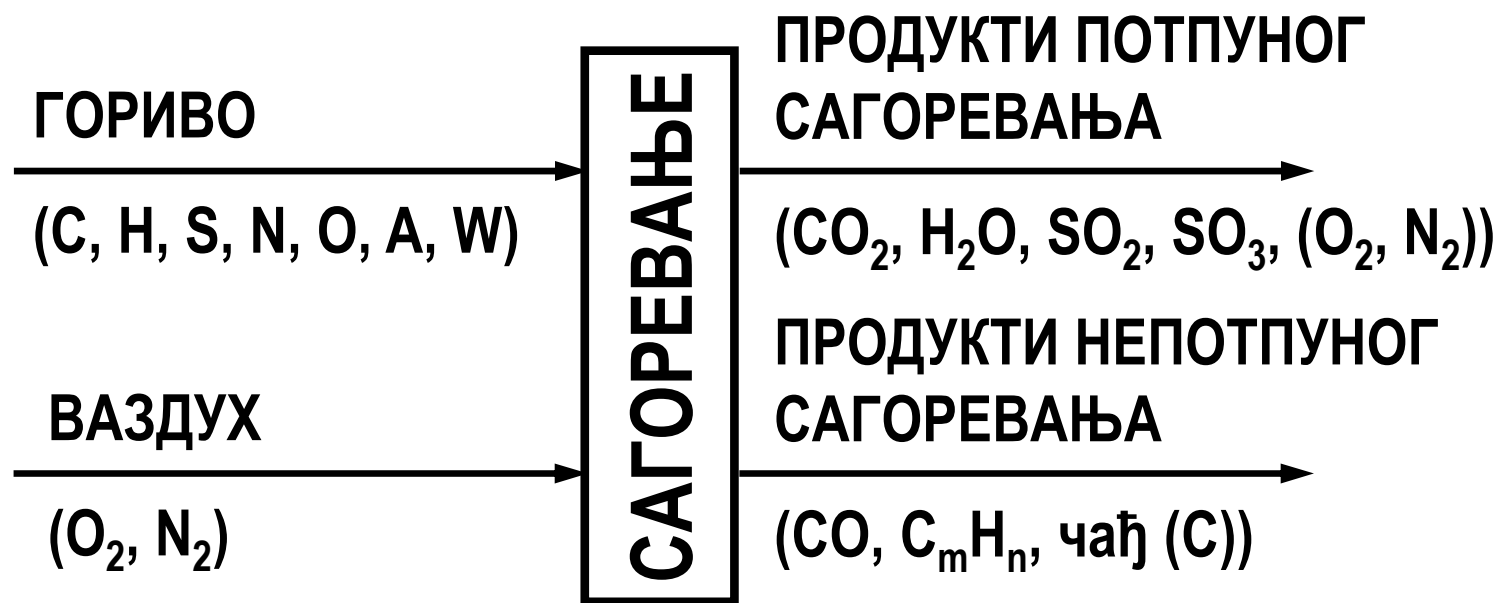
Сагоревање горива (учесници и саучесници)



- Гориви елементи: C, H, S
- Негориви елементи: O, N, A, W
- Оксидатор (ваздух, тј. кисеоник из њега)
- Продукти сагоревања – деле се на основу:
 1. потпуности сагоревања (потпуног и непотпуног),
 2. токсичности (токсични и нетоксични).

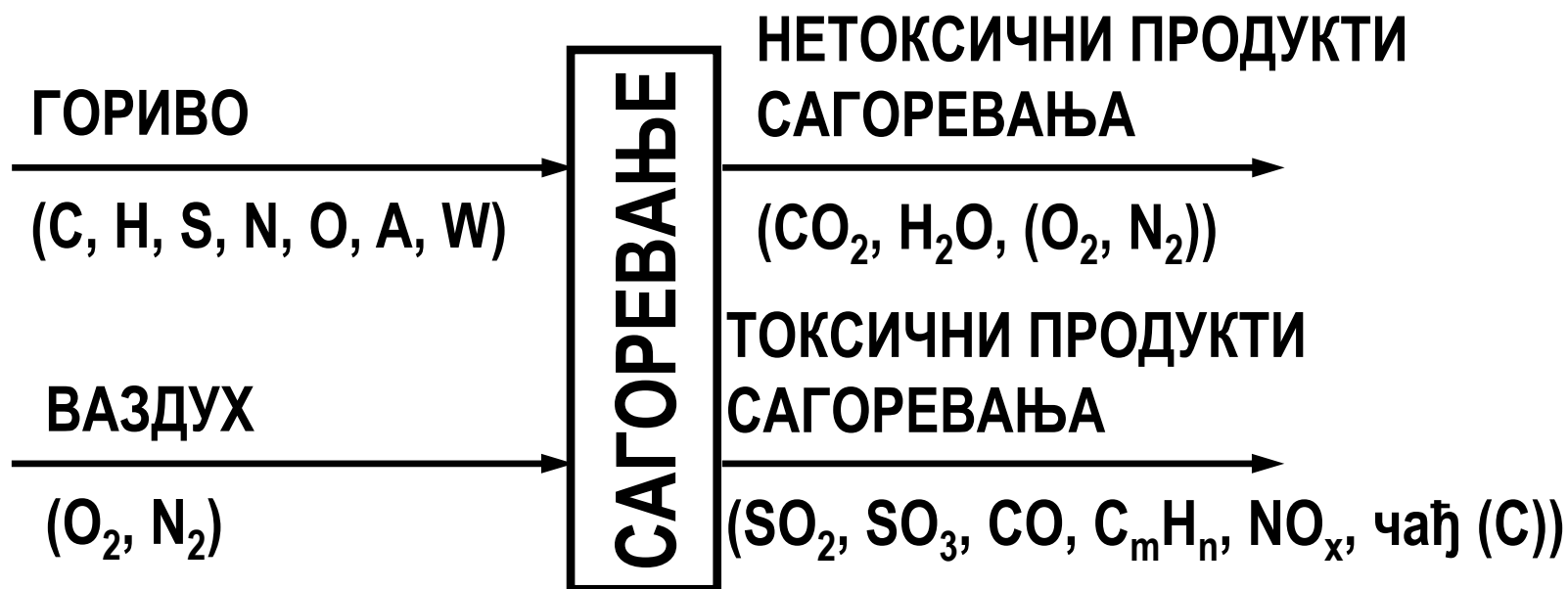


Ко улази, а ко излази из процеса сагоревања? (критеријум 1)





Ко улази, а ко излази из процеса сагоревања? (критеријум 2)





Шта је коначни циљ?

1. Одредити **колико је оксидатора** потребно за сагоревање јединице количине (масе, запремине, материје) горива.
2. Одредити **количину продукта сагоревања** који настају сагоревањем јединице количине горива.
3. Одредити **количину топлоте** која се добије сагоревањем јединице количине горива.



Којим путем до циља?

1. Стехиометријским – поставити стехиометријске ј-не сагоревања појединих горивих елемената.
2. Укупна количина за гориво добија се сабирањем количина за појединачне гориве елементе, односно појединачне продукте сагоревања.



Којим путем до циља?

How to Calculate Stoichiometric Air Fuel Ratio_ -
Magic Marks.mp4



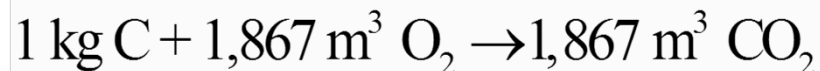
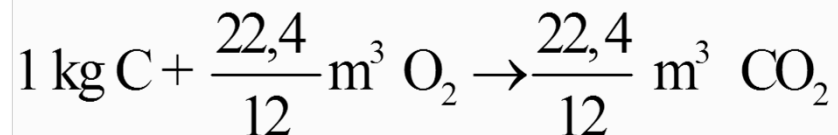
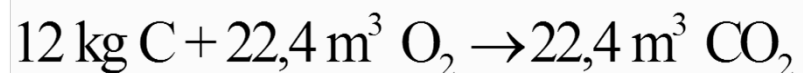
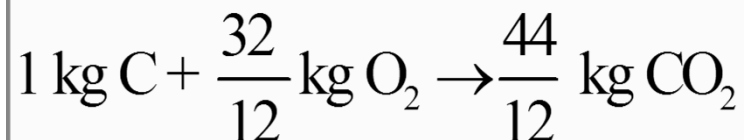
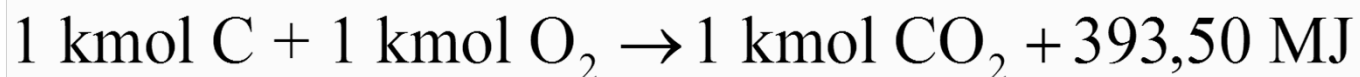
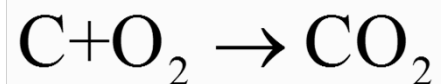
Шта нам је потребно?

- Мало знања из елементарне хемије...
- Моларне масе хемијских елемената и продуката сагоревања:
- Запремина 1 kmol идеалног гаса у нормалним условима ($22,4 \text{ m}^3$)

Елемент	Моларна маса (kg/kmol)
C	12
O ₂	32
H ₂	2
S	32
N ₂	28
CO ₂	44
SO ₂	64
H ₂ O	18

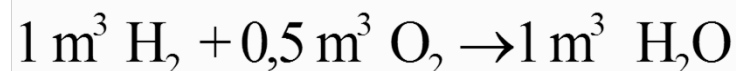
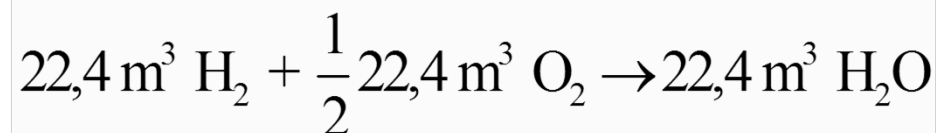
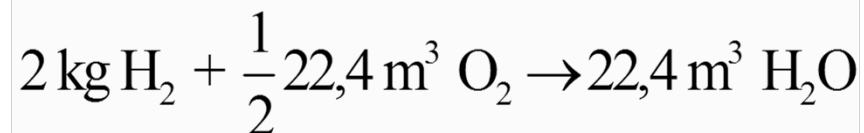
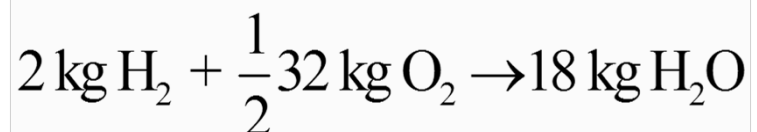
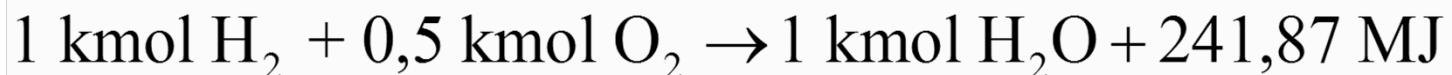
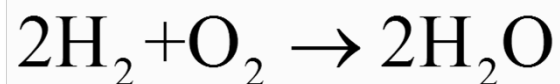


Стехиометријска ј-на сагоревања угљеника



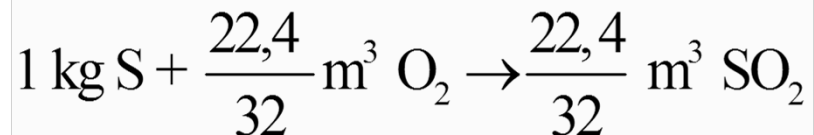
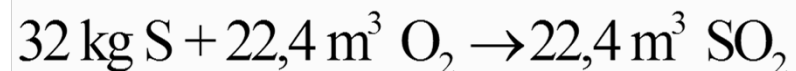
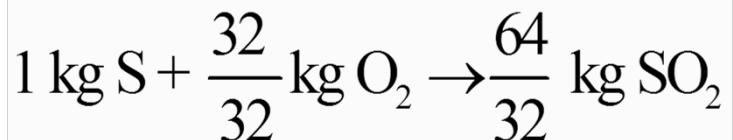
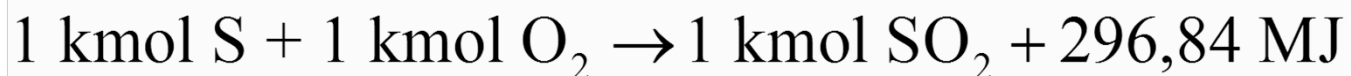
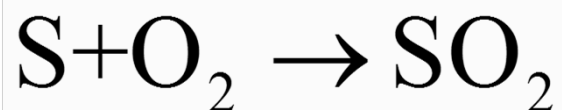


Стехиометријска ј-на сагоревања водоника





Стехиометријска ј-на сагоревања сумпора





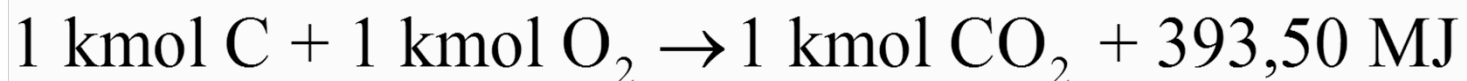
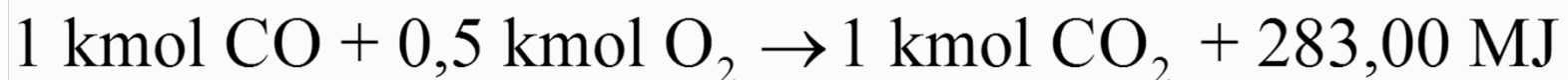
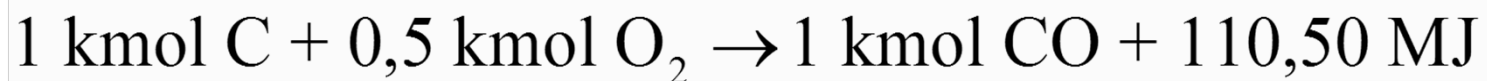
✓...

Хесов закон (закон константности тоplotног збира, односно адитивности топлота)

- Без обзира у колико корака се нека хемијска реакција одигравала на $p=\text{const.}$ или $V=\text{const.}$ промена стандардне енталпије односно унутрашње енергије је увек иста и зависи искључиво од почетног и крајњег стања система.
- Количина топлоте која се добије или утроши током одређене термохемијске реакције не зависи од пута одвијања реакције, већ само од почетног и крајњег стања.

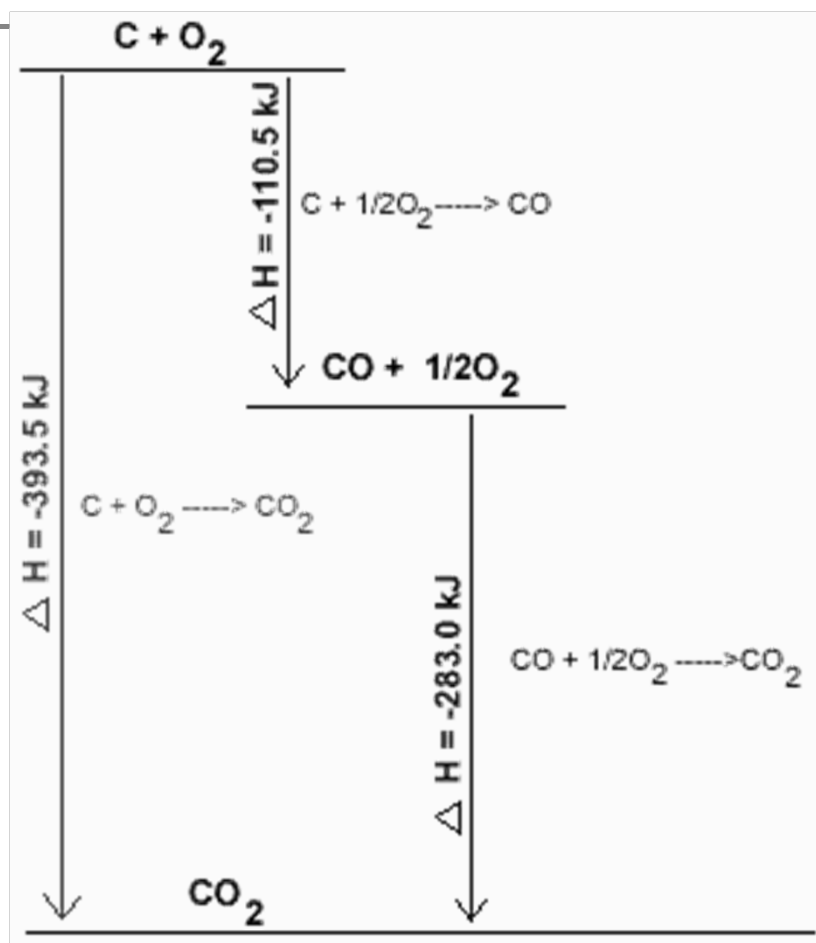


Хесов закон (сагоревање угљеника)





Хесов закон (графички приказ)





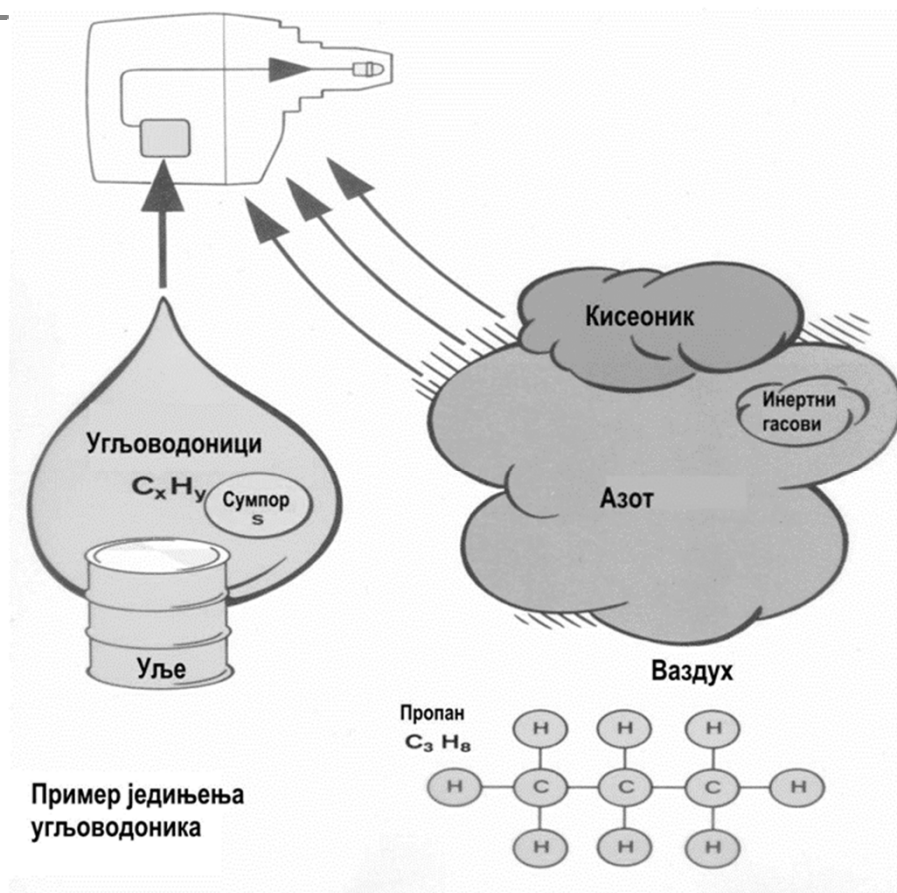
Крај стехиометрије – почетак праксе



- Стехиометрија је дала ПОЈЕДИНАЧНЕ вредности...
- ... инжењера занимају **УКУПНЕ** вредности! ЗАШТО?
- Да би димензионисао:
 - вентилаторе за ваздух/димни гас,
 - додаваче, пумпе,
 - цевоводе/канале.



Пример сагоревања течног горива





Шта је потребно за потпуно сагоревање?



- теоријска/минимално потребна количина кисеоника,
- теоријска/минимално потребна количина ваздуха,
- стварна количина ваздуха.



Теоријска/минимално потребна количина кисеоника



$$O_{\min} \text{ (kg/kg)} = 2,667 g_C + 8 g_H + g_S - g_O$$

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



Теоријска/минимално потребна количина кисеоника за гориво фиктивне формуле $C_m H_n O_o$

$$O_{\min} \text{ (kmol/kmol)} = m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2}$$
$$O_{\min} \text{ (m}^3\text{/kg)} = \frac{22,4 \left(m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} \right)}{12m + n + 16o}$$
$$O_{\min} \text{ (kg/kg)} = \frac{32 \left(m + \frac{n}{4} - \frac{o}{2} \right)}{12m + n + 16o}$$



Теоријска/минимално потребна количина ваздуха

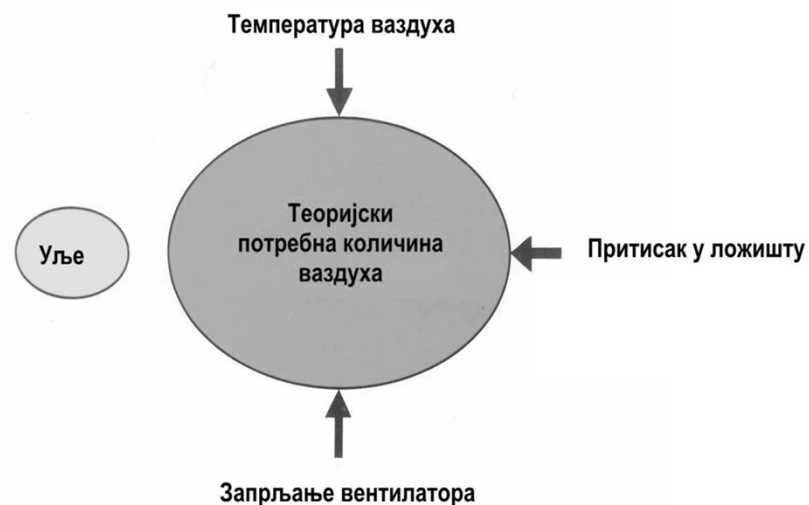


$$L_{\min} \text{ (kg/kg)} = \frac{O_{\min} \text{ (kg/kg)}}{0,23}$$

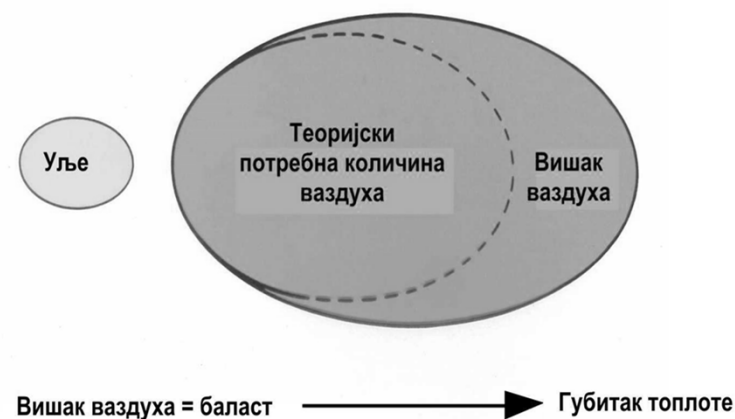
$$L_{\min} \text{ (m}^3\text{/kg)} = \frac{O_{\min} \text{ (m}^3\text{/kg)}}{0,21}$$



Теоријска/минимално потребна количина ваздуха и стварна количина ваздуха



Да би се спречио недостатак ваздуха услед дејства спољашњих чинилаца, при сагоревању се користи вишак ваздуха!





Стварна количина ваздуха

■ Стварна количина ваздуха

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

■ Коефицијент вишка ваздуха

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



Вишак ваздуха и садржај кисеоника у димном гасу

Коеф. вишка ваздуха	Угљен диоксид - CO ₂ – у димном гасу (% v/v)					Кисеоник у димном гасу за сва горива (% v/v)
	Природни гас	Пропан Бутан	Уље за ложење	Мрки угаљ	Антрацит	
1	12	14	15,5	18	20	0
1,20	10,5	12	13,5	15,5	16,5	3
1,40	9	10	12	13,5	14	5
1,60	8	9	10	12	12,5	7,5
1,80	7	8	9	11	11,5	9
2,00	6	6	8	9,5	10	10



Количина продуката сагоревања

■ „Прави“ продукти сагоревања:

$$V_{\text{CO}_2} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = 1,867 \cdot g_{\text{C}}$$

$$V_{\text{SO}_2} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = 0,7 \cdot g_{\text{S}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = 11,2 \cdot g_{\text{H}} + 1,24 (g_{\text{W}} + g_{\text{Wvaz}})$$

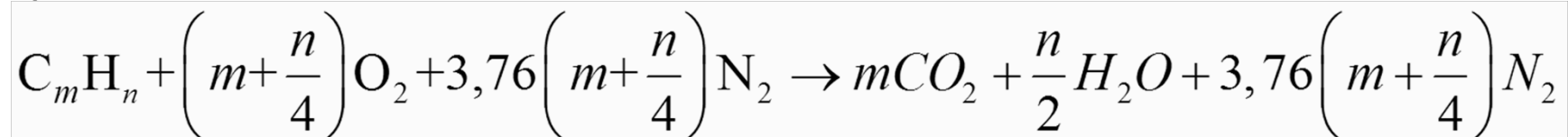
■ „Неправи“ продукти сагоревања:

$$V_{\text{O}_2} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = 0,21 (\lambda - 1) L_{\text{min}}$$

$$V_{\text{N}_2} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = 0,8 \cdot g_{\text{N}} + 0,79 \cdot L_{\text{min}}$$



Сагоревање горива фиктивне формуле C_mH_n





Количина продуката сагоревања за гориво фиктивне формуле $C_mH_nO_o$

- „Прави“ продукти сагоревања:

$$V_{CO_2} \left(m^3 / kg \right) = \frac{22,4m}{12m + n + 16o}$$

$$V_{H_2O} \left(m^3 / kg \right) = \frac{11,2n}{12m + n + 16o}$$



Укупна количина продуката сагоревања



■ Влажни продукти сагоревања:

$$V_v \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2}$$

■ Суви продукти сагоревања:

$$V_s \left(\text{m}^3 / \text{kg} \right) = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2}$$



Састав продуката сагоревања

$$X = \frac{V_X}{V_{ps}} \cdot 100 \quad (\% \text{ } v / v)$$

X – x-ти продукт сагоревања

ps – продукти сагоревања (влажни/суви)

Пример за угљен диоксид:

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



Топлотна моћ - појам

- једна од најважнијих карактеристика свих горива;
- **представља количину топлоте која се добије потпуним сагоревањем јединичне количине горива;**
- у зависности од тога у односу на коју количину се даје разликују се: масена (kJ/kg), запреминска (kJ/m_N^3) и моларна (kJ/kmol) топлотна моћ.



Подела топлотних моћи

- два критеријума:
 - **ТОПЛОТНИ НИВО** продуката сагоревања (заправо температура прод. саг.) и
 - **УСЛОВИ** под којима се процес сагоревања одвија (да ли је $p=\text{const}$ или $V=\text{const}$).



Врсте топлотних моћи

(на основу топлотног нивоа продукта сагоревања)

- горња топлотна моћ (топлота сагоревања) – H_g ,
- доња топлотна моћ (топлотна вредност) – H_d .

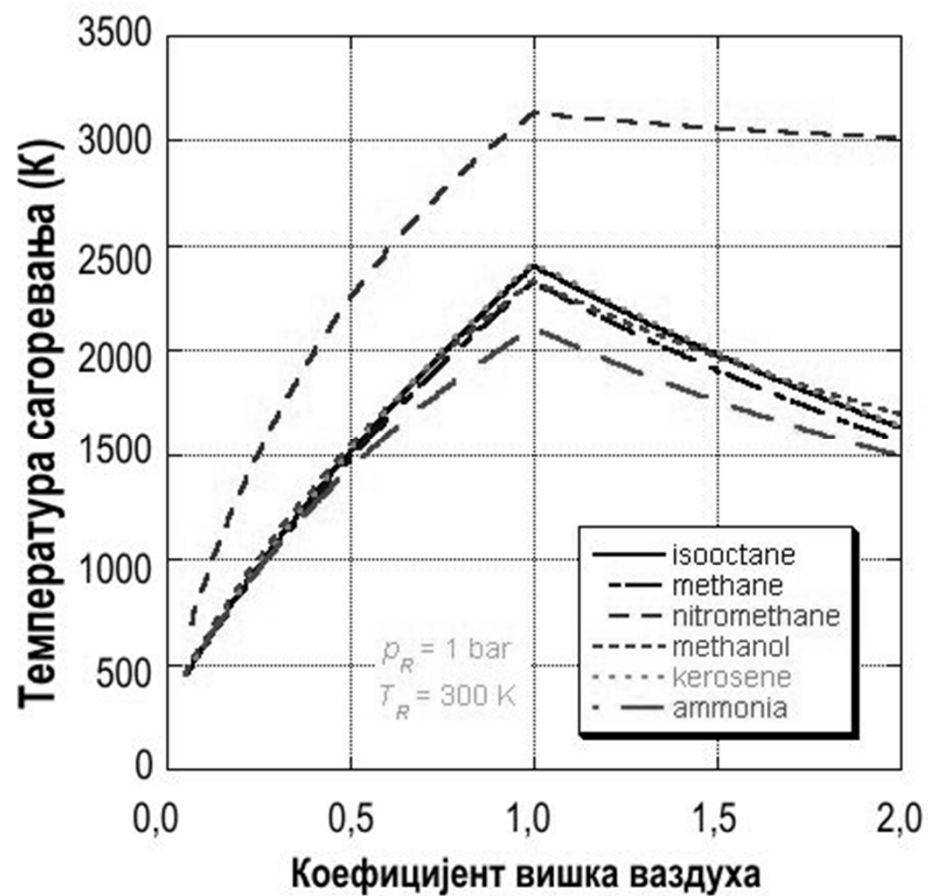


Температура сагоревања

- Температура коју имају гасовити продукти, као резултат загревања топлотом која је настала сагоревањем горива.
- Директно је пропорционална тоplotној моћи горива.
- Обрнуто је пропорционална запремини продукта сагоревања и њиховом специфичном тоplotном капацитету.
- Разликују се: **калориметарска, теоријска и стварна температура сагоревања.**



Температура сагоревања у зависности од λ





Калориметарска температура сагоревања



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

$$t_s = \frac{H_d \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + L_{\text{stv}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \cdot h_{\text{vaz}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right) + h_{\text{gor}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{\sum V_i \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right)}$$



Теоријска температура сагоревања



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

$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_{vaz} + h_{gor} - Q_{dis}}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$



Стварна температура сагоревања



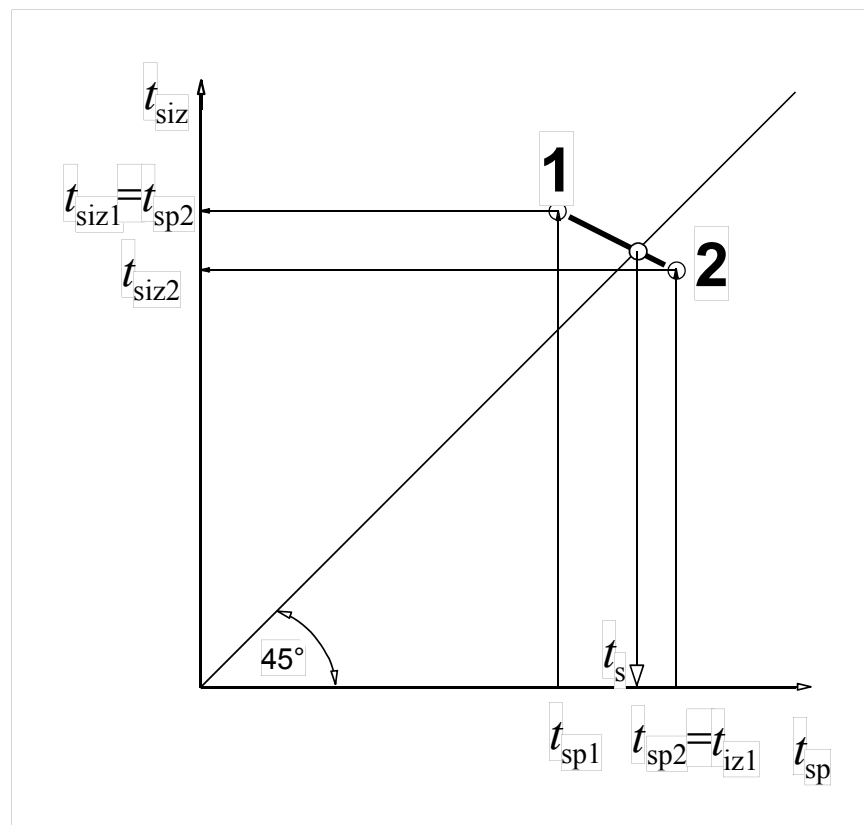
- Температура сагоревања коју имају продукти сагоревања при потпуном сагоревању, при чему се **узимају у обзир топлотни губици настали дисоцијацијом продуката сагоревања на повишеним температурама и услед размене топлоте са околином.**

$$t_s = \frac{H_d + L \cdot h_{vaz} + h_{gor} - Q_{dis} - Q_{tg}}{\sum V_i \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s}}$$



Одређивање калориметарске температуре сагоревања

- графоаналитички начин решавања:



Горива и индустријска вода, школска 2022/23
2. предавање



Ефикасност сагоревања

Постројење	Опсег вишка ваздуха	Вишак кисеоника (%)
Мотори СУС	0,8 – 1,2	-20 - +20
Горионици за гасовито гориво	1,1 – 1,3	10-30
Горионици за течено гориво	1,2 – 1,5	20-50
Горионици на угаљ у спрашеном стању	1,1 – 1,3	10-30
Решетка за сагоревање у слоју	1,3 – 1,7	30-70





Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продукта сагоревања

- Коефицијент вишка ваздуха се одређује на основу измереног садржаја кисеоника у димном гасу (O_2) и израчунате количине кисеоника у димном гасу (V_{O_2}):

$$\left. \begin{array}{l} V_{O_2} = \frac{O_2}{100} V_s \\ V_{O_2} = 0,21(\lambda - 1)L_{\min} \\ L = \lambda L_{\min} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{O_2} = 0,21(\underbrace{L - L_{\min}}_{\Delta L}) = 0,21\Delta L \left\} \Rightarrow \Delta L = \frac{O_2}{21} V_s$$

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



Одређивање коефицијента вишка ваздуха из састава продукта сагоревања

✓...

- За потпуно сагоревање:

$$\lambda = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}} \approx \frac{21}{21 - O_2} = \frac{CO_{2\max}}{CO_2}$$

- За непотпуно сагоревање:

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