



Горива и индустријска вода

аудиторна вежба



Техничка анализа (ТА)

- појам везан за чврста горива,
- обухвата низ података о гориву који су битни за његову примену,
- због изузетног значаја предмет је стандардизације (SRPS ISO 17246:2005),
- заснива се на термичком разлагању чврстог горива.



Подаци техничке анализе

- влага (груба и хигроскопска),
- волатили (гориве испарљиве материје - ГИМ),
- коксни остатак,
- минералне примесе (пепео),
- топлотна моћ (горња и доња),
- понашање пепела на повишеним температурама (топљивост),...

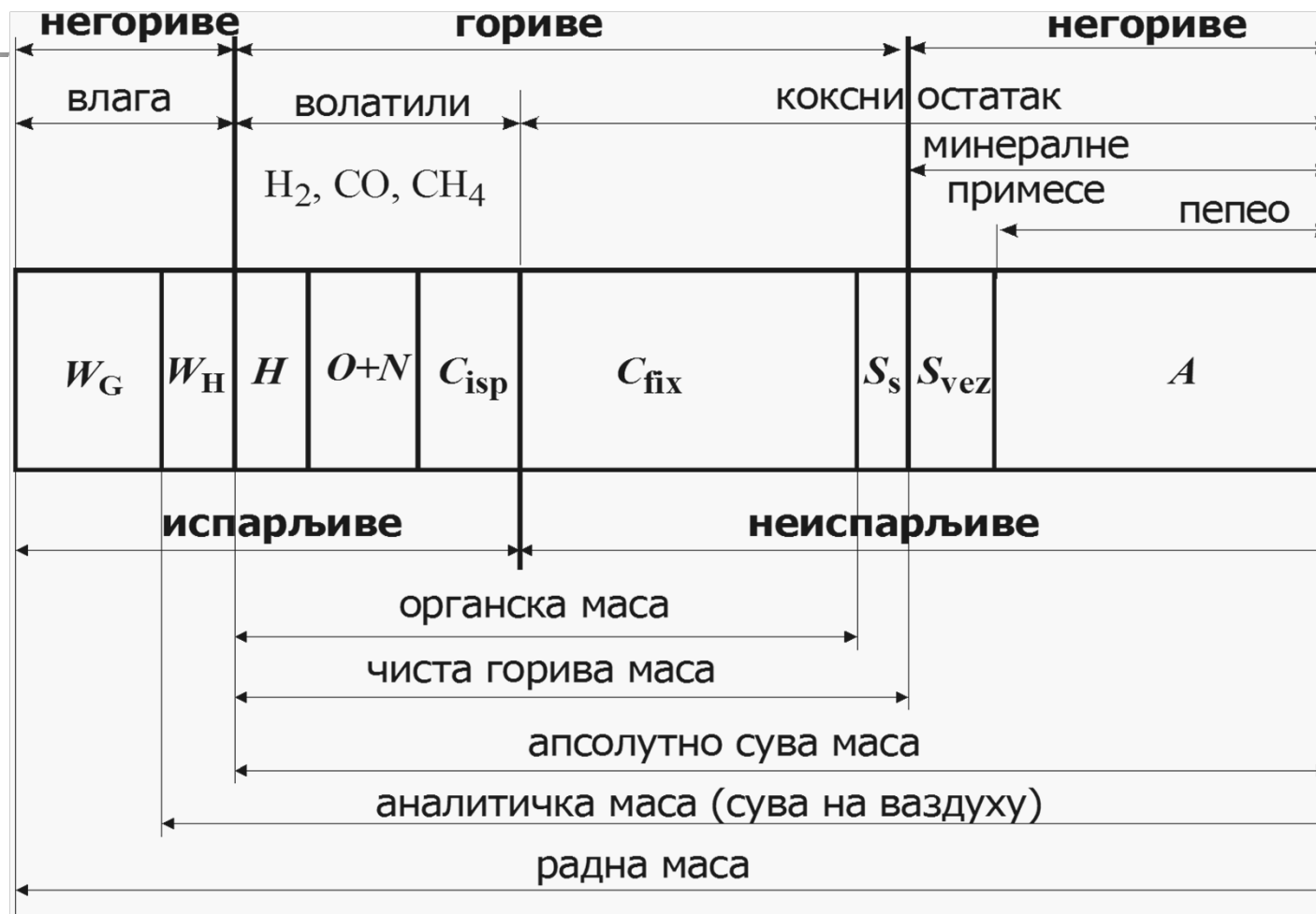


Критеријуми за ТА

- горивост:
 - гориве
 - негориве
- испарљивост
 - испарљиве
 - неиспарљиве



Графички приказ ТА





Елементарна анализа

- састав горива по хемијским елементима који га чине,
- за чврста горива то су:
 - угљеник C,
 - водоник H,
 - сумпор S,
 - азот N,
 - кисеоник O.



Математички изрази за различите условне масе

- радна маса (as received)

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S_g^r + A^r + W_H^r + W_G = 100 \quad [\%]$$

- аналитичка маса (air dry)

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S_g^a + A^a + W_H^a = 100 \quad [\%]$$

- апсолутно сува маса (moisture free)

$$C^s + H^s + O^s + N^s + S_g^s + A^s = 100 \quad [\%]$$

- чиста горива маса (dry ash free)

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S_g^g = 100 \quad [\%]$$



Коефицијенти за прерачунавање са једне на другу условну масу горива

- са аналитичке на радну масу:

$$X^r = \frac{100 - W_G}{100} \cdot X^a$$

- са радне на аналитичку масу:

$$X^a = \frac{100}{100 - W_G} \cdot X^r$$

- са апсолутно суве на радну масу:

$$X^r = \frac{100 - W_G - W_H^r}{100} \cdot X^s$$

- са радне на апсолутно суву масу:

$$X^s = \frac{100}{100 - W_G - W_H^r} \cdot X^r$$



Коефицијенти за прерачунавање са једне на другу условну масу горива

- са аналитичке на апсолутно суву масу:

$$X^s = \frac{100}{100 - W_H^a} \cdot X^a$$

- са апсолутно суве на аналитичку масу:

$$X^a = \frac{100 - W_H^a}{100} \cdot X^s$$

- са аналитичке на чисту гориву масу:

$$X^g = \frac{100^a}{100 - W_H^a - A^a} \cdot X^a$$

- са чисте гориве на аналитичку масу:

$$X^a = \frac{100 - W_H^a - A^a}{100} \cdot X^g$$



Коефицијенти за прерачунавање са једне на другу условну масу горива

- са чисте гориве на апсолутно суву масу:

$$X^s = \frac{100 - A^s}{100} \cdot X^g$$

- са апсолутно суве на чисту гориву масу:

$$X^g = \frac{100}{100 - A^s} \cdot X^s$$

- са радне на чисту гориву масу:

$$X^g = \frac{100}{100 - W_G - W_H^r - A^r} \cdot X^r$$

- са чисте гориве на радну масу:

$$X^r = \frac{100 - W_G - W_H^r - A^r}{100} \cdot X^g$$



Пример табеле са саставима горива

Компонента горива	Условна маса дата текстом задатка (r, a, s, g)	Условна маса на коју се прерачунава (r, a, s, g)
C		
H		
O		
S		
A		
W_H		
W_G		
N		



Израчунавање топлотне моћи на основу података елементарне и техничке анализе (VDI образац)

- горња топлотна моћ:

$$H_g = 340 \cdot C + 1420 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 93 \cdot S \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

- доња топлотна моћ

$$H_d = 340 \cdot C + 1190 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 93 \cdot S - 25 \cdot W \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$



Шта смо научили?

- техничка анализа (ТА)
- подаци техничке анализе
- критеријуми ТА
- елементарна анализа (ЕА)
- условне масе горива и прерачунавање
- израчунавање топлотне моћи на основу података ЕА и ТА



Прорачун количине продуката сагоревања

- Зашто је потребно знати количину продуката сагоревања?
- Одакле почети?
- Којим путем?
- Који су циљеви прорачуна?



Зашто је потребно знати количину продуката сагоревања?

- продукти сагоревања су основни извор топлоте у котловима,
- они предају топлоту радним флуидима,
- расположива количина топлоте је непосредно везана за количину продуката сагоревања (и њихову температуру).



Одакле почети?

- стехиометријске j-не сагоревања,
- елементарна и техничка анализа.



Којим путем?

Теоријски потребна количина кисеоника:

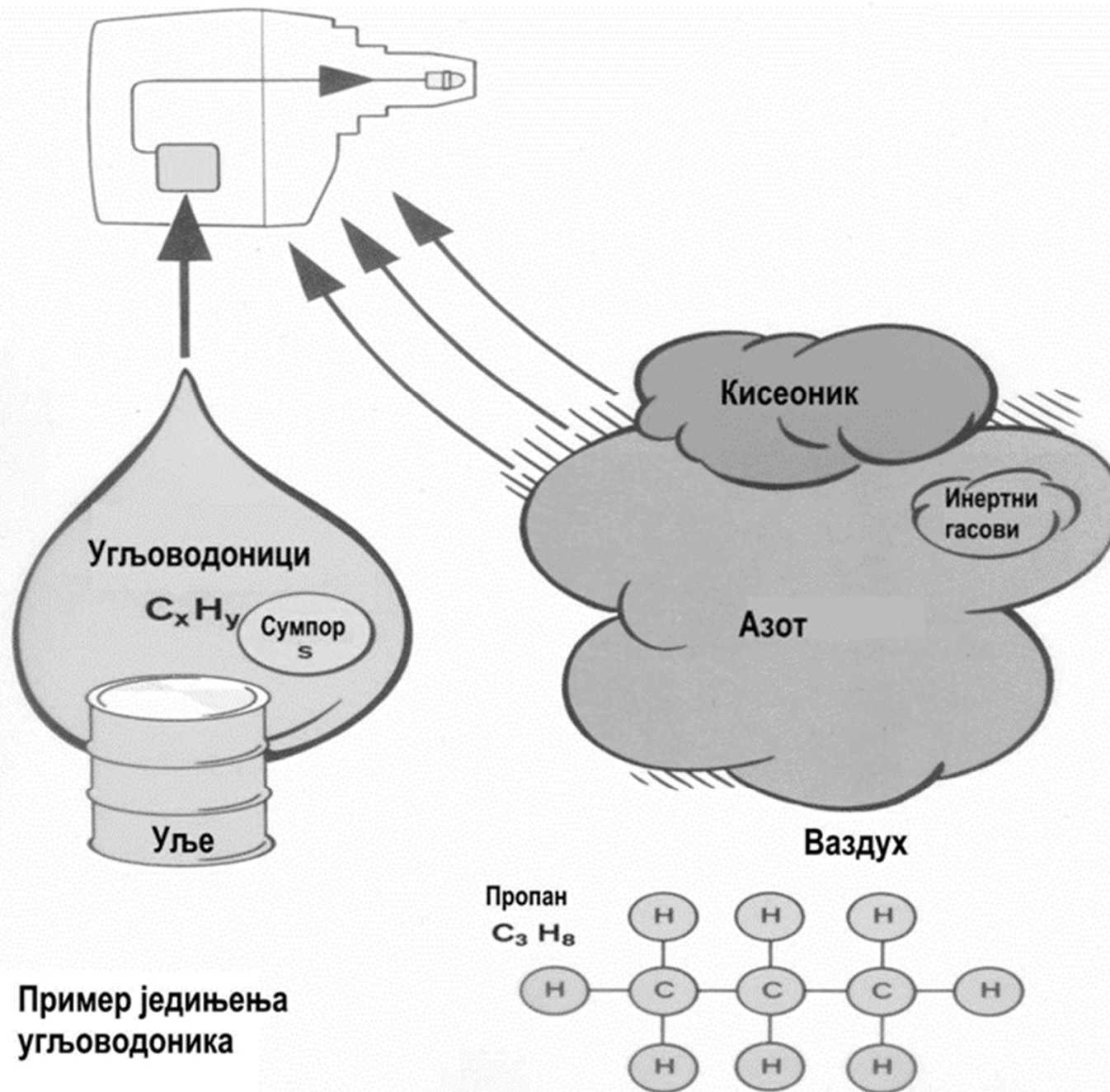
$$O_{\min} = 1,867 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H + 0,7 \cdot g_S - 0,7 g_O \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Теоријски потребна количина ваздуха:

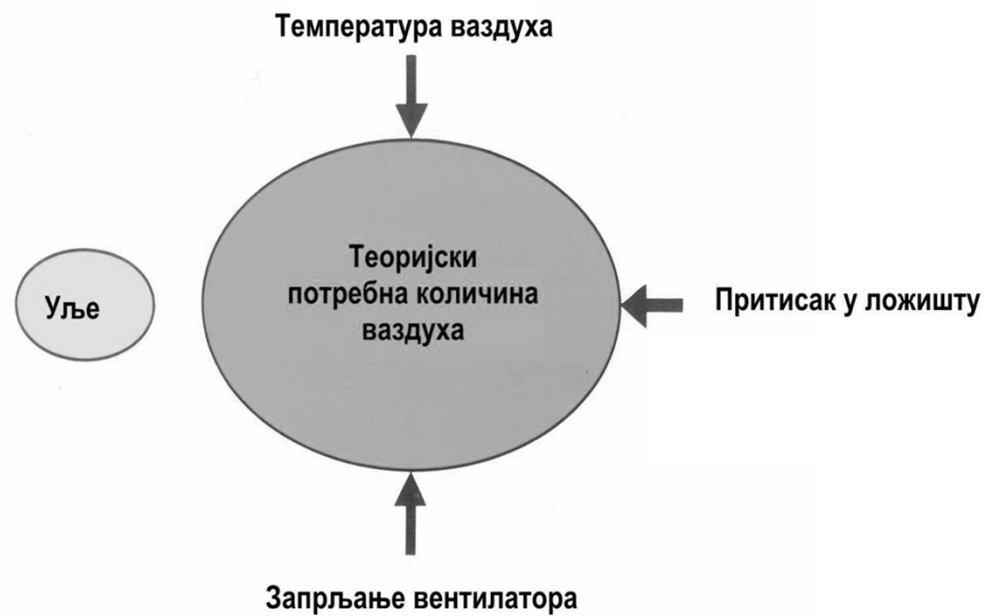
$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Стварно потребна количина ваздуха:

$$L_{\text{stv}} = \alpha \cdot L_{\min} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$



Пример једињења
угљоводоника



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



Вишак ваздуха = баласт → Губитак топлоте

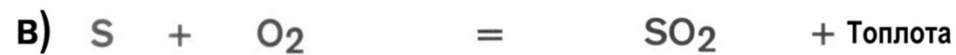
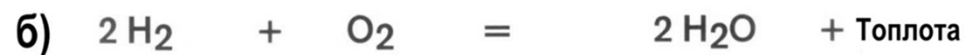


Потпуно сагоревање

а) Угљеник + Кисеоник = Угљен диоксид + Топлота

б) Водоник + Кисеоник = Водена пара + Топлота

в) Сумпор + Кисеоник = Сумпор диоксид + Топлота





Количине продуката сагоревања (правих)

Угљен диоксид:

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

Сумпор диоксид:

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

Водена пара:

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



Количине продукта сагоревања (неправих)

Кисеоник:

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) L_{\min} \quad \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

Азот:

$$V_{N_2} = 0,8 \cdot g_N + 0,79 \cdot L_{stv} \quad \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$



Количина продуката сагоревања (укупна)

Влажни продукти сагоревања:

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

Суви продукти сагоревања:

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



Количина продуката сагоревања за горива типа $C_m H_n$

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

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



Количина продуката сагоревања за гасовита горива

$$V_{\text{CO}_2} = r_{\text{CO}} + r_{\text{CO}_2} + \sum_{i=1}^n r_i \cdot m_i \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = r_{\text{H}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n r_i \cdot n_i + r_{\text{H}_2\text{S}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$V_{\text{SO}_2} = r_{\text{H}_2\text{S}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) L_{\text{min}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$

$$V_{\text{N}_2} = r_{\text{N}_2} + 0,79 \cdot L_{\text{stv}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \right)$$



Састав продуката сагоревања

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

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

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



Количина и састав п.с.

Састав влажних и сувих продуката сагоревања:

Гас	Количина (m^3/kg)	Влажни (% V/V)	Суви (% V/V)
CO_2			
SO_2			
O_2			
N_2			
H_2O			



Који су циљеви прорачуна?

- димензионисати вентилаторе и канале свежег ваздуха за сагоревање,
- димензионисати вентилаторе и канале димног гаса,
- израчунати температуру сагоревања.



Температура сагоревања

- **калориметарска** (највиша, не узимају се у обзир никакви губици),
- **теоријска** (узимају се у обзир само губици услед дисоцијације),
- **стварна** (најнижа, узимају се у обзир сви губици: дисоцијација, размена топлоте са околином, непотпуност сагоревања).



Калориметарска температура сагоревања

- израз за калориметарску температуру сагоревања добија се полазећи од 1. закона термодинамике за затворени систем,
- претпоставља се да се сва топлота настала сагоревањем горива преда продуктима сагоревања.



Калориметарска температура сагоревања

- то се математички изражава:

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

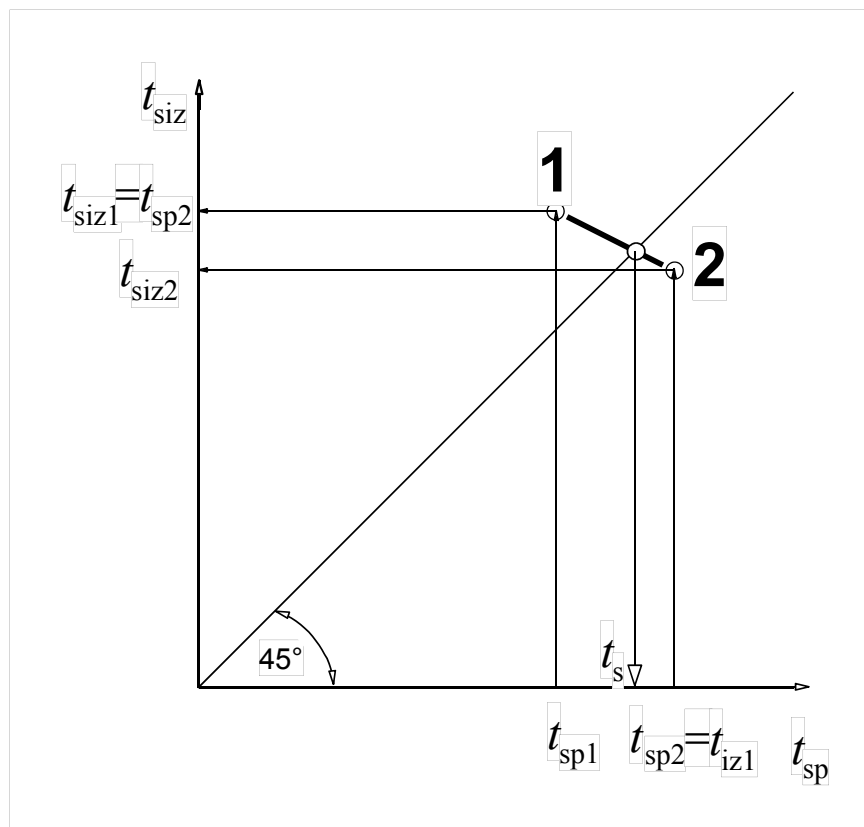
- када се овај израз реши по t_s добија се израз за израчунавање температуре сагоревања:

$$t_s = \frac{h_G \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg горива}} \right] + L_{stv} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ ваздуха}}{\text{kg горива}} \right] \cdot h_{vaz} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{ ваздуха}} \right] + H_d \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg горива}} \right]}{\sum_{i=1}^k V_i \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg горива}} \right] \cdot c_{pmi} \Big|_0^{t_s} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \right]}$$



Калориметарска температура сагоревања

- графички начин решавања:



Горива и индустријска вода, 2022/2023 - Аудиторна
вежба



Калориметарска температура сагоревања

- аналитички начин решавања:

$$\frac{|t_{iz_i} - t_{sp_i}|}{t_{sp_i}} \cdot 100 \leq 5$$