



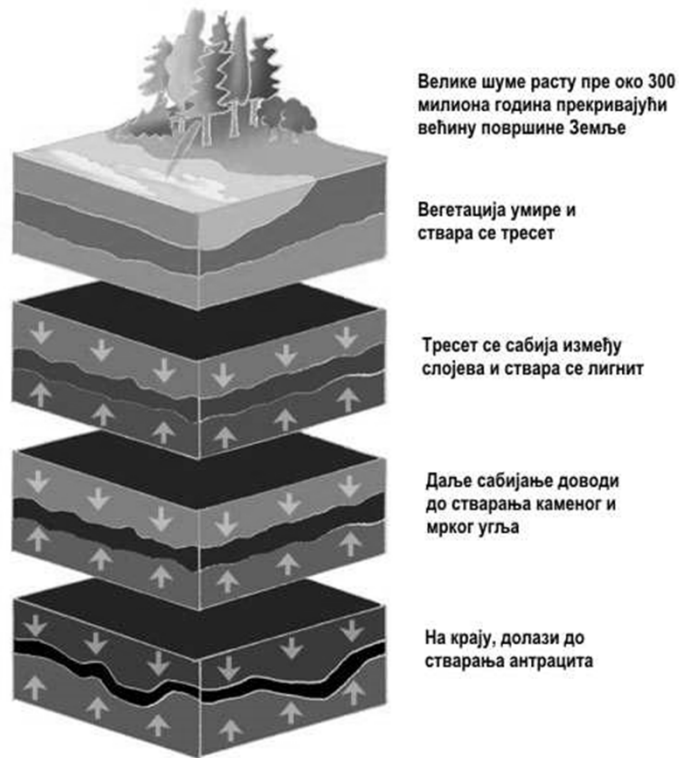
САГОРЕВАЊЕ Б

школска 2019/2020. година

лабораторијске вежбе



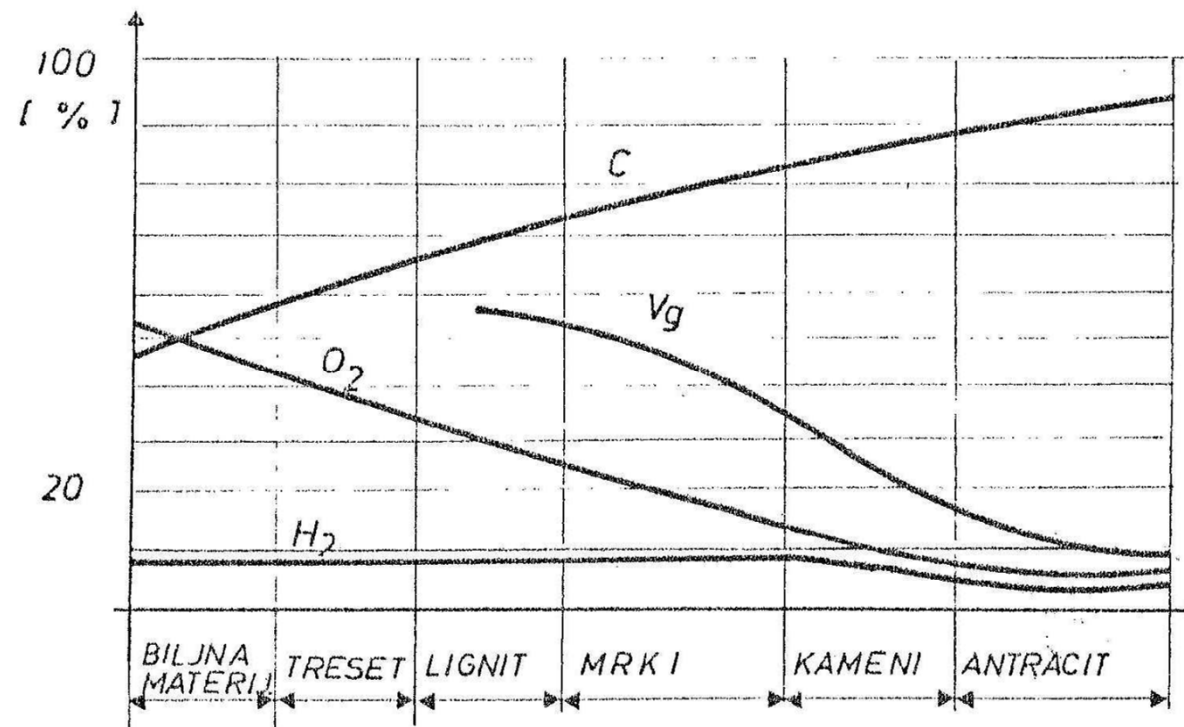
Угаљ, настанак, изглед



Органска теорија настанка угља
Гимбел (Gumbel) крај 19. века



Промена састава при настанку угљева





Подела угљева

- Мрки угљеви ($C = 65-75\% \text{ m/m}$)
 - Лигнит
 - Земљасти
 - Смоласти
- Камени угљеви ($C = 75-90\% \text{ m/m}$)
- Антрацити ($C = 97-98\% \text{ m/m}$)



Биомаса



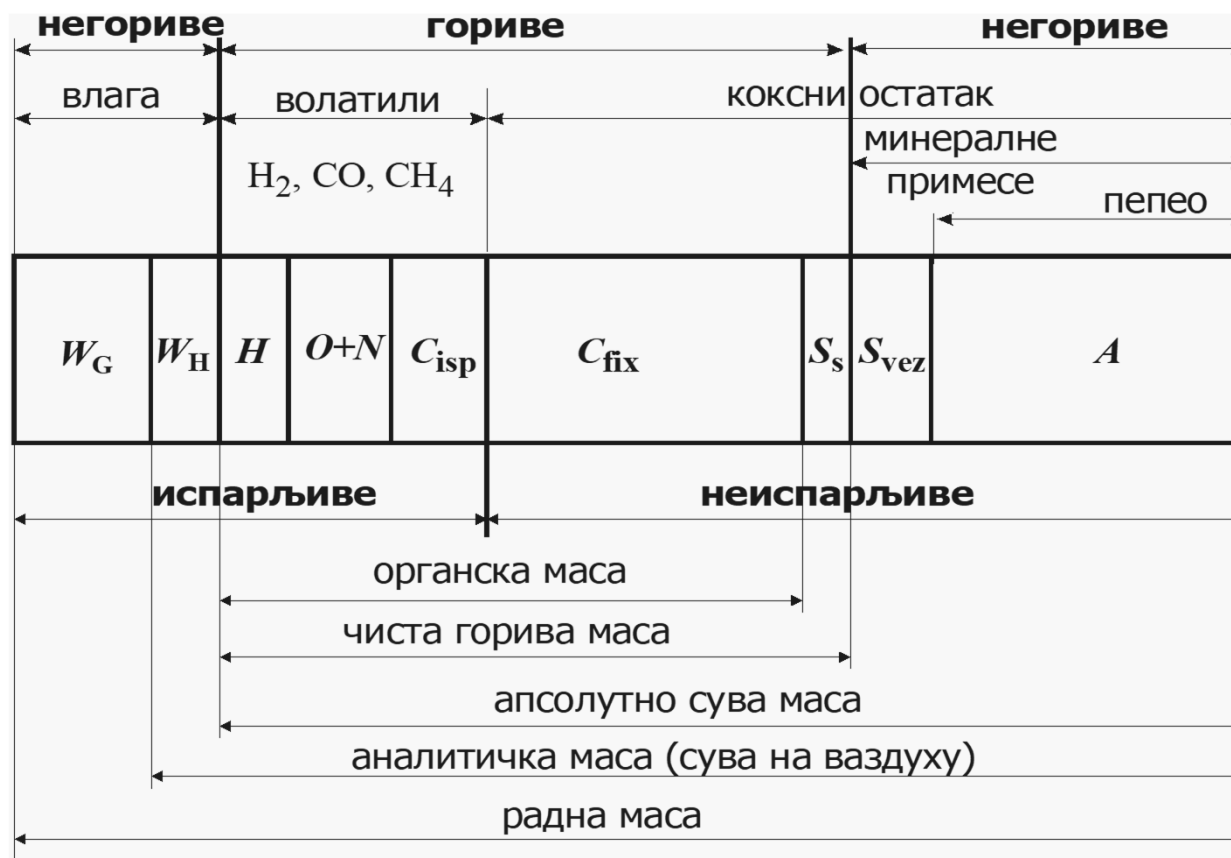


Техничка и елементарна анализа чврстих горива

- Техничка анализа се врши термичким разлагањем горива и:
 - Заснива се на 2 критеријума:
 - испарљивости,
 - горивости.
 - Даје податке о особинама горива битним за примену.
- Елементарна анализа даје податке о хемијском саставу горива (колико у њему има C, H, O, N, S)



Техничка анализа чврстих горива





Основни подаци техничке анализе

- садржај укупне влаге,
- садржај грубе (равнотежне) влаге,
- садржај хигроскопске (аналитичке) влаге,
- садржај волатила,
- садржај коксног остатка,
- садржај минералних примеса,
- садржај коксног остатка,
- горња и доња топлотна моћ,
- боја и дужина пламена,
- понашање пепела на повишеним температурама.



Влага

- баласт у гориву, крајње непожељна,
- смањује топлотну моћ,
- отежава паљење,
- повећава трошкове превоза и складиштења.



Влага – врсте и порекло

- врсте:
 - груба,
 - хигроскопска,
 - конституциона.
- порекло:
 - при настанку горива,
 - за време процеса производње,
 - складиштење,
 - транспорт.



Груба влага

- површинска, видљива голим оком,
- одстрањује се сушењем на ваздуху,
- други назив: равнотежна влага,
- доспева у гориво у свим фазама, од производње, преко транспорта, до складиштења.



Хигроскопска влага

- налази се у порама горива, невидљива голим оком,
- одстрањује се загревањем на температуру преко 100 °C,
- други назив: аналитичка влага.



Методе за одређивање садржаја влаге

- гравиметријске
 - груба влага (SRPS B.H8.341:1987),
 - хигроскопска влага (SRPS B.H8.311:1984, SRPS B.H8.390:1987).
- волуметријске
 - садржај влаге (SRPS ISO 1015:1994)



Одређивање садржаја грубе влаге

- опрема: плитка посуда, вага тачности до 0,1 g.
- поступак: описан у приручнику
- израчунавање:

$$W_G = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (\% m / m)$$

где су:

m_1 (g) –	маса празне посуде
m_2 (g) –	маса посуде са узорком пре сушења
m_3 (g) –	маса посуде са узорком после сушења



Одређивање садржаја хигроскопске влаге

- опрема: стаклена посуда са поклопцем, вага тачности до 0,0001 g, сушница (температуре 105-110 °C), ексикатор.
- поступак: описан у приручнику
- израчунавање:

$$W_{\text{Ha}} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (\% m / m)$$

где су: m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком
пре сушења

m_3 (g) – маса посуде са узорком
после сушења



Одређивање садржаја укупне влаге

- Укупна влага се одређује као збир свих врста влаге у посматраној маси горива (у аналитичкој то је само хигроскопска, у радној је хигроскопска и груба):

$$W_{uk} = W_G + W_{H_r} \quad (\% m / m)$$

$$W_{H_r} = \frac{100 - W_G}{100} W_{H_a} \quad (\% m / m)$$

где су:

W_{H_a} ($\% m / m$)	—	хигроскопска влага у аналитичкој
W_{H_r} ($\% m / m$)		маси
	—	хигроскопска влага у радној маси



Пепео – минералне примесе

- баласт у гориву, крајње непожељан,
- смањује топлотну моћ,
- повећава трошкове превоза и складиштења,
- утиче на ефикасност сагоревања,
- изазива зашљакивање и прљање површина за размену топлоте.



Одређивање садржаја пепела

- опрема: порцеланска посуда, аналитичка вага тачности до 0,0001 g, муфолна пећ (температуре до 1100 °C), ексикатор
- поступак: описан у приручнику
- израчунавање:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (\% \text{ } m / m)$$

где су: m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком
пре жарења

m_3 (g) – маса посуде са узорком
после жарења



Волатили – гориве испариве материје

- који гасови: највише CO , H_2 , CH_4
- шта раде:
 - олакшавају паљење,
 - убрзавају сагоревање,
 - продужавају пламен.
- млађи угљеви имају већи садржај волатила него старији.



Одређивање садржаја волатила

- опрема: посуда од ватросталног стакла или порцеланска, аналитичка вага тачности до 0,0001 g, муфолна пећ (температуре до 900 °C), ексикатор
- поступак: описан у приручнику
- израчунавање:

$$V_a = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 - W_{\text{Ha}} \quad (\% m / m)$$

где су: m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком
пре загревања

m_3 (g) – маса посуде са узорком
после загревања



Коксни остатак

- неиспариви део горива,
- сагорева полако и дуго,
- ослобађа највећи део топлоте коју гориво садржи.



Одређивање садржаја коксног остатка

- опрема: посуда од ватросталног стакла или порцеланска, аналитичка вага тачности до 0,0001 g, муфолна пећ (температуре до 900 °C), ексикатор
- поступак: описан у приручнику
- израчунавање:

$$K = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \text{ (\% } m / m \text{)}$$

где су: m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком
пре загревања

m_3 (g) – маса посуде са узорком
после загревања



Резултати мерења

- на основу претходно датих формула и ових резултата, израчунати одговарајуће величине:

- груба влага:

$$m_1 = 0,5245 \text{ kg}, m_2 = 3,5023 \text{ kg}, m_3 = 2,6532 \text{ kg}$$

- хигроскопска влага:

$$m_1 = 26,2346 \text{ g}, m_2 = 26,8532 \text{ g}, m_3 = 26,7643 \text{ g}$$

- пепео:

$$m_1 = 16,0010 \text{ g}, m_2 = 17,1230 \text{ g}, m_3 = 16,9243 \text{ g}$$

- волатили и коксни остатак:

$$m_1 = 12,9960 \text{ g}, m_2 = 14,0300 \text{ g}, m_3 = 13,5643 \text{ g}$$



САГОРЕВАЊЕ Б

аудиторне вежбе



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:

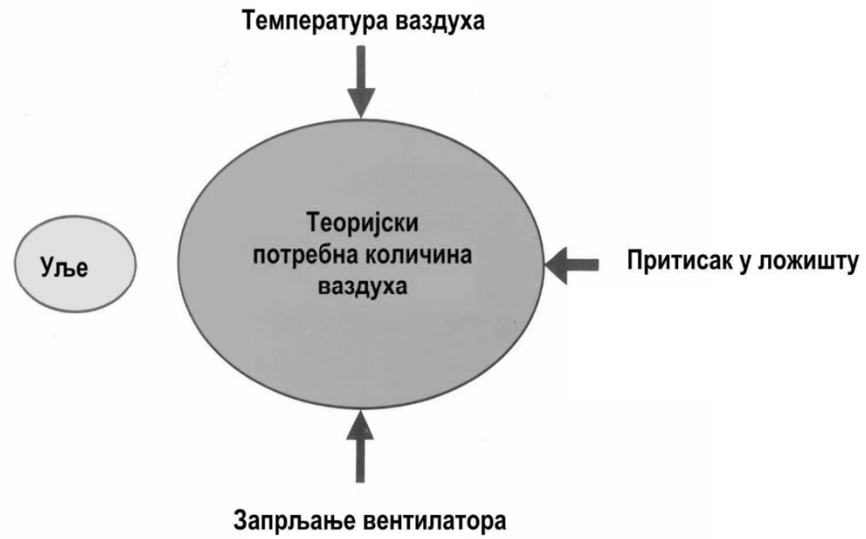
$$O_{\min} = 1,867 \cdot g_C + 5,6 \cdot g_H + 0,7 \cdot g_S - 0,7 g_O \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Теоријски потребна количина ваздуха:

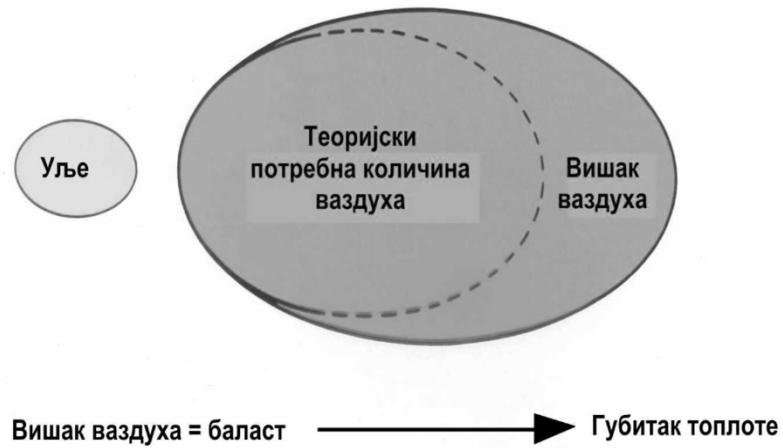
$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Стварно потребна количина ваздуха:

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



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



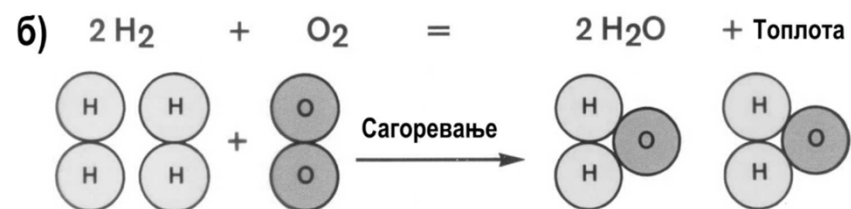
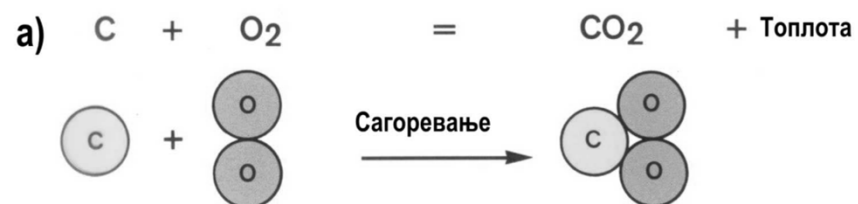


Потпуно сагоревање

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 продуката сагоревања (неправих)

Кисеоник:

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

Азот:

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



Количина продукта 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 продукта сагоревања за горива типа C_mH_n

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

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



Количина продукта 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

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

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

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



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:

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



Калориметарска температура сагоревања

- графички начин решавања:

