

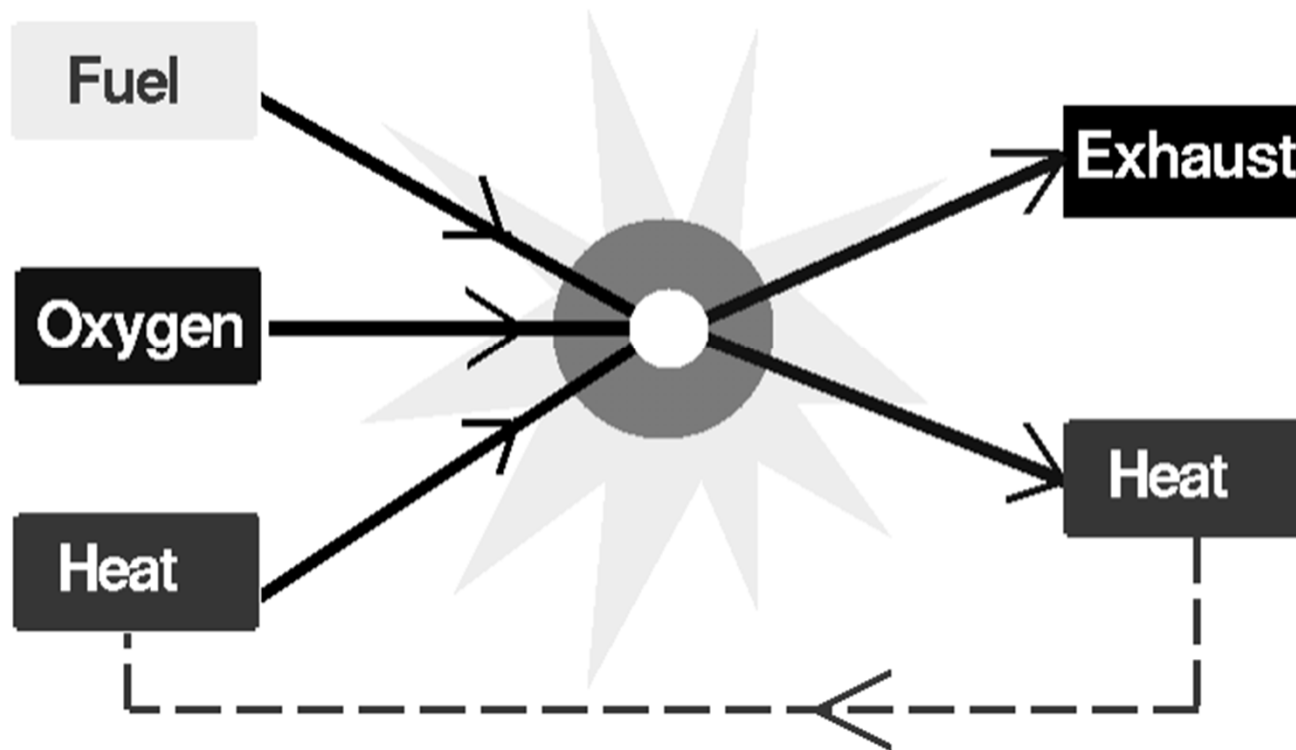


Сагоревање Б

Предавање 2



Гориво – процес сагоревања





Састав горива

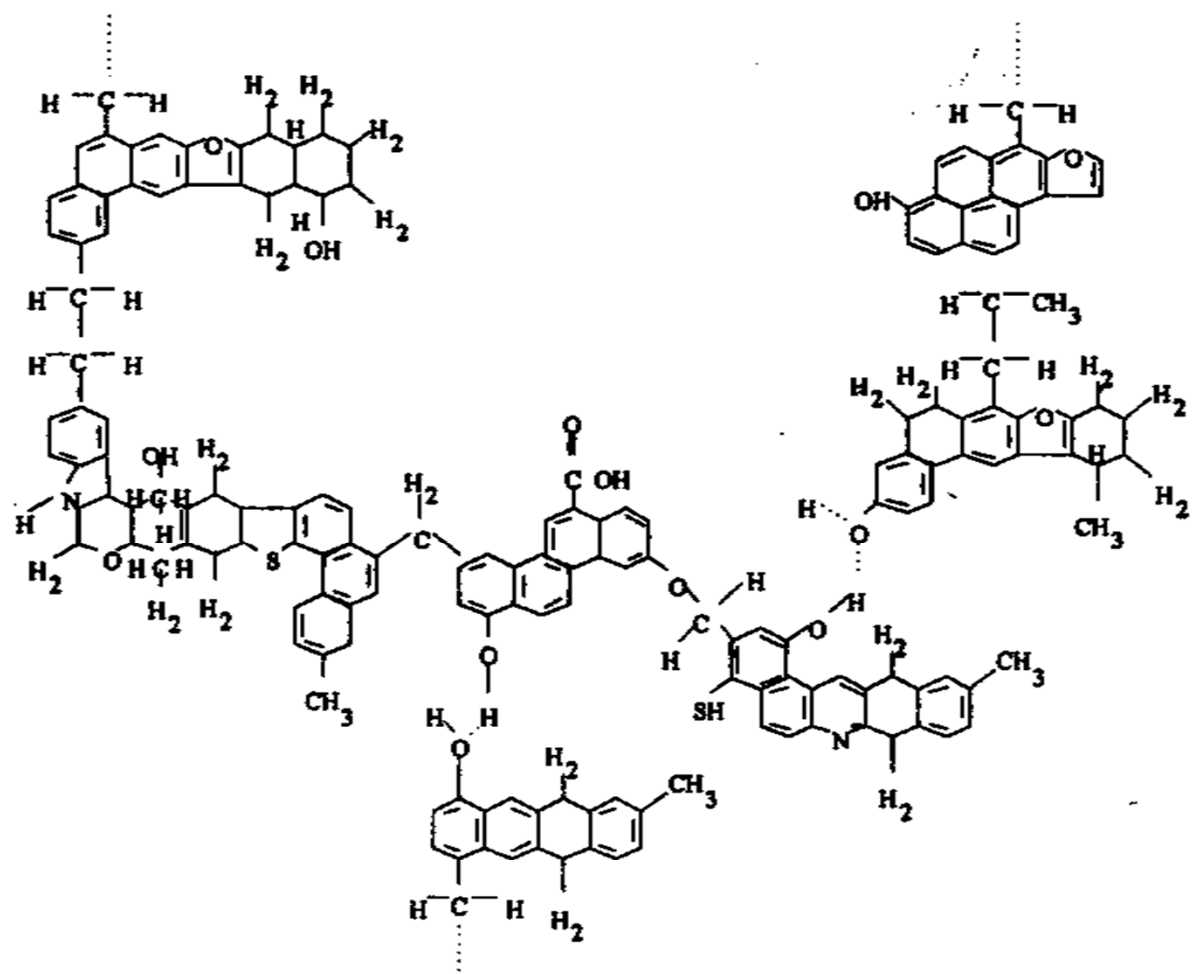
Елементарна анализа

- Гориви елементи:
 - C, H, S
- Баласт
 - Унутрашњи: O, N
 - Спољашњи: A, W

$$C + H + S + O + N + A + W = 100, \%m / m$$

$$g_C + g_H + g_S + g_O + g_N + g_A + g_W = 1$$

g_i – масено учешће



Хијонейички модел молекула угља



Угљеник

- Најважнија компонента горива – има га највише и његовим сагоревањем настаје највећи део количине топлоте коју гориво ослобађа.
- Налази се у следећим облицима:
 - слободан
 - везан у сложеним органским једињењима (везан са водоником, кисеоником, азотом и сумпором).
- Сагоревањем 1 kg настаје количина топлоте од 33,829 MJ
- Максимална температура сагоревања угљеника износи 2240 °C.



Водоник

- Друга компонента по важности
- Налази се у следећим облицима:
 - везан - код чврстих, течних и гасовитих горива
 - чист - мешавина са другим горивим компонентама (код гасовитих горива).
- Сагоревањем 1 kg настаје количина топлоте од 142,014 MJ (4,2 пута више у односу на угљеник)
- Максимална температура сагоревања водоника износи 2235 °C.



Сумпор

- Јавља се у виду горивог и негоривог
- Негориви - сулфатни (у облику сулфата гвожђа, калцијума и др.) током сагоревања прелази у пепео
- Гориви се јавља као:
 - органски (у облику сложених органских једињења) и
 - пиритни (сједињен са гвожђем – FeS_2).
- Сагоревањем 1 kg настаје количина топлоте од 9,295 MJ, али је непожељан јер делује кородивно и утиче на загађење животне средине.



Кисеоник

- Није гориви елемент, али помаже и омогућава сагоревање.
- Налази се у следећим облицима:
 - везан са другим елементима
 - слободан - у гасовитим горивима у мањим количинама.
- Смањује потребну количину кисеоника за сагоревање.



Азот

- Јавља се у виду сложених органских једињења
- У чврстим и течним горивима има га мало (0-2 %), а код гасовитих горива (нарочито произведених) може га бити далеко више
- У процесу сагоревања највећим делом се понаша као инертан, а један део се везује са кисеоником образујући азотне оксиде (NO_x).



Минералне примесе

- Смањују удео горивих компоненти, па на тај начин и количину топлоте која се добија сагоревањем горива
- Отежавају сагоревање
- Повећавају трошкове одржавања постројења и смањују његов век трајања
- Повећавају трошкове транспорта
- Садржај се мења у широким границама (биомаса 1-2 (9) %, угљеви – до 30 %).



Минералне примесе

- Састоје се из:
 - Примарних – потичу још из праматерије, соли алкалних и земноалкалних метала – калијума, калцијума, магнезијума
 - Секундарних – доспеле су у гориво током његовог настајања
 - Терцијарних – доспеле у гориво током његовог вађења и транспорта.



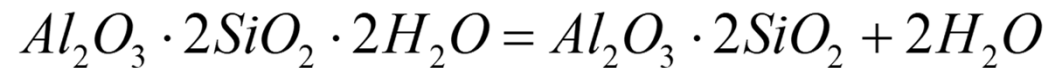
Пепео

- Представља смешу оксида минералних материја, који остају после потпуног процеса сагоревања свих горивих материја из горива и после завршетка свих трансформација минералних материја, које се дешавају на повишеним температурама.

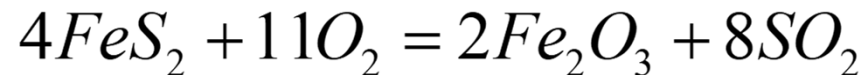


Трансформације минералних примеса

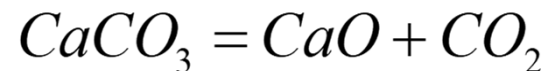
- Алуминосиликати губе кристалну воду



- Пирит сагорева



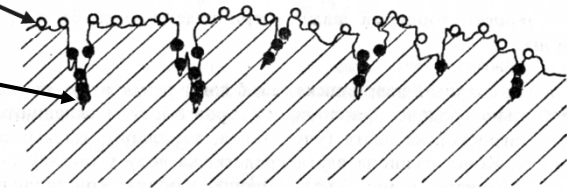
- Карбонати се разлажу





Влага

- Смањује количину топлоте која се ослобађа при сагоревању горива, јер се део топлоте троши на њено испаравање
- Снижава температуру продукта сагоревања
- Јавља се у три вида
 - Груба WG – спољашња, површинска, слободна
 - Хигроскопска WH – унутрашња, капиларна
 - Конституциона (хидратна или кристализациона) – хемијски везана.



Слика 2.2: Шематски приказ грубе, хигроскопске и конституционе влаге



Техничка анализа горива

- Заснива се на термичком разлагању масе горива по два критеријума:
 - критеријуму испарљивости
 - критеријуму горивости.



Техничка анализа горива

- Подаци техничке анализе су:
 - Садржај негоривих испарљивих материја – садржај грубе и хигроскопске влаге
 - Садржај горивих испарљивих материја – садржај волатила
 - Садржај негоривих неиспарљивих материја – садржај пепела
 - Садржај горивих и негоривих неиспарљивих материја – садржај коксног остатка.



Условне масе горива

- У зависности од елементарног састава, гориво се условно дефинише различитим масама:
 - Радном
 - Аналитичком
 - Апсолутно сувом
 - Чистом горивом
 - Органском.

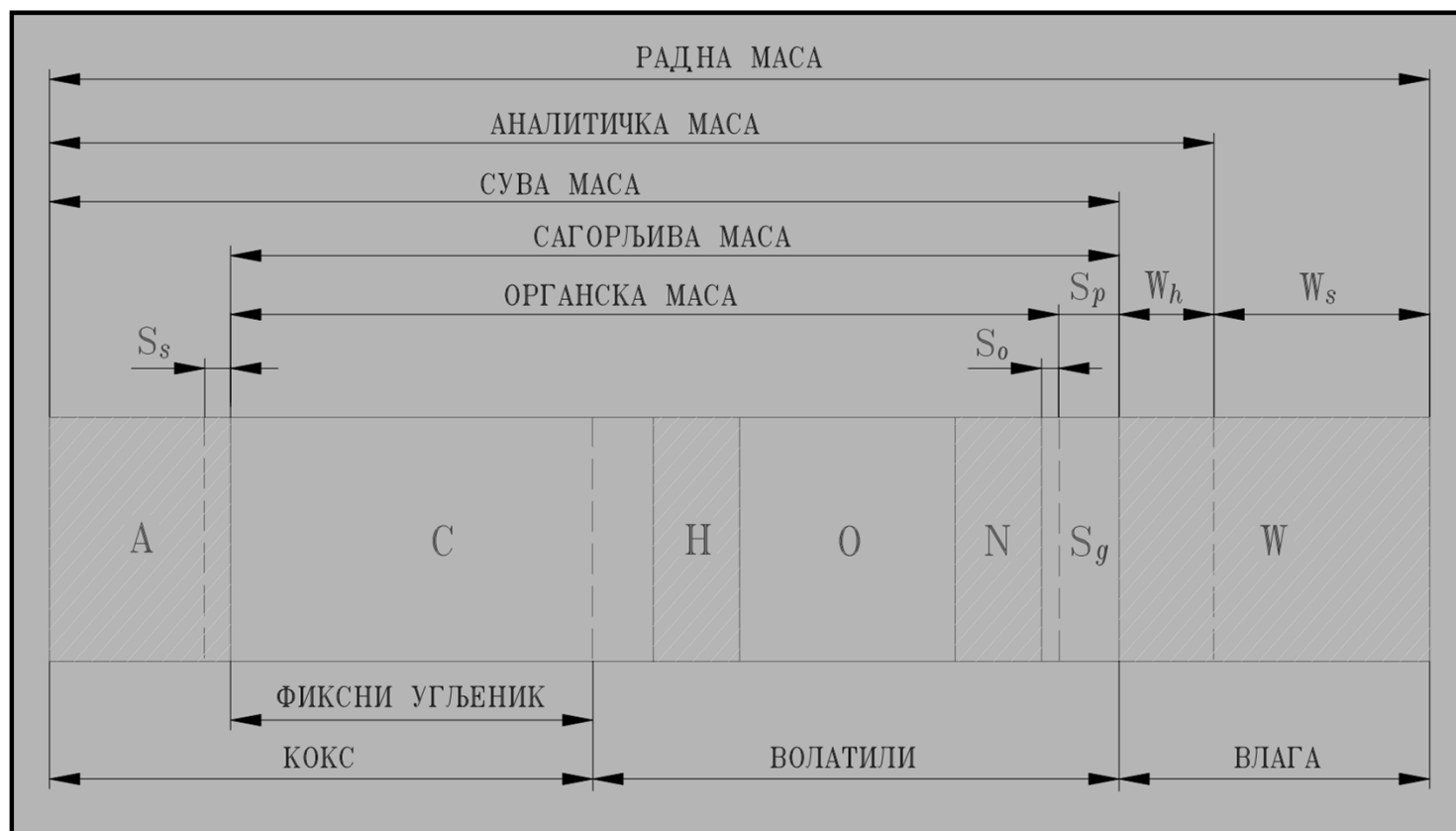


Условне масе горива

- Радна маса $C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_{Hr} + W_G = 100\%$
- Аналитичка маса $C_a + H_a + O_a + N_a + S_a + A_a + W_{Ha} = 100\%$
- Апсолутно сува маса $C_s + H_s + O_s + N_s + S_s + A_s = 100\%$
- Чиста горива маса $C_g + H_g + O_g + N_g + S_g = 100\%$



Условне масе горива





Условне масе горива РАДНА МАСА (*ar – as received*)

- Гориво које се користи за сагоревање у котловима или пећима налази се у стању радне масе горива и његов састав се представља као

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_{Hr} + W_G = 100\%$$



Условне масе горива АНАЛИТИЧКА МАСА (*ad – air dried, as analysed*)

- Испитивања у лабораторијским условима врше се на узорку који је сув на ваздуху (одстрањена груба влага) и то је аналитичка маса горива чији се елементарни састав изражава као

$$C_a + H_a + O_a + N_a + S_a + A_a + W_{Ha} = 100\%$$



Условне масе горива АПСОЛУТНО СУВА МАСА (*d - dry*)

- Гориво без влаге (одстрањена хигроскопска влага сушењем на 105 – 110 °C у трајању од 2 сата) представља апсолутно суву масу горива.

$$C_s + H_s + O_s + N_s + S_s + A_s = 100\%$$



Условне масе горива ЧИСТА ГОРИВА МАСА (*daf* – *dry ash free*)

- Гориво без влаге и пепела представља чисту гориву масу, без обзира што у њен састав улазе кисеоник и азот који нису гориви.

$$C_g + H_g + O_g + N_g + S_g = 100\%$$



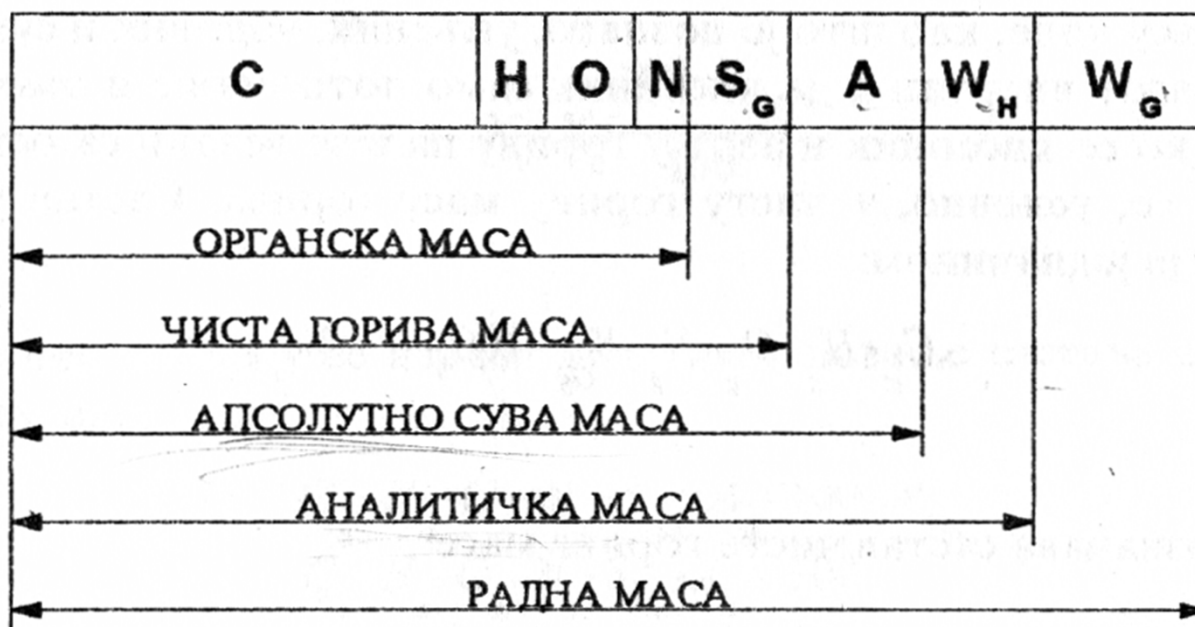
Условне масе горива ОРГАНСКА МАСА

- Угљеник, водоник, кисеоник, азот и органски сумпор су елементи који потичу из праматерије од које је гориво настало и чине органску масу горива

$$C_o + H_o + O_o + N_o + S_o = 100\%$$



Условне масе горива



Слика 2.3: Шемајски приказ условних маса горива



Прерачунавање са једне на другу масу

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_{Hr} + W_G = 100\%$$

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_{Hr} = 100 - W_G$$

$$C_a + H_a + O_a + N_a + S_a + A_a + W_{Ha} = 100\%$$

$$\frac{X_r}{X_a} = \frac{100 - W_G}{100}$$



Прерачунавање са једне на другу масу

$$X_r = X_a \frac{100 - W_G}{100}$$

$$X_g = X_a \frac{100}{100 - W_{Ha} - A_a}$$

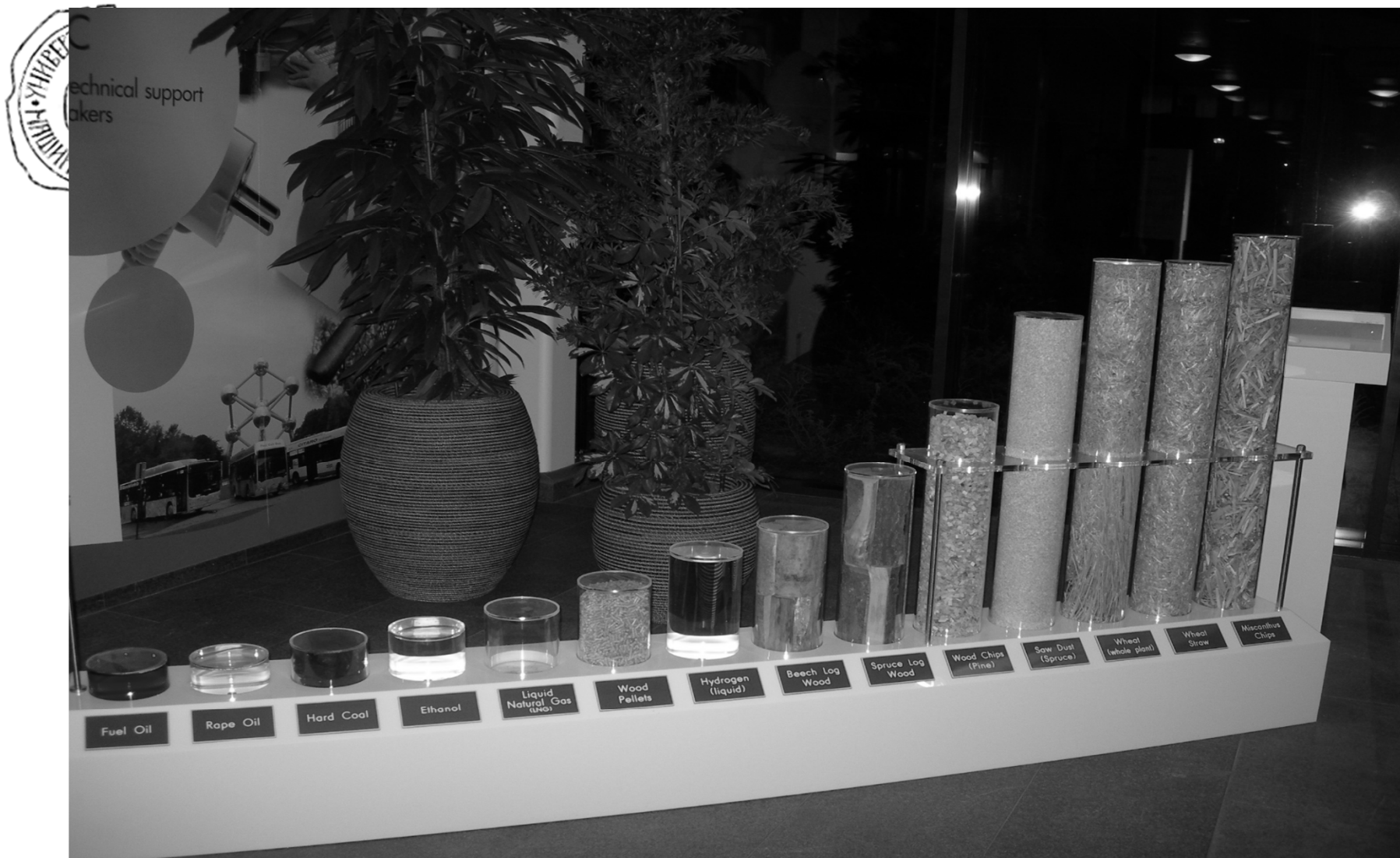
$$X_s = X_a \frac{100}{100 - W_{Ha}}$$

$$X_o = X_a \frac{100}{100 - W_{Ha} - A_a - S_{ga}}$$



Топлотна моћ

Количина топлоте која се ослобађа при потпуном сагоревању јединице масе или запремине горива.





Топлотна моћ

- Према условима сагоревања
 - $p = \text{const}$
 - $V = \text{const}$
- Према топлотном нивоу продуката сагоревања
 - Горња топлотна моћ H_g
 - Доња топлотна моћ H_d
- Јединица: J/kg, kJ/kg, MJ/kg, J/m³, ...



Горња топлотна моћ

- Количина топлоте која се добија потпуним сагоревањем јединице масе горива под следећим условима:
 - Угљеник и сумпор из гориве материје налазе се у облику својих диоксида у гасовитом стању, док до оксидације азота није дошло
 - Продукти сагоревања доведени су на температуру коју је гориво имало пре почетка сагоревања (20 °C)
 - Вода, која у продуктима сагоревања потиче од влаге из горива и сагорелог водоника, преведена је у течно стање.



Доња топлотна моћ

- Количина топлоте која се добија потпуним сагоревањем јединице масе горива под следећим условима:
 - Угљеник и сумпор из гориве материје налазе се у облику својих диоксида у гасовитом стању, док до оксидације азота није дошло
 - Продукти сагоревања доведени су на температуру коју је гориво имало пре почетка сагоревања (20 °C)
 - Вода, која у продуктима сагоревања потиче од влаге из горива и сагорелог водоника, остаје у парном стању.



Веза између горње и доње топлотне моћи

$$H_g = H_d + 25(9H + W)$$

- Количина топлоте која се добија ако се вода, настала сагоревањем водоника и испаравњем влаге, преведе из парног у течно стање
- Топлота испаравња воде на атмосферском притиску је око 2500 kJ/kg
- При сагоревању 1 kg водоника, добија се 9 kg воде.



Одређивање топлотне моћи горива

- Експериментално одређивање
 - Калориметар са бомбом
 - Јункерсов калориметар
- Рачунско одређивање.



Рачунско одређивање топлотне моћи горива

- На бази елементарног састава
 - VDI обрасци

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

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



Рачунско одређивање топлотне моћи течног горива

- На бази познате густине течног горива на 15 °C и садржаја сумпора

$$H_d = 52,92 - 11,93 \cdot \rho_{15} \quad (\text{MJ/kg})$$

$$H_d = 52,92 - 11,93 \cdot \rho_{15} - 0,29 \cdot S$$



Рачунско одређивање топлотне моћи горива

- На основу познатог састава по горивим компонентама

$$H_g = 127,5 \cdot H_2 + 126,2 \cdot CO + 398,1 \cdot CH_4 + 634,2 \cdot C_2H_4 + \dots \quad (\text{MJ/m}^3)$$

$$H_d = 107,8 \cdot H_2 + 126,2 \cdot CO + 358,7 \cdot CH_4 + 594,8 \cdot C_2H_4 + \dots \quad (\text{MJ/m}^3)$$



Прерачунавање топлотних моћи са једне условне масе на другу

$$H_{gr} = H_{ga} \frac{100 - W_G}{100}$$

$$H_{dr} = H_{da} \frac{100 - W_G}{100} - 25 \cdot W_G$$

$$H_{gs} = H_{ga} \frac{100}{100 - W_{Ha}}$$

$$H_{ds} = (H_{da} + 25 \cdot W_{Ha}) \frac{100}{100 - W_{Ha}}$$

$$H_{gg} = H_{ga} \frac{100}{100 - W_{Ha} - A_a}$$

$$H_{dg} = (H_{da} + 25 \cdot W_{Ha}) \frac{100}{100 - W_{Ha} - A_a}$$