

## 1 УВОД

Светски изазов који се поставља у сектору енергетике, како краткорочно тако и дугорочно, односи се на могућности задовољења потреба за енергијом и то због ограничених резерви фосилних горива (угаљ, нафта и природни земни гас), сталног пораста броја становника и нових потреба за енергијом. Биомаса ће представљати значајан извор енергије у будућности.

Коришћење биомасе је познато још из времена када је човек почео да користи ватру за припремање хране и за грејање. Биомаса, данас и у будућности, разматра се као обновљив извор енергије. Основне предности примене биомасе у односу на фосилна горива су:

- обновљив извор енергије
- смањење зависности од фосилних горива
- сигурност снабдевања
- смањење загађења животне средине
- смањење емисије CO<sub>2</sub>
- отварање радних места
- развој на локалном/националном нивоу и др.

Примена биомасе у енергетске сврхе мора се користити тако да не угрози ланац исхране, као и да задовољи критеријуме одрживости (детално ће бити приказано у наредним поглављима).

У сектору енергетике, биомаса може да се користи на различите начине, а у будућности се може очекивати и развој нових технологија које су у овом тренутку у развоју или које ће тек бити развијен.

У наредним поглављима, основне карактеристике горивих материја и процеса сагоревања биће приказани, а затим ће бити дефинисани појам, облици и подела биомасе. Посебно ће бити приказане могућности коришћења биомасе у енергетске сврхе и технологије које омогућавају коришћење биомасе на ефикасан и еколошки прихватљив начин.

## 2 ГОРИВЕ МАТЕРИЈЕ

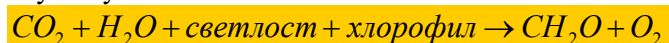
Све појаве и процеси у природи представљају различите облике кретања материје. Сваки облик кретања материје испољава се одговарајућим видом енергије. Различитим видовима кретања материје одговарају различити видови енергије.

Под обновљивим изворима енергије подразумевају се:

- биомаса,
- хидропотенцијал (енергија водотокова),
- соларна енергија,
- енергија ветра,
- геотермална енергија и
- отпад (само одређене врсте отпада).

Биомасу човек користи од давнина за различите сврхе: за сопствену исхрану, за исхрану стоке, као грађевински материјал, као сировину за производњу одеће и као извор енергије (за припрему хране и за грејање).

Под појмом биомаса подразумевају се све биљке на копну и у води које претварају CO<sub>2</sub>, воду и соларну енергију у органску масу:



Биомаса, такође, обухвата и организме који се хране биљкама, као и разне разграђиваче – укључујући и бактерије и гљиве – које трансформишу биљке и животиње и њихове органске остатке поново у воду и CO<sub>2</sub>.

Сагоревањем биомасе,  $\text{CO}_2$  се враћа у атмосферу, тако да је укупни биланс  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$  потребан за раст биљака и  $\text{CO}_2$  настао њиховим сагоревањем) једнак нули. Наравно, овај биланс не узима у обзир целокупни биланс  $\text{CO}_2$  који би подразумевао и емисију  $\text{CO}_2$  која потиче из процеса обраде земљишта приликом узгајања биљака, сече и сакупљања, превози у облик погодан за процес сагоревања и др. Одређивање целокупног биланса  $\text{CO}_2$  од узгајања биомасе до крајње примене врши се на основу сложених модела који узимају у обзир велики број различитих утицајних фактора.

## 2.1 ПОЈАМ ГОРИВА

Гориве материје представљају такве суптанце које сагоревањем – процесом бурног сједињавања са кисеоником, поред материјалних продуката процеса (продуката сагоревања), ослобађају одређену количину топлоте. Дефиниција која је дата на данашњем степену развоја, допуњена је низом захтева, који гориво мора да испуни. Једна материја може да се користи као индустријско гориво под условом да испуњава следеће захтеве:

- да процесом сагоревања производи знатну количину топлоте у кратком временском размаку;
- да се у природи налази у довољним количинама;
- да је експлоатација релативно лака и економична;
- да је производни поступак технички остварљив и рентабилан;
- да у себи не садржи неприхватљиво велику количину негоривих материја – баласта;
- да битно не мења свој састав и особине при складиштењу, транспорту и руковању;
- да је безбедна с обзиром на појаву пожара и експлозије у условима складиштења, транспорта и руковања;
- да је цена произведене количине топлоте економична и прихватљива; и
- да су настали продукти сагоревања безопасни по жива бића и примењене материје.

## 2.2 ВРСТЕ ГОРИВА

Општа подела горива врши се најчешће према њиховом агрегатном стању и према начину добијања. Према агрегатном стању горива се дела на чврста, течна и гасовита, а прма начину добијања – на природна и прерађена. Под природним горивима подразумевају се она горива које се налазе у природи и која се могу користити већ после одстрањивања грубих примеса. Прерађена горива добијају се или прерадом природних или процесом у коме учествују и природна и вештачка горива. Општа подела горива дата је у Табели 2.1.

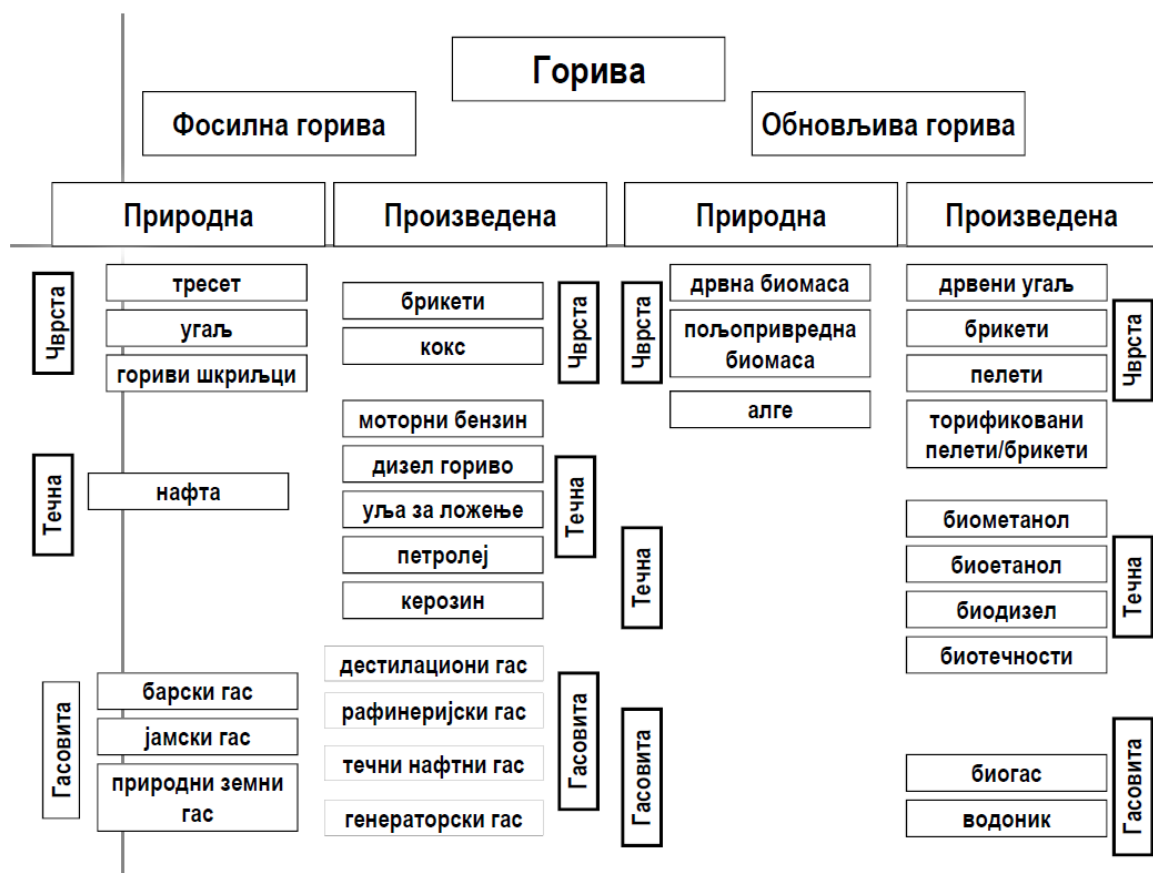
Поред ове опште поделе, горива се могу разврстати:

- према постојаности на толоту (топлостостојана и топлонепостојана);
- према карактеру коришћења (енергетска и технолошка горива);
- према запаљивости (самозапаљива и несамозапаљива);
- према примени.

Табела 2.1: Подела горива према агрегатном стању и степену прераде

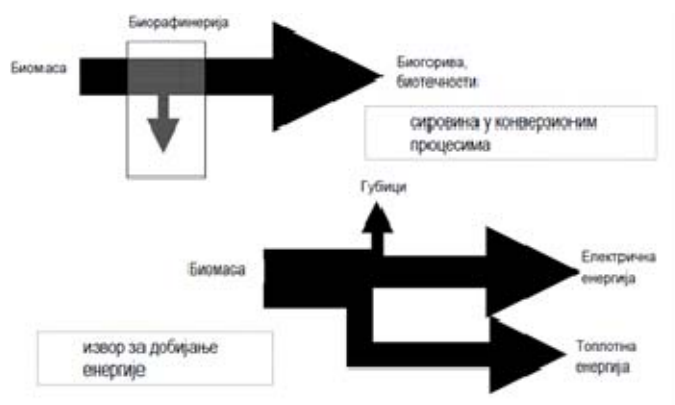
Према агрегатном стању	Према степену прераде	
	ПРИРОДНА ГОРИВА	ПРЕРАЂЕНА ГОРИВА
Чврсто	биомаса	дрвени угаљ, брикети, сечка, пелети, торификовани пелети
Течно		биогорива (биоетанол, био-ЕТБЕ, биометанол, био-МТБЕ, био-ДМЕ, био-ТАЕЕ, биобутанол, биодизел, Fischer-Tropsch дизел, хидрогенизована биљна уља, чисто биљно уље), биотечности.
Гасовито		биогас, водоник.

У данашње време, подела горива, посебно, врши се по критеријуму обновљивости. По овом критеријуму, горива се деле на необновљива (фосилна) и обновљива горива, а додатно се могу поделити и по претходним критеријумима – према агрегатном стању и степену прераде (Слика 2.1).



Слика 2.1: Врсте горива

Горива данас представљају, са једне стране, сировину у многим конверзионим процесима (за добијање прерађених горива) и, са друге стране, као и извор за добијање топлотне или неке друге енергије (Слика 2.2). Савремени концепти примене биомасе указују на могућност коришћења биомасе као сировине у посебним постројењима – биорафинеријама, која ће омогућити да се поред различитих врста горива из биомасе произведу различите материје (биоматеријали, биохемикалије и др.). Концепт биорафинерије је развијен по аналогији са савременим рафинеријским постројењима за прераду нафте, али би број различитих производа који се добија у биорафинерији био знатно већи.



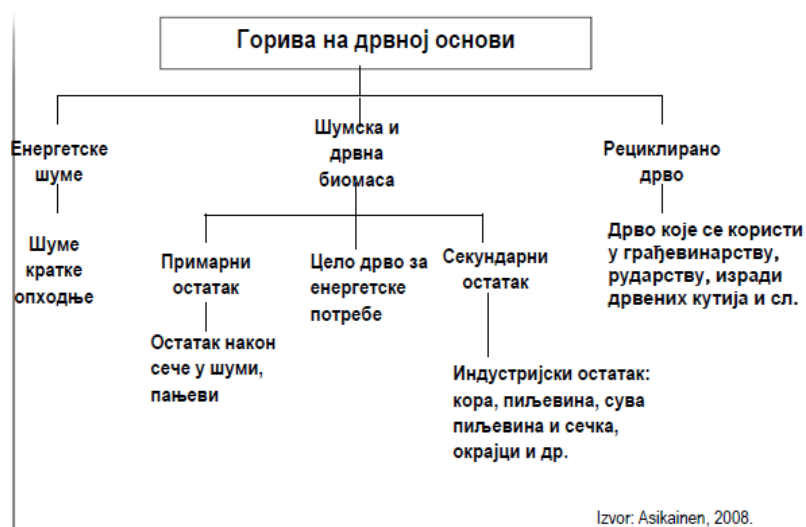
Слика 2.2: Примери примене биомасе у различитим процесима

С обзиром на различите захтеве који се постављају пред биомасу, уведен је читав низ дефиниција како би се што прецизније одредиле врсте и расположиве количине које се могу користити у енергетске сврхе, као и да би се на основу карактеристика различитих врста биомасе одредиле најбоље могућности примене. Биомаса се може дефинисати на следеће начине:

- биомаса – материја биолошког порекла, искључујући материје које су учествовале у процесима трансформисања и стварања фосилних горива (CEN/TS 14588). Ова дефиниција је важна јер истиче да се у биомасу не може уврстити органска маса од које су настала фосилна горива.;
- остаци од биомасе – биомаса која потиче из тачно дефинисаних токова и то из пољопривреде, шумарства и одговарајућих индустријских процеса (CEN/TS 14588). Ова дефиниција омогућава да се у категорију биомасе сврстају све врсте остатака, али истовремено уводи обавезу познавања токова настанка биомасе која се може користити у енергетске сврхе.;
- биомаса представља биоразградиви део производа, отпада и остатака биолошког порекла из пољопривреде (укључујући биљне и животињске материје), шумарства и повезаних индустрија, укључујући рибарство и аквакултуру, као и биоразградиви део индустријског и комуналног отпада (Директива 2008/28/EЗ). Ова дефиниција представља, данас, најважнију и најпрецизнију дефиницију биомасе. Истовремено, у категорију биомасе овом дефиницијом се уводи и биоразградиви део индустријског и комуналног отпада.

Основна подела биомасе је на:

- шумску биомасу (огревно дрво, шумски отпад, остаци од прераде дрвета, брзорастући засади и дрвна биомаса од дрвећа изван шума) – Слика 2.3,
- пољопривредну биомасу (остаци од пољопривредних култура, остаци од гајења воћа и виноградарства, уљарице, лигноцелулозни материјали – мискантус, трска и др., остаци животињског порекла настале у пољопривреди - течна стајско ђубриво) и
- отпад (биоразградиви део индустријског и комуналног отпада).



Слика 2.3: Класификација горива на бази дрвета

Енергетске шуме, односно шуме кратке опходње, представљају наменски гајене шуме које омогућавају густу садњу, жетву у релативно кратким временским периодом (3-10 година) и велику продуктивност сувог дрвета и коре [1]. Гајење ових шума могуће је на маргиналном земљишту и на загађеном земљишту. Основне врсте које припадају категорији биомасе кратке опходње су врба и топола, као и еукалиптус у подручјима са одговарајућим климатским условима.

Рециклирано дрво је могуће користити у енергетске уз претходну карактеризацију у смислу категорије отпада (опасан/неопасан отпад). Уколико рециклирано дрво није третирано бојама и лаковима, као и неким другим хемикалијама, могућа је његова примена у енергетске сврхе.

Нека биомаса се може класификовати као отпад са аспекта прописа о животној средини . У том случају за неке облике биомасе сходно прописима о животној средини је потребно прибавити одговарајуће дозволе, док за друге облике биомасе није.

Биомаса се може класификовати према више различитих критеријума:

- према агрегатном стању (чврста, течна и гасовита)
- према пореклу (шумска, пољопривредна и отпад)

– према начину припреме, то јест према облику у којем се може наћи на тржишту и у експлоатацији пелети, брикети, дрвна сечка, пиљевина, бале сламе, трске и мискантуса итд.).

## 2.3 САСТАВ ГОРИВА

Састав горива одређује се такозваном елементарном анализом, а особине, важне за примену – техничком анализом.

### 2.3.1 ЕЛЕМЕНТАРНИ САСТАВ

Састав чврстих и течних горива изражава се у масеним, а гасовитих у запреминским процентима. У општем случају горива се састоје из горивог дела и баласта – негоривог дела. На основу познатог елементарног састава може се прорачунати низ података: потребна количина ваздуха за потпуно сагоревање, топлотна моћ горива, количина и састав продуката сагоревања и температура сагоревања.

У састав било ког горива, у општем случају, улазе три горива елемента – угљеник, водоник и сумпор, као примесе кисеоник и азот (унутрашњи баласт), и баласт: минералне материје и вода (спољни баласт). На основу овога, може се написати састав горива у општем облику:

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

где се са  $g$  обележава масено учешће појединих елемената у гориву, а  $C, H, S, O, N, W, A$  представљају симболе за угљеник, водоник, сумпор, кисеоник, азот, влагу и минералне материје; или у облику

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

где се истим симболима изражава процентуални састав\*.

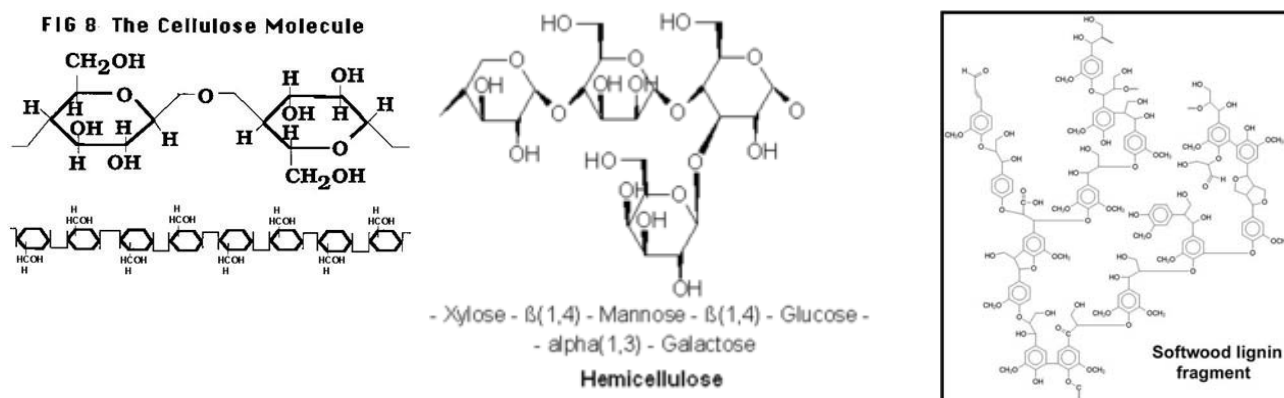
Овакав елементарни састав је општи и важи за сва горива. Зависно од врсте горива он се мења: у гасовитим горивима не постоје минералне материје, а и у већини течних горива, минералних материја практично нема, док их код чврстих горива увек има. Садржај минералних материја код угљева је већи и зависи од врсте угља, док је у биомаси значајно мањи.

#### 2.3.1.1 Угљеник

Угљеник чини најважнију компоненту горива с једне стране што га у гориву има највише, а с друге стране што његовим сагоревањем настаје и највећи део количине топлоте коју гориво ослобађа. Угљеник се у горивима налази и у слободном стању и везан; он улази у састав сложених органских једињења везан са водоником, кисеоником, азотом и сумпором (Слика 2.4). Сагоревањем једног килограма угљеника ослобађа се количина топлоте од 33,829 MJ. Максимална температура сагоревања угљеника из горива рачуната без топлотних губитака износи 2240 °C.

---

\* Напомена: Симбол  $W$  потиче из енглеског, немачког језика (water, Wassser), а  $A$  - из енглеског, немачког језика (ash, Asche).



Слика 2.4 Макромолекули целулозе, хемицелулозе и лигнина (основни састојци биомасе)

### 2.3.1.2 Водоник

Водоник представља другу по важности гориву компоненту. Као и угљеник, потиче из праматерије, из које је гориво настало. Водоник се у горивима јавља везан код чврстих, течних и гасовитих, и чист, у мешавини са другим горивим компонентама, у гасовитим горивима. При сагоревању једног килограма водоника развија се чак 142,014 MJ или 4,2 пута више од одговарајуће количине топлоте код угљеника. Зато количина топлоте, која се ослобађа потпуним сагоревањем јединице масе горива расте са повећањем садржаја водоника у њему. Максимална температура сагоревања водоника, рачуната без топлотини губитака, износи 2235 °C.

### 2.3.1.3 Кисеоник

Кисеоник није гориви елемент, али помаже и омогућава сагоревање. У горивима се јавља везан са другим елементима, сем у гасовитим, где га налазимо у слободном стању (у мањим количинама). Количина кисеоника у гориву смањује потребну количину кисеоника из ваздуха неопходну за његово сагоревање (код алкохола, на пример). Улази у такозвани унутрашњи баласт, јер заузима место горивим елементима и што у оксидованом стању са угљеником и водоником смањује количину топлоте која се ослобађа сагоревањем. Висок садржај кисеоника налази се у биомаси, тресету и младим мрким угљевима; знатно мањи је код старијих угљева.

### 2.3.1.4 Азот

Азот се у горивима јавља у саставу сложених органских једињења. У чврстим и течним горивима га има веома мало (0-2%), док га код гасовитих горива може бити далеко више (нарочито код произведених). У процесу сагоревања горива азот се највећим делом понаша као инертан. Заједно са кисеоником чини такозвани унутрашњи баласт.

### 2.3.1.5 Сумпор

Сумпор се у горивима јавља у виду горивог и негоривог. Негориви сумпор (у облику сулфата гвожђа, калцијума и др.) током сагоревања прелази у пепео и не утиче на својства горива. Гориви сумпор се јавља као органски (у оквиру сложених органских једињења, меркаптана) и пиритни (сједињен са гвожђем,  $\text{FeS}_2$ ). И поред тога што сагоревањем сумпора настаје одређена количина топлоте (9,295 MJ/kg) присуство сумпора у горивима је крајње непожељно. Сумпор делује кородивно и у елементарном стању и у облику једињења, а продукти његовог сагоревања су штетни за живи свет. При сагоревању сумпора са вишком ваздуха (већом количином ваздуха од неопходно потребне за потпуно сагоревање) долази до настајања сумпор-диоксида и сумпор-триоксида ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ) који у присуству воде образују сумпорасту и сумпорну киселину (узрок настајања киселих киша).

### 2.3.1.6 Минералне материје и пепео

Све врсте горива, осим гасовитих и најлакших фракција прераде нафте, садрже у себи минералне материје. Оне су штетне из више разлога:

- смањују удео горивих материја у гориву, па на тај начин и количину топлоте која се добија сагоревањем,
- отежавају сагоревање и изазивају губитак горива па тиме и топлоте,
- повећавају трошкове одржавања постројења и смањују његов век трајања, и
- повећавају трошкове транспорта горива.

Садржај минералних материја у горивима се мења у широким границама: од неколико процената код тежих течних горива, до неколико десетина процената код чврстих горива (дрвна биомаса – 1-2%, пољопривредна биомаса – 7-10 %, угљеви – до 30%). Даљи ток излагања односиће се на минералне материје у чврстим горивима.

У процесу сагоревања минералне материје трпе низ сложених промена – разлажу се и делимично оксидишу стварајући остатак, који се и квалитативно и квантитативно разликује од полазне материје – пепео.

Тако у саставу пепела налази се низ оксида: калцијума ( $\text{CaO}$ ), магнезијума ( $\text{MgO}$ ), натријума ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), калијума ( $\text{K}_2\text{O}$ ), силицијума ( $\text{SiO}_2$ ), гвожђа ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), алуминијума ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и других.

Пепео, значи, 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.

### 2.3.1.7 Влага

Заједно са минералним материјама влага чини тзв. спољни баласт или баласт уопште, и као таква је непожељна. Она умањује топлотну моћ горива, јер се на њено испаравање троши се део топлоте настао сагоревањем горивих компоненти горива. Влага снижава температуру продуката сагоревања, а повећава трошкове транспорта. Потиче из праматерије али ипак највећим делом доспева у гориво квашењем.

Влага се у чврстим горивима јавља у три вида: као груба, хигроскопска и конституциона.

Груба влага (спољашња, површинска, слободна) резултат је квашења горива влагом из спољне средине при добијању, транспорту и складиштењу горива (Слика 2.5). Хигроскопска влага (унутрашња, капиларна) налази се у порама чврстог горива. Конституциона влага представља воду у саставу самог горива хемијски везану (минералне материје) – најчешће у облику кристалне воде.

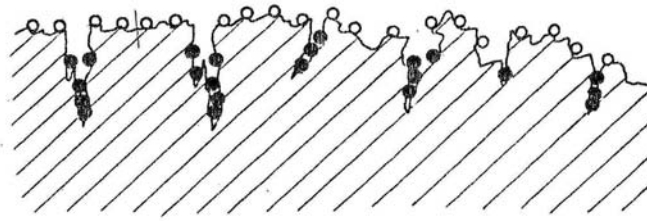
У техничким прорачунима занемарује се садржај конституционе влаге, тако да се укупна влага може представити збиром грубе и хигроскопске, сведено на исту масу горива:

$$W_u = W_G + W_H, \% m/m$$

где су:

$W_u (\%)$	–	укупна влага,
$W_G (\%)$	–	груба влага,
$W_H (\%)$	–	хигроскопска влага.

Између грубе и хигроскопске влаге нема оштре границе – обе су тачније дефинисане условима свог одређивања.



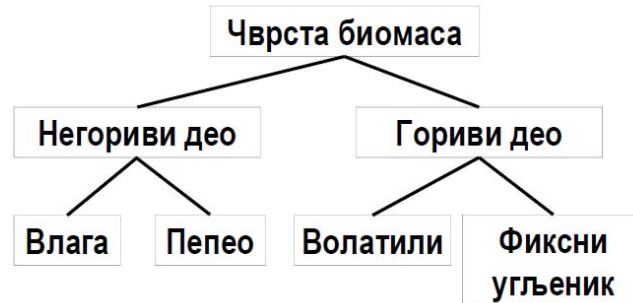
Слика 2.5: Шематски приказ грубе и хигроскопске влаге

### 2.3.2 ТЕХНИЧКА АНАЛИЗА ЧВРСТИХ ГОРИВА

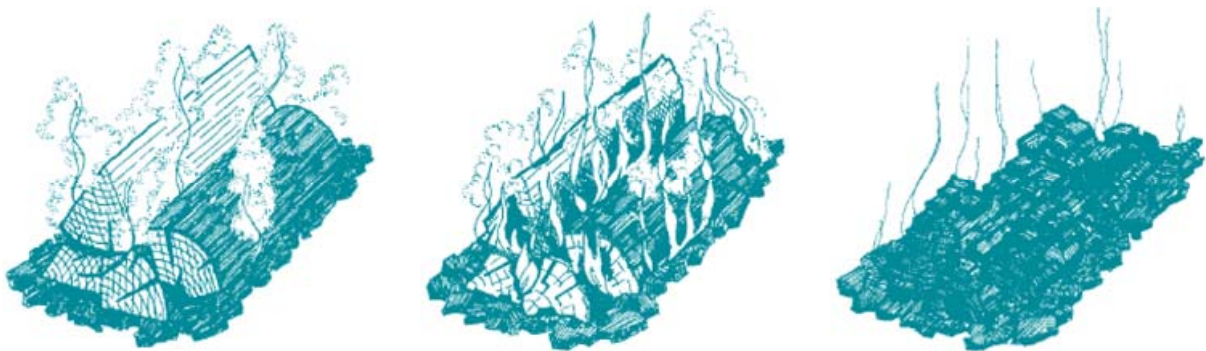
Поред елементарне анализе, која је неопходна за низ топлотних прорачуна, за оцену могућности адекватне примене једног горива, а нарочито чврстих (биомасе), користи се такозвана техничка анализа. Техничка анализа се заснива на термичком разлагању масе горива. термичко разлагање горива представља процес који прати све видове коришћења чврстих горива при чему се добијају испарљиве и неиспарљиве материје. С обзиром на сложеност, материја чврстих горива, и у испарљивом и у неиспарљивом делу горива налазе се гориве и негориве компоненте.

Подела масе горива према наведеним критеријумима на четири групе узима се за основу техничке анализе, а одговарајућа подела дата је на Слици 2.6. Оваква подела масе горива може се повезати са фазама у сагоревању горива (биомасе) и то (Слика 2.7):

- сушење (издвајање влаге из масе горива/биомасе)
- пиролиза и гасификација (издвајање горивих испарљивих материја – волатила), паљење и сагоревање волатила
- сагоревање коксног остатка.



Слика 2.6: Основни подаци техничке анализе горива (значајни за све процесе засноване на термичком разлагању горива)



Слика 2.7: Фазе сагоревања биомасе

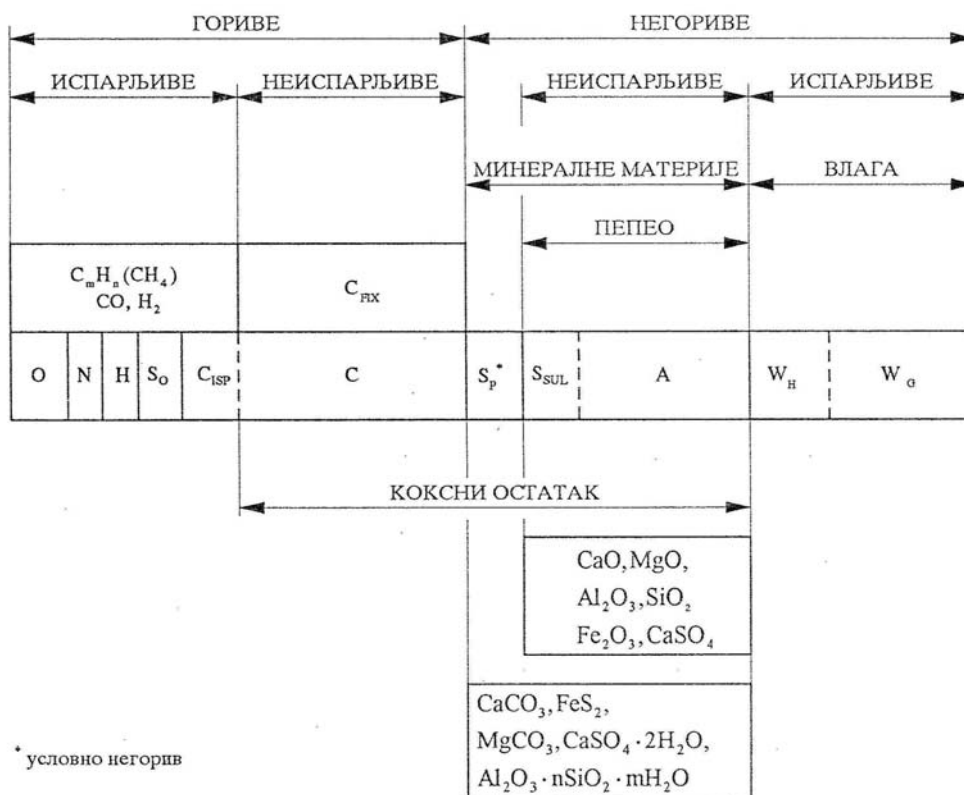
На основу претходне анализе, може закључити да су основни подаци техничке анализе (Слика 2.8):

- садржај грубе влаге и садржај хигроскопске влаге – садржај негоривих испарљивих материја,



- садржај горивих испарљивих материја (волатили), у чијем се саставу налазе испарљиви угљеник и водоник (најчешће везани међусобно у оквиру угљоводоника), као и кисеоника и азот,
- садржај негоривих неиспарљивих материја – садржај минералних материја (пепео),
- садржај коксног остатка – горивих и негоривих неиспарљивих материја.

Поред ових карактеристика, подаци техничке анализе су још топлотна моћ, понашање пепела на повишеним температурама (топливост пепела), дужина и боја пламена, изглед и структура коксног остатка и др.



Слика 2.8. Техничка анализа чврстих горива