

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. Статистички подаци указују да потрошња енергије у свету већ стотину и више година експоненцијално расте. Овај тренд потрошње енергије имао је само два прекида и то за време Првог и Другог светског рата. Сва предвиђања потрошње енергије у свету указују на повећање потрошње енергије и потребе за коришћењем и других изора енергије, поред фосилних горива.

Једна од могућности за решавање обезбеђивања довољне количине енергије представља коришћење обновљивих извора енергије. Енергија из обновљивих извора је енергија из нефосилних обновљивих извора и то: енергија ветра, соларна, аеротермална, геотермална, хидротермална, енергија океана, хидроенергија, биомаса, депонијски гас, гас из постројења за обраду отпада и биогаз (Директива 2009/28/ЕЗ).

У наставку, под појмом обновљиви извори енергије (ОИЕ) подразумеваће се:

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

Коришћење ових извора доприноси ефикаснијем коришћењу сопствених потенцијала у производњи енергије, смањењу емисија "гасова стаклене баште", смањењу увоза фосилних горива, развоју локалне индустрије и отварању нових радних места.

Предности коришћења обновљивих извора енергије су:

- поуздано, сигурно и квалитетно снабдевање енергијом и енергентима
- диверсификација извора енергије
- смањење од увозне зависности фосилних горива
- отварање нових радних места
- повезивање енергетског система државе са енергетским системима других држава
- смањење емисије загађујућих материја
- смањење глобалног загревања¹.

У складу са Директивом 2009/28/ЕЗ о промоцији коришћења енергије из обновљивих извора, постављени су обавезујући циљеви за чланице Европске Уније за 2020. годину:

- учешће ОИЕ од 20% у бруто финалној потрошњи енергије (БФПЕ) на нивоу Европске Уније и
- учешће ОИЕ у свим облицима саобраћаја од најмање 10 % бруто финалне потрошње енергије у саобраћају.

Додатно, унапређење енергетске ефикасности је кључни задатак и циљ је да се оствари побољшање од 20 % у енергетској ефикасности до 2020. године на нивоу ЕУ, као и смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште од 20% у односу на 1990. годину.

Према Уговору о оснивању Енергетске заједнице из 2006. године, Република Србија је прихватила обавезу да примени европску Директиву 2009/28/ЕЗ о промоцији коришћења енергије из обновљивих извора. У складу са Директивом 2009/28/ЕЗ одређен је веома амбициозан обавезујући циљ за

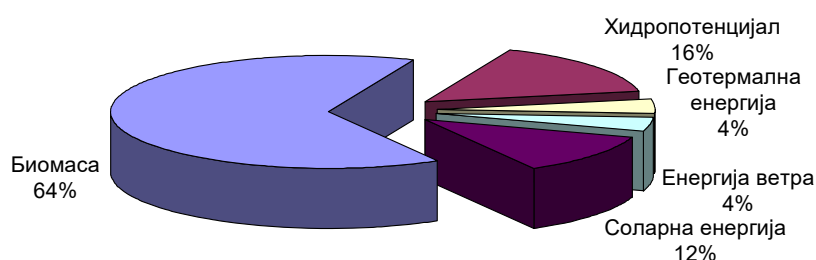
¹ Мера нашег утицаја на животну средину и климатске промене дефинише се угљеничним отиском који се изражава у тонама еквивалената CO₂. Угљенични отисак може се израчунати и на основу одговарајућих програма (калкулатора):

<http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

<http://footprint.wwf.org.uk>

Републику Србију који износи 27 % ОИЕ у бруто финалној потрошњи енергије и најмање 10 % ОИЕ у бруто финалне потрошње енергије у саобраћају у 2020. години.

У Републици Србији, ОИЕ са процењеним технички искористивим потенцијалом од око 6 Мтое годишње (Слика 1.1[1]) могу значајно допринети мањем коришћењу фосилних горива и остваривању дефинисаних циљева о уделу ОИЕ у финалној потрошњи енергије, као и унапређењу животне средине. Потенцијал биомасе износи око 3,3 Мтое годишње, 1,7 Мтое у хидропотенцијалу (0,8 Мтое годишње је неискоришћени, а 0,9 Мтое годишње је искоришћени хидропотенцијал), 0,2 Мтое годишње у геотермалној енергији, 0,2 Мтое годишње у енергији ветра и 0,6 Мтое годишње у соларној енергији. Република Србија од укупно расположивог техничког потенцијала обновљивих извора енергије већ користи 33 % (0,9 Мтое искоришћеног хидро потенцијала и 1,06 Мтое искоришћеног потенцијала биомасе).



Слика 1.1: Структура ОИЕ у Републици Србији

2 БИОМАСА

Биомаса ће представљати значајан извор енергије у будућности. 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 CO₂
- отварање радних места
- развој на локалном/националном нивоу и др.

Под термином биомаса подразумева се 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/ЕЗ). Ова дефиниција представља основу за разматрање потенцијала биомасе и могућности примене биомасе у енергетске сврхе. На основу ове дефиниције заснивају се све стратегије примене биомасе у будућности: краткорочно – до 2030. године, средњорочно – до 2050. године и дугорочно – до 2100. године.

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

Општа подела биомасе врши се према агрегатном стању и према начину добијања. Према агрегатном стању подела је на чврста, течна и гасовита горива добијена из биомасе, а према начину добијања – на природна и прерађена. Под природним горивима подразумева се биомаса која се налази у природи и која се може практично одмах користити (нпр. огревно дрво), а прерађена горива добијају се прерадом биомасе која је расположива у природи.

Поред ове опште поделе, биомаса се може разврстати:

- према пореклу (шумска биомаса и пољопривредна биомаса)
- према постојаности на топлоту (топлопостојана и топлонепостојана);
- према карактеру коришћења (енергетска и технолошка горива);
- према запаљивости (самозапаљива и несамозапаљива);
- према примени.

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. Савремени концепти коришћења биомасе предвиђају коришћење биомасе као сировине чијом прерадом у биорафинеријама ће бити могуће добијање топлотне и електричне енергије, горива, хемикалија, материјала и других производа.

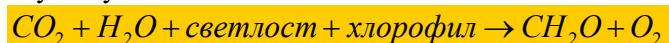
У наредним поглављима, основне карактеристике горивих материја и процеса сагоревања биће приказани, а затим ће бити дефинисани детаљније појам, облици и подела биомасе. Посебно ће бити приказане могућности коришћења биомасе у енергетске сврхе и технологије које омогућавају коришћење биомасе на ефикасан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

3 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.

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_2 , 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_2 .

Сагоревањем биомасе, CO_2 се враћа у атмосферу, тако да је укупни биланс CO_2 (CO_2 потребан за раст биљака и CO_2 настао њиховим сагоревањем) једнак нули. Наравно, овај биланс не узима у обзир целокупни биланс CO_2 који би подразумевао и емисију CO_2 која потиче из процеса обраде земљишта приликом узгајања биљака, сече и сакупљања, превозиња у облик погодан за процес сагоревања и др. Одређивање целокупног биланса CO_2 од узгајања биомасе до крајње примене врши се на основу сложених модела који узимају у обзир велики број различитих утицајних фактора.

3.1 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.

3.2 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 према 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 3.1.

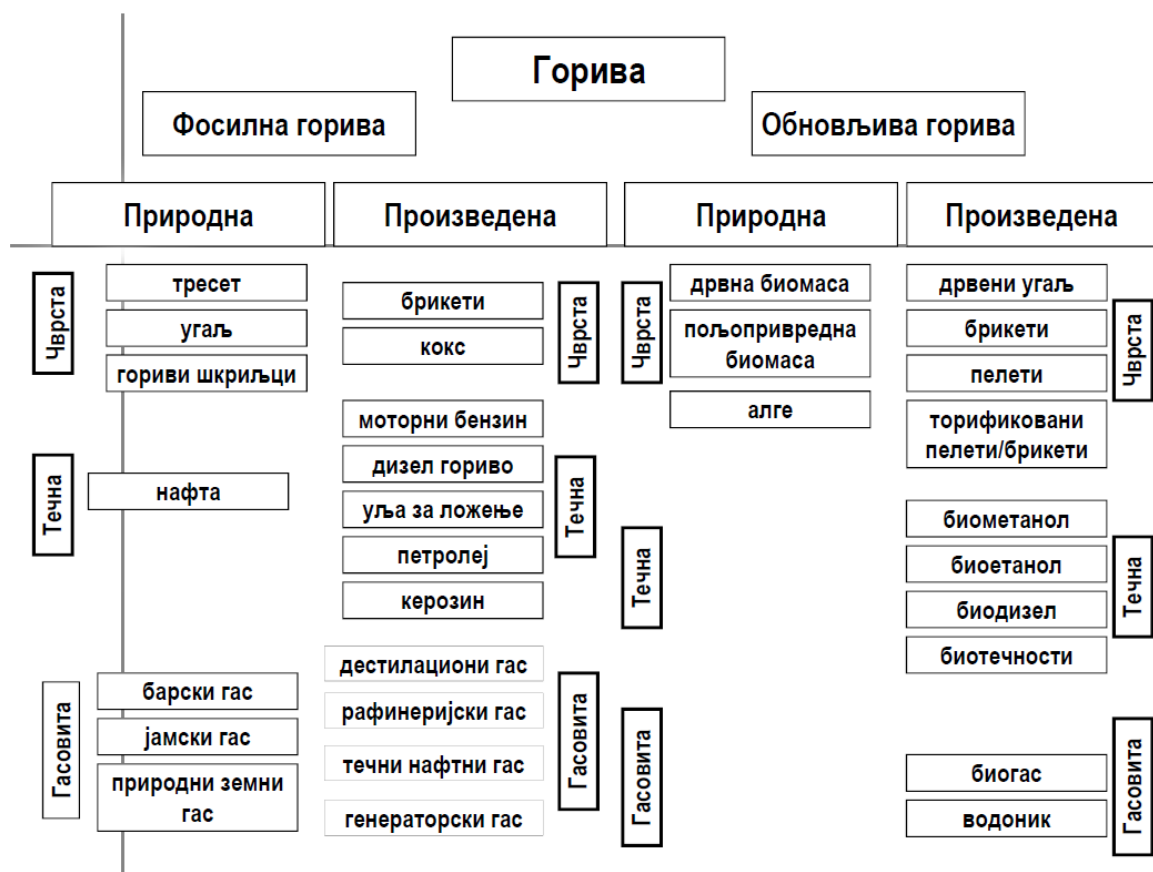
Поред ове опште поделе, горива се могу разврстати:

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

Табела 3.1: Подела горива према агрегатном стању и степену прераде

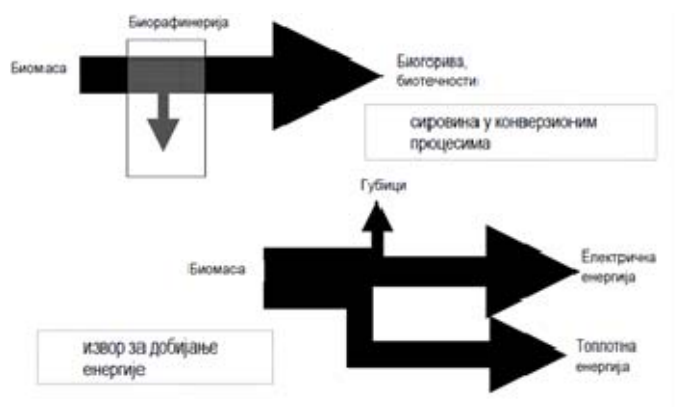
Према агрегатном стању	Према степену прераде	
	ПРИРОДНА ГОРИВА	ПЕРАЂЕНА ГОРИВА
Чврсто	биомаса	дрвени угаљ, брикети, сечка, пелети, торификовани пелети
Течно		биогорива (биоетанол, био-ЕТБЕ, биометанол, био-МТБЕ, био-ДМЕ, био-ТАЕЕ, биобутанол, биодизел, Fischer-Tropsch дизел, хидрогенизована биљна уља, чисто биљно уље), биотечности.
Гасовито		биогаз, 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 3.1).



Слика 3.1: 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 3.2). 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 3.2: Примери примене биомасе у различитим процесима

3.3 САСТАВ ГОРИВА

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

3.3.1 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

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

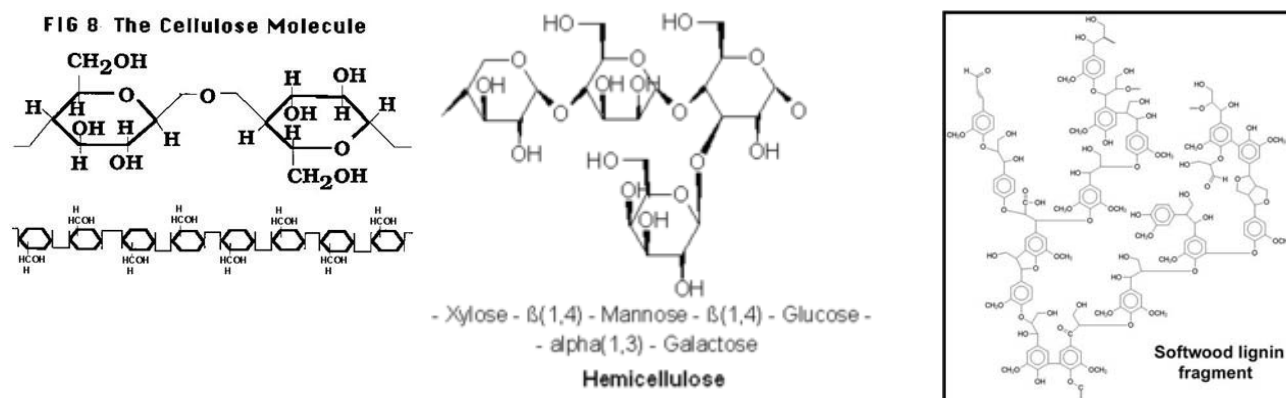
где се истим симболима изражава процентуални састав*.

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.

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 3.3). 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 3.3 Макромолекули целулозе, хемицелулозе и лигнина (основни састојци биомасе)

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.

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, што је посебно карактеристично за биомасу. У свим макромолекулама целулозе, хемицелулозе и лигнина карактеристично је присуство кисеоника које је значајно веће по садржају у односу на фосилна горива. Кисеоник 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.

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). Садржај азота се посебна пажња посвећује код пољопривредне биомасе јер његово присуство може бити последица примењених азотних ђубрива. У процесу сагоревања горива азот се највећим делом понаша као инертан. Заједно са кисеоником чини такозвани унутрашњи баласт.

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, 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 (SO_2 и SO_3) који у присуству воде образују сумпорасту и сумпорну киселину (узрок настајања киселих киша). У биомаси садржај сумпора је мали и због тога биомаса не доприноси емисији сумпор диоксида.

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%).

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.

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.

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 3.4). 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.

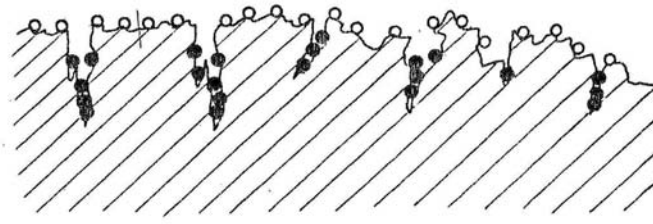
У техничким прорачунима занемарује се садржај конституционе влаге, тако да се укупна влага може представити збиром грубе и хигроскопске, сведено на исту масу горива:

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

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 3.4: Шематски приказ грубе и хигроскопске влаге

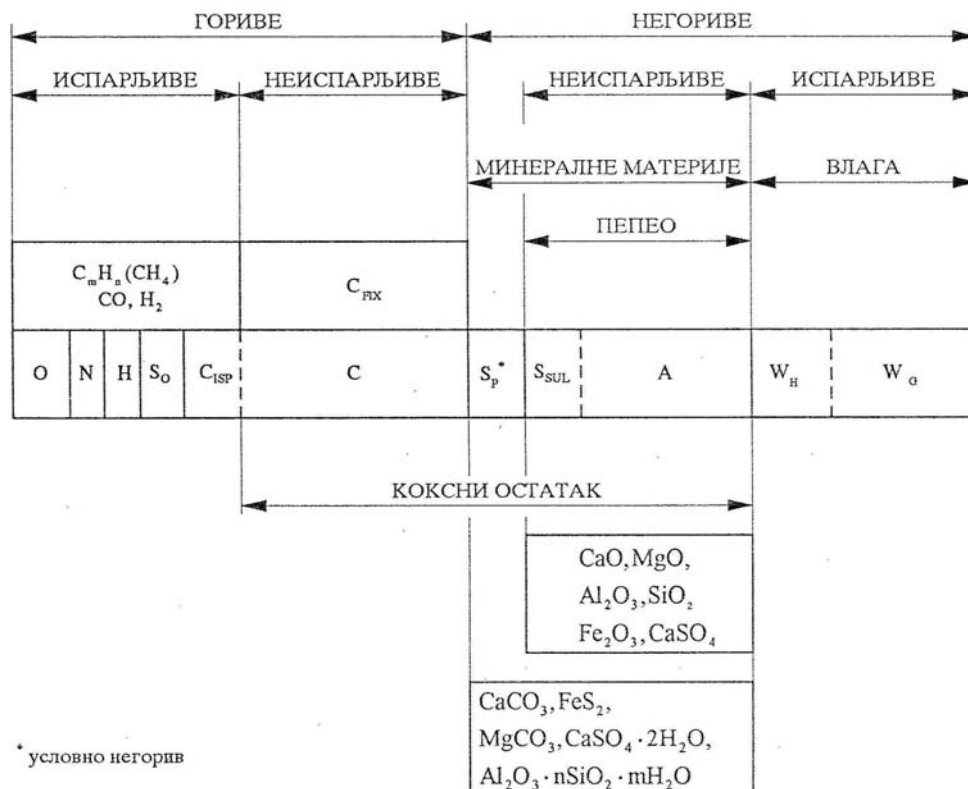
3.3.2 ТЕХНИЧКА АНАЛИЗА ГОРИВА

Поред елементарне анализе, која је неопходна за низ топлотних прорачуна, за оцену могућности адекватне примене једног горива, а нарочито чврстих, користи се такозвана техничка анализа. Техничка анализа се заснива на термичком разлагању масе горива (процесу који прати све видове коришћења чврстих горива) при чему се добијају испарљиве и неиспарљиве материје. С обзиром на сложеност структуре чврстих горива, и у испарљивом и у неиспарљивом делу горива налазе се гориве и негориве компоненте. Ова четири дела (компоненте) горива узимају се за основу техничке анализе, а одговарајућа подела дата је на Слици 3.5.

Основни подаци техничке анализе су:

- садржај грубе влаге и садржај хигроскопске влаге – садржај негоривих испарљивих материја,
- садржај горивих испарљивих материја (волатили), у чијем се саству налазе испарљиви угљеник и водоник (најчешће везани међусобно у облику угљоводоника) и условно кисеоник и азот,
- садржај негоривих неиспарљивих материја – садржај минералних материја (пепела),
- 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 планема, изглед и структура коксног остатка и др.

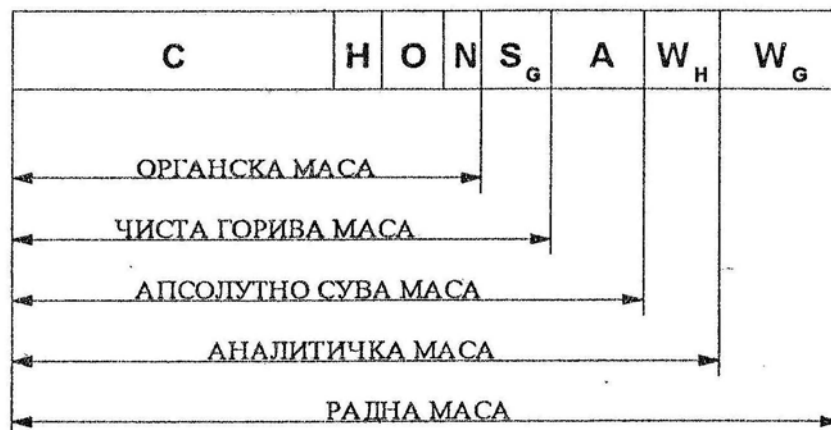


* условно негорив

Слика 3.5. Техничка анализа угља

3.3.3 УСЛОВНЕ МАСЕ ГОРИВА

У зависности од садржаја воде и минералних материја (пепела), гориво се условно дефинише различитим масама: радном, аналитичком, апсолутно сувом, чистом горивом и органском (Слика 3.6).



Слика 3.6: Шематски приказ условних маса горива

Састав чврстог горива (биомасе), који се налази у природи представља тзв. *радну масу* горива. Састав радне масе горива изражен у масеним процентима, може се написати у облику:

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_{Gr} + A_r + W_r = 100, \% \text{ m/m}$$

где $W_r(\%)$ представља укупну влагу, једнаку збиру грубе и хигроскопске:

$$W_r = W_G + W_{Hr}, \% \text{ m/m}$$

а индекс «r» означава да се састав односи на радну масу горива.

Испитивања састава и других особина чврстих горива не могу се вршити на узорку радне масе горива због променљивог садржаја грубе воде који зависи од температуре, притиска и влажности ваздуха. Груба вода се зато одстрањује сушењем на ваздуху и добијени узорак служи за анализе. Маса горива без грубе воде назива *аналитичка маса* горива, а њен састав обележава се индексом «a». Састав аналитичке масе горива одређен је изразом:

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

Сушењем горива изнад 100°C (обично 105°C) може се у потпуности одстранити вода из горива. Маса горива из које је одстрањена и груба и хигроскопска вода назива се *апсолутно сува маса* горива и састав обележава се са индексом «s». Састав апсолутно суве масе горива представљен је изразом:

$$C_s + H_s + O_s + N_s + S_{Gs} + A_s = 100, \% \text{ m/m}$$

Чисту гориву масу чине угљеник, водоник и сумпор. Познато је да је азот инертан и да кисеоник само потпомаже и омогућава процес сагоревања. Како се кисеоник и азот у гориву налазе везани са осталим елементима, укључују се, условно, у масу која се назива *чиста горива маса* горива. Састав условне чисте гориве масе дат је једначином:

$$C_g + H_g + O_g + N_g + S_{Gg} = 100, \% \text{ m/m}$$

где индекс «g» означава састав чисте гориве масе.

Искључујући сву влагу, минералне материје и сумпор, добија се *органска маса* горива. Овај састав је такође услован. Састав органске масе дат је изразом:

$$C_o + H_o + O_o + N_o = 100, \% m/m$$

где се индекс «*o*» односно на поменути састав.

У термотехничким и термоенергетским прорачунима користи се састав који се односи на радну масу горива. Прерачунавање састава са једне масе на другу и обрнуто врши се одговарајућим изразима.

Литература

- [1] Пројекат израде Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2020. године са пројекцијама до 2030. године - фаза II, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, 2012.