

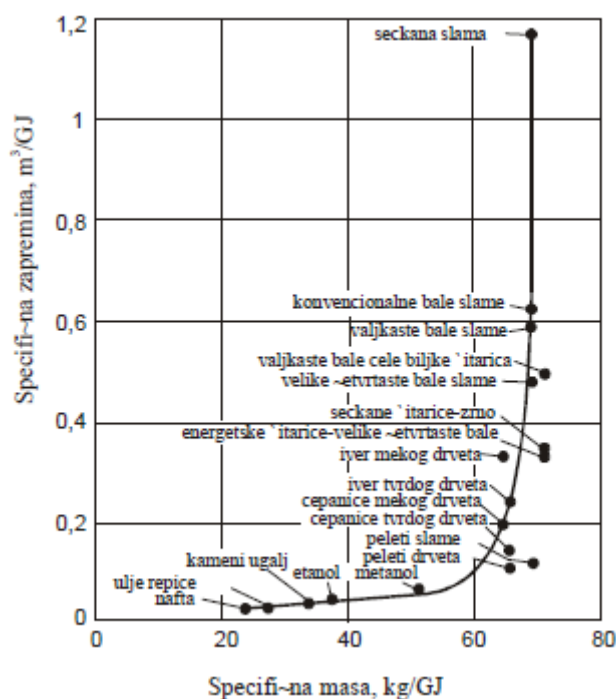
4 БИОМАСА

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. Значај примене биомасе може се сагледати кроз следеће погодности:

- смањење зависности од фосилних горива
- смањење зависности од увоза
- сигурност снабдевања
- смањење загађења животне средине
- смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште
- отварање нових радних места и др.,

при чему ни на који начин не сме да се угрози ланац исхране и мора да задовољи критеријуме одрживости. Недостаци преимене биомасе у енергетске сврхе су:

- мала запреминска топлотна моћ (Слика 4.1)
- неопходне велике површине земљишта
- неопходност развијања различитих технологија
- цена енергије зависи и од могућности коришћења нуспроизвода и др.



Слика 4.1: Специфична маса/запремина различитих врста биомасе (садржај воде 15 % m/m)

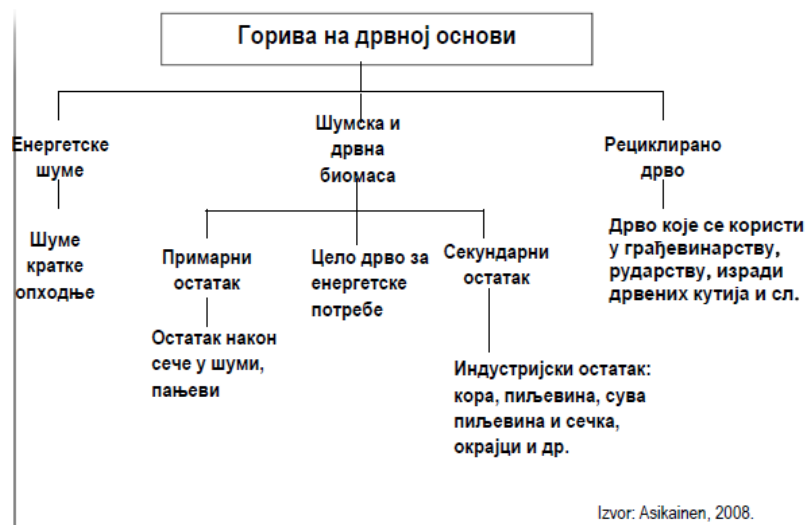
С обзиром на различите захтеве који се постављају пред биомасу, уведен је читав низ дефиниција како би се што прецизније одредиле врсте и расположиве количине које се могу користити у енергетске сврхе, као и да би се на основу карактеристика различитих врста биомасе одредиле најбоље могућности примене. 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/ЕЗ). 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 4.2,
- 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 - течно стајско ђубриво) и
- отпад (биоразградиви део индустријског и комуналног отпада).



Izvor: Asikainen, 2008.

Слика 4.2: 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.

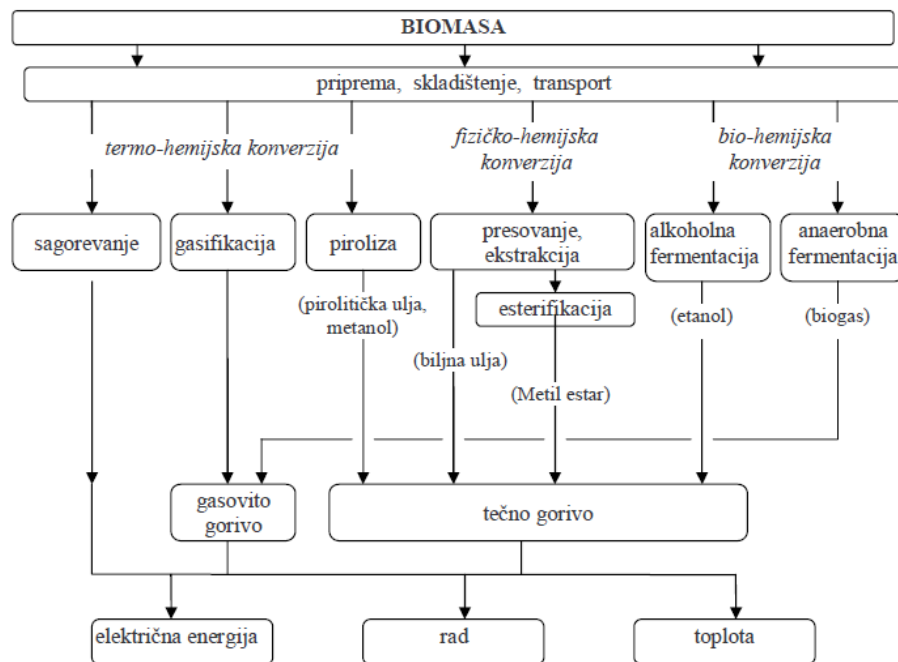
Рециклирано дрво је могуће користити у енергетске уз претходну карактеризацију у смислу категорије отпада (опасан/неопасан отпад). Уколико рециклирано дрво није третирано бојама и лаковима, као и неким другим хемикалијама, могућа је његова примена у енергетске сврхе.

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.).

За примену биомасе као горива користи се велики број различитих технологија трансформације са циљем добијања чврстих, течних и гасовитих горива која се даље користе за добијање топлоте и електричне енергије или за добијање горива различите намене (горионици, котлови, генератори, мотори са унутрашњим сагоревањем, турбине, гориве ћелије) – Слика 4.3.



Слика 4.3: Основне технологије конверзије биомасе

За анализу могућности примене биомасе, неопходна је анализа расположивих потенцијала и технологија, као и економских параметара који се односе на цену биомасе као сировине, цену енергије добијене из биомасе и конкурентност ових цена у односу на друге изворе енергије. На основу наведених анализа дефинишу се теоријски, технички и економски потенцијал биомасе. Процена потенцијала може да се врши према различитим методологијама и у зависности од примењене методологије могуће су значајне разлике у процењеним количинама.

У наставку, детаљно ће бити обрађене поједине карактеристике биомасе и горива произведена из биомасе, као и технологије за производњу горива из биомасе и њихово коришћење у енергетске сврхе.

4.1 ЧВРСТА ГОРИВА - БИОМАСА

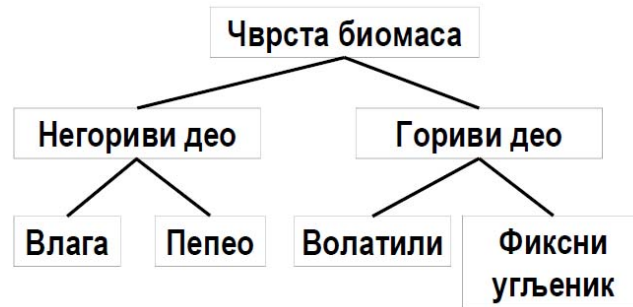
Чврста горива, па самим тим и биомаса, се могу разврстати на више начина. У наставку, биће приказане кључне карактеристике чврстих горива, на основу којих се врши њихова оцена и могућност оптималног коришћења.

4.1.1 ТЕХНИЧКА АНАЛИЗА ЧВРСТИХ ГОРИВА

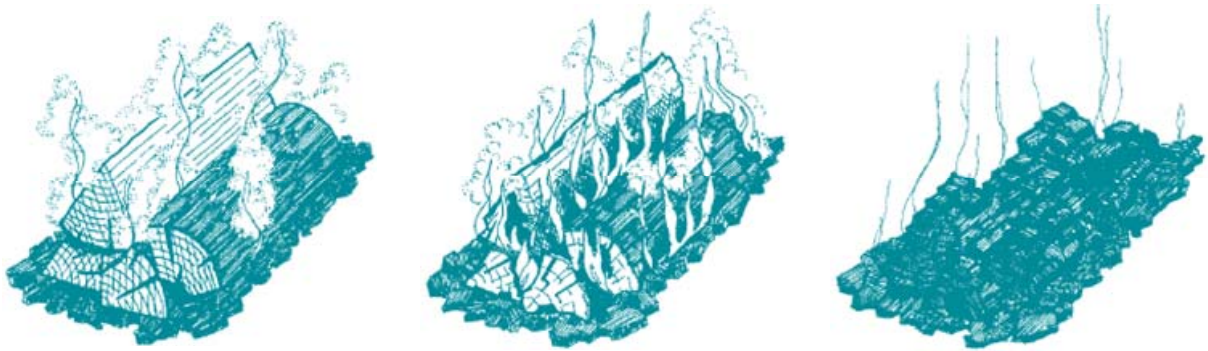
Поред елементарне анализе, која је неопходна за низ топлотних прорачуна, за оцену могућности адекватне примене једног горива, а нарочито чврстих (биомасе), користи се такозвана техничка анализа. Техничка анализа се заснива на термичком разлагању масе горива. термичко разлагање горива представља процес који прати све видове коришћења чврстих горива (Слика 4.4) 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 4.4. Оваква подела масе горива може се повезати са фазама у сагоревању горива (биомасе) и то (Слика 4.5):

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



Слика 4.4: Основни подаци техничке анализе горива (значајни за све процесе засноване на термичком разлагању горива)

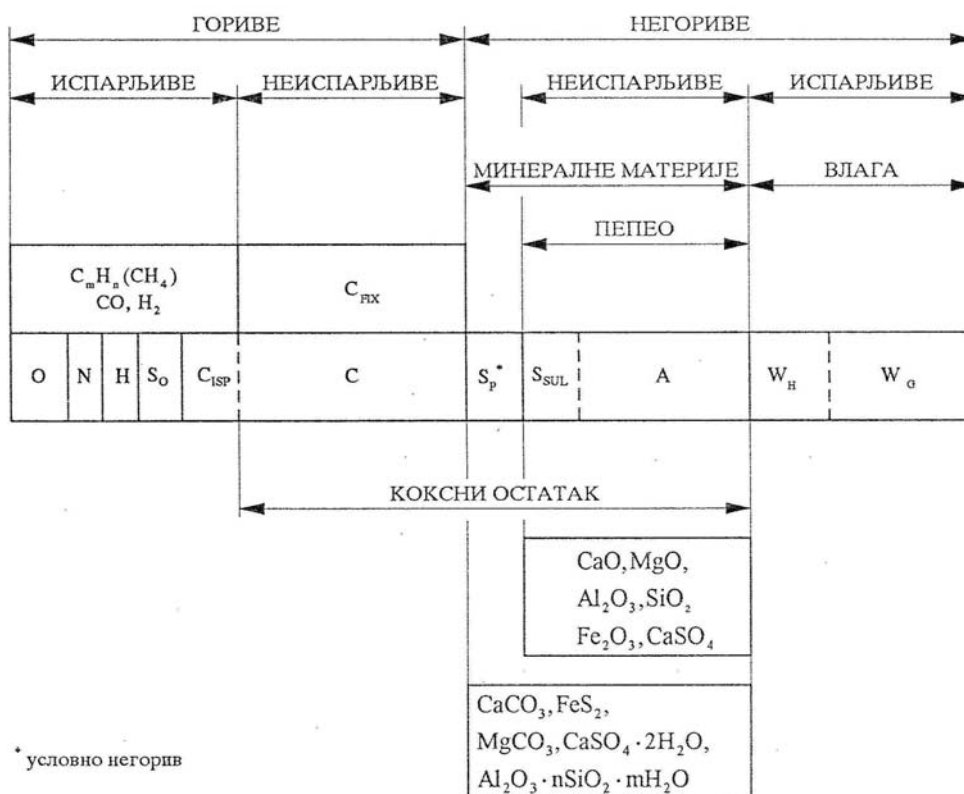


Слика 4.5: Фазе сагоревања биомасе

На основу претходне анализе, може закључити да су основни подаци техничке анализе (Слика 4.6):

- 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 планема, изглед и структура коксног остатка и др.



Слика 4.6. Техничка анализа чврстих горива

4.1.2 ПЕПЕО

Пепео који се налази у биомаси доводи до погоршања преноса топлоте на грејне површине, а самим тим и до погоршања процеса загревања и испаравања воде, прегревања паре и загревања ваздуха.

Изузетно важна карактеристика је понашање пепела на повишеним температурама, када долази до топљења пепела и његовог лепљења по озиду и грејним површинама. Образовање наслага пепела на грејним површинама котла, огледа се у знатном смањењу коефицијента пролаза топлоте.

Понашању пепела добијеног сагоревањем биомасе посвећује се посебна пажња јер овај пепео има склоност ка топљењу на температурама нижим у односу на пепео који потиче од сагоревања угљева. Ниске тепературе топљења су посебно изражене при сагоревању пољопривредне биомасе.

Утицај наслага пепела на пренос топлоте анализира се на примеру загревања воде или водене паре топлотом димних гасова у случају да на цевима нема наслага пепела и у случају да постоје насlage на цевима.

Ако се посматра чиста цев дебљине δ , познатог коефицијента провођена топлоте λ која се са једне стране загрева топлотом димних гаосва, а са друге хлади водом или воденом паром, онда се коефицијент пролаза топлоте може представити изразом:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где су:

- k — коефицијент пролаза топлоте,
- α_1 (W/m^2K) — коефицијент пролаза топлоте од димних гасова на чисту цев која се налази у струји димних гасова,

- α_2 (W/m^2K) – коефицијент пролаза топлоте од зида цеви на пријемник топлоте,
 δ/λ (m^2K/W) – отпор провођењу топлоте кроз зид цеви.

Промена темпеатуре представљена је на Слици 4.7а.

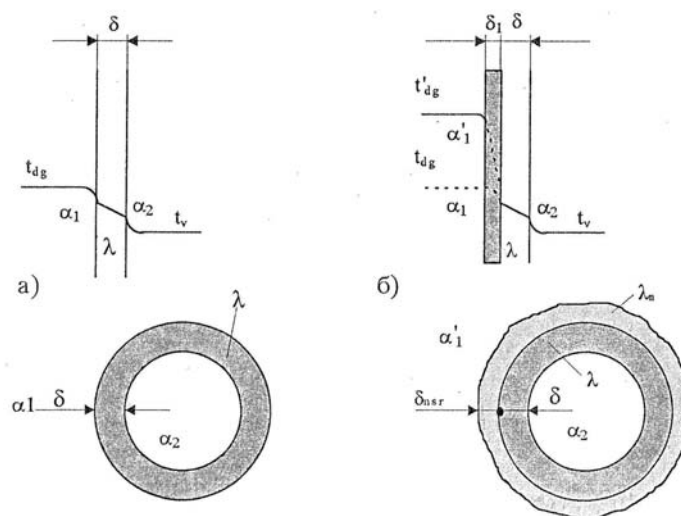
Ако са стране димних гасова дође до стварања наслага пепела промениће се и коефицијент прелаза топлоте α_1 , а јавиће се слој пепела, чврсто прионулог за зид цеви, дебљине δ_n и коефицијента проводљивости топлоте λ_n .

Коефицијент пролаза топлоте погоршаће се тако да ће његова вредност бити:

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{\delta_{nsr}}{\lambda_n} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

- α_1' (W/m^2K) – коефицијент пролаза топлоте од димних гасова на спољашњу површину наслага пепела. Како су облик и хрпаваост чисте и запрљане цеви различити, α_1' разликоваће се од α_1 .

Промена температуре приказана је на Слици 4.7б. Као што се из слике може закључити, да би се остварила иста температура воде или водене паре, потребно је повећати потрошњу горива, односно довести већу количину топлоте, што погоршава степен корисности постројења (котла), а истовремено, посматрано у дужем временском интервалу, води механичком преоптерећењу материјала цеви. Такође, ово води повишењу температуре димних гасова на излазу из ложишта и на крају котла.



Слика 4.7

Присуство слоја пепела на грејним површинама утиче и на размену топлоте зрачењем. При стварању наслага око чисте цеви долази до повећања температуре спољне површине слоја у односу на температуру зида чисте цеви, тј. до смањења разлике температура која у изразу за размењену топлоту фигурише на четвртом степену.

Према температури топљења, пепео се може разврстати у неколико група. Пепео је:

- лако топљив, уколико је температура топљења нижа од 1200°C,
- средње топљив, ако је температура топљења од 1200 до 1350°C,
- тешко топљив, ако је температура топљења од 1350-1500°C,
- практично нетопљив, ако је температура топљења пепела виша од 1500°C.

Оваква подела, и поред тога што се често користи, није коректна: пепео, као мешавина више компонената нема једну одређену температуру топљења. Појава топљења се јавља у одређеном температурском интервалу, чији су положај и опсег од изузетног значаја за примену.

Примена такозваног „индекса топлљивости“ има већи значај са аспекта примене. Индекс топлљивости се дефинише односом тешко и лако топлљивих оксида:

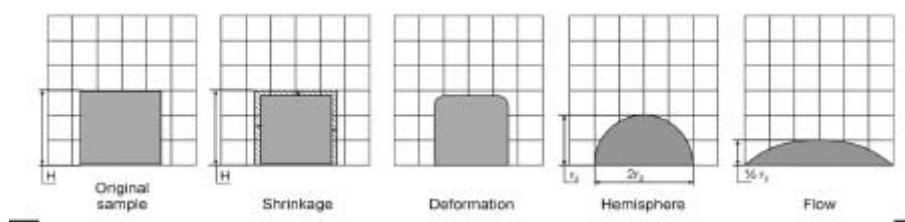
$$F = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{FeO + Fe_2O_3 + CaO + MgO + ..}$$

Према индексу топлљивости, пепео може бити:

- лако топлљив, уколико је $F = 0,2-1,5$
- средње топлљив, уколико је $F = 1,5-2,5$
- тешко топлљив, ако је $F = 2,5$

За оцену понашања пепела на повишеним температурама, коју је у лабораторијским условима тешко у потпуности симулирати, може да се оцени и на основу промене геометрије узорка пепела (Слика 4.8), при чему се разликују следеће температуре:

- Температура омекшавања
- Температура деформације
- Температура полулопте
- Температура разливања (течења).



Слика 4.8: Карактеристични облици узорка пепела за које се региструју одговарајуће температуре

Елементарни састав и састав оксида у пепелу за различите врсте биомасе приказани су у Табели 4.1.

Табела 4.1

		Olive stones	Luxemb	Waldbank	Stav
Amount of ash (550°C)	[%] dry	2.8	0.5	0.6	0.5
Mixature content	[%] air	90.9	8.7	94.4	8.0
C	[%] dry	50.2	48.1	60.4	48.8
H	[%] dry	6.3	5.6	6.1	5.7
O	[%] dry	41.2	38.3	42.6	40.9
Si	[%] dry	0.2	3.1	0.2	0.8
B	[%] dry	0.00	0.08	0.01	0.10
Cl	[%] dry	0.02	0.21	0.01	0.14
High composition					
SiO ₂	[%] dry ash	18.7	6.77	5.34	13.4
Al ₂ O ₃	[%] dry ash	1.78	0.76	0.87	0.82
CaO	[%] dry ash	17.1	27.9	20.8	8.49
Fe ₂ O ₃	[%] dry ash	0.68	0.39	2.17	0.48
K ₂ O	[%] dry ash	23.3	20.8	8.24	17.9
MgO	[%] dry ash	0.08	0.82	3.10	2.17
MnO ₂	[%] dry ash	0.08	0.044	0.40	0.07
Na ₂ O	[%] dry ash	0.08	0.89	0.29	0.38
P ₂ O ₅	[%] dry ash	2.10	0.69	1.70	2.38
TiO ₂	[%] dry ash	0.00	0.008	0.00	0.05
Sum of oxides	[%] dry ash	84.9	71.8	46.0	55.8

4.1.3 ГОРИВЕ ИСПАРЉИВЕ МАТЕРИЈЕ

Гориве испарљиве материје су значајне приликом термичког разлагања биомасе, како у процесима сагоревања, тако и у различитим процесима гасификације и пиролизе. Услед наглог загревања биомасе приликом сагоревања или других процеса (гасификације и пиролизе), долази до издвајања горивих и негоривих испарљивих материја. Настале гориве испарљиве материје образују са околиним кисеоником смешу, која је, зависно од степена загрејаности, способна да се упали. Сагоревањем горивих испарљивих материја почиње обично процес сагоревања биомасе.

Термичким разлагање биомасе, при чему се издвајају гориве испарљиве материје (волатили), настаје коксни остатак. Ово није карактеристично само за процесе сагоревања, већ и све остале процесе трансформација.

Састав горивих испарљивих материја у подацима техничке анализе, преко елемената ($C_{isp}+N+O+N$) не даје довољно података за процену понашања и анализу процеса деволатилизације, односно термичког разлагања. Наведени елементи су углавном међусобно сједињени, сем водоника који може бити и елементаран и у оквиру осталих виших угљоводоника. CH_4 , CO и CO_2 чине 80-90% свих волатила.

Количина и састав горивих испарљивих материја зависе од низа утицајних величина:

- врсте биомасе,
- брзине загревања,
- максималне температуре при загревању,
- времена излагања максималној температури и др.

Што је садржај горивих испарљивих материја већи, то је лакше паљење и утолико брже сагоревање. Истовремено, што је садржај горивих испарљивих материја већи, њиховим сагоревањем развиће се већа количина топлоте, па ће се процес сагоревања лакше одвијати. Упоредни преглед садржаја волатила у различитим врстама чврстих горива дат је у Табели 4.2.

Табела 4.2

Врста горива	Садржај волатила (% m/m , чиста горива маса)
дрво	85
лигнит	50-60
мрки угљеви	35-50
антрацит	4-7

4.1.4 ЗНАЧАЈ ПОДАТАКА ТЕХНИЧКЕ АНАЛИЗЕ

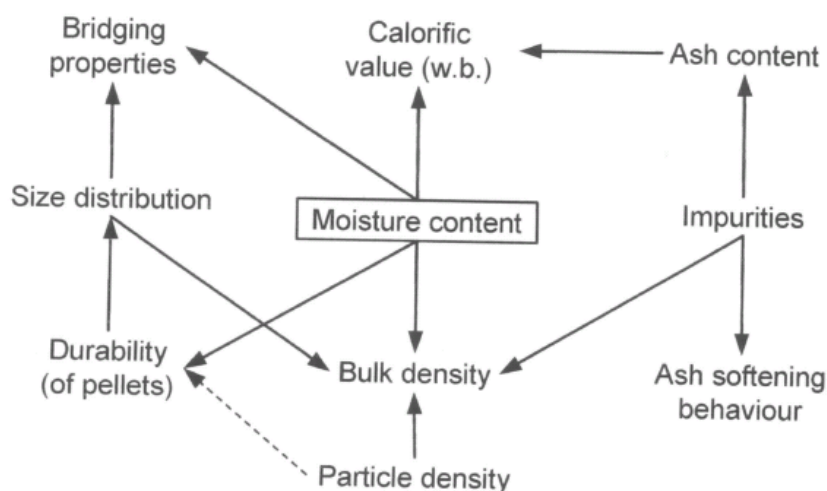
Свака од карактеристика, које су до сада разматране, има много шире значење и често пресудан утицај на целокупан систем, у коме се биомаса користи. Ово се најбоље може уочити на примеру биомасе, при чему се сагледава снабдевање, конверзија у друге облике или видове енергије и емисије из процеса сагоревања (Слика 4.9). Због великог броја специфичности биомасе у односу на друге врсте чврстих горива, за потпуно сагледавање могућности коришћења биомасе потребно је вршити велики број различитих анализа које омогућавају одређивање:

- хемијског састава,
- биохемијског састава,
- физичког састава,
- физичких карактеристика и
- конверзионих карактеристика.

Зависност између појединих карактеристика биомасе приказана је на Слици 4.11.

Биомаса	снабдевање			конверзија			емисије		
	транспорт	складиштење	припрема (предтретман)	(ко-)сагоревање	(ко-)гасификација	пиролиза	дигестија/ ферментација	пречишћавање гасова	емисије
Хемијски састав									
• C, H, O, N, S, Cl&F									
• алкални елементи									
• тешки метали									
• састав пепела									
Биохемијски састав									
• целулоза									
• лигнин									
Физички састав									
• садржај влаге									
• садржај волатила									
• садржај пепела									
Физичке карактеристике									
• густина									
• насипна густина									
• расподела величине честица									
• морфологија									
• отпорност на трошење									
• механичка чврстоћа									
• карактеристике растворљивости									
Конверзионе карактеристике									
• реактивност									
• топљивост пепела									
• горња топлотна моћ									
• карактеристике синтеровања									

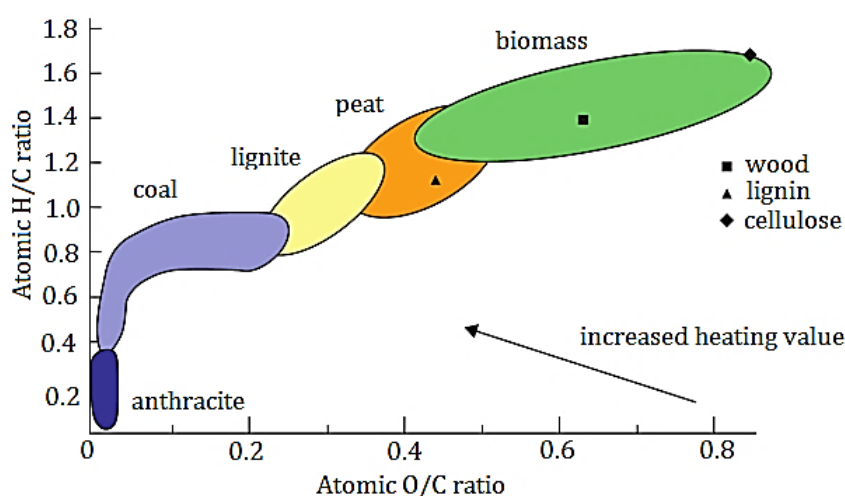
Слика 4.9



Слика 4.10: Зависност између појединих карактеристика биомасе

Приликом хемијске анализе биомасе, потребно је извршити одређивање и садржаја Cl и F, а посебно код пољопривредне биомасе. Одређивање садржаја Cl и F је важно због образовања HCl и HF током процеса сагоревања и чије присуство у димним гасовима може утицати на појаву корозије. Истовремено, одређивање садржаја K, Ca, Cl, S указује на карактеристике пепела и могућност појаве корозије. Присуство тешких метала у пепелу одређује могућности коришћења пепела.

У хемијском саставу биомасе, карактеристичан је висок садржај кисеоника, тако да је однос O/C значајно виши у односу на угљеве. Такође, и однос H/C је виши у односу на угљеве (Слика 4.11).

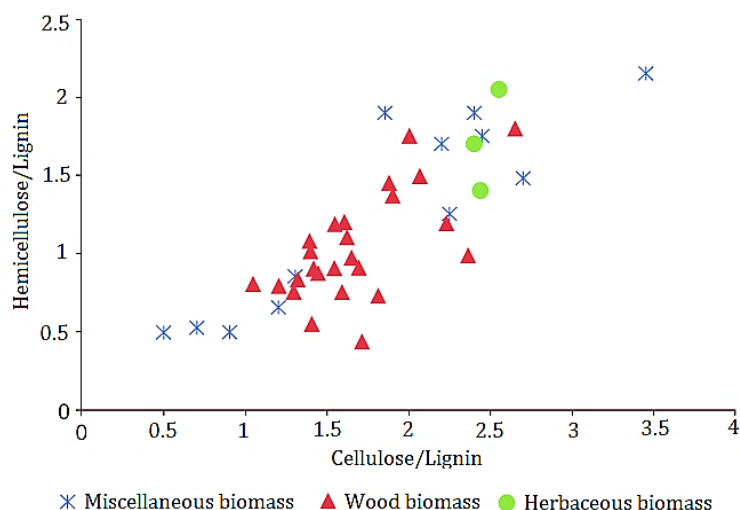


Слика 4.11: van Krevelen-ов дијаграм

Биохемијски састав указује на садржај целулозе и лигнина. Биомаса (биљна биомаса) садржи око 25% лигнина и 75% угљених хидрата или шећера. Угљени хидрати се састоје од молекула шећера повезаних у дуге ланце или полимере и разликују се две врсте: целулоза и хеми-целулоза. Лигнин се састоји од молекула који не спадају у шећере, већ делују као везивно средство, односно спајају целулозна влакана. Биохемијски састав различитих врста биомасе приказан је у Табели 4.3 и на Слици 4.12.

Табела 4.3

	Целулоза	Хемицелулоза	Лигнин
Меко дрво (јела, смрча, топола)	45	25	30
Тврдо дрво (храст, буква, цер)	42	38	20
Слама	40	45	15



Слика 4.12

Значај података о физичком саставу биомасе (садржај влаге, волатила и пепела) је већ објашњењем у претходним поглављима. Додатно, потребно је истаћи значај податка о садржају влаге у биомаси: влага утиче на тзв. “дужину живота биомасе” током периода складиштења. У случајевима када је садржај влаге у биомаси велики (посебно у случају пољопривредне биомасе), процес труљења може бити интензиван, што доводи до деградације карактеристика биомасе као горива. Начини правилног одлагања и складиштења биомасе су изузетно важни и могу да допринесу могућности дужег складиштења пре коришћења у конверзионим процесима. Додатно, потребно је водити рачуна и спречавању појаве самопаљења биомасе током складиштења. Величине које утичу на појаве самозагревања и самопаљења:

- карактеристике складишта (дужина, висина, порозност),
- карактеристике околине (температура околине, брзина ветра) и
- карактеристике биомасе (врста биомасе, садржај влаге, величина комада).

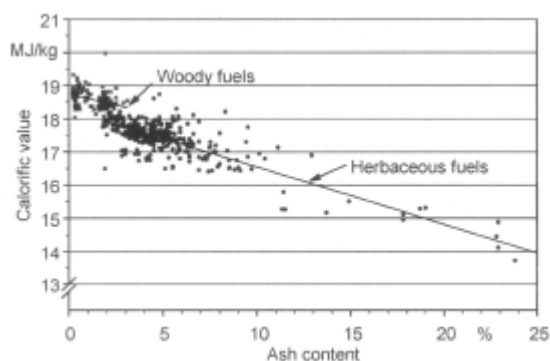
Од физичких карактеристика посебно је важна запреминска топлотна моћ (Слика 4.1). С обзиром на изузетно малу запреминску топлотну моћ сецкане сламе, ова врста биомасе се користи у облику бала (конвенционалне и ваљкасте бале), чиме се постиже повећање запреминске топлотне моћи.

Просечни састав дрвне биомасе приказан је у Табели 4.4.

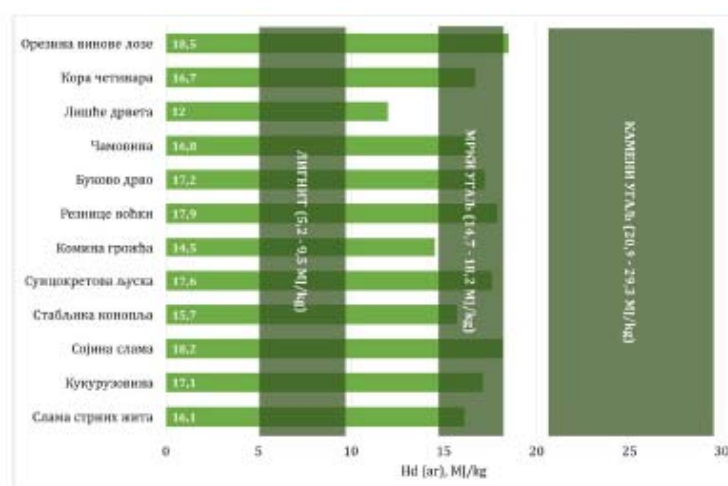
Табела 4.4

Хемијски састав		Компоненте	
C	51 %	Целулоза	50 %
O	42 %	Хемицелулоза	25 %
H	6 %	Лигнин	25 %
N	< 1 %	Смоле	< 5 %
S	< 0,1 %	Пепео	< 1 %

Зависност топлотне моћи од садржаја пепела (сува маса горива) за различите врсте биомасе приказана је на Слици 4.13. Садржај пепела у пољопривредној биомаси је већи од садржаја пепела у дрвној биомаси, што проузрокује и мању топлотну моћ пољопривредне биомасе. Поређење топлотне моћи биомасе и различитих врста угља приказана је на Слици 4.14.



Слика 4.13



Слика 4.14

4.1.5 РАСПОЛОЖИВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ БИОМАСЕ У ЕНЕРГЕТСКЕ СВРХЕ

Биомаса као примарни извор енергије може се користити у свим секторима енергетике, односно за производњу електричне и/или топлотне енергије и за производњу биогорива за саобраћај. С обзиром на разноликост биомасе, начини коришћења могу бити различити – у облику чврстог горива (непрерађена биомаса – огревно дрво и сечка или у прерађеном облику – брикети, пелети, торификовани пелети) или у облику течног или гасовитог горива која се добијају различитим поступцима конверзије (Слика 4.15). Основни разлог за прераду биомасе у прерађена чврста, течна и гасовита горива је добијање горива веће енергетске густине у односу на растреситу биомасу, чиме се постиже лакше складиштење, транспортовање и руковање. Приликом сагледавања процеса прераде биомасе у различите врсте чврстих, течних и гасовитих горива неопходно је сагледати потребну количину енергије за њихову производњу (све фазе од сакупљања на месту настајања до производње коначног производа, спремног за примену у енергетске сврхе), као и емисију гасова са ефектом стаклене баште.

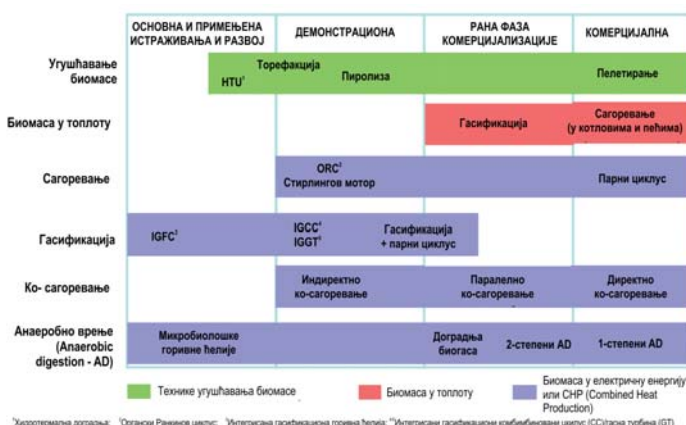
За коришћење биомасе у енергетске сврхе расположиве су различите технологије које се налазе у различитим фазама развоја – од основних и примењених истраживања и развоја до комерцијалне примене (Слика 4.16).

Различити процеси сагоревања представљају највише коришћену технологију примене биомасе у енергетске сврхе. Пелети и торификовани пелети као прерађена чврста горива, због својих димензија (цилиндрични облик пречника 6 – 10 mm и дужине 10 – 30 mm), омогућавају аутоматизацију процеса сагоревања континуалним увођењем у ложиште потребне количине горива. Ова горива су посебно погодна за примену у пећима и котловима

малих снага који се користе у домаћинствима, иако се могу користити и у индустријским котловима и термоенергетским котловима (ко-сагоревање са угљем). Најчешћа примена ко-сагоревања је у котловима са сагоревањем угља у спрашеном стању и највише постројења има у Финској, Сад, Немачкој, Великој Британији, Шведској и Холандији. Учешће биомасе у овим постројењима износи до 20 % (у односу на садржај енергије). Постројења са сагоревањем биомасе која се користе за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије, као и процеси ко-сагоревања биомасе са угљем, представљају савремене начине коришћења биомасе са високим степеном енергетске ефикасности.



Слика 4.15. Преглед технологија за коришћење биомасе у енергетске сврхе



Слика 4.16. Преглед технологија за коришћење биомасе у енергетске сврхе

Гасификација биомасе се примењује у неколико постројења у свету, али још увек није значајна њена примена због комплексности процеса и цене. У будућности, очекује се да ова технологија буде више коришћена, као и да се користи и за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије у постројењима мањих снага.

Производња биогаза на бази анаеробне дигестије је комерцијално доступна технологија. Поред већ распрострањене примене биогаза за производњу топлотне и/или електричне енергије, у складу са Директивом 2009/28/ЕЗ могуће је произведени биогаз интегрисати у мрежу природног гаса. У том случају, захтеви у погледу квалитета биогаза су изузетно строги и у припреми је доношење одговарајућег европског стандарда.

Литература

- [1] Дражић Д.: Могућност производње биомасе за енергију из плантажа кратке опходње на пределима деградираним површинском експлоатацијом угља, Београдски фонд за политичку изузетност, Округли сто Биомаса – неискоришћени потенцијал, Београд, 2014.