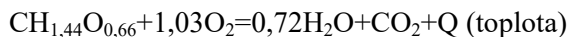


5 САГОРЕВАЊЕ БИОМАСЕ

Сагоревање биомасе је најраспрострањенији начин њеног коришћења и представља сложен физичко-хемијски процес који се може приказати на следећи начин:

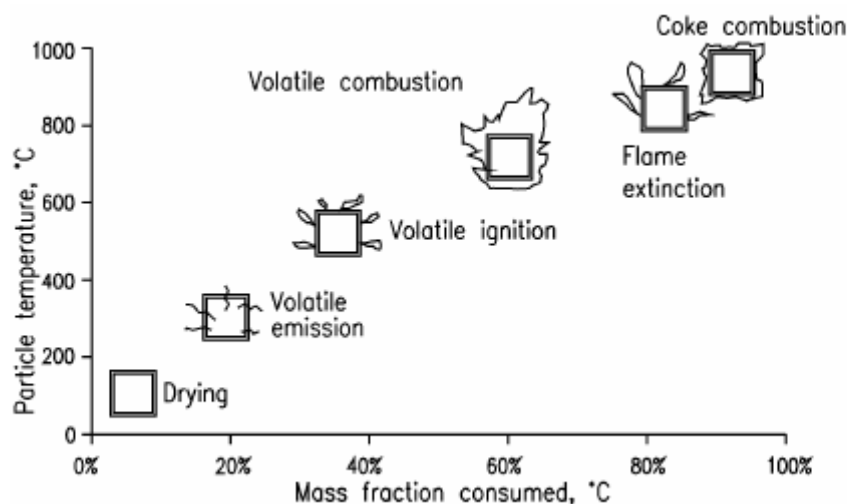


при чему је $\text{CH}_{1,44}\text{O}_{0,66}$ је приближна хемијска формула за биомасу. У овом процесу хемијски везана енергија биомасе претвара се у топлотну енергију.

У општем случају при сагоревању чврстих горива, укључујући и биомасу, разликују се четири карактеристична периода у процесу сагоревања (Слика 5.1):

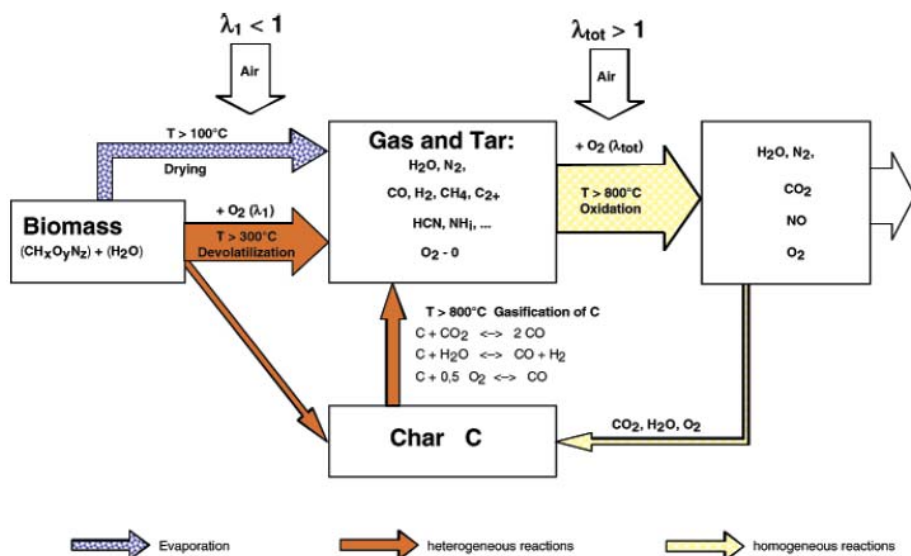
- I период – период закашњења паљења волатила (горивих испарљивих материја) - временски период од увођења горива у ложиште до појаве видног паљења горивих испарљивих материја; у току ове фазе издвајају се највећим делом гориве испарљиве материје, мешају са ваздухом образујући смешу погодну за паљење
- II период – период сагоревања волатила (горивих испарљивих материја) - временски период од тренутка паљења горивих испарљивих материја до краја сагоревања горивих испарљивих материје
- III период – период закашњења паљења коксног остатка
- IV период – период сагоревања коксног остатка - временски период од почетка па до краја сагоревања коксног остатка.

Приликом оваквог разматрања одвијања процеса сагоревања чврсте биомасе (чврстих биогорива) треба нагласити да је наведена подела условна и да се не могу повући јасне границе између појединих фаза сагоревања. Период закашњења паљења је увек могуће јасно одредити као период од уношења горива у ложиште до појаве видљивог пламена. Од тренутка појаве видљивог пламена, процес сагоревања се континуално одвија и често се за време сагоревања горивих испарљивих материја јавља почетак сагоревања коксног остатка, тако да III фаза уопште не постоји.



Слика 5.1: Фазе сагоревања биомасе [1]

Фаза сагоревања волатила је фаза која је најдоминантнија због велике количине горивих испарљивих материја које се налазе у биомаси. Како брзину сагоревања у општем случају одређује брзина најспорије фазе, то онда, при сагоревању чврсте биомасе (чврстих биогорива), брзину сагоревања одређује брзина сагоревања коксног остатка. Сагоревање чврсте супстанце, представља најсложенији вид сагоревања уопште – хетерогено сагоревање везано за низ физичко-хемијских промена.

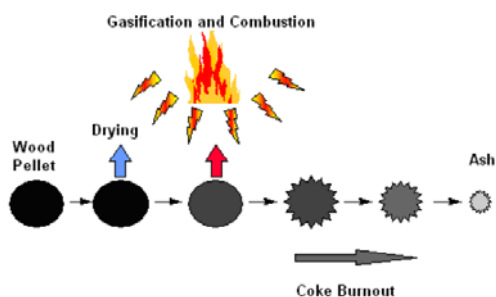


Слика 5.2: Фазе сагоревања биомасе [2]

Процес сагоревања биомасе одвија се кроз истовремено одвијање хомогених и хетерогених хемијских реакција. Најважније фазе процеса сагоревања су (Слика 5.2):

сушење - процес почиње на температурама изнад 100 °C и у условима у којима је најчешће $\lambda < 1$;

- деволатилизација - процес почиње на температурама изнад 300 °C и током процеса термичког разлагања настају гасовити волатили (CO , H_2 , CH_4 , HCN , NH_3 и др.), тер и чврсти остатак – коксни остатак;
- сагоревање гасовите фазе (сагоревање волатила) – процес сагоревања се одвија на температурама изнад 800 °C и при $\lambda > 1$, хомогене хемијске реакције и
- сагоревање коксног остатка - процес сагоревања се одвија на температурама изнад 800 °C и при $\lambda > 1$, хетерогене хемијске реакције. У хемијским реакцијама учествују делимично и продукти настали током сагоревања волатила.



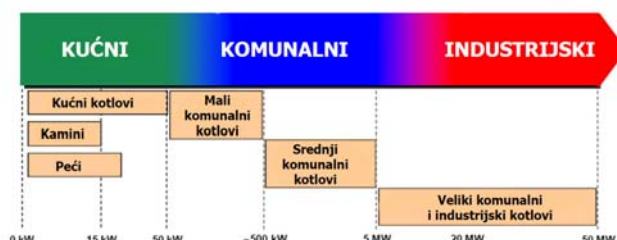
Слика 5.3: Фазе сагоревања пелета од биомасе

Време одвијања сваке од наведених фаза зависи од величине комада чврсте биомасе, карактеристика биомасе, температуре и услова сагоревања. Приказ сагоревања пелета од биомасе дат је на Слици 5.3.

При сагоревању малих комада (честица) биомасе постоји јасно разграничење између процеса сагоревања волатила и сагоревања коксног остатка. Приликом пројектовања уређаја за сагоревање (пећи, котлови) за ову врсту горива, потребно је узети у обзир садржај волатила (80-85 %). За сагоревање великих комада биомасе, карактеристични периоди сагоревања се међусобно преклапају у одређеном степену. Међутим, током сагоревања огревног дрвета, одређено раздвајање појединих периода сагоревања током времена могуће је уочити, посебно у случајевима када не постоји аутоматско довођење огревног дрвета у ложиште.

Подела уређаја за сагоревање

У општем случају, постоје различити критеријуми за поделу уређаја за сагоревање. Најчешће се користи подела у зависности од снаге ложног уређаја (пећ, котло), што истовремено дефинише и намену (домаћинства, комунални системи, индустрија, енергетски котлови). Подела уређаја за сагоревање у зависности од снаге уређаја приказана је на Слици 5.4.



Слика 5.4: Подела уређаја за сагоревање

Сви уређаји за сагоревање, без обзира на снагу и конструкцију, морају да обезбеде захтеване карактеристике које се односе на:

- енергетске карактеристике (називна топлотна снага, степен корисности);
- еколошке карактеристике (емисија CO , NO_x , честице);
- функционалне карактеристике (у зависности од врсте ложног уређаја: за котлове – температура воде у разводу, температура воде у поврату, разлика температуре у разводу и поврату, температура у спремнику за гориво, температуре ручица, температура у пећници за штедњак итд.).

Истовремено, потребно је обезбедити да све захтеване карактеристике буду испуњене у различитим режимима рада и то: номинална и редукована топлотна снага. Уређаји за сагоревање треба да буду поуздани у раду, при чему не сме да дође до појаве зашљакивања ложишта. Могућност лаког и једноставног опслуживања, такође, треба да буде обезбеђена.

Биомаса се најчешће користи за добијање топлотне енергије и то:

- мали и средњи уређајима за сагоревање - пећи и котлови на огревно дрво, пећи на пелет, горионици на пелет - снаге до 50 kW,
- котлови средње снаге – котлови за сагоревање сечке, пиљевине, пољопривредне биомасе - мали и средњи комунални котлови – снаге до 500 kW (мали) и снаге до 5 MW (средњи)
- котлови велике снаге – индустријски и енергетски котлови – снаге веће од 5 MW.

Мали и средњи уређаји за сагоревање првенствено се користе за добијање топлоте и могу се употребљавати за (Табела 5.1):

- директно загревање - пећи које ослобађају топлоту у простору у коме је пећ постављена. Стандардима није предвиђено да буду снаге веће од 50 kW, а многи уређаји који припадају овој групи имају снагу и мању од 10 kW;
- индиректно загревање - котлови за централно грејање једног или више стамбених или пословних објеката, као и котлови за даљинско грејање. Мањи котлови раде са водом као радним флуидом, док већи котлови могу да производе и пару која се, такође, користи за загревање. Европским стандардима су дефинисани котлови на чврста горива за примену у домаћинствима снаге до 50 kW и већи котлови номиналне снаге до 300 kW);
- кување - уређаји намењени за употребу у домаћинствима или у пословним објектима у којима се припрема храна често и често се изводе у комбинацији са директним/индиректним загревањем простора;
- декорацију постора (камини).

У неким случајевима, један уређај може имати вишеструку употребу, нпр. штедњак, поред своје основне функције (кување), врши и загревање простора у коме се налази (директно загревање), а

може имати и уграђен размењивач топлоте преко ког би се обезбеђивала топлота за неки мањи систем централног грејања (индиректно загревање).

Табела 5.1: Области примене загревних уређаја на чврста горива и подела према номиналној снази

Намена	Уређаји за домаћинство (kW)	Комунални/индустријски уређаји		
		мали (kW)	средњи (MW)	велики (MW)
Директно загревање	20 - 35	< 50	-	-
Индиректно загревање	< 50	< 300	0,3 - 0,5	5 - 20
Кување	< 50	< 300	-	-
Декорација	20 - 35	< 50	-	-
Индустријски процеси	-	< 300	0,3 - 0,5	5 - 20

Уређаји за сагоревање пелета од биомасе, као што је већ наведено, се према критеријуму топлотне снаге могу поделити на:

- уређаје мале снаге (номиналне снаге до 100 kW),
- уређаје и системе средње снаге (номиналне снаге од 100 kWth до 1000 kW),
- уређаје и енергетске системе велике снаге (преко 1000 kW).

Пећи на пелет

Пећи на пелет представљају ложне уређаје који служе за загревање просторије у којој се налазе, уз помоћ загрејаног ваздуха који се избацује вентилатором из пећи (Слика 5.5). У оваквим пећима постоји уграђен резервоар за гориво из кога се гориво аутоматски уноси у ложиште. Количина горива у резервоару је довољна за рад пећи од неколико дана, у зависности од конструкције резервоара и режима рада пећи. Аутоматизација рада оваквих пећи је могућа захваљујући уграђеном електронском контролеру који уз помоћ сензора управља читавим системом.



Слика 5.5. Пећ на пелет

Котлови на пелет са спољним гориоником

Котлови на пелет представљају део система централног грејања и служе за загревање више просторија или објеката. У овим ложним уређајима сагоревањем пелета од биомасе се ослобађа топлота која се предаје води која струји кроз систем цеви и преноси до грејних тела у загреваним просторијама. Код котлова на пелет са спољним гориоником сагоревање се обавља у горионику који је постављен изван котла, при чему у котао улазе само загрејани продукти сагоревања који преко размењивачких површина предају топлоту води у котлу. На Слици 5.6 приказана је конструкција једног оваквог котла.



Слика 5.6. Котао на пелет са спољним гориоником

Котлови на пелет са уграђеним гориоником

Код котлова на пелет са уграђеним гориоником, котао и горионик чине целину, а процес сагоревања пелета се обавља у ложишту котла (Слика 5.7). Продукти сагоревања пре изласка у димњак прелазећи преко размењивачких површина предају топлоту води у котлу. Степен корисности оваквих котлова је већи уколико је пут продукта сагоревања од ложишта до димњака дужи.



Слика 5.7. Котао на пелет са уграђеним гориоником

Подела према начину довода горива

У зависности од начина довода горива у ложиште уређаји мале снаге за сагоревање пелета од биомасе, као што је приказано на Слици 5.8, се могу поделити на:

- уређаје са доводом горива од горње стране (1),
- уређаје са доводом горива са доње стране (2),
- уређаје са доводом горива са бочне стране (3).

Уређаји са доводом горива са горње стране

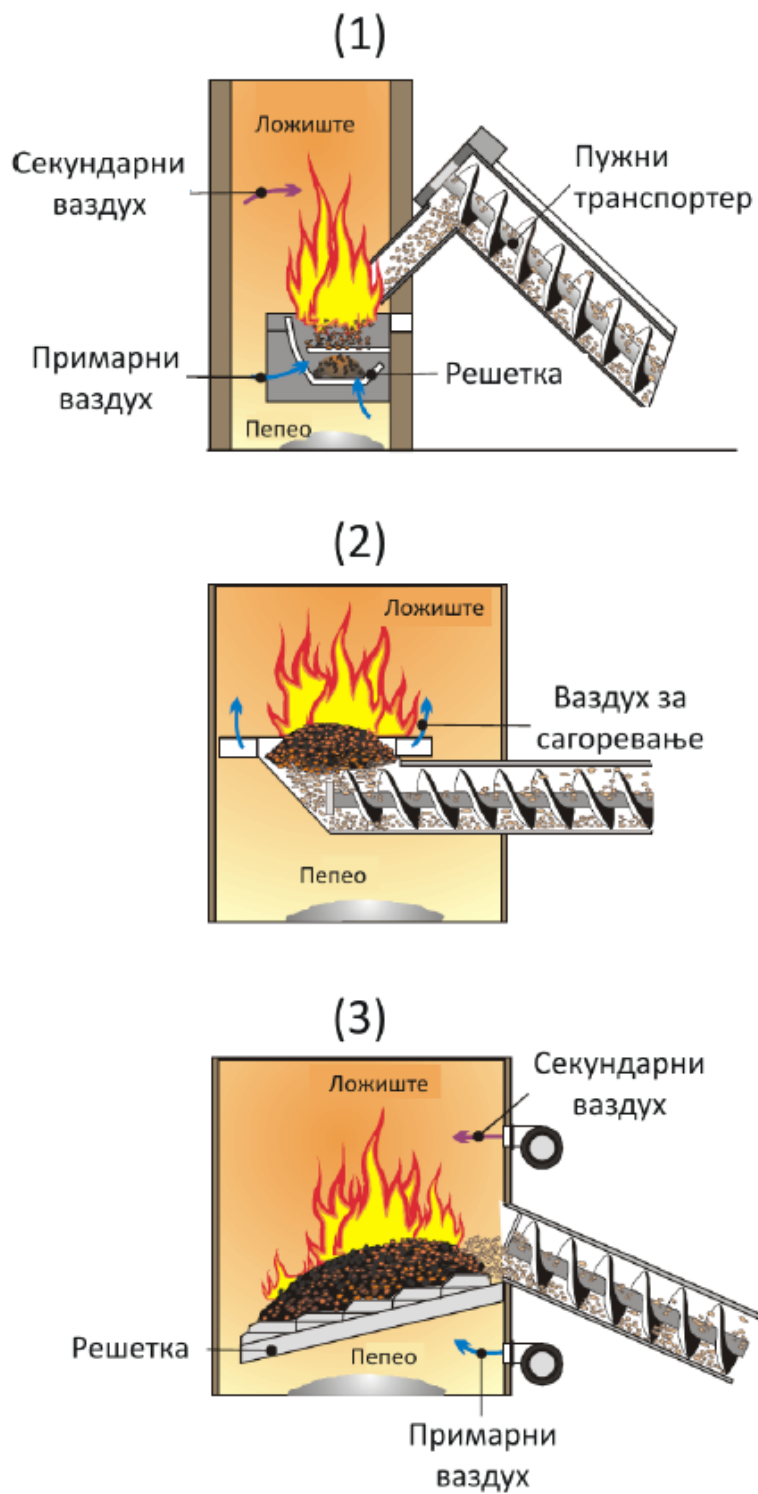
Код котлова за сагоревање пелета код којих се гориво доводи са горње стране пелети се уносе у канал за убацивање у ложиште помоћу пужног транспортера, и слободно падају на решетку на постојећи слој жара. Пепео пропада кроз решетку у пепељару која се налази испод ње. Овакав тип котлова омогућава унос тачно одређене количине горива у зависности од топлотног оптерећења котла, тако да само одређена количина пелета, која зависи од топлотног оптерећења, пада на слој жара на решеци.

Уређаји са доводом горива са доње стране

У ложним уређајима код којих се гориво доводи са доње стране (који се још називају котлови са перфорираном плочом) пужни додавач хоризонтално уноси гориво у доњи део котла испод перфориране хоризонталне плоче на којој се врши сагоревање пелета, одакле се потискује нагоре. Примарни ваздух за сагоревање се уводи у ложиште са стране и кроз отворе плоче. Пепео се сакупља на ивицама плоче, и пада у кутију за пепео (пепељару) која је смештена испод.

Уређаји са доводом горива са бочне стране

Код котлова са доводом горива са бочне стране, за разлику од осталих конструктивних решења, гориво се уноси у ложиште са бочне стране уз помоћ хоризонталног пужног додавача. Примарни ваздух се обезбеђује са горње и доње стране слоја жара. Пепео који се сакупља на ивицама пужног додавача пада у пепељару која се налази испод. Утицај пепела на слој жара је нешто израженији него код уређаја са доњим доводом, али не толико значајан као код довода горива са горње стране.



Слика 5.8. Начин довода горива у уређајима за сагоревање пелета

Уређаји средњих и већих снага

Подела уређаја средњих и већих снага за сагоревање биомасе може се извршити и према условима у којима се врши сагоревање (технологија сагоревања) и то:

- котлови са сагоревањем у флуидизованом слоју
- котлови са сагоревањем на решетки
- котлови са сагоревањем у лету.

За сваку од наведених технологија сагоревања постоји неколико варијантних решења која зависе од максималне величине комада (честица) за сагоревање, начина дозирања биомасе и др. Примена наведених технологија сагоревања биомасе приказана је у Табели 5.2 [3], а могућности примене различитих технологија у зависности од облика биомасе у Табели 5.3 [3]. Предности и недостаци различитих технологија сагоревања приказане су у Табели 5.4 [3].

Табела 5.2

Технологија сагоревања	Примена
Сагоревање у флуидизованом слоју	<ul style="list-style-type: none"> - у зависности од врсте флуидизованог слоја може се користити за различите снаге (до 1 MW_{th} – мехурасти флуидизовани слој, до 30 MW_{th} – циркулациони флуидизовани слој) - биомаса различите гранулације - биомаса са повишеним садржајем влаге и пепела - могућност коришћења биомасе у мешавини са другом врстом горива
Сагоревање на решетки	<ul style="list-style-type: none"> - непокретна решетка (до 1 MW_{th}) - покретна решетка (до 10 и више MW_{th}) - биомаса са повишеним садржајем влаге и пепела - важна дистрибуција ваздуха по попречном пресеку решетке
Сагоревање у лету	<ul style="list-style-type: none"> - погодна технологија за велика постројења - неопходно довољно уситњено гориво (скуп процес) - могућност коришћења биомасе у мешавини са другом врстом горива - потребно је регулисати температуру сагоревања како не би дошло до топљења пепела

Табела 5.3

Облик	Максимална величина комада	Систем дозирања	Технологије сагоревања
Растресито стање	< 5 mm	Директно убацивање, пнеуматски транспорт	Сагоревање у лету, циклонска ложишта, флуидизовани слој
	< 50 mm	Пужни дозатор	Сагоревање на решетки, флуидизовани слој
	< 100 mm	Дозатори са вибрацијом	Сагоревање на решетки, флуидизовани слој
	< 500 mm	Коса раван	Сагоревање у лету, сагоревање на решетки, флуидизовани слој
Уситњене бале	< 50 mm	Опрема за уситњавање, пнеуматско дозирање или пужни дозатор	Сагоревање у лету, сагоревање на решетки, флуидизовани слој
Бале	бале	Хидраулички дозатор	Сагоревање на решетки
Пелети	< 30 mm	Пужни дозатор	Сагоревање на решетки, флуидизовани слој
Брикети	< 120 mm	Коса раван	Сагоревање на решетки, флуидизовани слој

Табела 5.4

Предности	Недостаци
Сагоревање у флуидизованом слоју	
Ниска емисија NO_x , велика флексибилност врсте горива и гранулације, висок степен корисности, могућност смањења емисије SO_x	Високо трошкови одржавања, могућност стварања наслага, повећана ерозија измењивачких површина
Сагоревање на решетки	
Ниски инвестициони трошкови, ниски трошкови одржавања, мали садржај несагорелог у пепелу	Мала флексибилност у раду у погледу врсте биомасе, мањи степен корисности због већег вишка ваздуха, нехомогени услови у зони сагоревања
Сагоревање у лету	
Добра контрола процеса сагоревања, висок степен корисности, ниска емисија NO_x	Скупа припрема горива, лоша флексибилност при промени квалитета горива, неопходна опрема за смањење емисије прашкастих материја (летећи пепео), могућност лепљења пепела на измењивачке површине

За сагледавање могућности коришћења биомасе у различитим постројењима, потребно је узети у обзир различите параметре и то:

снага постројења

број сати рада постројења у току године

потребан број возила за допрему потребне количине биомасе до постројења

потребну површину земљишта за производњу потребне количине биомасе.

Приказ ових параметара за различите врсте постројења дат је у Табели 5.5 [3].

Табела 5.5

Врста постројења	Снага постројења/Број сати рада постројења	Потребна количина биомасе (t суве биомасе/год.)	Потребан број возила за допрему потребне количине биомасе до постројења	Потребна површина земљишта за производњу потребне количине биомасе (% у оквиру посматраног радијуса)
Топлана – мале снаге	100-250 kW _{th} 2.000 h	40-60	3-5/год.	1-3 % у радијусу од 1 km
Топлана – велике снаге	250 kW _{th} -1 MW _{th} 3.000 h	100-1.200	10-140/год.	5-10 % у радијусу од 2 km
Електрана са комбинованом производњом – мале снаге	500 kW _e -2 MW _e 4000 h	1.000-5.000	150-500/год.	1-3 % у радијусу од 5 km
Електрана са комбинованом производњом – средње снаге	5-10 Mw _e 5.000 h	30.000-60.000	5-10/дан	5-10 % у радијусу од 10 km
Електрана – велике снаге	20-30 Mw _e 7.000 h	90.000-150.000	25-50/дан и ноћ	2-5 % у радијусу од 50 km

Литеартура

[1] http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/English/Part-4_E.pdf

[2] ***: Biomass Combustion Technology / Combustion

[3] Илић М. и аутори: Енергетски потенцијал и карактеристике биомасе и технологије за њену примену и енергетско искоришћење у Србији, НП ЕЕ611-113А, Београд, 2003.