

Историјски преглед и тренутно стање у производњи и коришћењу биомасе

Славко Ђурић, Ранко Божичковић, Мирјана Ђеранић, Тијана Косанић

Сажетак: Познато је да сагоријевање фосилних горива представља главни вјештачки извор емисије CO_2 у атмосферу и да доводи до загађења животне средине, као и глобалних климатских промјена, тј. ефекта „стаклене баште“. Из ових разлога, умјесто фосилних горива, која се користе у разним гранама енергетике и процесне технике, требало би прећи на алтернативне изворе енергије, који би знатно смањили емисију CO_2 и других гасова стаклене баште.

Биомаса представља биљни материјал добијен реакцијом угљен-диоксида из ваздуха, воде и сунчеве свјетлости, у процесу фотосинтезе, како би се произвели угљени хидрати. У процесу труљења органских материја из биљних остатака, угљеник се враћа у атмосферу у виду угљен-диоксида и/или метана. У атмосфери, током процеса оксидације, од метана поново настаје угљен-диоксид, чиме се кружење угљеника у природи затвара. Данас, биогориво је једино гориво које задовољава критеријум затвореног система у погледу стварања угљен-диоксида и чврстих материјалних продуката сагоријевања. Највећи дио угљеника који се ослобађа у облику угљен-диоксида наредна генерација биљака упија

Цитирање: Ђурић С, Божичковић Р, Ђеранић М, Косанић Т (2023) Историјски преглед и тренутно стање у производњи и коришћењу биомасе. У: Тркуља В, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) Управљање ресурсима у производњи и преради биомасе. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LII:65–103

Cite as: Đurić S, Božičković R, Čeranić M, Kosanić T (2023) Historical overview and current status of the production and use of biomass. In: Trkulja V, Govedar Z, Pržulj N (eds) Resource management in biomass production and processing. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LII:65–103

процесом фотосинтезе или преко минерала из земљишта. Стога, биомаса постаје један од кључних енергетских ресурса у борби са глобалним загријавањем и исцрпљивањем резерви фосилних горива.

Замјена фосилног горива биомасом повољно утиче и на смањење емисије сумпор-диоксида, који је одговоран за настајање киселих киша. Треба истаћи да примарна предност биомасе као извора енергије није у њеном значајном потенцијалу, већ у обновљивости. Управо обновљивост даје суштинску предност биомаси над класичним, фосилним горивима, која су необновљива и самим тим не могу бити основ за дугорочно планирање одрживог раста, који подразумева рационално коришћење енергије.

У области енергетике, Европска унија (ЕУ) је у циљу постизања одрживог развоја окренута ка смањењу емисија CO_2 , а такође и смањењу зависности од увозних горива и промјена у цијени енергената (нафте, гаса итд.). Један од начина смањења емисија CO_2 јесте повећање удјела обновљивих извора у укупној производњи енергије. Циљ држава ЕУ је да остваре 20% уштеде енергије, 20% производње енергије из обновљивих извора и 20% смањења емисије CO_2 („20-20-20 targets“). У циљу одржавања енергетске стабилности и приближавања ЕУ, Босна и Херцеговина, а тако и Република Српска, усвојили су низ закона и прописа о коришћењу обновљивих извора енергије.

У овом раду дати су прегледни подаци о потенцијалима биомасе (дрвне и пољопривредне) у Босни и Херцеговини и у земљама окружења. Посебно је акценат дат на пољопривредну биомасу. Приказани су подаци о физичко-хемијским особинама пољопривредне биомасе као енергетског горива. Наведени су термохемијски поступци прераде биомасе, као што су: пиролиза, гасификација и сагоријевање, и могућност коришћења енергије из наведених процеса. Приказани су апарати и ложишта разматраних процеса која се користе у индустријској пракси. Дат је и преглед емисија загађујућих материја из процеса сагоријевања биомасе.

Кључне ријечи: Биомаса, пиролиза, гасификација, сагоријевање

2.1. Увод

Процеси конверзије енергије присутни су већ хиљадама година. Може се рећи да су стари колико и вегетација. Пламен који настаје при шумском пожару један је од првих примјера пиролизе. Међутим, прошло је много времена док је људски род стекао знање како да искористи поменуте процесе. Коришћење биомасе за добијање енергије није се развијало истом

брзином као и процес индустријализације усљед тада великих залиха и ниских цијена нафте и природног гаса. Тек недавно је дошло до пораста интересовања за конверзију енергије из биомасе, усљед све веће загађености ваздуха „гасовима стаклене баште“, све мањих залиха и већих цијена нафте и гаса и окретања обновљивим и локално доступним изворима енергије. Упркос дугој традицији у коришћењу дрвета као енергента (највише за огрев), у Босни и Херцеговини, као и у Републици Српској, и даље се користе фосилна горива, која се увозе у великим количинама и по високим цијенама. Искуства из развијених земаља показују да су добро организоване и практично утемељене промотивне активности имале масовне тржишне ефекте који су резултирали наглим растом коришћења дрвне биомасе који траје дужи низ година, а према прогнозама, тај тренд ће се наставити и у будућности. Због тога је данас у развијеним земљама биомаса (пољопривредна и дрвна) постала један од веома заступљених енергената у укупној производњи и потрошњи енергије. Многе земље широм свијета укључене су у пројекте осавремењавања енергетских технологија за конверзију хемијски везане енергије биомасе у топлотну енергију. То су савремени мултидисциплинарни пројекти којима се омогућава коришћење енергетских шума или пољопривредне биомасе у енергетским постројењима високе ефикасности за производњу топлоте или топлоте и електричне енергије. Наведени пројекти доказују да енергија из биомасе може бити технички ефикасна, економски исплатива и алтернатива фосилним горивима. Стварање позитивног окружења за употребу биомасе носи са собом одрживо рјешење за будуће енергетске потребе.

2.2. Потенцијал биомасе као енергента из групе обновљивих извора енергије

За анализу могућности примјене биомасе неопходна је анализа расположивих потенцијала и технологија, као и економских параметара који се односе на цијену биомасе као сировине, цијену енергије добијене из биомасе и конкурентност ових цијена у односу на друге изворе енергије. На основу наведених анализа дефинише се теоријски, технички и економски потенцијал биомасе. Процјена потенцијала може да се врши према различитим методологијама и у зависности од примијењене методологије могуће су значајне разлике у процијењеним количинама (Panoutsou et al. 2009).

Сматра се да се посљедњих година коришћењем биомасе обезбјеђује 50×10^{18} J, што представља око 10% потрошње примарне енергије у свијету (WEC 2010). Биомаса се највише користи за производњу електричне и топлотне

енергије, док се само мањи дио ње користи за производњу биогорива. Могућности за повећање коришћења биомасе у енергетске сврхе постоје, и то коришћењем деградираних и некоришћеног земљишта за узгајање лигноцелулозних сировина, као и узгајањем водених организама (алге). Према подацима Свјетског савјета за енергију (World Energy Council, WEC), укупни технички потенцијал свих облика биомасе процијењен је на 1.500×10^{18} Ј/год. у 2050. години, при чему би по критеријумима одрживости овај потенцијал, без водених организама, био смањен на $200\text{--}500 \times 10^{18}$ Ј/год. (WEC 2010).

За производњу енергије најзначајнији извор биомасе у БиХ је шумска дрвна маса (огревно дрво и шумски остатак), те дрвни отпад из дрвне индустрије. Биомасе које се добију од пољопривредне производње имају значајан енергетски потенцијал, а највећи потенцијал обје биомасе имају на подручјима сјеверне и сјевероисточне БиХ (Република Српска).

У Таб. 2.1. приказана је укупна годишња производња дрвног остатка у шумама у БиХ. Од укупне сјече шуме приближно је 3,7 милиона m^3 облог дрвета, док је око 0,75 милиона m^3 дрвни отпад. Као огревно дрво користи се око 1,3 милиона m^3 , а остатак је усмјерен у индустријску употребу. Годишња производња шумских остатака у Босни и Херцеговини процјењује се на око 747.593 m^3 (16,78%), док се укупан дрвни отпад процјењује на око $1.284.624 \text{ m}^3$ (UNDP 2012).

Таб. 2.1. Шумска биомаса и отпад од дрвне индустрије у БиХ (UNDP 2012)
 Tab. 2.1. Forest biomass and waste from the wood industry in B&H (UNDP 2012)

Годишња количина $4.455.557 \text{ m}^3$			
Обло дрво $3.707.964 \text{ m}^3$ (83,7%)		Шумски остатак 747.593 m^3 (16,3%)	
Индустријско и техничко дрво $2.384.679 \text{ m}^3$	Огревно дрво $1.323.286 \text{ m}^3$	За коришћење 498.395 m^3 (66,6%)	Остаје у шумама 249.198 m^3 (33,3%)
Пилански дрвни отпад 786.229 m^3 (32,97%)	—	Лишичари (59,3%) 295.529 m^3	} —
		Четинари (40,7%) 202.866 m^3	
→ Дрвни отпад $1.284.624 \text{ m}^3$ ←			

У Таб. 2.2. приказан је енергетски потенцијал шумске биомасе и отпада од дрвне индустрије (Gvero 2012).

Таб. 2.2. Енергетски потенцијал шумске биомасе и отпада од дрвне индустрије (Gvero 2012)

Tab. 2.2. Energy potential of forest biomass and waste from the wood industry (Gvero 2012)

Врсте дрвне биомасе		Количина м ³ /год.	Количина т/год.	Доња топл. моћ GJ/t	Енерг. потенцијал ТЈ/год.	
Шумска биомаса	Лишћар	295.529	212.781	10,28	2.187	
	Четинар	202.866	91.290	10,28	938	
Отпад од дрвне индустрије	Пиље-вина	Лишћар	283.300	203.976	10,28	2.097
		Четинар	145.227	65.352	10,28	672
	Одре-сци	Лишћар	212.425	152.982	10,28	1.573
		Четинар	145.227	65.352	10,28	672
Укупно		1.284.624	791.733	10,28	8.139	

Потенцијал пољопривредне биомасе у Босни и Херцеговини на годишњем нивоу, ако се узму у обзир ратарске биљке (кукуруз, пшеница, јечам, зоб, раж и уљарице) и воћне врсте (шљива, јабука, крушка и друге), процјењује се на око 1.346.156 т/год. Од тога на ратарске биљке отпада 81,20% (1.093.120 т), а остало на воћне врсте (Таб. 2.3). Годишњи остатак од производње ратарских биљака је 157.2474 т/год. Са степеном искориштења 30%, долазимо до количине 471.743 т/год., што представља енергетски потенцијал од 6.628.782 GJ. Енергетски потенцијал од воћних врста процјењује се на око 840.330 GJ (Gvero 2012).

Таб. 2.3. Годишњи потенцијал пољопривредне биомасе (Gvero 2012)

Tab. 2.3. Annuua potentia of agricultural biomass (Gvero 2012)

Пољопривреда	Производња (тона)	Остатак (тона)	Степен искоришћења	Остатак за енергетску експл.	
				Количина (тона)	Енергетски потенц. (GJ)
Ратарске биљке: кукуруз, пшеница...	1.093.120	1.572.474	30%	471. 743	6.628 782
Воћне врсте: шљива, јабука...	253.034	70.027	80%	54.022	840.330
Укупно	1.346.156	1.642.501	–	527.765	7.469.112

Упоредни подаци производње дрвне биомасе у земљама окружења Босне и Херцеговине приказани су у Таб. 2.4, из које се може видјети да Босна и

Херцеговина има највећу површину земљишта под шумом – око 2.700.000 ха, што је 52,7% од укупне површине земљишта БиХ. На другом мјесту по проценту шума је Црна Гора, са 44,96% земљишта под шумама од укупне површине земљишта Црне Горе, или око 621.000 ха. Треће мјесто заузима Хрватска, са 43,94% тла под шумама у односу на укупну површину тла Хрватске, односно 2.485.000 ха. Задње мјесто по површини тла под шумама заузима Србија, са 25,55%. Када је у питању потрошња огревног дрвета на годишњем нивоу, редослијед земаља у окружењу је сљедећи:

1. Србија, са 1.415.000 м³/год.;
2. Хрватска, са 1.380.000 м³/год.;
3. Босна и Херцеговина, са 1.323.286 м³/год.;
4. Црна Гора, са 175.000 м³/год.

Највећу потрошњу огревног дрвета по становнику има Босна и Херцеговина, са 0,365 м³, потом Црна Гора, са 0,282 м³, Србија, са 0,189 м³, и Хрватска, са 0,169 м³. Ово упућује на закључак да се у БиХ и Црној Гори огревно дрво користи највише за гријање јер има много градова који немају мрежу јавног гријања.

Таб. 2.4. Потенцијал биомасе од шумског дрвета у земљама окружења Босне и Херцеговине (Energy Saving Group 2009)

Tab. 2.4. Potential of forest wood biomass in the neighbouring countries of Bosnia and Herzegovina (Energy Saving Group 2009)

Параметри/државе	БиХ	Хрватска	Србија	Црна Гора
Површина државе (ха)	5.119.700	5.654.200	7.747.400	1.381.200
Површина тла под шумом (ха)	2.700.000	2.485.000	1.980.000	621.000
Процент тла под шумом (%)	52,7%	43,94%	25,55%	44,96%
Запремина шумског дрвета (10 ⁶ м ³)	502	300	205	70
Потрошња огревног дрвета (м ³ /год.)	1.323.286	1.380.000	1.415.000	175.000
Број становника земље (10 ⁶)	3,9	4,4	7,5	0,6
Потрошња огревног дрвета по стан. (м ³)	0,365	0,169	0,189	0,282

2.3. Пољопривредна биомаса као гориво

Биомаса, као обновљиви извор енергије, омогућава примјену у различитим секторима и може значајно да допринесе замјени коришћења фосилних горива, како у свијету тако и у Републици Српској. С обзиром на то да постоје велике разлике у карактеристикама и расположивости биомасе (од земље до земље, од региона до региона), потребно је за сваки конкретан случај размотрити све техничко-технолошке и економске могућности примјене и утицај на животну средину.

С обзиром на различите аспекте коришћења и посљедице коришћења биомасе, 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 примјене (Energy Saving Group 2009). У општем смислу, биомаса представља биоразградиви дио производа, отпада и остатака биолошког поријекла из пољопривреде (укључујући биљне и животињске материје), шумарства и повезаних индустрија, као и биоразградиви дио индустријског и комуналног отпада (WEC 2010).

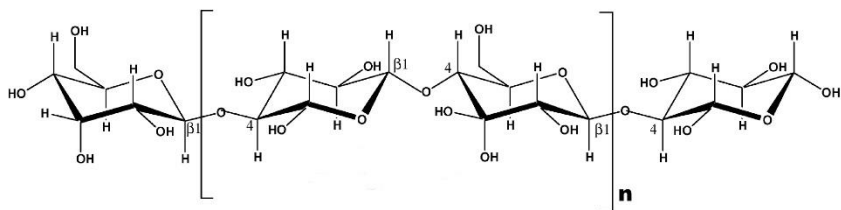
Биомаса се може подијелити на:

- биомасу у изворном облику (сирову биомасу), коју чине: копнене биљке (траве, дрвеће, енергетски засади, обрадиви усјеви) и водени организми (алге и водене биљке);
- остатке (отпадну биомасу): комунални отпад (комунални чврсти отпад, муљ и органске материје добијене третманом отпадног муља), пољопривредни чврсти отпад (пољопривредни биљни остаци, сточни отпад и ђубриво), шумски остаци (кора, лишће, остаци након сјече стабала), индустријски отпад (дрвни отпад, пиљевина, отпадно уље и др.).

Хемијски састав пољопривредне биомасе (кукурузовине) сведене на чисту сагорљиву масу дефинисан је изразом $\text{CH}_{1,4}\text{O}_{0,6}\text{N}_{0,1}$, али постоје велике разлике у природи полимера који улазе у њен састав. Основне структурне компоненте биомасе су: целулоза, хемицелулоза, лигнин и екстрактивна уља (Brkić i sar. 2007).

Целулоза (Сл. 2.1) је хомополисахарид састављен од β -D-глукопиранозних јединица које су повезане (1 \rightarrow 4) гликозидним везама. Молекули целулозе су линеарни; β -D-глукопиранозне ланчане јединице су у конформацији столице, а супституенти HO-2, HO-3 и CH₂OH су у екваторијалном положају. Целулоза показује изражену тенденцију ка формирању интрамолекуларних и

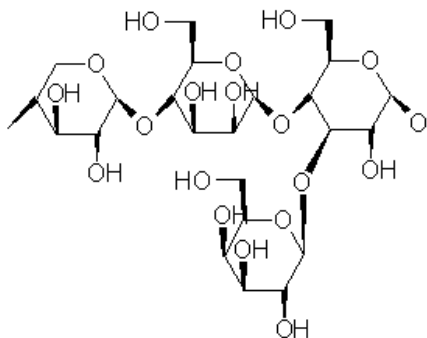
интермолекуларних веза, што чини да молекули формирају микрофibrиле који дијелом чине структуру са високом уређеношћу (кристална) и са мањом уређеношћу (аморфна). Микрофibrили граде фибриле, а затим и целулозна влакна. Влакнаста структура и јаке водоничне везе дају целулози високу затезну чврстоћу и чине влакна нерастворљивим у већини растварача.



Сл. 2.1. Структура целулозе (Mohan et al. 2006)

Fig. 2.1. Structure of cellulose (Mohan et al. 2006)

Насупрот целулози, која је хомополисахарид, хемицелулоза је хетерополисахарид (Сл. 2.2). Мономерске компоненте хемицелулозе су углавном D-глюкоза, D-маноза, D-галактоза, D-ксилоза, L-арабиноза, али у извјесној мјери може бити и L-рамноза уз D-глукозонску киселину, D-галактуронску киселину и 4-O-метил-D-глукозонску киселину. Хемицелулозе могу бити хидролизоване киселинама.

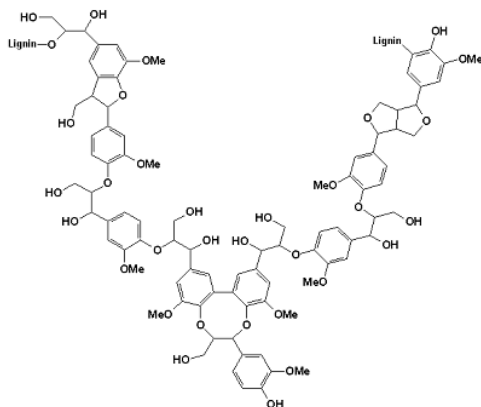


Сл. 2.2. Структура хемицелулозе (Fivga 2011)

Fig. 2.2. Structure of hemicellulose (Fivga 2011)

Лигнини су полимери фенилпропанских јединица који садрже метоксил групе, фенолне хидроксил групе и неке алдехидне групе које су посљедње у ланцу (Сл. 2.3). Релативно мало фенолних хидроксила су слободни, већина их је заузета везама са сусједним фенилпропаном. Повезивање фенилпропанских јединица може се извршити помоћу C-C или C-O-C веза. Поменуте везе су

доминантне и чине барем двије трећине веза. Макромолекул лигнина је веома сложен и његова структура варира у различитим биогоривима.



Сл. 2.3. Структура лигнина (Fivga 2011)
Fig. 2.3. Structure of lignin (Fivga 2011)

Екстрактиви су добили име по томе што се већим дијелом могу уклонити из биомасе екстракцијом са неутралним растварачима. Екстрактиви су компоненте различитог хемијског састава, као што су смоле, шећери, уља, скроб и алкалоиди. Састав варира у зависности од врсте биомасе. Екстрактиви изазивају карактеристичну боју и мирис, или код неких врста биомасе отпорност на труљење и нападе инсеката (Vigouroux 2001).

Неоргански дио биомасе је обично веома мали и чине га алкални метали (Na, K), земно-алкални метали (Mg, Ca) и друге компоненте: S, Cl, N, P, Si, Al, као и тешки метали (Cd, Zn, As, Pb, Cu, Hg). Преостали неоргански дио биомасе након потпуног сагоријевања назива се пепео. Складиштење и транспорт биомасе могу да доведу до присуства нечистоћа: земље, пијеска и камења. Неорганске фракције варирају од 0,1 до 12%. Шумска биомаса садржи мање неорганских материја него слама и житарице. Међу поменутих нечистоћама, неке су штетније у односу на друге. Посебна пажња мора се посветити алкалним металима и земно-алкалним металима, који имају значајну улогу у таложењу пепела, гомилању у слоју, врелој корозији и емисијама честица. И елементи Si, K и Mg такође су значајни због карактеристика насталог пепела, док Cl и S могу да доведу до проблема са корозијом и тзв. „тровања“ SCR катализатора. Тешки метали морају се узети у обзир како би се приступило рјешавању проблема који настају у животној средини усљед поменутог процеса. Азот се дјелимично претвара у NH_3 и HCN, што доводи до даљег формирања HO_x .

Пољопривредна биомаса богата је кисеоником и стога има ниску топлотну моћ. Коришћење биомасе за пиролизу, гасификацију и сагоривање има бројне предности. Значајан дио испарљивих материја и високореактивног коксног остатка добија се након деволатилизације. Садржај пепела има тенденцију да значајно варира у зависности од тога о којој се врсти биомасе ради. Хемијски састав различитих врста пољопривредне биомасе приказан је у Таб. 2.5. (Vigouroux 2001).

Таб. 2.5. Хемијски састав различитих врста пољопривредних биомаса (масени удио %) (Vigouroux 2001)

Tab. 2.5. Chemical composition of different types of agricultural biomass (mass ratio %) (Vigouroux 2001)

Врста пољоприв. биомасе	Целулоза	Хемицелулоза	Лигнин	Екстрактиви	Пепео
Меко дрво	45,8	24,4	28,0	–	1,7
Тврдо дрво	45,2	31,3	21,7	–	2,7
Љуска кокосовог ораха	36,3	25,1	28,7	8,3	0,7
Стабљика кукуруза	42,7	23,6	17,5	9,8	6,8
Пшенична слама	30,5	28,9	16,4	2,4	6,6–11,2
Пиринчана слама	37,0	22,7	2,6	2,1	16,1–19,8

2.4. Техничка и елементарна анализа пољопривредне биомасе

Техничка анализа обухвата одређивање масених удјела влаге, пепела, сумпора (укупног, у пепелу и сагоривог), кокса, фиксног угљеника и испарљивих и сагорљивих материја у биомаси изражених у процентима (%) и топлотну моћ (горњу и доњу) изражену у kJ/kg.

Елементарна анализа горива даје податке о масеним удјелима угљеника, водоника, сумпора, азота и кисеоника у биомаси, што је важно ради коректног димензионисања дијелова термоенергетских постројења. Такође, ради могућности егзактног моделовања процеса термохемијске конверзије биомасе, а самим тим и настанка емисије штетних гасова, нужно је добро изанализирати састав биомасе као горива. Основни подаци о квалитету биомасе као горива добијају се израдом техничке и елементарне анализе који се изражавају у процентима.

Пољопривредна биомаса која се троши у термоенергетским постројењима зове се радно гориво. Ако радном гориву одузмемо сву влагу, добија се сува маса горива, од које се добија сагорљива маса даљим одузимањем минералних материја. У сагорљивој маси инертни азот и кисеоник представљају баластне материје јер њихово присуство смањује стварно сагорљиве састојке горива. У инжењерским прорачунима, при моделовању процеса сагоријевања у ложишту неопходно је познавање прерачунавања са једне масе горива на другу.

У Таб. 2.6. дати су подаци техничке и елементарне анализе пољопривредних биомаса приказаних од стране разних аутора. Могу се уочити приличне неуједначености масених удјела појединих компонената у различитим врстама пољопривредне биомасе. Масени удио угљеника највећи је код кукурузовине (42,2%), а најмањи код пиринчане сламе (36,97%). Масени удио пепела креће се од 4,7% (јечмена слама) до 18,6% (пиринчана слама). Највећу топлотну моћ има кукурузовина (15.413 kJ/kg).

Таб. 2.6. Техничка и елементарна анализа различитих врста пољопривредних биомаса према различитим ауторима
Tab. 2.6. Technical and elementary analysis of different types of agricultural biomass according to different authors

Пољопривредна биомаса (према аутору)	Елементарна анализа					Техничка анализа					
	С	Н	Н	С	О	VM	CO ₂	Н	Пепео	H _g	
	Масени удио (%)					Масени удио (%)					kJ/kg
Кукурузовина (Vassilev et al. 2010)	41,64	5,47	0,60	0,07	37,71	67,70	17,80	7,40	7,10	14.855,63	
Кукурузовина (Wang et al. 2010)	42,20	3,30	0,70	0,10	35,00	68,60	14,90	10,70	5,8	15.413,44	
Кукурузна стабљика (Wang et al. 2012)	37,95	6,47	0,77	0,59	40,76	69,86	16,68	7,39	6,06	14.410,52	
Пшенична слама (Vassilev et al. 2010)	41,25	3,09	0,58	0,14	36,41	67,20	16,30	10,80	6,40	14.398,93	
Пшенична слама (Demirbaş 1997)	41,63	4,67	1,65	0,00	31,20	57,64	21,50	8,50	12,35	14.834,00	
Овсена слама (Vassilev et al. 2010)	42,16	3,18	0,43	0,07	38,53	73,90	12,50	8,20	5,40	14.535,33	
Сојина љуска (Vassilev et al. 2010)	40,22	3,94	0,80	0,09	41,55	69,60	19,00	6,30	5,10	14.391,81	
Сојина љуска (Stojanović i sar. 2010)	36,88	3,71	0,41	0,00	38,60	60,73	20,91	11,35	7,05	13.291,82	
Јечмена слама (Vassilev et al. 2010)	41,40	5,20	0,59	0,11	36,54	67,40	16,40	11,50	4,70	14.525,31	
Пиринчана слама (Vassilev et al. 2010)	36,97	4,21	0,74	0,12	31,73	39,40	14,40	7,60	18,60	12.630,53	

Топлотна моћ горива (пољопривредне биомасе) дефинише се као однос ослобођене количине топлоте при потпуном сагоријевању горива и количине горива из које је топлота ослобођена. У општем случају, гориво се састоји од горивог дијела и баласта (негоривог дијела). Влага, заједно са минералним материјама, чини тзв. спољни баласт. Влага се у гориву јавља у три облика: као груба, хигроскопна и конституциона. Влага умањује топлотну моћ горива јер се за њено испаравање троши дио топлоте настао сагоријевањем горива. Сходно томе, разликујемо горњу и доњу топлотну моћ горива.

Горња топлотна моћ горива (H_g) јесте количина топлоте која се ослободи потпуним сагоријевањем јединице масе горива под сљедећим условима:

- вода из продуката сагоријевања, која потиче од влаге из горива и од сагорјелог водоника (H_2), преведена је у течно стање;
- продукти сагоријевања горива доведени су на температуру коју је гориво имало на почетку;
- сумпор (S) и угљеник из гориве материје налазе се у облику својих диоксида (SO_2 и CO_2), док до сагоријевања азота (N_2) није дошло.

Доња топлотна моћ горива (H_d) јесте количина топлоте која се ослободи потпуним сагоријевањем јединице масе горива под сљедећим условима:

- вода у продуктима сагоријевања остаје у парном стању;
- продукти сагоријевања горива доведени су на температуру коју је гориво имало на почетку;
- сумпор (S) и угљеник (C) из гориве материје налазе се у облику својих диоксида (SO_2 и CO_2), док до сагоријевања азота (N_2) није дошло.

Веза између горње и доње топлотне моћи код чврстих горива може се представити релацијом (Ђорђевић и сар. 1990):

$$H_g = H_d + 2500 \cdot (9H + W), \text{ kJ/kg}$$

гдје су:

W – масени удио влаге у гориву (кг/кг),

H – масени удио водоника у гориву (кг/кг).

Ако су познати резултати елементарне анализе пољопривредне биомасе, доња топлотна моћ може се одредити коришћењем израза (Ђорђевић и сар. 1990):

$$H_d = 33900 \cdot C + 121400 \cdot (H - O/8) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W, \text{ kJ/kg}$$

гдје су:

C, H, O, S, W – масени удјели угљеника, водоника, кисеоника, сумпора и воде у пољопривредној биомасе (кг/кг).

Утицај баласта (масених удјела пепела и воде) на доњу топлотну моћ влажне (радне) пољопривредне биомасе може се одредити помоћу израза:

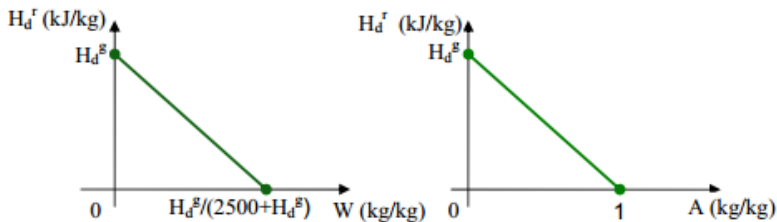
$$H_d^r = H_d^g \cdot (1 - A - W) - 2500 \cdot W \text{ kJ/kg.}$$

Дефинишући граничне услове $A = 0$ и $W = 0$ при $H_d^g = \text{констант.}$, претходна једначина трансформише се у једначине:

$$\frac{W}{\frac{H_d^g}{2500 + H_d^g}} + \frac{H_d^r}{H_d^g} = 1,$$

$$\frac{A}{1} + \frac{H_d^r}{H_d^g} = 1,$$

чији графици представљају опадајућу линеарну функцију (Сл. 2.4) и из којих се може видјети да повећање масених удјела воде и пепела доводи до осјетног смањења доње топлотне моћи пољопривредне биомасе.

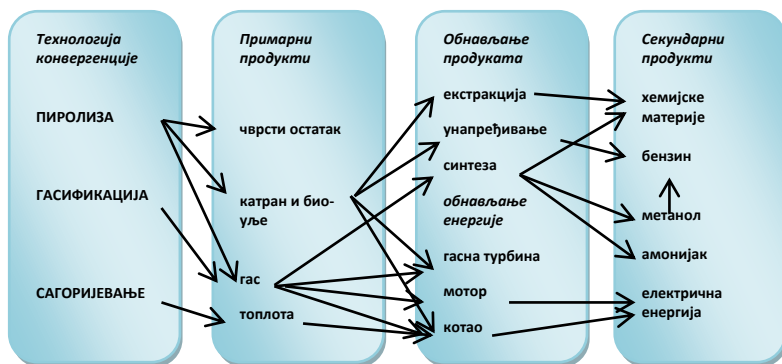


Сл. 2.4. Зависност доње топлотне моћи горива пољопривредне биомасе од масеног удјела воде и пепела (Ђурић *et al.* 2012)

Fig. 2.4. Dependence of the lower thermal power of agricultural biomass fuel on the mass ratio of moisture and ash (Ђурић *et al.* 2012)

2.5. Термохемијски поступци прераде биомасе

Смањивање резерви фосилних горива и потреба за смањењем емисије штетних гасова, као што су CO_2 и SO_2 , довели су до интензивирања истраживања технологија конверзије биомасе у друге видове енергије.



Сл. 2.5. Термохемијски процеси прераде биомасе (Ћеранић 2015)

Fig. 2.5. Thermochemical processes of biomass processing (Ћеранић 2015)

Пољопривредна биомаса може бити конвертована у неки други облик енергије или прерађено биогориво термохемијским поступцима конверзије. На Сл. 2.5. приказани су термохемијски поступци прераде биомасе (Ћеранић 2015).

Основни поступци конверзије биомасе у енергију јесу: пиролиза, гасификација, директно сагоријевање и ликвефакција (превођење у течну фазу).

Пиролиза је термохемијски поступак који се одвија без присуства кисеоника. Продукти који настају процесом пиролизе су: коксни остатак, пиролитичко уље и пиролитички гас. Коксни остатак може да се преради до нивоа активног угља за употребу у заштитним средствима и металургији и у домаћинствима као ђумур за прављење роштиља. Пиролитички гас може да се користи за производњу топлотне и електричне енергије или да се синтетише како би се добио метанол или амонијак. Пиролитичко уље може да се прерађује у течну гориво, које даље може да се употреби за производњу електричне енергије и за сагоријевање.

Гасификација представља процес термохемијске деструкције горива у присуству оксиданта доведеног из спољашње атмосфере. Гасификација је процес непотпуног сагоријевања са организованом редукцијом насталог CO_2 и деструкцијом H_2O коришћењем добијеног коксног остатка. Главне компоненте гаса добијеног процесом гасификације су: CO , CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 и други угљоводоници.

Сагоријевање представља сложен физичко-хемијски процес у оквиру кога настаје одређена количина енергије (топлотне и свјетлосне), као и материјални производи сагоријевања (гасовитих и чврстих – пепео). Гасовити производи могу да се користе директно за загријавање у малим јединицама

за сагоријевање, за загријавање воде у малим котловима за централно гријање, загријавање воде и производњу паре у котловима за производњу електричне енергије или као извор топлоте за процесну технику.

Ликвефакција (утечњавање или превођење биомасе у течну фазу) може да се дефинише као термичка конверзија чврстог биогорива у течну фазу при нижим температурама (523–623 K) и високим притисцима (100–200 bar). У поређењу са пиролизом, ликвефакција има већи принос течности и даје као резултат течно гориво са вишом топлотном моћи и нижим садржајем кисеоника (Митић и сар. 2009).

2.6. Пиролиза

Процес пиролизе представља термички процес разлагања који се одвија у одсуству кисеоника како би се биомаса превела у чврсти остатак, течност (биоуље) и гас. Пиролиза се сматра индустријски корисним процесом за конверзију биомасе (Maschio et al. 1992; Basu 2013; Demirbas 2001). Свака компонента лигноцелулозне биомасе (целулоза, хемицелулоза и лигнин) пиролизује се различитом брзином уз помоћ различитих механизма и на различите начине. Лигнин се разлаже при ширем температурном опсегу у поређењу са целулозом и хемицелулозом, које се брзо разлажу при мањим температурским опсезима. Стога постоји видљива термичка стабилност лигнина током процеса пиролизе. Термогравиметријска анализа биомасе указује на то да постоје три фазе стандардног процеса пиролизе. Прва фаза пиролизе одвија се између 120 и 200 °C, са незнатним губитком масе, када долази до унутрашњих прегруписавања, као што су раскидање веза, појава слободних радикала и настанак карбонилних група, уз одговарајуће ослобођање малих количина воде, угљен-моноксида и угљен-диоксида. Друга фаза представља главни процес пиролизе, током које долази до разлагања чврсте фазе, што је праћено значајним губитком масе у односу на почетну масу биомасе. Посљедња фаза је континуална деволатилизација чврстог остатка, узрокована даљим кидањем C–H и C–O веза. У зависности од реакционе температуре, брзине загријавања и времена боравка, могу се разликовати: 1) спора пиролиза; 2) брза пиролиза, и 3) флеш пиролиза.

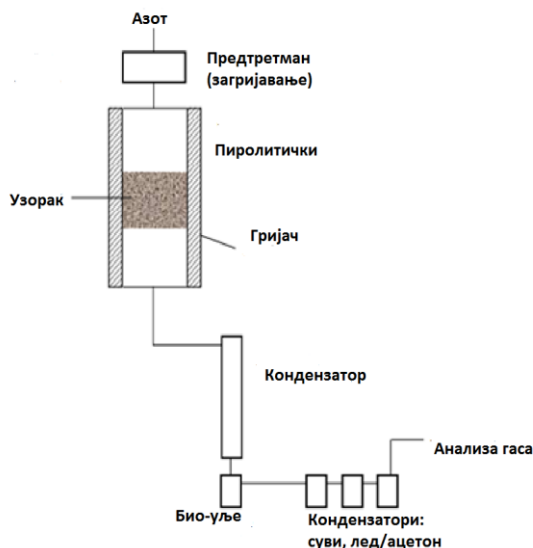
2.6.1. Спора пиролиза

Спора пиролиза вијековима је коришћена ради производње угља, тера, алкохола (као што је етанол), метанола и других растварача. Углавном се

изводи шаржним процесима, кориштењем ретортних пећи (Tillman 1977; Luengo 1991). Спору пиролизу карактеришу:

- дуго вријеме боравка чврсте материје и волатила (обично дуже од 5 секунди за волатиле, вријеме боравка за чврсту материју може бити више минута, сати или дана);
- релативно ниска температура у реактору (< 400 °C);
- атмосферски притисак;
- веома мала брзина загријавања од 0,01 °C/с до 10 °C/с; и
- веома мале брзине смањивања топлоте продуката (од неколико минута до неколико сати).

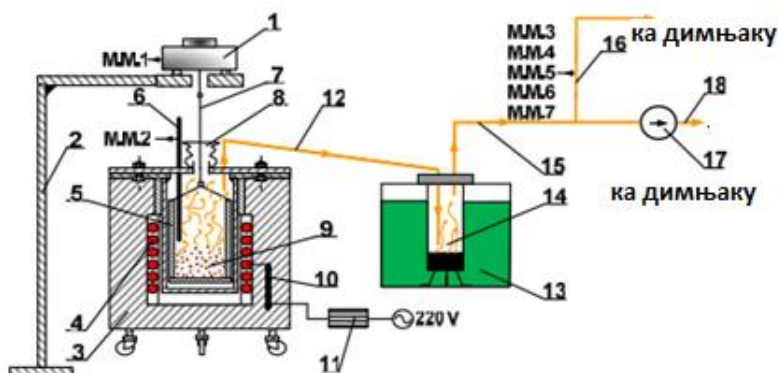
На Сл. 2.6. шематски је приказан шаржни реактор за спору пиролизу направљен од нерђајућег челика и загријаван гријачем кружног облика. Процес споре пиролизе биомасе у њему се одвијао уз континуално увођење азота са фиксним протоком како би се покренули настали гасови из реакционе зоне, чиме се смањује одвијање секундарних реакција, као што су термичко крековање, поновљена полимеризација и кондензација. Чврсти остатак, биоуље и гасови формирају се са приближно једнаким масеним удјелима због споре деградације биомасе и продуженог трајања међучестичних реакција и реакција у гасној и парној фази (Williams and Besler 1996).



Сл. 2.6. Шематски приказ шаржног реактора за спору пиролизу (Williams and Besler 1996)

Fig. 2.6. Schematic diagram of a batch reactor for slow pyrolysis (Williams and Besler 1996)

На Сл. 2.7. шематски је приказан шаржни реактор у коме се процес пиролизе пољопривредне биомасе одвија уз контролисање температуре и масе узорка. Узорци биомасе изложени су температурама у опсегу 25–650 °С, а брзина загријавања узорка у реактору износила је 21, 30 и 54 °С/мин. Истраживања су указала да су високи приноси пиролитичког гаса (71%–78%) добијени процесом пиролизе биомасе при 650 °С (Ђурић et al. 2014). Исти аутори су, испитивањем утицаја температуре пиролизе биомасе на принос продуката, дошли до закључка да са повећањем температуре долази до пораста приноса пиролитичког гаса и до смањења приноса коксног остатка. Најмањи принос чврстог остатка у износу од 21,6% добијен је за узорак сојине сламе при температури пиролизе од 650 °С.



Сл. 2.7. Шема експерименталног постројења за пиролизу пољопривредне биомасе и приказ мјерних мјеста: 1 – дигитална вага, 2 – сталак за вагу, 3 – пећ, 4 – електрични гријачи, 5 – посуда за узорак пољопривредне биомасе, 6 – термоелемент (мјерач температуре у посуди за биомасу, 7 – флексибилна веза између ваге и посуде за биомасу, 8 – флексибилни тефлонски омотач, 9 – узорак пољопривредне биомасе, 10 – сензор регулатора температуре, 11 – регулатор температуре, 12 – вод гасовитих продуката пиролизе, 13 – хладњак, 14 – боца за издвајање течне фазе, 15 – суви гасовити продукти пиролизе, 16 – узорковани гас (гас који се анализира), 17 – пумпа, 18 – одвод гаса ка атмосфери (Ђурић et al. 2014)

Fig. 2.7. Scheme of experimental facility for pyrolysis of agricultural biomass and metering points: 1 – digital scale, 2 – scale stand, 3 – furnace, 4 – electrical heaters, 5 – container for agricultural biomass sample, 6 – thermocouple (device for measuring temperature in the biomass container), 7 – flexible connection between the scale and biomass container, 8 – flexible Teflon wrap, 9 – agricultural biomass sample, 10 – temperature controller, 11 – temperature controller, 12 – flow of gaseous pyrolysis products, 13 – cooler, 14 – bottle for liquid phase separation, 15 – dry gaseous products of pyrolysis, 16 – sampled gas (gas to be analyzed), 17 – pump, 18 – gas emission into the atmosphere (Ђурић et al. 2014)

До значајног губитка масе узорка у реактору долази због испаравања катрана и других гасовитих продуката. Маса чврстог (коксног) остатка добијена мјерењем послје процеса пиролизе биомасе кретала се у опсегу од 2,14 г (сојина слама) до 2,86 г (овсена слама), а маса течне фазе у опсегу од 1,8 г (овсена слама) до 2,4 г (кукурузовина).

Високи приноси пиролитичког гаса (71%–78%) добијени процесом пиролизе пољопривредне биомасе пружају могућност да Република Српска надокнади свој дефицит из обновљивих извора енергије, нарочито пољопривредне биомасе.

2.6.2. Брза пиролиза

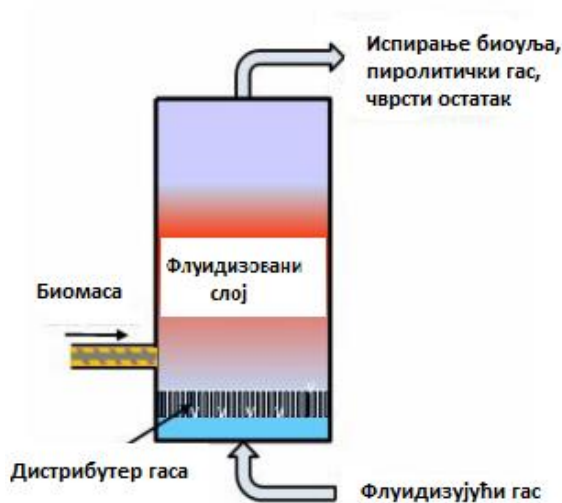
Брза пиролиза је високотемпературни процес при коме се биомаса загријава великом брзином, од 10 до 200 °C/с, у одсуству кисеоника (Marshall 2013). Стога, за брзу пиролизу значајну улогу има не само кинетика хемијских реакција већ и процеси трансфера масе и топлоте и појава фазних прелаза. Основни проблем су успостављање оптималне температуре процеса и минимизација излагања реагујућих честица биомасе средњој температури, која поспјешује формирање чврстог остатка (кокса). Један од начина рјешавања поменутог проблема јесте коришћење малих честица, на примјер у процесима у флуидизованом слоју. Друга могућност јесте да се пренос топлоте изврши веома брзо само на површину честице која је у контакту са извором топлоте. Поменута метода примјењује се у аблативним процесима.

Током процеса брзе пиролизе, биомаса се разлаже како би произвела углавном гасовиту фазу, аеросоле и мало чврстог остатка. Након хлађења и кондензације, настаје течност тамнобраон боје (биоуље), чија топлотна моћ износи приближно 50% у односу на конвенционално ложиво уље. Док се традиционални процеси пиролизе углавном користе за производњу чврстог остатка, брза пиролиза је напредан процес, са пажљиво контролисаним параметрима који дају висок принос течне фазе.

2.6.3. Реактори за пиролизу

Постоји више врста реактора за пиролизу. Најчешће се користе реактор са барботажним флуидизованим слојем, ротирајући конусни реактор, реактор са циркулационим флуидизованим слојем и реактор за вакуум пиролизу.

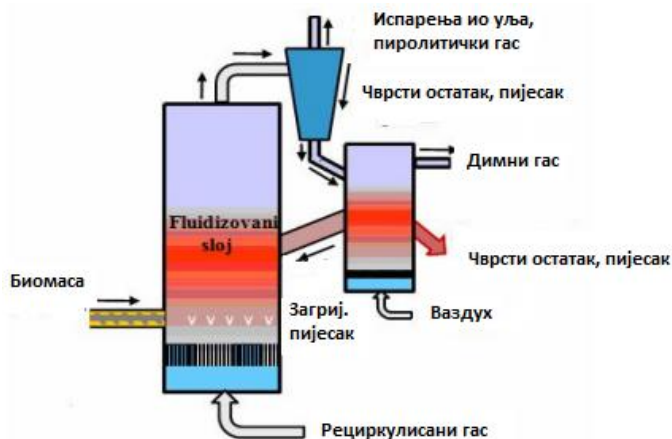
Реактори са барботажним флуидизованим слојем (Сл. 2.8) једноставнији су за пројектовање у односу на друге реакторе и карактерише их велика контактна површина гаса и чврсте материје, добар трансфер топлоте, једноставна контрола температуре и велики капацитет за складиштење топлоте. Употребом поменутих реактора углавном се постиже висок принос течне фазе (око 70%) од укупне масе суве биомасе. Да би се обезбиједиле велике брзине загријавања, потребно је користити гориво са малим димензијама честица (Basu 2013).



Сл. 2.8. Реактор са барботажним флуидизованим слојем (UNEP 2013)

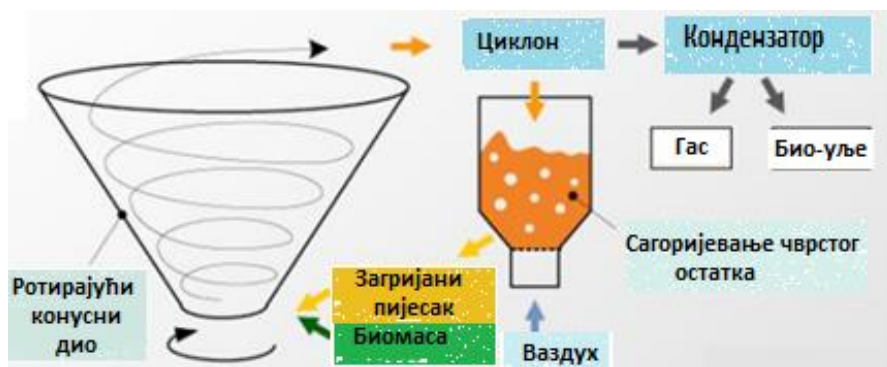
Fig. 2.8. Bubbling fluidized bed reactor (UNEP 2013)

Реактори са циркулационим флуидизованим слојем (Сл. 2.9) слични су реакторима са барботажним флуидизованим слојем, али имају краће вријеме боравка чврстог остатка у реактору, што доводи до веће брзине гаса, пара и чврстог остатка који брже напуштају реактор, због чега је садржај чврстог остатка у биоуљу већи. У поређењу са реакторима са барботажним флуидизованим слојем, реактори са циркулационим флуидизованим слојем имају већи радни капацитет, бољи контакт гаса и чврсте материје и побољшану способност да пиролизују чврсте материје које је тешко флуидизовати, али се рјеђе користе. Топлотом се снабдијевају углавном из секундарног горионика за чврсти остатак.



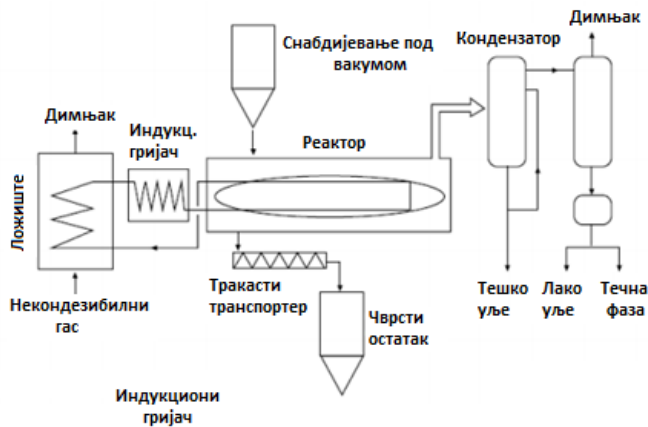
Сл. 2.9. Реактори са циркулационим флуидизованим слојем (UNEP 2013)
Fig. 2.9. Circulating fluidized bed reactors (UNEP 2013)

Ротирајући конусни реактор за пиролизу (Сл. 2.10) ради на принципу да се у њега уводе честице биомасе при собној температури и загријани пијесак при дну купе, мијешају и транспортују нагоре, ротацијом купе. Притисак је мало изнад атмосферског притиска. У овом реактору може се постићи брзо загријавање и кратко вријеме боравка гасовите фазе (Ronsse et al. 2013).



Сл. 2.10. Ротирајући конусни реактор за пиролизу (Ronsse et al. 2013)
Fig. 2.10. Rotating cone pyrolysis reactor (Ronsse et al. 2013)

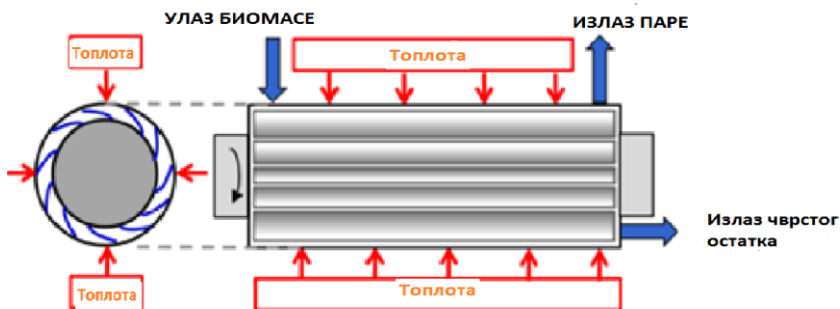
Реактор за вакуум пиролизу (Сл. 2.11) ради при укупном притиску од приближно 15 kPa, уз кретање биомасе и при температури од приближно 450 °C. Дуго вријеме боравка честица биомасе омогућава потпуну реакцију (услед мале брзине преноса топлоте), док је вријеме боравка органских пара веома кратко услед боравка у вакууму (Marshall 2013).



Сл. 2.11. Пиролиза у вакуум реактору (Marshall 2013)

Fig. 2.11. Pyrolysis in vacuum reactor (Marshall 2013)

Аблативна пиролиза концептуално се значајно разликује у поређењу са другим методама брзе пиролизе. Код свих других метода, брзину реакције ограничава брзина трансфера топлоте кроз честицу биомасе, због чега су потребне мање честице. Код аблативне пиролизе топлота прелази са загријаног зида реактора и „топи“ биомасу која је под притиском у контакту са реактором. Зона пиролизе се стога помјера једносмјерно кроз честицу биомасе. Како се биомаса механички уклања, преостали слој уља обезбјеђује подмазивање за наредне честице биомасе и такође брзо испарава како би обезбиједио прикупљање пиролитичких пара на исти начин као и код других процеса (Сл. 2.12). На брзину реакције значајно утичу притисак, релативна брзина биомасе на површини размјене топлоте и температуре на површини реактора (Hu and Gholizadeh 2019).



Сл. 2.12. Ротирајући реактор за аблативну пиролизу (Hu and Gholizadeh 2019)

Fig. 2.12. Rotating reactor for ablative pyrolysis (Hu and Gholizadeh 2019)

2.7. Гасификација

Гасификација је термохемијски процес при коме долази до конверзије чврстог горива у гасовито гориво. Процес гасификације одвија се при високим температурама (700–1.000 °C), које не дозвољавају да се процес сагоријевања развије и тиме утроши сва горива материја. Процес гасификације може се подијелити на три фазе: сушење горива, пиролиза и гасификација. Сушење горива одвија се до температуре од 110 °C. При даљем загријавању, при температурама од 250 °C, почиње ослобађање гасова, углавном угљоводоника и оксида угљеника. Пиролиза биомасе одвија се у инертној атмосфери, односно док нема кисеоника који би омогућио сагоријевање, а при температурама вишим од 250 °C. Гасификација коксног остатка, то јест конверзија чврстог горивог дијела у гасовито гориво, одвија се након претходне двије фазе.

Процес гасификације најчешће се одвија уз додавање гасификационих агенаса, као што су: пара, ваздух, обogaћени ваздух, кисеоник, мјешавина паре и извора кисеоника и угљен-диоксид.

Састав произведеног гаса може значајно да варира у зависности од: услова одвијања процеса (температуре, притиска и оксидационог агенса), врсте горива, садржаја влаге у гориву, као и начина довођења реактаната у контакт унутар гасификатора. Квалитет произведеног гаса зависи од других фактора, као што су тип гасификатора, вријеме боравка и брзина загријавања, који се одређују у зависности од врсте горива, величине честица и температуре.

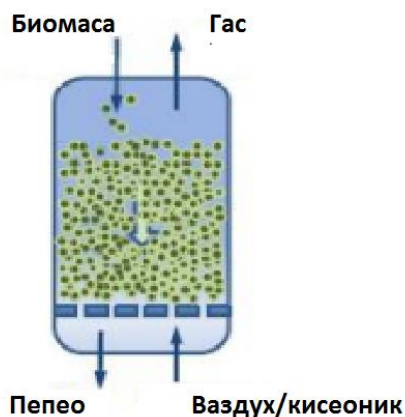
У литератури се може пронаћи велики број различитих врста гасификатора (Ћеранић 2015, Косанић 2015). У пракси се најчешће користе следеће врсте гасификатора: 1) гасификатор са покретним или фиксним слојем; 2) гасификатор са флуидизованим слојем, и 3) истосмјерни проточни гасификатор.

Основне разлике између наведених гасификатора су:

- начин увођења биомасе, која може да се уводи у горњи дио гасификатора или са стране, а затим покреће гравитацијом или ваздушним током;
- гасификациони агенс који се користи;
- начин загријавања, које може бити директно загријавање услед дјелимичног сагоријевања биомасе у гасификатору или индиректно загријавање спољним извором загријавања, као што је кружење инертног материјала;
- температурни опсег; и
- опсег притиска при коме се одвија процес у гасификатору.

2.7.1. Гасификатор са узлазном струјом оксиданта

Гасификатор са узлазном струјом оксиданта је најједноставнији и најстарији тип гасификатора. Код ове врсте гасификатора биомаса се уводи у горњи дио реактора, док се ваздух, кисеоник или пара уводе у доњи дио реактора, након чега се крећу нагоре, а произведени гас излази кроз горњи дио реактора. Потпуно сагоријевање чврстог остатка одвија се на дну слоја, ослобађајући CO_2 и H_2O . Врео гас ($\sim 1.000\text{ }^\circ\text{C}$) на путу ка врху гасификатора проласком кроз слој наилазеће биомасе, која се уводи одозго, редукује се до CO и H_2 и затим хлади до $750\text{ }^\circ\text{C}$. Крећући се нагоре, редукујући гас (H_2 и CO) пиролизује силазећу суву биомасу и на крају исушује долазећу влажну биомасу, остављајући реактор на прилично ниској температури ($\sim 500\text{ }^\circ\text{C}$) (Stultz and Kitto 1992; Bridgwater and Evans 1993). Шематски приказ гасификатора са узлазном струјом оксиданта дат је на Сл. 2.13.



Сл. 2.13. Шематски приказ гасификатора са узлазном струјом оксиданта (Chhiti and Kemiha 2013)

Fig. 2.13. Schematic diagram of gasifier with oxidant updraft current (Chhiti and Kemiha 2013)

2.7.2. Гасификатор са флуидизованим слојем

Код гасификатора са флуидизованим слојем, при дну реактора уводе се биомаса, претходно уситњена до финих честица, као и ваздух, водена пара или кисеоник. За транспорт топлоте и масе кроз реактор користи се флуидизовани слој у виду инертног материјала или катализатора. Слој се

флуидизује струјањем гасификационог агенса кроз њега, усљед чега се он подиже упркос гравитацији. Као резултат, комешање у слоју доводи до једнаке расподјеле температуре у њему. На Сл. 2.14. дат је шематски приказ гасификатора са флуидизованим слојем. За разлику од гасификатора са фиксним слојем, не постоје различите реакционе зоне у гасификаторима са флуидизованим слојем. Температура у флуидизованом слоју углавном је у опсегу од 700 до 900 °С, док је опсег притиска од 0 до 70 бара (Chhiti and Kemiha 2013).

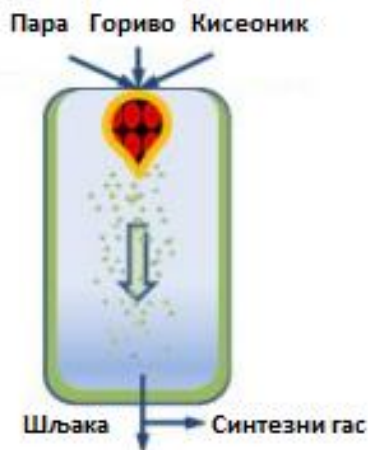


Сл. 2.14. Шематски приказ гасификатора са флуидизованим слојем (Chhiti and Kemiha 2013)

Fig. 2.14. Schematic diagram of gasifier with fluidized bed (Chhiti and Kemiha 2013)

2.7.3. Истосмјерни проточни гасификатор

У истосмјерном проточном гасификатору (Сл. 2.15), биомаса је присутна у виду праха. Контактне површине су веома велике и стога је реакционо вријеме врло кратко. Гориво и ваздух крећу се у истом смјеру, док се реакције одвијају у густом облаку честица при веома високој температури, изнад 1.000 °С, тако да се прво добија синтезни гас готово ослобођен тера, а затим се топи пепео и скупља на дну реактора у облику шљаке. Конверзија у истосмјерном проточном реактору је готово 100%. У оваквим системима биомаса се ријетко користи (Chhiti et al. 2013).

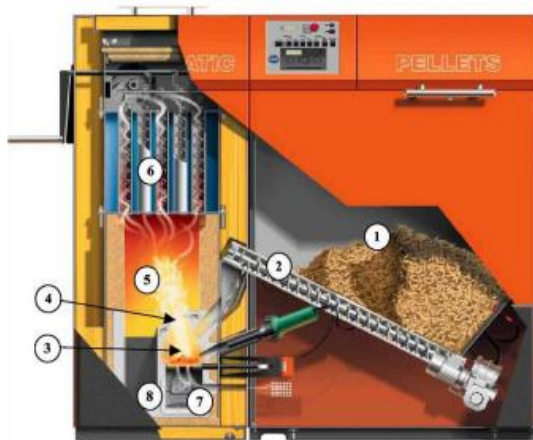


Сл. 2.15. Истосмјерни проточни гасификатор (Chhiti et al. 2013)
Fig. 2.15. Same direction flow gasifier (Chhiti et al. 2013)

2.8. Сагоријевање

Сагоријевање представља технологију трансформације хемијске енергије из горива у топлотну енергију, која се користи у свакодневном животу, индустрији или за добијање других видова енергије, како у индустријски развијеним земљама тако и у земљама у развоју. Данас се све већи значај придаје усавршавању технологија сагоријевања, повећању обима коришћења обновљивих енергената и повећању енергетске ефикасности свих чинилаца у производњи и коришћењу топлоте. Најважнији фактори за избор технологије сагоријевања односе се на: врсту и форму расположиве биомасе, потребну снагу термоенергетског постројења, тип ложишта за сагоријевање биомасе, садржај и особине пепела у биомаси, захтјеве о величини штетних утицаја на животну и радну средину, величину расположивих инвестиционих средстава и друго (Ћеранић 2015; Косанић 2015).

Савремена постројења мањих снага која користе пелете биомасе као биогориво намијењена су за домаћинства или мање потрошаче топлотне енергије. Термичка снага постројења намијењених домаћинствима износи до 120 kW, док индустријска постројења сличне конструкције имају термичку снагу од неколико стотина киловата. Наведена постројења (Сл. 2.16) најчешће раде на принципу примарне и секундарне коморе за сагоријевање са гравитационим убацивањем горива. Примарна комора за сагоријевање обложена је шамотом и у њој се пелети биомасе сагоријевају при нижим температурама, од приближно 800 °C (Brkić i sar. 2012).



Сл. 2.16. Котао за сагоријевање пелета биомасе инјектираних одозго са аутоматским радом: 1 – кош за гориво; 2 – пуж за дозирање горива; 3 – примарна комора за сагоријевање, гдје се додаје примарни ваздух за сагоријевање; 4 – додавање секундарног ваздуха; 5 – комора за догоријевање гасовитих продуката сагоријевања; 6 – размјењивач топлоте са системом за чишћење; 7 – пепељара за сакупљање пепела из примарне коморе за сагоријевање; 8 – пепељара летећег пепела (Brkić i sar. 2012)

Fig. 2.16. Boiler for burning biomass pellets injected from above with automatic operation: 1 – fuel basket, 2 – fuel dosing auger, 3 – primary combustion chamber where primary combustion air is added, 4 – secondary air addition, 5 – afterburner for gaseous combustion products, 6 – heat exchanger with cleaning system, 7 – ashtray for collecting ash from the primary combustion chamber, 8 – ashtray of fly ash (Brkić i sar. 2012)

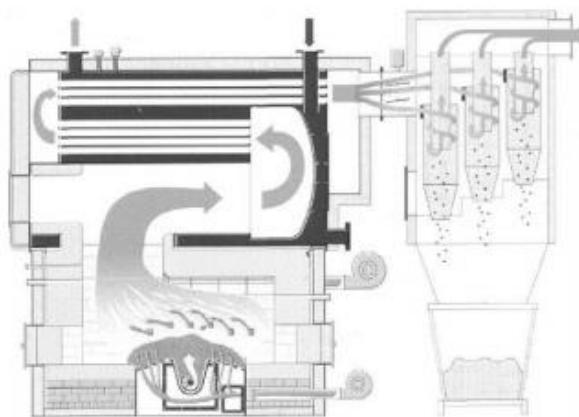
По изласку из примарне коморе за сагоријевање, сагориви гасови додатно се мијешају са секундарним ваздухом и у секундарној комори сагоријевају при температурама од 1.200 до 1.300 °С, што обезбјеђује високу енергетску ефикасност у раду таквих постројења. Пелети биомасе се у примарну комору за сагоријевање доводе у континуитету преко пужног транспортера за дозирање. Велика пажња усмјерена је на сталност ужареног слоја у комори којим се обезбјеђује довољно топлоте за почетак сагоријевања новоубаченог горива – пелета. У аутоматској спреси фото-ћелије, пужа за довод горива, ламбда сонде и вентилатора ваздуха за сагоријевање омогућен је рад постројења у режимима од 30% до 100% декларисаних капацитета. Размјењивачка комора је димензионисана да поред добре размјене топлоте између врелих продуката сагоријевања и гријног флуида омогући и добро догоријевање горивих материја, као и одвајање пепела. Постројења функционишу са могућношћу варијабилног одвођења топлоте, што омогућава да се у раду постројења постигне фиксни режим излазних и улазних

температура гријног флуида од 80 °C до 38 °C. Чишћење размјенивачких површина котла реализује се аутоматски, са неопходношћу вађења пепела из постројења једном до два пута недељно. Вентилатор издувних гасова обезбјеђује потпритисни режим рада постројења и тако спречава опасност од повратног пламена од ложишта до коша са горивом. Као додатна сигурност од повратног пламена између ложишног простора и коша за гориво уграђује се и челична устава. Кош за пелете код мањих постројења за сагоријевање налази се у основној конструкцији и уједно је и циклон који одваја праšину од убачених пелета (Јанић и сар. 2010; Вркић и сар. 2012).

За сагоријевање биомасе најчешће се користе: 1) ложишта са непокретним решеткама; 2) ложишта са додавањем горива одоздо (систем реторте); 3) ложишта са покретним решеткама; 4) ложишта за сагоријевање у циклонима или у вртложним ложиштима; и 5) ложишта у флуидизованом слоју.

2.8.1. Ложишта са додавањем горива одоздо (систем реторте)

Ложишта са додавањем горива одоздо (Сл. 2.17) најчешће се користе за уситњену биомасу димензија мањих од 50 мм, која у себи има мало пепела. Гориво се најчешће потискује одоздо пужним транспортерима. Најбоље карактеристике разматрана ложишта показују до 6 MW. Важно је истаћи да су до наведене снаге инвестициони трошкови за реализацију описаног постројења нижи у односу на постројења гдје се примјењују друге технологије, нпр. ложишта за сагоријевање горива на покретним решеткама (Fletcher 2012).

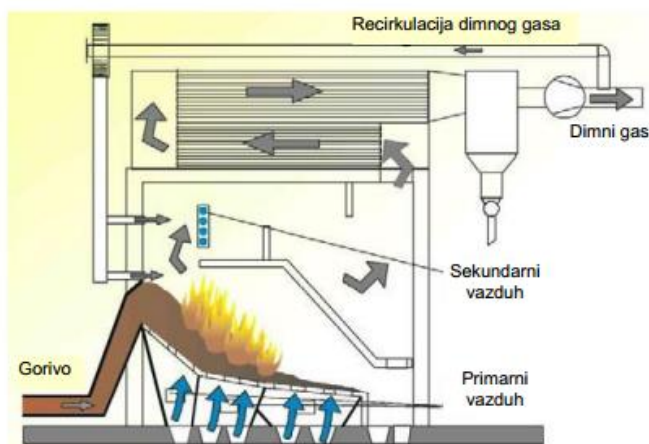


Сл. 2.17. Ложиште са додавањем горива одоздо (систем реторте) (Fletcher 2012)
Fig. 2.17. Furnace with adding fuel from the bottom (retort system) (Fletcher 2012)

2.8.2. Ложишта са покретном решетком

Ложишта са покретном решетком која се користе за сагоријевање биомасе дијеле се на: ложишта са косом покретном решетком, ложишта са хоризонталном покретном решетком, ложишта са пузећом (ланчастом) решетком, ложишта са вибрирајућом решетком и ложишта са ротирајућом решетком.

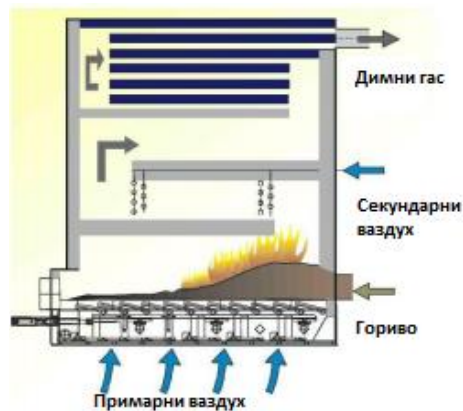
Код ложишта са косом покретном решетком, решетка се састоји од покретних и непокретних решетница, по којима се гориво помјера, спушта надоље, услед помјерања решетница напријед-назад (Сл. 2.18). Најчешће се помјерање реализује хидрауличким или електричним механизмима. Решетка се састоји од неколико секција, које се могу помјерати различитим брзинама у зависности од зона сагоријевања горива на њој. Решетнице косе покретне решетке израђене су од ватроотпорне легуре челика и у раду постројења њихово хлађење се обавља ваздухом за сагоријевање или водом (Brkić i sar. 2012).



Сл. 2.18. Ложиште са косом покретном решетком (Brkić i sar. 2012)

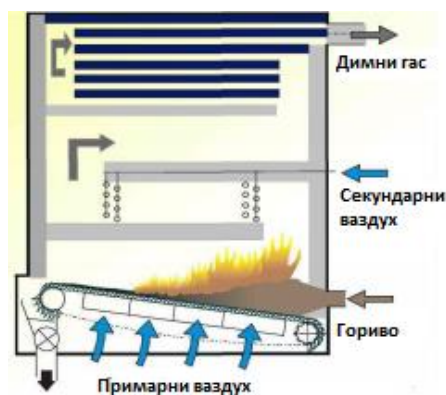
Fig. 2.18. Furnace with an oblique movable grate (Brkić i sar. 2012)

Код ложишта са хоризонталним покретним решеткама гориво се налази са горње стране укосо постављених решетница (Сл. 2.19). Код наведених технологија сагоријевања, гориво се у слоју добро окреће и покреће, при чему се спречава неконтролисано помјерање горива услед дејства гравитационе силе, као што је случај код косих решетки, што увијек обезбјеђује уједначену дебљину слоја и његову хомогеност. Такође, велика предност разматраних решетки је у томе што је укупна висина ложишта знатно смањена (Fletcher 2012).



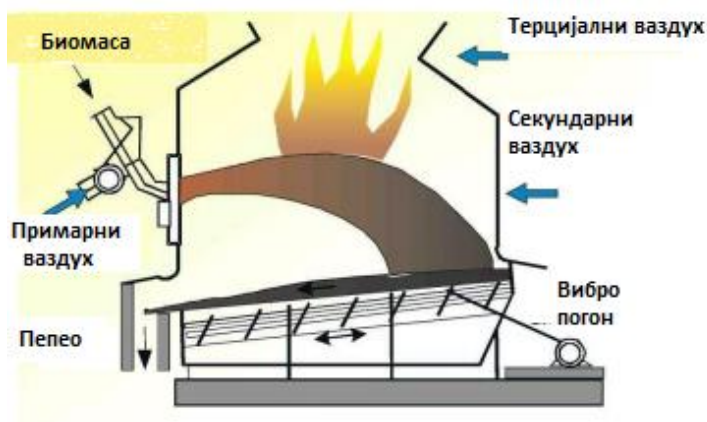
Сл. 2.19. Ложиште са хоризонталном покретном решетком (Fletcher 2012)
Fig. 2.19. Furnace with a horizontal movable grate (Fletcher 2012)

Ложиште са хоризонталном покретно-ланчастом решетком сачињено је од бескрајне ротирајуће металне гусјенице – ланца. Гориво се у односу на решетку не помјера, него по доспијевању на решетку путује са њом, сагоријевајући кроз ложиште. На крају ложишта на решетки остаје само пепео, који се по обртању решетке избацује у транспортер за изношење пепела из ложишта (Сл. 2.20). Предности сагоријевања биомасе на хоризонталној или косој покретно-ланчастој решетки јесу уједначено сагоријевање у појединим зонама сагоријевања. Одржавање разматраних ложишта је лако, као и замјена оштећених решетки. У поређењу са покретним решеткама, вријеме сагоријевања је дужи и додавање примарног ваздуха је интензивније (Brkić i sar. 2012).



Сл. 2.20. Ложиште са хоризонталном или косом покретном – ланчастом решетком (Brkić i sar. 2012)
Fig. 2.20. Furnace with a horizontal or oblique movable chain grate (Brkić i sar. 2012)

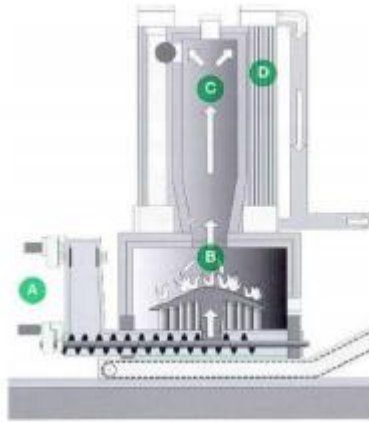
Код *ложишта са вибрирајућом решетком*, решетка се састоји од два или више сегмената и постављена је на опруге, тако да се љуља погоњена вибропогоном. Љуљањем, тј. вибрирањем решетке, гориво се помјера ка транспортеру за уклањање пепела из ложишта. Примарни ваздух додаје се кроз отворе који се налазе на ребрима сегмената решетке (Сл. 2.21). Код разматране технологије сагоријевања долази до зашљакивања горива услед његовог сабијања вибрирањем решетке. Стога она није пожељна код горива која лако синтерују, тј. омекшавају, и код којих долази до зашљакивања, као што је влажна уситњена биомаса. Недостаци су висока емисија летећег пепела из ложишта коју проузрокују вибрације и, у честим случајевима, повишена емисија угљен-моноксида (Fletcher 2012).



Сл. 2.21. Ложиште са вибрирајућом решетком (Fletcher 2012)

Fig. 2.21. *Vibrating grate furnace* (Fletcher 2012)

Ложиште са ротирајућом решетком састоји се од сегмената који имају супротно обртање и кроз које се у средишњем дијелу доводи биомаса, као гориво, и примарни ваздух (Сл. 2.22). Биомаса се најчешће потискује пужним транспортером. Супротносјерно обртање сегмената решетке веома добро мијеша биомасу, што је од највећег значаја за сагоријевање влажне биомасе. У овим ложиштима могу се сагоријевати и влажне мјешавине чврсте биомасе и животињских ескремената. Сагориви испарљиви продукти сагоријевања – волатили – сагоријевају у горњим хоризонталним или вертикалним коморама за сагоријевање, гдје се мијешају са секундарним ваздухом (Fletcher 2012).



Сл. 2.22. Ложиште са ротирајућом решетком са додавањем горива одоздо:
А – довод биомасе, В – комора за примарно сагоријевање, С – комора
за секундарно сагоријевање, D – ложиште (Fletcher 2012)

Fig. 2.22. Rotating grate furnace with adding fuel from the bottom A – biomass
flow, B – chamber for primary combustion, C – chamber for secondary
combustion, D – furnace (Fletcher 2012)

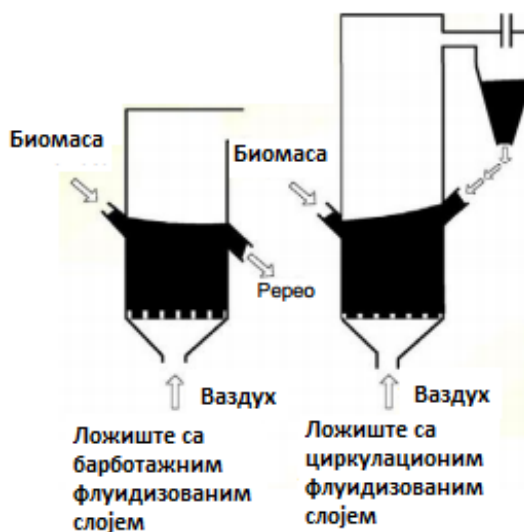
Ложишта у облику ротирајуће купе у основи се састоје од спороротирајуће
решетке у облику обрнутог косог конуса (Сл. 2.23). Примарни ваздух уводи се
у ложиште кроз централну цијев која улази у доњи дио конуса решетке.
Секундарни ваздух убацује са великим брзинама при врху цилиндричне
коморе за сагоријевање и у његов средишни дио. Решетка у облику ротирајуће
купе није довољно испитана код сагоријевања биомасе (Lončar i sar. 2009).



Сл. 2.23. Ложишта у облику ротирајуће купе (Lončar i sar. 2009)

Fig. 2.23. Furnaces in a shape of a rotating cone (Lončar i sar. 2009)

Ложишта за сагоријевање у флуидизованом слоју могу се подијелити на ложишта са барботажним флуидизованим слојем (ВФВ) и циркулационим флуидизованим слојем (СФВ) (Сл. 2.24). Наведена ложишта су у облику цилиндричног суда који на дну има перфорирану плочу. У кориту суда на плочи се налази суспензија врућег, инертног и скупог материјала. Уобичајени материјали у кориту јесу силицијумски пијесак и доломит. Примарни ваздух улази одоздо у цилиндар ложишта и подиже до лебдења флуидизовани слој. Брзина код флуидизације износи за ВФВ технологију од 1 до 2,5 м/с, а за СФВ од 5 до 10 м/с. Интензиван пренос топлоте и мијешање обезбеђују добре услове за потпуно сагоријевање биомасе са ниским коефицијентом вишка ваздуха. Код овог ложишта, температура сагоријевања мора се одржавати нижом од уобичајених 800–900 °С у циљу спречавања синтеровања пепела у флуидизованом слоју (Fletcher 2012). Наведена технологија сагоријевања флексибилна је у погледу коришћења различитих мјешавина горива, али се ограничења испољавају у погледу величине честица гориве биомасе и нечистоћа које се налазе у биомаси која се сагоријева. Одговарајућа припрема биомасе која се сагоријева у погледу величина честица је неопходна, као и одвајање метала из биомасе (Fletcher 2012).



Сл. 2.24. Сагоријевање у флуидизованом слоју (Fletcher 2012)
Fig. 2.24. Fluidized bed combustion (Fletcher 2012)

2.9. Емисија загађујућих материја из процеса сагоријевања биомасе

Процеси сагоријевања представљају најзначајније изворе загађујућих материја које се емитују у атмосферу, или сувом или влажном депозицијом излучују у водотокове, земљиште и геолошки супстрат. Продукти сагоријевања основни су извор токсичних материја које се емитују у атмосферу, па су повећање потрошње енергије и пораст индустријске производње праћени заостравањем проблема заштите ваздуха (Škrbić 2000). У Таб. 2.7. дате су специфичне емисије загађујућих гасова који настају сагоријевањем различитих врста горива (Petrov 1996).

Из Таб. 2.7. види се да је емисија SO_2 знатно мања за све врсте биомасе у односу на фосилна горива, изузимајући природни гас и кукурузовину. Знајући штетно дејство SO_2 на животну средину, употреба биомасе за сагоријевање је знатно повољнија у односу на фосилна горива. Емисија CO_2 , сведена по килограму горива за фосилна горива, осим лигнита, већа је од емисије биомасе. Међутим, емисија CO_2 сведена на MJ доње топлотне моћи горива, сагоријевањем биомасе, већа је у односу на фосилна горива, али у крајњем билансу CO_2 биомаса је повољнија јер троши атмосферски угљен-диоксид у процесу фотосинтезе (Petrov 1996).

Таб. 2.7. Специфичне емисије гасовитих загађујућих материја насталих при сагоријевању горива (Petrov 1996)

Tab. 2.7. Specific emissions of gaseous pollutants generated in fuel combustion (Petrov 1996)

Гориво	Доња	Масени удио (%)			Емисија (кг/кг)		Емисија	
	топл. моћ	С	Н	С	CO_2	SO_2	CO_2	SO_2
	kJ/kg; kJ/m ³						грама/MJ	
Лигнит „Колубара“	7.813	20,92	1,62	9,00	0,767	0,180	98,18	23,04
Мрки угаљ „Алексинац“	22.127	53,11	4,55	5,00	1,947	0,100	88,01	23,04
Камени угаљ „Ибарски рудници“	28.206	62,96	10,90	7,10	2,309	0,142	81,85	5,03
Мазут	42.340	86,10	5,80	0,50	3,157	0,010	74,56	0,24
Природни гас „Банат“	36.247	90,30	4,07	0,20	2,013	0	55,55	0
Кукурузовина	12.154	32,30	4,43	0,01	1,184	0	97,44	0,02
Дрво	13.553	36,87	3,37	0,07	1,352	0,001	99,75	0,10
Слама пшенице	9.123	25,47	1,62	0,05	0,934	0,001	102,37	0,11
Слама соје	13.942	37,46	3,50	0,01	1,370	0	98,25	0,01

Биомаса се може користити за производњу електричне енергије у систему гасогенератор – гасна турбина, уз избалансирану емисију CO₂. Биомаса нуди могућност за снижавање емисије CO₂, јер има потенцијал за обезбјеђивање процесне енергије на локацијама на којима и настаје. Предност биомасе у односу на већину фосилних горива је у избалансираној емисији CO₂ са његовом потрошњом при фотосинтези и евидентној много мањој емисији осталих гасовитих загађујућих материја. Удио пепела у биомаси далеко је мањи у односу на угаљ, тако да су проблеми са његовим депоновањем занемарљиви, а пепео биомасе се, уз евентуалну припрему, може користити и као ђубриво. Добијени компост, поријеклом из различитих врста отпадних материја, може да садржи одређени удио тешких метала и органских једињења.

Из наведених разлога, биомаса, поред других алтернативних извора енергије, добија на значају као ресурс за добијање „чисте енергије”. Међутим, и поред наведених предности које посједују у експлоатацији, биогорива на бази биомасе имају и одређене непогодности за примјену. Неке од њих су:

- манипулациони и економски проблеми са сакупљањем, паковањем и складиштењем биомасе;
- периодичност настанка биомасе;
- мала запреминска маса и топлотна моћ биомасе сведена на јединицу запремине;
- разуђеност у простору;
- неповољан облик и висока влажност биомасе; и
- значајне економске инвестиције потребне за изградњу постројења за сагоријевање биомасе.

2.10. Закључак

Споразум о енергетској заједници Југоисточне Европе обавезује Босну и Херцеговину, а тиме и Републику Српску, да усвоји директиве Европске уније усмјерене на повећање коришћења обновљивих извора енергије. Република Српска богата је биомасом која може да се користи у термохемијским процесима за добијање топлотне енергије. Сматра се да од укупних потенцијала биомасе настале из пољопривредне производње за добијање топлотне енергије може да се користи око 25%–30%. Анализа структуре биомасе из остатака пољопривредне производње показује да више од половине ресурса лежи у кукурузној биомаси.

Физичко-хемијске особине пољопривредне биомасе указују на могућности термохемијске конверзије биомасе као што су пиролиза, гасификација и сагоријевање. Овим поступцима добијају се следећи производи: угљеник (чађ – кокс) високе топлотне моћи, гасна вода, гасовити производи CH_4 , CO_2 , H_2 , CO и димни гасови дефинисани температуром самог процеса. Ови производи могу се користити у разним гранама процесне технике, енергетике, металургије и хемијске индустрије. Ово је посебно значајно ако се узме у обзир енергетска зависност Републике Српске од увоза фосилних горива.

Литература

- Basu P (2013) Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, Second Edition, Elsevier Inc, USA, pp 1–530
- Bridgwater AV, Evans GD (1993) An Assessment of Thermochemical Conversion Systems For Processing Biomass and Refuse. Energy Technology Support Unit (ETSU), Department of Trade and Industry, UK, pp 251
- Brkić M, Janić T, Pejović G, Kostić B (2012) Predstudija: Raspoloživost i troškovi biomase za potrebe sistema daljinskog grejanja na području opština Vrbasa i Kule. Eko produkt, Tehnološko – mašinski biro, Novi Sad, str 1–101
- Brkić M, Tešić M, Furman T, Martinov M, Janić T (2007) Studija: Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji Pokrajine Vojvodine. Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Republika Srbija Autonomna Pokrajina Vojvodina, Novi Sad, str 1–234
- Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG (2010) An overview of the chemical composition of biomass. Fuel 89(5):913–933
- Vigouroux RZ (2001) Pyrolysis of Biomass. Doctoral Dissertation, Dept. of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, pp 52
- Gvero P (2012) Biomasa kao potencijal pokretački faktor održivog razvoja u BiH. Konferencija „Energetska efikasnost obnovljivi izvora energije“, Zenica, str 34–41
- Demirbaş A (1997) Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel 76(5):431–434
- Demirbaş A (2001) Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. Energy Conversion Management 42:1357–1378
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (2009) OJ L 140, pp 16–62. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
- Ђорђевић В, Валент В, Ђербановић С (1990) Термодинамика и термотехника, друго допуњено издање. Грађевинска knjiga, Београд, стр 1–621

- Đurić S, Brankov S, Kosanić T, Čeranić M, Nakomčić-Smaragdakis B (2014) The composition of gaseous products from corn stalk pyrolysis process. *Thermal Science* 18(2):533–542
- Đurić S, Stanojević P, Đuranović S, Brankov S, Milašinović S (2012) Qualitative analysis of coal combusted in boilers of the thermal power plants in Bosnia and Herzegovina. *Thermale science* 16(2):605–612
- Energy Saving Group (2009) *Studija opravdanosti korišćenja drvnog otpada u Srbiji*. USAID, Beograd, str 1–64
- Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N (2010) Biomasa – energetska resursa za budućnost. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(2):167–177
- Kosanić T (2015) *Uticaj procesnih parametara na pirolizu drvne biomase*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, str 1–209
- Lončar D, Krajačić G, Vujanović M (2009) *Podrška developerima – primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvnu biomasu, projekat*. Centar za transfer tehnologije, Zagreb
- Luengo CA, Cencig MO (1991) Biomass pyrolysis in Brazil: Status report. In: Bridgwater A.V, Grassi G (eds) *Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation*. Elsevier Applied Science, London, United Kingdom, pp 299–309
- Marshall AJ (2013) *Commercial application of pyrolysis technology in agriculture*. Ontario Federation of Agriculture, Guelph, Canada, pp 1–64
- Maschio G, Koufopoulos C, Lucchesi A (1992) Pyrolysis, a promising route for biomass utilization. *Bioresource Technology* 42(3):219–231
- Митић Д, Станковић М, Протић М (2009) Биомаса за топлотну енергију. Унверзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш, стр 1–237
- Mohan D, Pittman CU, Steele PH (2006) Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy and Fuels* 20:848–889
- Panoutsou C, Eleftheriadis J, Nikolaou A (2009) Biomass supply in EU27 from 2010 to 2030. *Energy Policy* 37(12):5675–5686
- Petrov VA (1996) *Uticajni faktori na proces termičke prerade biomase*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, str pp 1–209
- Ronsse F, Dickinson D, Nachenius R, Prins W (2013) Biomass pyrolysis and biochar characterization. 1st FOREBIOM Workshop, Vienna. Доступно на: https://www.oeaw.ac.at/forebiom/WS1lectures/SessionII_Ronsse.pdf
Пристипљено: 17.03.2021
- Stojanović A, Nemoda S, Erić A, Repić B, Đakić D, Đurović D (2010) Procena efikasnosti konverzije koksnog ostatka u zoni sagorevanja balirane poljoprivredne biomase. *Laboratorija za termotehniku i energetiku, Institut za nuklearne nauke Vinča*, str 1–112
- Stultz SC, Kitto JB (1992) *Steam: it's generation and use*. The Babcock & Wilcox Company, Barberton, USA, pp 1–316
- Tillman DA (1977) *Energy from wastes: An overview of present technologies and programs*. In Anderson LL, Tillman DA (eds) *Fuels from Wastes*. Academic Press, London, United Kingdom, pp 17–40

- Ćeranić M (2015) Uticaj procesnih parametara na pirolizu i gasifikaciju oklaska kukuruza. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, str 1–311
- UNDP (2012) Analiza potencijala drvnih ostataka u BiH, s posebnim fokusom na opštine Srebrenica, Bratunac i Milići. UNDP, Sarajevo, str 1–16
- UNEP (2013) Technologies for Converting Waste Agricultural Biomass to Energy. United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka, Japan, pp 1–212
- Fletcher TH (2012) Handbook of biomass and co-firing. Brigham Young University, Provo, Utah, USA, pp 1–371
- Fivga A (2011) Comparison of the effect of pre-treatment and catalysts on liquid quality from fast pyrolysis of biomass. Doctoral thesis, Aston University, Birmingham, United Kingdom, pp 1–221
- Hu X, Gholizadeh M (2019) Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. *Journal of Energy Chemistry* 39:109–143
- Chhiti Y, Kemiha M (2013) Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. *The International Journal of Engineering And Science* 2(3):75–85
- Škrbić B (2000) Tehnologija proizvodnje i primene gasa. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, str 1–568
- Wang L, Shen S, Yang S, Shi X (2010) Experimental investigation of pyrolysis process of corn straw. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 5(4):182–185
- Wang Q, Xu H, Liu H, Jia C, Zhao W (2012) Co-combustion performance of oil shale semi-coke with corn stalk. *Energy Procedia* 17:861–868
- WEC (2010) 2010 Survey on energy resources. World Energy Council, London, United Kingdom, pp 608
- Williams TP, Besler S (1996) The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renewable Energy* 7(3):233–250

Historical overview and current status of the production and use of biomass

Slavko Đurić, Ranko Božičković, Mirjana Čeranić, Tijana Kosanić

Summary

It is known that the combustion of fossil fuels is the main artificial source of CO₂ emissions into the atmosphere and that it leads to environmental pollution, as well as global climate changes, i.e. the “greenhouse” effect. For these reasons, instead of fossil fuels used in various branches of energy and process technology, we should switch to alternative energy sources that would significantly reduce the emission of CO₂ and other greenhouse gases.

Biomass is plant material obtained by the reaction of carbon dioxide from air, water and sunlight, the process of photosynthesis, in order to produce carbohydrates. In a decay process of organic matter from plant residues, carbon is returned to the atmosphere in a form of carbon dioxide and/or methane. In the atmosphere, during the oxidation process, carbon dioxide is formed from methane again, which completes the carbon cycle in nature. Today, biofuel is the only fuel that meets the criteria of a closed system in terms of the creation of carbon dioxide and solid material combustion products. Most of the carbon released in a form of carbon dioxide is absorbed by the next generation of plants through photosynthesis or through minerals from the soil. Thus, biomass is becoming one of the key energy resources in the fight against global warming and depletion of fossil fuel reserves.

Additionally, replacing fossil fuels with biomass has a beneficial impact on reducing the emission of sulfur dioxide, which causes acid rain formation. It should be noted that the primary advantage of biomass as an energy source is not in its significant potential, but in its renewability. Renewability is the essential advantage of biomass over conventional, fossil fuels that are non-renewable and therefore cannot be the basis for long-term planning of sustainable growth that implies the rational use of energy.

In the field of energetics, the European Union (EU) is aimed at reducing CO₂ emissions in order to achieve sustainable development, as well as reducing dependence on imported fuels and changes in prices of energy-generating products (oil, gas, etc.). One way to reduce CO₂ emissions is to increase the share of renewable sources in total energy production. The goal of the EU countries is to achieve 20% energy savings, 20% production of energy from renewable sources,

20% reduction of CO₂ emissions ("20-20-20-targets") (Directive 2009/28/EC). In order to maintain energy stability and approach closer to the EU, Bosnia and Herzegovina, as well as the Republic of Srpska, have signed a number of laws and regulations on the use of renewable energy sources.

This paper provides review data on biomass potentials (wood and agricultural) in Bosnia and Herzegovina and in the neighbouring countries. Special emphasis is on agricultural biomass. Data on physical and chemical properties of agricultural biomass as an energy fuel are presented. Thermochemical procedures of biomass processing are provided, such as: pyrolysis, gasification and combustion and the possibility of using energy from these processes. Apparatus and furnaces of the considered processes used in industrial practice are presented. An overview of pollutant emissions from the biomass combustion process is also given.

Keywords: Biomass, pyrolysis, gasification, combustion

