

## Методе производње енергије из биомасе

Здравко Миловановић, Валентина Јаничић Миловановић

**Сажетак.** Биомаса, поред коришћења у сврху гријања у домаћинствима, све више се употребљава и за производњу електричне енергије, као и течна погонска горива за моторна возила. Слично као и код осталих обновљивих ресурса, анализа могућности коришћења биомасе (теоријски, технички и економски потенцијал) треба да обухвати системску анализу расположивих потенцијала и технологија, као и економских параметара који се односе на њену цијену (биомаса као сировина), цијену енергије добијене из биомасе (ефективност примјењене технологије трансформације примарне у корисни облик енергије) и конкурентност у односу на друге изворе енергије (статички и динамички економско-финансијски параметри). Како постоје различите технике и методологије процјене потенцијала биомасе, могуће је и значајније одступање добијених резултата у процијењеним количинама, па је неопходно додатно анализирати прихватљивост грешке у процјени. Највећа препрека у коришћењу биомасе као извора енергије у индустријске сврхе за производњу енергије је непостојање горивног циклуса као система поступака, технологија и опреме које омогућавају да се гориво од свог природног стања (примарни облик горива), припреми и доведе у стање

---

Цитирање: Миловановић З, Јаничић Миловановић В (2023) Методе производње енергије из 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:459–558

---

Cite as: Mlovanović Z, Janičić Milovanović V (2023) Methods of energy production from 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:459–558

*погодно за коришћење (корисни облици енергије).*

*Процес формирања и развоја горивног циклуса за биомасу додатно је отежан због различитости облика и особина биомасе, њене широке распрострањености и мале концентрације енергије, као и њеног сезонског карактера. Потенцијал биомасе на простору Републике Српске потиче из различитих производних дјелатности (остаји из ратарске, воћарске, виноградарске, сточарске и шумарске производње, као и комунални отпад). Ратарство и сточарство имају дугу традицију код пољопривредника у Републици Српској, као и воћарска, виноградарска и шумарска производња. Структура и количине комуналног отпада зависе од густине становања, привредних и комуналних активности, као и од културолошких навика и друштвеног окружења.*

*Биомаса као енергент расположива је у облику отпада из шумарске и дрвопрерађивачке дјелатности (отпадно дрво из шумарства, пиљевина, кора, отпадно грађевинско дрво, дрвна амбалажа, биљни остаји из воћарске производње, биљни остаји из пољопривредне производње – слама, кукурузовина и сл.), плантажа енергетског биља (енергетске житарице, брзорастући енергетски дрвени засади, биљке богате шећером, уљарице и сл.), као и органског отпада. Сам поступак конверзије биомасе у енергију најчешће се посматра са термичког, односно термичко-хемијског, биолошког или физичко-хемијског поступка.*

*У оквиру овог поглавља дат је преглед стања и правци развоја технологија конверзије биомасе као енергента у корисни облик енергије (прије свега у електричну и топлотну енергију). Свака коришћена метода производње енергије, па тако и методе које користе биомасу као гориво, има своје предности и недостатке. Посебан нагласак дат је на превазилажење битнијих недостатака код коришћења биомасе као енергетског ресурса, као и њен утицај на покривање укупне потрошње електричне и топлотне енергије и технолошке паре у индустријским погонима, као и потрошњи у својству биогорива у транспортној техници.*

*Посебан сегмент дат је утицају биомасе као енергента на заштиту животне средине, као и на услове које је неопходно обезбиједити како би се постигла CO<sub>2</sub> неутралност. Такође, анализирана је и одрживост сваке од метода за трансформацију биомасе у корисну енергију.*

*Кључне ријечи: Биомаса, одржива енергија, технолошки поступци, методе производње енергије, правци даљег развоја*

## 11.1. Увод

Република Српска производи око 5.000 GWh електричне енергије годишње, од чега 55% електричне енергије долази из термоелектрана, док 45% долази из хидроелектрана. Највећи потрошачи су домаћинства (око 50%) и губици у преносу и дистрибуцији износе око 14–17% (Milovanović i sar. 2017a). Свеукупна потрошња електричне енергије по становнику је дефинитивно већа од просјека у Европској унији (ЕУ), и то је вјероватно поље у којем су додатна побољшања најпотребнија. Удио обновљиве енергије у укупној производњи електричне енергије у Републици Српској износи око 42%, гдје већина корисне енергије долази од хидроенергетских објеката веће инсталисане снаге, као и малих хидроелектрана.

Горивни циклус биомасе детерминисан је низом поступака, технологија и опреме за вршење сљедећих операција:

- прикупљање на мјесту настанка,
- припрема за транспорт, везивање у снопове, сјечење, балирање и др.,
- транспорт до складишта и складиштење,
- мљевање и брикетирање, зависно од врсте биомасе,
- транспорт од складишта до котловнице,
- дозирање ради ложења,
- сагоријевање,
- пречишћавање продуката при сагоријевању (заштита ваздуха, земљишта и воде),
- одлагање нуспродуката сагоријевања (пепео, стакленички гасови и сл.).

Преглед циљева стручне комисије Скупштине европских регија (*Council of the Regions of Europe*, CRE) даје јасан и сажет увид у снабдијевање и потрошњу енергије у Републици Српској, с циљем додатне анализе која би за резултат имала дефинисање приоритета који би могли додатно да подстакну развој енергије засноване на биомаси. Стручњаци CRE су испитивали сљедећа питања:

- одређивање ресурса биомасе који се највјероватније могу користити за будућу производњу енергије;
- политичке и финансијске олакшице за увођење технологија за енергију засновану на биомаси;
- исплатива ефективност производње енергије из ресурса биомасе (трошкови улагања према потенцијалној добити, приступ електричним мрежама, структуре грејних система);
- шеме управљања биомасом у шумским газдинствима и могућност производње енергије од шумских ресурса (ефикасност регионалних

- закона шумарства, укључујући обавезу чишћења шума, приступ дрвету и одлуке о превозу како би се дрво транспортовало до одговарајућих електрана или дрвопрерађивачких објеката, усаглашавање локалне дрвне индустрије са стандардима ЕУ и оптималан дизајн за процес производње енергије заснован на дрвету);
- управљање отпадом у Републици Српској (усаглашавање постојећих одлагалишта са критеријумима ЕУ, разврставање отпада и одржавање одлагалишта отпада, избор отпада који може поново да се користи, развој свијести грађана о разврставању отпада);
  - доступност и поузданост података (организованост прикупљања кроз адекватне обрасце, оцјена конзистентности података, релевантна статистичка обрада, оцјена грешке);
  - могућност развијања будуће обуке и акција везаних за обуку за развој тржишта електричне енергије засноване на биомаси (либерализација тржишта);
  - могућност развијања будућих пројеката у пољу коришћења биомасе као енергетског ресурса (хибридни системи, когенеративни и тригенеративни системи, полигенеративни системи);
  - развој могућности за развијање тржишта енергије базиране на биомаси.

Полазећи од општеприхваћеног закључака до сада реализованих студија о коришћењу биомасе као енергента, као и о постојању значајног потенцијала ресурса биомасе у Босни и Херцеговини (БиХ) и Републици Српској, који се може користити за производњу електричне енергије и топлоте у појединачним постројењима за сваки од облика корисне енергије, комбинованим или когенеративним постројењима, неопходно је почети са примјеном новог закона о енергији, који потенцира и дефинише обновљиве изворе енергије као изворе од општег интереса за Републику Српску.

Истраживање потенцијала биомасе као енергетског горива резултат је све веће изражености појединих аспеката везаних за процес производње и коришћења енергије, тренда раста потреба за њом од стране појединих категорија потрошача и прописаних еколошких норми које све значајније ограничавају рад конвенционалних термоенергетских постројења. БиХ и Република Српска, у погледу производње енергије из обновљивих извора одређеним актима у претходном периоду, потписали су и преузели одређене обавезе, као и остварење дефинисаних циљева о учешћу обновљиве енергије у укупној енергији, прије свега и због прилагођавања своје законске нормативе Европској унији у овој области (Milovanović i sar. 20176).

Енергетски систем у одрживом развоју дефинише се у складу са шест критерија усклађености: усклађеност са животном средином, међугенерациска усклађеност, усклађеност потрошње, друштвено-политичка усклађеност, геополитичка усклађеност и економска усклађеност (Milovanović et al. 2018). Циљ истраживања о одрживом развоју је да се интегришу еколошке, економске и друштвене димензије у социо-еколошки систем, који се даље води, уз одржавање потребног стања равнотеже (одрживости) (Milovanović et al. 2020a). Одрживи развој није ограничен на јасно дефинисану равнотежну ситуацију, већ одговара више динамичком процесу, у којем се приоритети и акције континуирано редефинишу у складу са потребама и жељама посматраног енергетског конзума. Првенствена функција индикатора одрживог развоја је вредновање, процјена и стање три димензије социо-еколошког система (друштво, економија и животна средина), у којем се одрживи развој мора јаче одразити на међудимензионалне односе него на унутардимензионалне односе (Milovanović et al. 2020b).

Полазећи од главних компоненти одрживог развоја у области енергетике (расположивост, доступност, прихватљива цијена, енергетска сигурност, енергетска ефикасност, еколошка прихватљивост и могући ризици), неопходно је додатно стимулисати производњу корисне енергије, добијене и коришћене на начин да истовремено помаже развој човјечанства кроз дужи временски период (Milovanović et al. 2020a). Енергија мора бити доступна и прихватљива као услуга снабдијевања, али и доступна и поуздана као енергетска услуга. С друге стране, нема технологије која није ризична, која нема отпада и која не утиче на животну средину, па нема смисла ни говорити изоловано о појединој бољој или лошијој технологији за трансформацију примарне у корисне облике енергије. Боље је извршити поређење карактеристика једне технологије или енергетске услуге са могућим алтернативним рјешењима и одабрати најбоље рјешење (Milovanović et al. 2020b). Стратегија ЕУ 2020 (20-20-20) обезбјеђује чврсте оквири енергетске политике ЕУ базирани на пет основних група акционих мјера (приоритета), а то су: повећање енергетске ефикасности и уштеда енергије, интегрисање унутрашњег тржишта енергијом, обезбјеђење квалитета, сигурности и стабилности испоруке за потрошаче, интензивирање истраживачко-развојних активности ради достизања зацртаних циљева и повећања конкурентности, као и даље јачање спољашње позиције ЕУ као највећег регионалног тржишта енергијом у свјетским оквирима (Milovanović 2017). Стратегијом 2020 постављени су амбициозни циљеви за енергетски сектор укључујући и борбу против климатских промјена, којима је зацртано до 2020. године: смањење емисија стакленичких гасова за 20%, повећање удјела обновљивих извора до учешћа од 20% у укупној финалној потрошњи

енергије, као и повећање енергетске ефикасности за 20%. Треба истаћи и да ЕУ парламент континуирано подржава ове циљеве. ЕУ вијеће је такође презентовало своје дугорочно одређење за декарбонизацијом енергетског сектора са циљем да ЕУ и друге индустријске земље снизе своје емисије за 80–95% до 2050. године. Подржавањем Енергетског плана за 2050. годину, ЕУ парламент је позвао ЕУ комисију да у најкраћем року представи политички оквир до 2030. године, са кључним етапама и циљевима за емисије стакленичких гасова, обновљиву енергију и енергетску ефикасност. Посебан нагласак у Резолуцији стављен је на важност стабилног регулаторног оквира, како би се додатно подстакнула улагања у обновљиву енергију, те потребу за европским приступом политици обновљиве енергије, при чему треба у потпуности искористити већ постојеће договоре о сарадњи и посебну улогу децентрализоване производње и микрогенерације. ЕУ парламент је позвао ЕУ комисију да достави анализу и приједлоге о увођењу обновљивих извора енергије у ЕУ на одржив и ефикаснији начин, а такође је у марту 2013. године усвојио смјернице о трансевропској енергетској инфраструктури, које је ЕУ комисија предложила у склопу пакета о енергетској инфраструктури. При томе, посебна пажња је посвећена важности постројења за складиштење енергије, те потреби да се осигура стабилност европских електроенергетских мрежа, укључивањем обновљивих извора енергије (Milovanović 2017b).

У мају 2013. године, ЕУ парламент је усвојио резолуцију о комуникацији ЕУ комисије од 6. јуна 2012. године под називом "Обновљива енергија: главни актер на европском енергетском тржишту". Залагао се за одређивање циљева и кључних етапа за раздобље до 2050. године, како би се осигурало да обновљиви извори енергије имају вјеродостојну будућност у ЕУ и за циљ удјела обновљивих извора енергије у структури енергетских извора ЕУ до 2030. године од барем 30%. Такође је наглашена и потреба за дугорочном интегрисаном стратегијом за промовисање обновљиве енергије на нивоу ЕУ. У својој Резолуцији од 12. септембра 2013. године о микрогенерацији (производњи електричне и топлотне енергије на мало), ЕУ парламент је истакао велики потенцијал који властита производња енергије има за грађане и потребу за подстицајима који би подстакли производњу енергије на мало. Позвао је и ЕУ комисију да изнесе приједлоге о том подручју. У јуну 2016. године, ЕУ парламент је усвојио Резолуцију о Извјештају о напретку у подручју обновљиве енергије, у којој је позвао Комисију да представи амбициознији климатски и енергетски пакет за период до 2030. године, којим ће се повећати циљ ЕУ за енергију из обновљивих извора на удио од барем 30%, што треба постићи постављањем појединачних националних циљева. При томе, циљеви који су већ договорени за 2020. годину, морају се узети као

минимална полазна тачка при ревизији Директиве о енергији из обновљивих извора (Milovanović 2017a).

## **11.2. Техничко-технолошки аспект коришћења биомасе као енергетског горива**

Биомаса као енергент расположива је у облику отпада из шумарске, дрвопрерађивачке и пољопривредне дјелатности (отпадно дрво из шумарства, пиљевина, кора, отпадно грађевинско дрво, дрвна амбалажа, биљни остаци из воћарске производње, биљни остаци из пољопривредне производње – слама, кукурузовина и сл.), плантажа енергетског биља (енергетске житарице, брзорастући енергетски дрвни засади, биљке богате шећером, уљарице и сл.), као и органског отпада (Milovanović 2017). Сам поступак конверзије биомасе у енергију најчешће се посматра са термичког, односно термичко-хемијског, биолошког или физичко-хемијског поступка. Термички, тј. термичко-хемијски поступак обухвата (Đulbić 1986; Brownsort 2009; Vamvuka 2010; Jahirul et al. 2012; Kambo and Dutta 2014; Brankov 2016):

- сагоријевање, при чему се уз пуно кисеоника (ваздуха) добија топлотна и/или електрична енергија;
- гасификацију, која представља термохемијски процес, остварен када се биомаса загријава у средини са смањеним присуством кисеоника (средина садржи око 1/3 од количине ваздуха потребне за потпуно сагоријевање) и тада долази до производње гаса, ниске или средње топлотне вриједности, а који садржи угљен-моноксид и водоник. Преостали састојци гаса су, прије свега, угљен-диоксид, азот (за системе са принудном циркулацијом ваздуха), мала количина метана и други несагорљиви гасови (Breault 2010; Bridgwater 2012);
- пиролизу, која подразумијева термичко разлагање сирове биомасе у одсуству кисеоника/ваздуха, на температури већој од 300 °C, при чему се добијају гасовити производи и коксни остатак. Гасовити производи се даљим процесима прераде преводе у биоетанол.
- екстракцију или хладно пресовање уља, гдје се уз одређене катализаторе добија биодизел.

Биолошки поступак подразумијева ферментацију, односно анаеробну дигестију која претвара органске материје у метан у одсуству кисеоника. Када се користи кроз ефикасне системе, процес анаеробне дигестије може успјешно конвертовати органску масу (као што је стајњак) у биогас, који садржи око 65% метана (уз остатак од хранљивих материја) и такође се

може корисно употријевити. Физичким процесом предтретмана сировине, постиже се њено ситњење и разградња структуре, тако да се минимизује деградација компонената које даље треба да се ферментишу. Физичко-хемијски поступак обухвата хидролизу уз присуство катализатора и ферментацију, којом се добија текуће гориво – биоетанол. Неке од уобичајених технологија конверзије које се користе за генерисање електричне енергије за различите врсте биомасе везане су за процесе спаљивања, гасификације и дигестије (Таб. 11.1).

Таб. 11.1. Приказ добијања енергије из појединих врста биомасе (Milovanović 20176)

Table 11.1. Demonstration of obtaining energy from certain types of biomass (Milovanović 20176)

Облик биомасе	Процес конверзије у корисни облик енергије	Илустрација
Ратарски (биљни) остаци	Спаљивање у котловима Гасификација	
Отпад с фарме (стајњак)	Анаеробна дигестија	
Отпад прехранбене индустрије	Сув: спаљивање у котловима или гасификација Влажан: муљ, анаеробна дигестија	
Чврст комунални отпад	Сув: спаљивање у котловима Сортирано смеће: гасификација Депоније: депонијски гас, гасификација	
Отпадни муљ	Сув: спаљивање у котловима Влажан: анаеробна дигестија	
Дрво и дрвни отпацци	Спаљивање у котловима	



Биомаса се најчешће директно трансформише у корисни облик енергије процесом сагоријевања (термохемијска конверзија), производећи тако водену пару за потребе гријања у индустрији и у домаћинствима, као и електричну енергију у малим термоелектранама. Процеси естерификације и екстракције биомасе чине процесе физичко-хемијске конверзије, док процеси алкохолне ферментације и анаеробне дигестије спадају у биолошку конверзију (Сл. 11.1).



Сл. 11.1. Процеси трансформације биомасе у корисне облике енергије (Labudović i sar. 2012; Šljivac i Topić 2018)

Fig. 11.1. Processes of biomass transformation into useful forms of energy (Labudović i sar. 2012; Šljivac i Topić 2018)

Процес сагоријевања има четири фазе: загријавање и сушење, дестилација (испаравање) испарљивих састојака – пиролиза, сагоријевање испарљивих састојака, као и сагоријевање чврстог угљеника. Огревно дрво или разни производи који се добијају приликом обраде дрвета, дрвних остатака и отпадака (сјечка, пиљевина, брикети и сл.) користе се у системима гријања

породичних кућа, стамбених и пословних зграда (Сл. 11.2). Параметри који детерминишу процес сагоријевања шумске или дрвне биомасе као енергента су: хемијски састав, топлотна или енергетска вриједност (доња топлотна моћ горива), температура самозапаљења, температура сагоријевања, физичка својства која утичу на енергетску или топлотну вриједност биомасе (густоћа, влажност и сл.).



а) огревно дрво



б) пелет



в) пиљевина и сјечка



г) брикети

Сл. 11.2. Дрвна биомаса (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)  
Fig. 11.2. Wood biomass (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

Поред дрвне, и недрвна биомаса такође може имати велику важност у процесима сагоријевања. Њу чине остаци из пољопривреде (кукурузовина,

стабљике сунцокрета, слама, љуске, кошчице, остаци при обрезивању винове лозе и маслина, итд.). Слично дрвној биомаси, на огревне вриједности недрвне биомасе подједнако утичу удио влаге и пепела, при чему удио пепела у недрвним биљним остацима може износити и до 20%, што значајно утиче на топлотну моћ (енергетска вриједност биљних остатака креће се у границама од 5,8 до 16,7 МЈ/кг) (Babić i Milovanović 2017). Поред остатака и отпада из пољопривреде, постоји и велики број биљних врста које је могуће узгајати и које имају велике приносе, као што су брзорастуће дрвеће (јавор, тополе, врбе и јаблани), еукалиптус, зелене алге, те кинеске трске (Сл. 11.3).



а) трска мискантус



б) тополе



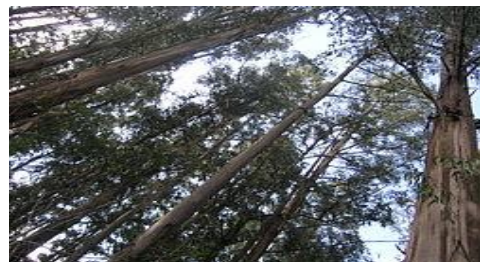
в) пауловнија



г) јавор



д) саднице јаблана



ђ) еукалиптус

Сл. 11.3. Брзорастуће биљке (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)  
Fig. 11.3. Fast-growing plants (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)



Остаци и отпади из пољопривреде обухватају природни чврсти и течни стајњак, измет са сточарских и живинарских фарми, силажу енергетских биљака, сламу, лишће, љуске, окласак различитих житарица (шећерна репа, шећерна трска, кукуруз), као и енергетске житарице (репа, кромпир) (Сл. 11.4).



а) течни стајњак (осока)



б) слама и кукурузовина



в) лишће



г) љуске љешника



д) окласак житарица (кукуруз, шећерна трска)



ђ) енергетске житарице (репа, кромпир, шећерна репа)

Сл. 11.4. Остаци и отпад из пољопривреде (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

Fig. 11.4. Residues and waste from agriculture (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

Животињски отпад обухвата дијелове тијела или лешеве животиња или риба, те отпадне животињске производе, који нису намијењени директној људској конзумацији (искључујући фекалије).

Збрињавање градског отпада (папир, биљни остаци) и индустријског отпада (од индустрија које производе органски отпад, као што је индустрија пића и прехранбена индустрија) представља примарну активност, док је секундарна активност производња енергије на бази искоришћења „зеленог дијела“ рециклираног кућног отпада, биомасе из паркова и вртова, муља из колектора отпадних вода (потребни велики инвестицијски трошкови) (Сл. 11.5).



Сл. 11.5. Градски и индустријски отпад (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

*Fig. 11.5. Municipal and industrial waste (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)*

Биомаса као гориво има низ предности, али и недостатака (Таб. 11.2). Као лако доступан, обновљив, технички и еколошки прихватљив извор енергије, њеним коришћењем смањују се потребе за увозом конвенционалних енергената, односно обезбјеђује мању зависност државе од увозних енергената. Ово у посредном смислу обезбјеђује непрекидност у снабдијевању енергијом, повећање броја запослених, што за резултат има раст квалитета живота, посебно у руралним подручјима, као и смањење миграције на линији село–град.

Коришћење биомасе прате и одређени недостаци (периодичност настанка биомасе, разуђеност у простору, отежано сакупљање, паковање и складиштење, што је условљено малом насипном масом (густином), мањом топлотном моћи сведеном на јединицу запремине, неповољним обликом и високим садржајем влаге), док су и инвестициони трошкови за изградњу

постројења за сагоријевање биомасе већи од оних за сагоријевање конвенционалних енергената. Одређеним поступцима могуће је избјећи или смањити њихов утицај (нпр. сабијањем биомасе у облику пелета и брикета), уз додатну потрошњу енергије за њихов технолошки поступак добијања (додатна енергија утрошена за уситњавање, по потреби сушење, сабијање и хлађење).

Таб. 11.2. Предности и недостаци коришћења биомасе као горива (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

Table 11.2. Advantages and disadvantages of using biomass as a fuel (Labudović i sar. 2012; Milovanović i sar. 2017a)

Предности коришћења	Недостаци коришћења
<ul style="list-style-type: none"> <li>- сигуран и обновљиви извор енергије;</li> <li>- значајни енергетски потенцијали биомасе;</li> <li>- постоје велике количине биомасе тамо гдје је потребна топлотна енергија (у пољопривреди и индустрији);</li> <li>- квалитет произведене енергије једнак је квалитети енергије произведене из фосилних горива (температурни ниво, количина и ефикасност трансформације);</li> <li>- за коришћење биомасе у енергетске сврхе развијене су савремене технологије;</li> <li>- условно неутрални биланс CO<sub>2</sub> емисије;</li> <li>- мали удио пепела у продукцима сагоријевања;</li> <li>- мали садржај или потпуно одсуство сумпора у гориву;</li> <li>- пепео који не садржи токсичне материје;</li> <li>- смањење зависности од увоза</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- специфичне физичко-хемијске особине;</li> <li>- потребно је организовање тржиште;</li> <li>- непостојање организованог горивог циклуса биомасе;</li> <li>- лако топлјив пепео;</li> <li>- неопходност организације и одржавања биоенергетског ланца</li> </ul>
Еколошки аспекти коришћења	
<p style="text-align: center;"><b>Привредни аспекти коришћења</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- превенција ерозије;</li> <li>- смањење опасности од пожара;</li> <li>- заштита животињског и биљног свијета и других компоненти њихових разноликости;</li> <li>- мања емисија штетних материја из генератора електричне енергије у поређењу са сличним технологијама које користе фосилна горива;</li> <li>- редукција гасова који производе ефекат стаклене баште;</li> <li>- отварање нових радних мјеста;</li> <li>- економске користи у руралним срединама</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- добра биоразградивост биомасе у тлу (готово 95 % материје биомасе се разгради за 28 дана);</li> <li>- биогорива садрже незнатне количине сумпора, па у продукцима нема сумпорних оксида;</li> <li>- приликом сагоријевања биомасе добија се тзв. чисти пепео;</li> <li>- нема емисије угљиководоника, као непотпуних продуката сагоријевања;</li> <li>- биомаса је у потпуности обновљив извор енергије;</li> <li>- егзистирање биомасе на Земљи (није је потребно стварати, већ је треба само плански искористити, и помоћи јој у регенерацији)</li> </ul>
Непогодности за примјену биомасе	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- манипулациони и економски проблеми са биомасом;</li> <li>- периодичност настанка биомасе;</li> <li>- мала запреминска маса и топлотна моћ биомасе сведена на јединицу запремине;</li> <li>- разуђеност у простору;</li> <li>- неповољан облик и висока (промјенљива) влажност биомасе;</li> <li>- високе инвестиције за постројења за прераду, припрему, сагоријевање биомасе, итд.</li> </ul>

### 11.3. Тренутно стање у области метода производње енергије из биомасе у свијету

Свака коришћена метода производње енергије, па тако и методе које користе биомасу као гориво, има своје предности и недостатке (Таб. 11.3).

Таб. 11.3. Својства биомасе у односу на општа својства обновљивих извора енергије (Labudović i sar. 2012)

Table 11.3. Properties of biomass in relation to the general properties of renewable energy sources (Labudović i sar. 2012)

Својство (параметар)	Обновљиви извори, у односу на необновљиве изворе енергије	Биомаса, у односу на обновљиве изворе енергије
Обновљивост	Обновљиви	Обновљива, при одрживом коришћењу
Потенцијал	Врло велик (Сунчево зрачење)	Мањи, али респектабилан
Површинска дистрибуција	Дјеломично „праведнија“	Мање „праведна“
Површинска густина	Већином мала	Подједнака осталим; код сламе знатно мања него код сунчева зрачења
Запреминска густина енергије	(нема смисла код већине обновљивих извора)	Мања него код необновљивих извора; али већа код огревног дрвета, а мања код сламе
Масена густина енергије	(нема смисла за већину обновљивих извора)	Самјерљива сиромашнијим необновљивим изворима (10–15MJ/кг)
Коришћење у природном облику	Немогуће, осим геотермалне енергије	Могуће, нпр. огревно дрво
Могућност изворног транспорта	Немогуће, осим биомасе	Могуће, али на енергетски оправдану удаљеност
Могућност изворног складиштења	Немогуће, осим биомасе и акумулационих и реверзибилних ХЕ	Могуће, те је остварљиво коришћење у складу са потражњом
Осцилација природног дотока	Већином велика	Велика, најчешће расположива 1 мјесец годишње, сем код огревног дрвета
Трошкови придобијања	Већином их нема	Постоје: већи код огревног дрвета, а мали код стајског ђубрива
Оптерећење животне средине при придобијању	Већином знатно, најприје просторно	Није наглашено, али постоји: осиромашивање тла и ерозија
Оптерећење околине при трансформацији у финални облик енергије	Већином мало или никакво, осим наглашеније код великих ХЕ	Веће него код већине других обновљивих извора
Степен дјеловања при трансформацији	Понекад мален	Слабији него код већине других обновљивих извора
Нужност резерве или акумулације	Већином да, осим код акумулационих и реверзибилних ХЕ	Не треба
Могућност когенерације	Већином не, осим код геотермалне енергије врло врућих извора	Могућа
Могућност распршене примјене	Да, ради ли се о малим снагама	Да, ради ли се о малим снагама
Синтетички закључак	Најважнија предност: потенцијал Најважнија мана: немогућност складиштења у природном облику	Најважнија предност: могу се складиштити Најважније ограничење: транспортна удаљеност

Еколошка вриједност биомасе посебно је значајна ако се пореди са сагоријевањем фосилних горива (посебно угља и мазута), или ако се посматра у процесима косагоријевања већих котловских постројења у оквиру индустријских и електроенергетских производних предузећа. Занимљиво је да је енергија биомасе и отпада замијенила водену енергију на првом мјесту обновљивих извора енергије у земљама ЕУ. Поређењем података њеног коришћења према EUROSTAT-у (статистичка агенција ЕУ заједнице) из 2000. године са подацима из 2010. године, количина коришћења биомасе и отпада се готово удвостручила (повећање са 59232 на 112725 ktоe (тона еквивалента нафте, као заједничке јединице за лакше мјерење енергије – ktоe), лако је примијетити да је у том периоду енергија биомасе и отпада замијенила енергију добијену на бази водног потенцијала.

У периоду 2010–2015. године биомаса као обновљиви извор енергије добија водеће мјесто (пораст коришћења биомасе и огревног дрвета за 2,7%, уз смањење удјела производње из хидроенергије за 6,7% (већина хидроенергетских капацитета у ЕУ је већ изграђена, што не оставља мјесто за додатно напредовање) (Babić i Milovanović 2017).

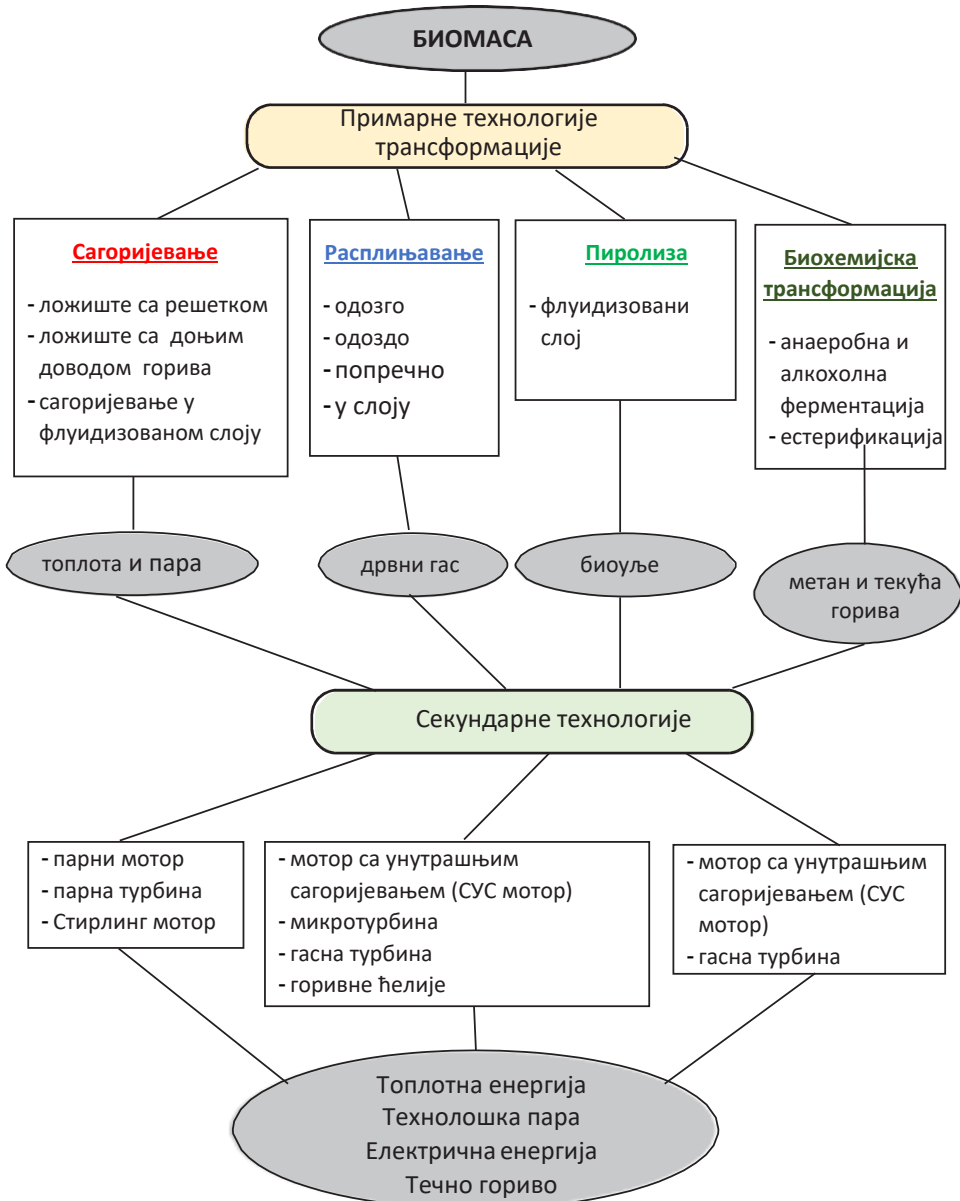
### **11.3.1. Технологије трансформације биомасе као енергента**

Постоји већи број метода које омогућују искоришћавање биомасе за производњу енергије, састављених од фотосинтезе као извора биомасе, различитих процеса сакупљања и прераде те енергетског искоришћавања (биомаса као енергент не може се користити у изворном облику, као ни у трансформисаном, тј. прерађеном облику, као чврста, течна или гасовита горива) (Сл. 11.6). Као што се то са слике може видјети, егзистирају различити начини (технолошки поступци) за добијање енергије из биомасе, почев од директне трансформације у процесу сагоријевања и производње топлотне енергије која се преко измјењивача топлоте даље предаје врелој води или свјежој пари у оквиру котловских постројења (за гријање у домаћинствима и индустрији, као технолошка пара у индустријским и процесним постројењима или за добијање електричне енергије у оквиру експанзионог процеса у турбинским постројењима у малим термоелектранама), па све до њене биохемијске трансформације (Milovanović 2016).

Постројења за директну трансформацију примарне енергије биомасе у корисне облике енергије у процесу сагоријевања и производње топлотне енергије доста су заступљена у земљама ЕУ, гдје се најчешће користи дрвни



отпад из шумарства и дрвне индустрије, слама и други пољопривредни остаци, те комунални и индустријски отпад.



Сл. 11.6. Примарне и секундарне технологије трансформације биомасе (Milovanović i sar. 2017a; Šljivac and Topić 2018)

Fig. 11.6. Primary and secondary biomass transformation technologies (Milovanović i sar. 2017a; Šljivac and Topić 2018)

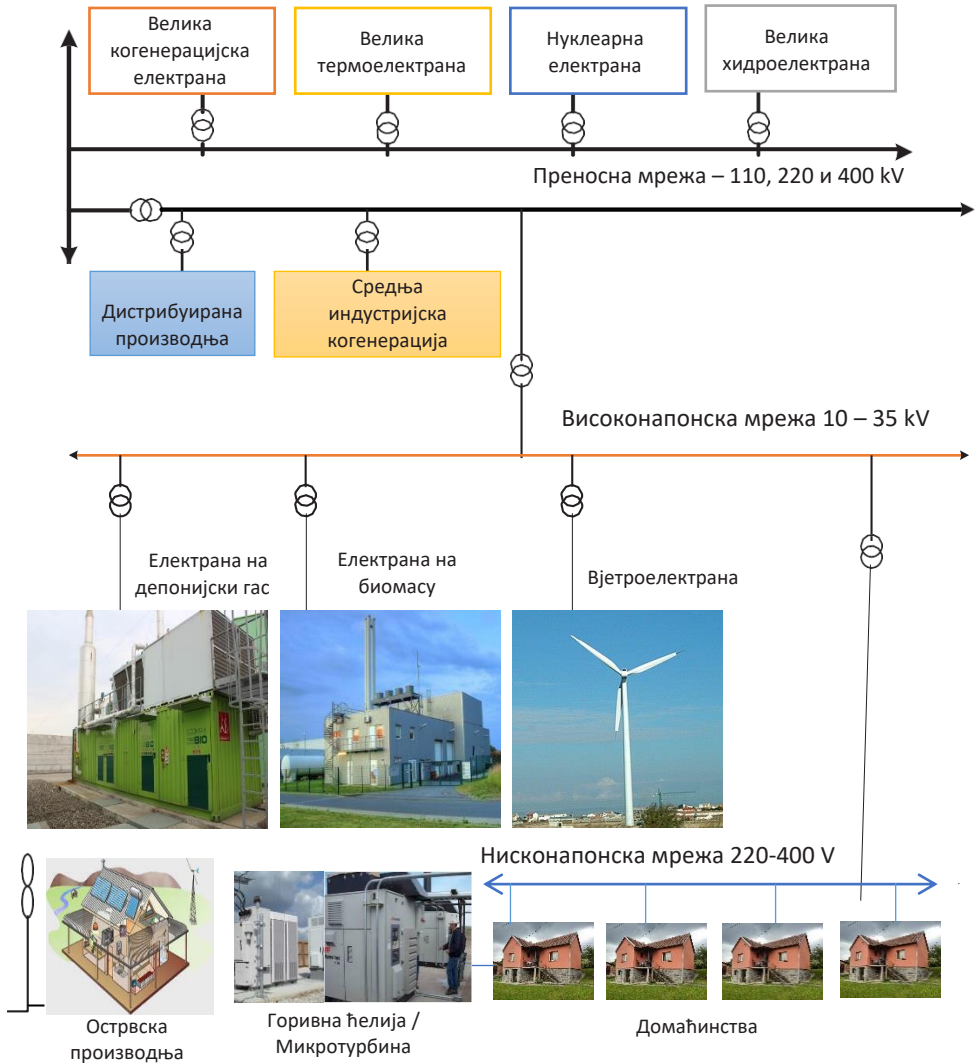
### **11.3.2. Процеси трансформације биомасе као енергента**

При разматрању улоге биомасе у енергетском сектору потребно је посебно проматрати електроенергетски сектор, сектор течних горива и сектор топлификације. Полазећи од основне улоге електроенергетског система за обезбјеђење континуиране испоруке потребних количина електричне енергије одређеног квалитета и уз прихватљиве економске услове дистрибуције, може се закључити да процес искоришћења природних ресурса зависи од планских докумената развоја електроенергетског сектора (стратегије развоја), као и унапређења животног стандарда људи (социјални и културолошки фактор). Иако се од биомасе не очекује значајнија улога у коришћењу у оквиру електроенергетског сектора Републике Српске и БиХ у цјелини, увођењем одређених тржишно-законских механизма створени су услови за производњу електричне енергије из биомасе независних произвођача, приватних предузетника и локалне заједнице (Milovanović 2017). Приказ могућих произвођача електричне енергије из биомасе дат је на Сл. 11.7.

Као посљедица различитости облика у којима се биомаса појављује (тврда, течна, гасовита), постоје различити начини за добијање корисних облика енергије из биомасе. Један од њих је процес сагоријевања, код којег долази до оксидације горивих састојака биомасе као горива, уз ослобађање у биомаси ускладиштене енергије сунца у облику топлоте. Иако се све врсте биомасе могу користити у котловима мањих капацитета (домаћинства), најчешће се користи дрвна биомаса у облику цјепаница и разних облика дрвних остатака (кора, струготина, пиљевина), као и прзови у облику пелета, брикета (Livingston 2006).

Прве топлане на биомасу срећемо још почетком осамдесетих година прошлог вијека. У доста земаља ЕУ оне су замијениле угљ и ложиво уље. Након тога, биомаса се све више користи за добијање електричне енергије и енергије хлађења (когенеративни и тригенеративни системи), а у задње вријеме и у комбинованим постројењима за производњу корисних облика енергије (полигенеративни и хибридни системи). Почетком овог вијека електрична енергија из биомасе комерцијално се производила једино у процесу сагоријевања на различитим облицима решетке или различитим изведбама котлова са сагоријевањем у флуидизованом слоју, а добијена топлота сагоријевањем се даље преносила преко адекватних измјењивача топлоте на радни флуид (најчешће хемијски припремљена напојна вода), при чему је настајала свјежа пара одређених (подкритичних или надкритичних) параметара, која се даље користила за погон мотора или турбине. При томе је процес трансформације у електричну енергију био

мање ефикасан и кретао се у дијапазону 5–10% за постројења електричне снаге до 1 MW, 10–25% за постројења 1–5 MW, те 15–30% за постројења снаге веће од 5 MW (Лабудовић и сар. 2012).



Сл. 11.7. Приказ могућих произвођача електричне енергије из биомасе у оквиру електроенергетског сектора (ЕЕС) (Šljivic i Topić 2018, Milovanović i sar. 2021)

Fig. 11.7. Overview of possible producers of electricity from biomass within the electricity sector (ES) (Šljivic i Topić 2018, Milovanović i sar. 2021)

Когенерацијска постројења за истовремену производњу топлотне и електричне енергије у периоду 2000–2010. година представљала су најзначајнији начин производње електричне енергије из биомасе. Рјешења на бази когенерације су и најефикаснија (Milovanović et al. 2021в). Такође су и еколошки подобна за производњу електричне и топлотне енергије. Искуства добијена коришћењем когенеративних система за производњу електричне и топлотне енергије су позитивна и са аспекта економије – цијена јединице електричне енергије произведене у њима може бити и до 30–40% нижа од цијене из централизованих електроенергетских система, док цијена јединице топлотне енергије произведене у њима може бити и до 50% нижа од цијене из централизованих топлификационих система (Milovanović et al. 2021б). Са аспекта погодности коришћења појединих постројења за енергетско коришћење биомасе, истичу се мала когенеративна постројења са гасно-турбинским агрегатом за метан, биогаз и др., затим постројења са парно-турбинским агрегатом за дрво, сламу и осталу чврсту биомасу и постројења са горивним ћелијама за метан и метанол (Đulbić 1986; Mohan et al. 2006; Malik and Sangwan 2012).

У системима даљинског гријања дрвна биомаса се најчешће користи у облику дрвне сјечке, која се као гориво доста разликује од угља. Сјечка садржи више испарљивих материја, мање угљеника и више кисеоника у односу на угаљ. Процес издвајања волатила почиње на нижим температурама него код угља, а њихов допринос топлотној моћи износи око 70%, док је код угља око 36% (Yin et al. 2008; De Wild and Reith 2011). Ове карактеристике битно утичу на сагоријевање дрвне сјечке као веома реактивног горива. Због наведених разлика у односу на угаљ, код избора технологије сагоријевања и конструкције уређаја за сагоријевање дрвне сјечке, неопходан је студиозан приступ са узимањем у обзир свих наведених чињеница (Milovanović et al. 2021г).

Сагоријевање дрвне биомасе за потребе комбиноване производње топлотне и електричне енергије, односно даљинског гријања, врши се у већим ложиштима, а често и заједно са фосилним горивима, тзв. косагоријевање (суспаљивање) биомасе са угљем (Goyal et al. 2008; Neves et al. 2011; Panwar et al. 2012). Технологије које се користе за овакав начин сагоријевања биомасе су: сагоријевање у слоју на решетки, сагоријевање у лету, сагоријевање у флуидизованом слоју, и као гас настао након процеса гасификације. Принципијелно, сагоријевање дрвне биомасе састоји се условно из четири фазе (Babić i Milovanović 2017): загријавање горива и испаравање влаге, деволатизација/гасификација, загријавањем на температуру од 300 °С дрвна материја се разлаже на волатиле (око 85% дрвне материје) и чврсти остатак, сагоријевање волатила, од укупног

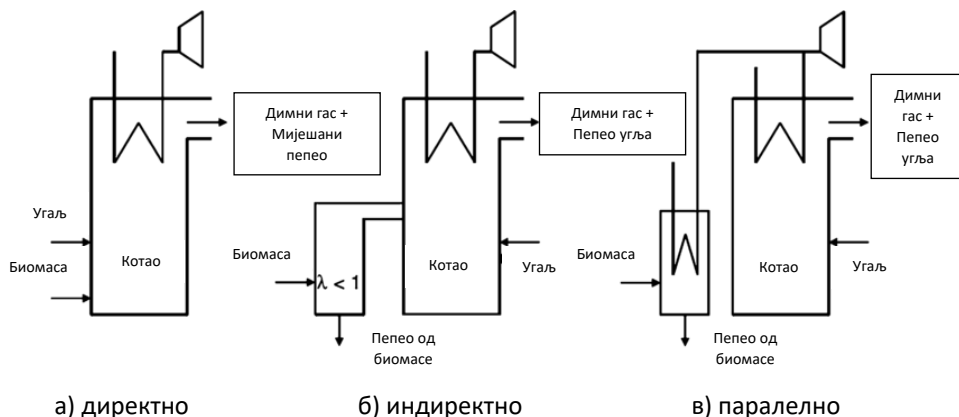
енергетског потенцијала дрвне биомасе на овај вид отпада 50–60% и сагоријевање преостале чврсте масе горива (Šljivas i Torić 2018).

На температуру паљења дрвета, поред гранулације и врсте дрвета, утичу и брзина сагоријевања и ослобађање волатила. Због тога се температура паљења креће у доста широком интервалу, од врло ниске која износи 120–250 °С, ниске 270–280 °С, до врло високе 475–575 °С (Ваћић 2013). На процес сагоријевања (осим карактеристика биомасе) утиче температура сагоријевања, вријеме задржавања горива у ложишту, као и ваздух за сагоријевање (количина, расподјела, температура и брзина струјања). Код сагоријевања дрвне сјечке са високим садржајем влаге, сушењем се постиже потребна температура сагоријевања и обезбјеђује потребно вријеме боравка горива у ложишту, као предуслови за потпуно сагоријевање. Висок садржај влаге у гориву изазива и погонске проблеме са паљењем горива. Потребан ваздух за сагоријевање дрвне биомасе код савремених ложишта доводи се као примарни и секундарни (двостепено). Примарни ваздух служи за гасификацију дрвне биомасе, а секундарни за сагоријевање волатила. На овај начин се обезбјеђују предуслови за потпуно сагоријевање и смањење ризика од емисија које су повезане са непотпуности сагоријевања.

Сprovedена испитивања могућности примјене пелета и брикета од биомасе у реалним условима за производњу топлотне енергије у системима даљинског гријања града Београда, доказала су да је директна замјена угља са чврстом биомасом могућа, без реконструкција и/или финансијских улагања, уз правилан избор геометрије (облика) прерађене отпадне дрвне биомасе, уз прилагођавање основних параметара – количине дозирањег горива и распореда ваздуха у ложишту котлова (Савић 2013). Резултати испитивања су потврђени дуготрајним радом постројења која су за испитивање коришћена, и донекле побољшана накнадним подешавањима.

Технологија косагоријевања (суспаљивања) истовременим сагоријевањем различитих горива у истом котлу, представља алтернативу која омогућава смањење емисије гасова који утичу на ефекат стаклене баште. Резултат је то парцијалне замјене фосилних горива биомасом, као и међусобне хемијске интеракције између горива различитог поријекла и састава, уз смањење гасова са ефектом стаклене баште. При томе, за реализацију процеса косагоријевања (суспаљивања) биомасе може се користити већ постојећа инфраструктура за сагоријевање фосилних горива. Постоје три основна типа косагоријевања: директно косагоријевање (Сл. 11.8а), индиректно косагоријевање (Сл. 11.8б) и паралелно косагоријевање (Сл. 11.8в) (Spliethoff 2010). Најједноставнији и најчешће коришћени тип косагоријевања представља директно косагоријевање, које подразумева истовремено косагоријевање више од

једне врсте горива у ложишту котла, уз примјену заједничког или одвојеног система за дозирање и припрему горива (млинова, дробилица) и заједничких или посебних горионика (зависно од карактеристика горива).



Сл. 11.8. Шематски приказ директног и индиректног косагоријевања биомасе са угљем (Spliethoff 2010)

Fig. 11.8. Schematic representation of direct and indirect co-combustion of biomass with coal (Spliethoff 2010)

Код индиректног начина косагоријевања биомасе у процесу гасификације, биомаса се гасификује у гасификатору, након чега се тако добијени гас уводи кроз горионике у ложиште на угљем. Код индиректног типа косагоријевања нема мијешања пепела двију врста горива, па је могуће постићи већи удио биомасе у укупној количини мјешавине. За разлику од директног косагоријевања, овај тип косагоријевања има веће инвестиционе трошкове изградње постројења и нема проблема са дозирањем горива (Spliethoff 2010).

Код паралелног начина косагоријевања постројењу се, ради повећања производње паре постојећег котла на угљем, додаје посебан котлоу на биомасу, при чему су системи за припрему и дозирање за биомасу и угљем одвојени. Количина биомасе за сагоријевање зависи од расположивог капацитета постојеће парне турбине, што је и ограничавајући фактор при реконструкцији постојећег постројења за сагоријевање угља. Као и у индиректном типу косагоријевања биомасе са угљем, њихов пепео добијен у процесу сагоријевања је потпуно одвојен (Spliethoff 2010). Полазећи од чињенице о потпуној одвојености котлова за сагоријевање биомасе и угља, могућа је и одвојена оптимизација избора технологија сагоријевања за сваку јединицу (егзистирају различите комбинације, нпр. котлоу са циркулационим флуидизованим слојем за биомасу и котлоу са сагоријевањем спрашеног угља).

Технологије суспаљивања (косагоријевања) биомасе представљају директно суспаљивање у великим постројењима на угљ и тренутно представљају најефикасније коришћење биомасе за производњу електричне енергије, (Milovanović i sar. 2017а,б). Ефикасност искоришћења биомасе износи 35–45%. Међутим, у већини случајева удио биомасе је ограничен на отприлике 5–10%. Највећи проблеми јављају се везани за пепео као нуспродукт настао сагоријевањем, због чега су развијене још увијек релативно скупе технологије, које омогућавају избегавање оваквог загађења. При индиректном косагоријевању (суспаљивању) врши се расплињавање биомасе прије косагоријевања са угљем, док се код паралелног косагоријевања биомаса сагоријева у одвојеном котлу, али користећи пару произведену унутар главног парног котла у постројењу (Spliethoff 2010).

У случају производње електричне енергије, трошкове улагања треба разгранати на постројења која производе електричну енергију искључиво из биомасе, те на постројења која производе електричну енергију косагоријевањем биомасе са фосилним горивима. При томе, постројења за производњу електричне енергије искључиво из биомасе захтијевају сложеније котлове, што повећава инвестицијске трошкове. Главна компонента промјенљивих (варијабилних) трошкова у постројењима за производњу електричне енергије је трошак горива (биомасе), чак и у случају индустријског отпада. Узимајући у обзир велику потрошњу биомасе у оваквим постројењима, утицај снабдијевања је прилично велик, што имплицира и велики утицај трошкова превоза на коначну цијену биомасе. За постројења која користе косагоријевање, трошак улагања своди се на трошак опреме која је намијењена припреми биомасе за убризгавање у котло, те на преправљање постојећих котлова и прикључних елемената. Остала опрема једнака је као и у традиционалним постројењима. Ова врста производње електричне енергије омогућава већу инсталисану снагу (и до 30% већу ефикасност у односу на 23% у специфичним или индустријским погонима).

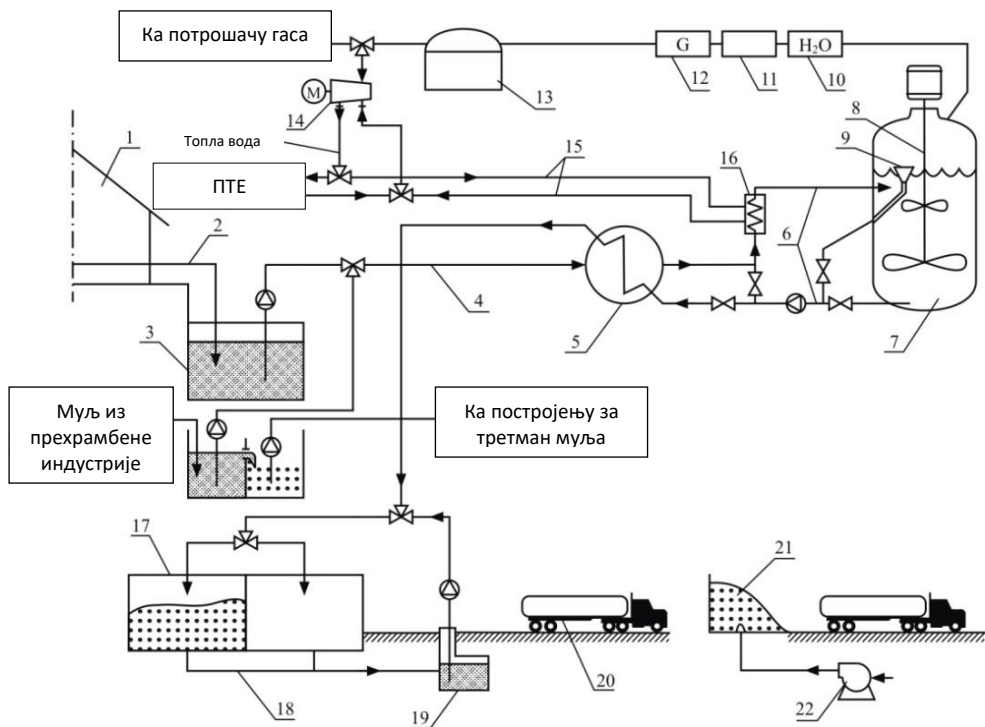
За гријање воде коришћен је биогаз још у Сирији 1000 година п.н.е., а први модерни биодигестор пуштен је у рад 1859. године у Бомбају. Производња и сакупљање биогаза из биолошког поступка у Великој Британији веже се за 1895. годину (освјетљавање градића Exeter-а). Шездесетих година прошлог вијека биљежи се интензивнији развој биогазних технологија. Биогазна постројења (дигестори) грађена су у земљама у развоју које нису имале развијене преносне системе енергије, ради задовољења енергетских потреба са малим улагањима. Раст интересовања за биогазну технологију у развијеним земљама везан је за почетак енергетске кризе седамдесетих година. Повећање интересовања резултат је глобалних напора усмјерених на замјену фосилних горива обновљивим изворима, као и проналажењу

еколошки прихватљивог рјешења за обраду животињских екскремената и осталог органског отпада. Индустијску примјену највише имају процеси производње погонског алкохола и производње биогаза биотехнолошким поступцима за прераду отпадних материјала органског поријекла (заштита животне средине) (Симић 2007). Најширу примјену имају постројења за добијање биогаза из пољопривредног и индустријског отпада, затим при обради отпадних вода и стабилизацији муља, као и чврстог комуналног отпада. Пољопривредни биогаз добија се из отпада, односно остатка који настаје у пољопривредној производњи. Тако се за производњу биогаза у сточарству користе знатне количине стајњака течљиве и полутечљиве конзистенције. При томе, количина произведеног биогаза зависи од концентрације суве материје, укупне количине органске материје и присуства хранљивих компонената потребних за развој микроорганизама у стајњаку, као и конструкције постројења у коме се врши анаеробна дигестија. Већина пољопривредних биогазних постројења обрађује стајњак говеда, свиња и перади, док се у задње вријеме јавља све већи број постројења за чији рад се користе енергетски усјеви. С друге стране, сирови стајњак користи се и као органско ђубриво за прихрану различитих врста пољопривредних култура. Процесом анаеробне дигестије врши се побољшање стајњака на сљедећи начин (Sevilla and Fuertes 2009; Stoppiello 2010; Titrici 2013; Carrera 2010):

- стајњаци различитог поријекла (говеда, свиње, перад и др.) мијешају се у истом дигестору при чему се добија бољи однос хранљивих компонената;
- анаеробном дигестијом разлажу се сложене органске материје (укључујући и органски азот) и повећава се количина хранљивих компонената које биљка може директно да користи;
- кодигестија стајњака са другим супстратима (кланички отпад, отпадне масти и уља, отпад из домаћинства, биљни остаци и др.) добија се биођубриво са већом хранљивом вриједношћу.

Кланички отпад представља добру сировину која се може користити у процесу анаеробне дигестије. На примјер, из 1 м<sup>3</sup> свињске крви се добија 104–118 м<sup>3</sup> биогаза или 0,68–0,77 м<sup>3</sup>/кг ОСМ. Одређен проблем представља што крв садржи много азота који се анаеробном обрадом не разграђује (Царић и Солеша 2014). Шема типичног биогазног постројења за обраду пољопривредног отпада дата је на Сл. 11.9. Према величини, функцији и локацији за изградњу, пољопривредна биогазна постројења дијеле се на биогазна постројења за домаћинства (мала постројења), биогазна постројења за пољопривредна газдинства (постројења средње величине) и централизована биогазна постројења са заједничком кодигестијом (велика постројења).





Сл. 11.9. Шема постројења за обраду пољопривредног отпада: 1 – фарма; 2 – цјевовод за транспорт стајњака; 3 – прихватни резервоар; 4 – напојни цјевовод; 5 – измјењивач топлоте (стајњак – стајњак); 6 – цјевовод за мијешање; 7 – дигестор; 8 – мијешалица; 9 – преливник; 10 – издвајање влаге; 11 – издвајање  $H_2S$ ; 12 – газометар; 13 – резервоар за биогаз; 14 – генератор (380 V); 15 – цјевовод за воду; 16 – измјењивач топлоте (вода – стајњак); 17 – резервоар за отпадни стајњак; 18 – дренажа (исушивање отпадне масе); 19 – рефлуксни резервоар; 20 – возило за одвожење биођубрива; 21 – складиштење биођубрива; 22 – вентилатор; ПТЕ – пријемник топлотне енергије (Симић и сар. 2018)

Fig. 11.7. Scheme of agricultural waste treatment plant: 1 – farm; 2 – manure transport pipeline; 3 – receiving tank; 4 – supply pipeline; 5 – heat exchanger (manure – manure); 6 – mixing pipeline; 7 – digester; 8 – mixer; 9 – overflow; 10 – moisture separation; 11 –  $H_2S$  release; 12 – gas meter; 13 – biogas tank; 14 – generator (380 V); 15 – water pipeline; 16 – heat exchanger (water – stand); 17 – waste manure tank; 18 – drainage (drying of waste mass); 19 – reflux tank; 20 – vehicle for removal of biofertilizers; 21 – storage of biofertilizers; 22 – fan; PTE – heat receiver (Симић и сар. 2018)

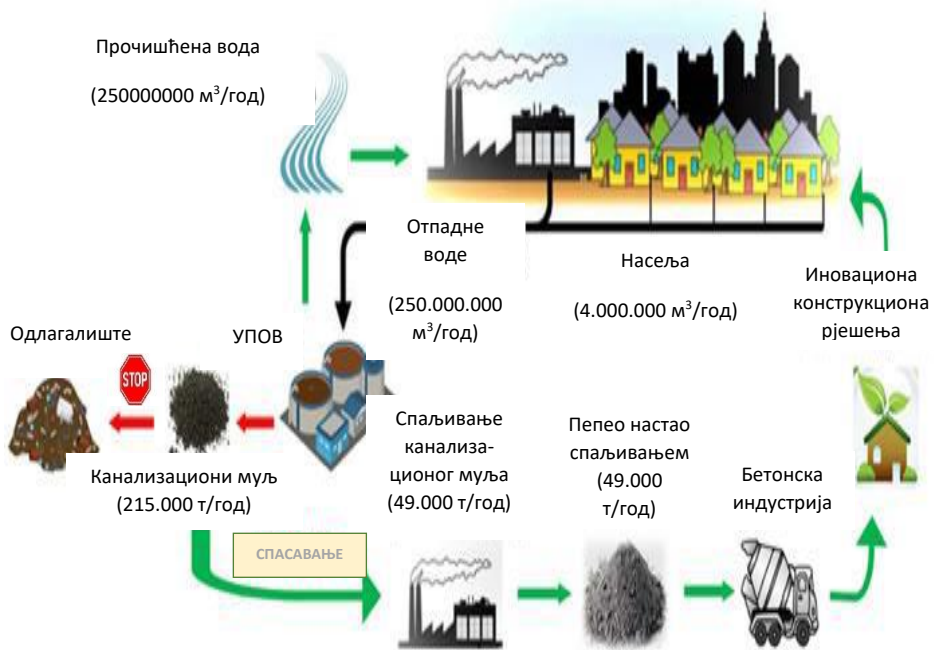
Бројна биогасна постројења саставни су дио индустријских комплекса за прераду отпада органског поријекла, насталог у току производног процеса и третмана отпадних вода. Као најчешће коришћена технологија за обраду отпада из различитих индустријских грана, анаеробна дигестија је саставни дио компанија из индустрије прераде хране, пољопривредних производа и фармацеутске индустрије. Анаеробна дигестија може се користити и за третман органског отпада који претходи његовом коначном одлагању на предвиђено одлагалиште, као и за третман индустријске отпадне воде оптерећене органским материјама.

Код централизованих система одводње и канализације отпадне воде се сакупљају у одређеним системима, након чега је потребно издвојити отпадне материје, како би се у околину (реципијент) испустила прочишћена вода чији квалитет није ништа лошији од квалитета пријемног реципијента воде. Као нуспроизвод у процесу прочишћавања добија се додатна врста отпада који се назива *канализациони муљ*. По метру кубном отпадне воде, обично се издвоји 0,5 кг таквог муља. Адекватно збрињавање отпадних (првенствено санитарних и индустријских) вода подразумијева сакупљање, транспорт и прочишћавање отпадних вода, уз истовремено и правилно збрињавање отпадних материја насталих у процесу прочишћавања. Муљ са уређаја за прочишћавање отпадних вода (*Уређај за Прочишћавање Отпадних Вода*, УПОВ) третира се као опасни отпад, који је потребно додатно обрадити и одложити у околину на безбједан и сигуран начин. Обично се сматра да у случају изградње УПОВ-а, код којег није ријешено коначно одлагање муља, његова изградња није ни завршена, те да нису предузете све потребне мјере заштите животне средине. По сакупљању отпадног муља неопходно је извршити избор методе или поступка за наставак његове обраде.

Узимајући у обзир трошкове и заштиту животне средине, као закључак већег броја студија потенцира се термичка обрада као оптимално рјешење на уређајима за прочишћавање отпадних вода већих капацитета. Таквом обрадом муљ се спаљује, те се добија продукт (пепео) који има знатно мању масу (и до 85%) и запремину, као и укупну запремину отпадних материја. Такође, кроз процес спаљивања неутралишу се и неугодни мириси и неке токсичне компоненте. Иако би се добијени пепео могао користити у производњи енергије, због свог хемијског састава и карактеристика најчешће се користи у грађевинарству (нпр. за производњу цемента, бетона, керамика или др.).

Шема осмишљеног циклуса отпадне воде и муља приказана је на Сл. 11.10. С обзиром на то да је БиХ у процесу придруживања ЕУ, уласком у ЕУ слиједи

обавеза прикључивања на канализациону мрежу. На Сл. 11.10 дат је примјер о прикључењу 4 милиона становника на канализациону мрежу са израчунатим годишњим прикупљањем од 215.000 тона муља, што захтијева велико и одговорно управљање муљом, а тренутно у БиХ то није случај.



Сл. 11.10. Могући циклус отпадне воде и канализацијског муља (Vouk i sar. 2015)

Fig. 11.10. Possible cycle of wastewater and sewage sludge (Vouk i sar. 2015)

Као примјер разматрања утицаја термоенергетског постројења на воде дат је систем у РИТЕ Гацко инсталисане снаге 300 MW (Milovanović 2016). Потребна количина технолошке воде за термоелектрану обезбјеђује се из два вјештачка језера: језеро Врба у горњем току ријеке Мушнице, чија је запремина 14,5 милиона м<sup>3</sup>, а његов прелив и темељни испуст обезбјеђује биолошки минимум кроз друго језеро Клиње запремине 1,5 милиона м<sup>3</sup> воде, гдје се и непосредно налази водозахват за потребе термоелектране. Ријека Мушница са својим притокама једини је реципијент отпадних вода града Гацка од 5.000 становника, као и овог енергетског комплекса. Њен средњи вишегодишњи протикај непосредно пред понирање износи 8,76 м<sup>3</sup>/с. Положај ТЕ Гацко I на врху сливног подручја ријеке Требишњице, тј. у примарној зони водоснабдијевања низводних насеља овог подручја, са

својим остацима од сагоријевања лигнита представља великог потенцијалног загађивача. Отпадне воде које се јављају као посљедица рада ТЕ, према квалитету и мјесту настајања дијеле се на: зауљене отпадне воде, отпадне воде од регенерације, отпадне воде од декарбонизације, отпадне воде од хлађења шљаке, отпадне воде од повремених прања котловског постројења, подземне воде и воде из главног погонског објекта (ГПО), отпадне воде од одмуљавања расхладног торња, санитарне отпадне воде, као и атмосферске отпадне воде.

Отпадне воде у оквиру ТЕ Гацко I су по свом настанку разнородне и објекти који су задужени за њихово прикупљање, пречишћавање и евакуацију пројектовани су у складу са временом када су пројектовани и извођени (крај 70-их и почетак 80-их година). Из различитих разлога, попут застаријевања технологија, неодржавања, познатих догађаја средином 90-их година прошлог вијека, њихово функционисање битно је нарушено. У оквиру студије и идејног пројекта из 2007. године обрађена су могућа рјешења пречишћавања отпадних вода које задовољавају критеријуме *Правилника о условима испуштања отпадних вода у површинске воде* (Сл. гласник Републике Српске, бр. 42/2001) и *Уредбе о класификацији и категоризацији водотока* (Сл. гласник Републике Српске, бр. 42/2001). Концепт рјешења се базирао на оптималном искориштењу постојећих објеката и постројења, при чему се водило рачуна да се рјешење уклопи у услове који су добијени приликом изградње термоелектране (Milovanović 2016). Саставни дио рјешења је рецикулација отпадних токова, гдје је то било могуће. Поред рецикулације воде за хлађење шљаке уз допуну дренажних вода из ГПО, хидраулички транспорт пепела пречишћеном водом важна је компонента предвиђеног концепта. Такође, на основу сагледаног постојећег стања, у оквиру студије наглашено је да је неопходно најприје посветити изузетну пажњу уређењу терена. То подразумијева велики број активности, почев од фазе пројектовања уређења терена до извођења неопходних активности на терену, а које је неопходно да буду реализоване од стране инвеститора. Главни концепт рјешавања пречишћавања отпадних вода је контролисано испуштање отпадних токова преко већ изграђених постројења за пречишћавање (постројење за пречишћавање зауљених вода, постројење за пречишћавање отпадних вода из деминерализације и декарбонизације, као и постројење за рецикулацију отпадних вода од хлађења шљаке) и новог постројења за пречишћавање санитарних отпадних вода. Након пречишћавања, воде би се одводиле у егализациони базен, гдје се обезбјеђује уједначавање свих токова и по количини и по квалитету. Дио вода из егализационог базена користиће се за хидраулички транспорт пепела. У зависности од ове количине вода, појавиће се вишак воде из

егализационог базена, који се из великог егализационог базена излива у канал атмосферске канализације, а затим у реципијент – ријеку Грачаницу. Као што је већ поменуто, као критичан параметар загађења усвојена је концентрација минералних уља у отпадној води. Како би садржај овог параметра у пречишћеној отпадној води био испод прописаног критеријума за водотоке прве класе предвиђена је додатна филтрација ове врсте воде. Атмосферске воде са кровова објеката, платоа, путева, и других површина унутар термоелектране каналишу се посебном канализационом мрежом и испуштају без икаквог пречишћавања у ријеку Грачаницу. Под условом да се у систем атмосферске канализације не упуштају никакве технолошке отпадне воде (како је и предвиђено пројектном документацијом), ове воде су неутралне, једино оптерећене је мањом или већом количином суспендованих примјеса, као што су пијесак, земља, угљена прашина и сл. Међутим, овај канализациони систем тренутно је најбитнији у оквиру ТЕ Гацко, пошто је евакуација практично свих отпадних вода из ТЕ Гацко спроведена преко овог система (Milovanović 2016).

Пројектним задатком за израду документације за реконструкцију система за третман отпадних вода у термоелектрани Гацко (Engineering Dobersek GmbH, новембар 2011. године), планирано је да се елиминише штетни утицај отпадних вода на околину. При томе, овим пројектом обухваћени су сљедећи подсистеми: линија зауљених отпадних вода, линија отпадних вода са декарбонизације и деминерализације, линија отпадних вода од хлађења шљаке, линија санитарних отпадних вода, линија атмосферских отпадних вода, као и мониторинг вода у површинским копу ПК Грачаница. При томе је утврђено полазно стање на РиТЕ Гацко I. Сви пројектовани и изведени системи за прикупљање и третман технолошких и отпадних вода, који су имали за циљ пречишћавање ових вода до законом захтијеваног степена прије пуштања у природни реципијент ријеку Мушницу и ријеку Грачаницу, у то вријеме практично су били ван погона. Раније анализе и прорачуни показали су да се не могу отпадне воде из ТЕ Гацко испуштати у реципијент без штетних посљедица, што указује и стање вода два реципијента. С обзиром на то да су сва постројења за третман отпадних вода ван погона, истичући још једном веома комплексне хидролошке и хидрогеолошке карактеристике ширег подручја ТЕ Гацко, РиТЕ Гацко I, имала је обавезу рјешавања одговарајућег третмана отпадних вода са подручја термоелектране у складу са законима Републике Српске и БиХ, као и са предвиђеним европским нормативима.

*Санитарне воде* ће се одвојено пречишћавати на посебном постројењу и послје тога препумпавати до егализационог базена, ради коришћења за

хидраулички транспорт пепела или директно испуштати у реципијент (Milovanović 2016).

*Атмосферске воде* ће се одвојено пречишћавати на сепаратору уља и суспендованих материја, а прелив ће се изливати директно у водопријемник. С обзиром на то да су све задржане површине са којих се могу изливати зауљене отпадне воде усмјерене на постројење за зауљене воде, искључен је доток зауљених вода непосредно у водопријемник (Milovanović 2016).

*Отпадне воде од хлађења шљаке* су по квалитативним карактеристикама најзагађеније, међутим рјешењем рецикулације спречава се уношење загађења у отпадне токове (загађење које је у највећој мјери посљедица хлађења шљаке, као чврста компонента транспортује се на депонију).

*Отпадне воде од деминерализације и декарбонизације* послје третмана процесом коагулације и флокулације избистравају се у таложнику, гдје се уједначавају сви токови, а *обрада муља* врши се преко филтер пресе. Отпадни муљ одлаже се на постојећу депонију. Након пречишћавања, бистра вода се гравитацијски води директно у велики егализациони базен. Да би се концепт остварио, било је потребно да се у периоду 2012. до 2013. године грађевински реконструишу постојећи објекти, замијени и постави савремена машинска опрема, аутоматизује процес управљања и контроле процеса пречишћавања, дограде нови објекти, изгради ново постројење за санитарне воде и угради нова пумпна станица у великом егализационом базену за транспорт пепела (Milovanović 2016).

*Велики егализациони базен* је кључни и постојећи објект у систему пречишћавања и поновног коришћења отпадних вода у РИТЕ Гацко. Пројектом из 2011. године предвиђена је његова реконструкција у складу са новом намјеном. Базен се до почетка 2012. године није користио, међутим у овом концепту пречишћавања он има важну улогу егализације већине пречишћених токова (све потенцијално зауљене воде, санитарне воде, отпадне воде од деминерализације и декарбонизације). Базен се састоји из два дијела,  $V_1$  и  $V_2$  укупне запремине  $V=6.615 \text{ m}^3$ . Подијељен је у двије секције, запремине  $V_1=4.725 \text{ m}^3$  и  $V_2=1.890 \text{ m}^3$ . Укупне димензије базена су:  $70,30 \times 45 \text{ m}$ , с тим што је базен подијељен у двије секције преградним зидом. Димензије веће секције су  $50 \times 45 \text{ m}$ , а мање  $20 \times 45 \text{ m}$ . Цио базен оивичен је армираним бетонским зидом висине  $2,10 \text{ m}$ , односно  $2,20 \text{ m}$  (дно базена је у нагибу  $2\%$ ). Кота дна базена је  $940,30 \text{ m.n.m.}$  Грађевинским пројектом великог егализационог базена из 2011. године планиран је обухват сљедећих нових цјелина: прелива на излазу из великог егализационог базена, мјешовитог филтера од хидроантрацита и пијеска на излазу из великог егализационог

базена, као и цјевовода од филтера до пумпне станице. Од осталих објеката, у овом дијелу пројекта обрађени су и сљедећи нови објекти: пумпна станица поред великог егализационог базена, мјерна станица за мјерења квалитета и количине пречишћене воде на излазу из великог егализационог базена, у склопу пумпне станице, каналска веза од мјерне станице до мреже атмосферске канализације ( $\varnothing$  350 мм, 70 м), цјевовод капацитета  $160 \text{ м}^3/\text{х}$  од великог егализационог базена до постојећег цјевовода воде за влажење пепела DN 300, вентилски шахт за прикључак на цјевовод свјеже воде DN 300 за влажење пепела. Велики егализациони базен прихвата све пречишћене отпадне воде, и то: пречишћене отпадне зауљене воде, пречишћене отпадне воде од деминерализације, декарбонизације и пречишћене санитарне отпадне воде. Из великог егализационог базена користи се вода за хидраулички транспорт пепела и испирање филтера у згради за третман отпадних вода (Таб. 11.4) (Milovanović 2016).

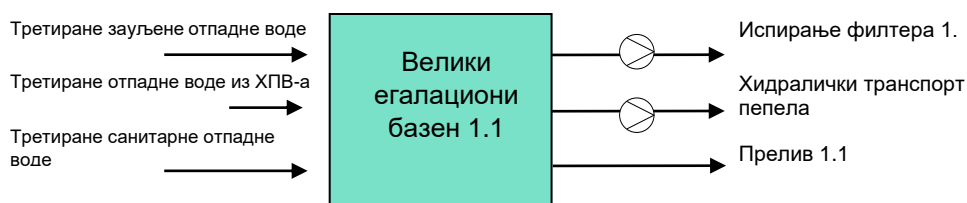
Таб. 11.4. Приказ биланса количина отпадних вода у великом егализационом базену од ТЕ Гацко I (Milovanović 2016)

Table 11.4. Presentation of the balance of wastewater quantities in the large equalization basin from TPP Gacko I (Milovanović 2016)

Количина вода	Улаз ( $\text{м}^3/\text{х}$ )	
	средње дневна	максимално часовна
Пречишћене зауљене воде	50	120
Пречишћене воде из процеса декарбонизације и деминерализације	50	80
Пречишћене санитарне воде	10	40
Укупно:	110	240

У склопу базена предвиђена је изградња прелива са мјешовитим филтером (дужина преливне ивице  $L=8+8=16$  м, ширина филтерског канала 1 м, дубина филтерског канала до круне прелива 2 м, висина преливног млаза 1,6 цм, кота круне прелива 1,95 м од дна базена). Сабирни канал површине  $A=16 \text{ м}^2$  испуњен је филтром, капацитета  $Q=180 \text{ м}^3/\text{х}$ . Филтар се састоји из два слоја – слоја пијеска дебљине  $d=30$  цм ( $D=0,4-0,8$  мм, коефицијент униформности  $C_v=1,4$ ) и слоја хидроантрацита дебљине  $d=50$  цм ( $D=0,8-0,6$ , коефицијент униформности  $C_v=1,6$ ). Брзина филтрације је  $V_f=12 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{х}$  (Milovanović 2016). Као заштита филтра од испирања испод слоја песка требао је бити предвиђен слој шљунка дебљине  $d=20$  цм. Након проласка кроз филтар, у слоју шљунка се налазе дренажне цијеви DN 80, које гравиметријски транспортују воду ка мјерној станици и даље у мрежу атмосферске канализације (Сл. 11.11).

Поред базена, пројектом реконструкције предвиђена је изградња пумпне станице за пречишћене отпадне воде која се користи за хидраулички транспорт пепела и повратно испирање филтера у згради 53. Пумпна станица је предвиђена као објекат са зидовима и кровном конструкцијом од челичних профила, обложена сендвич-панелима. Као основа предвиђена је арматурно-бетонска фундамент плоча. У пумпној станици предвиђена је уградња двије пумпе укупног капацитета по  $160 \text{ м}^3/\text{х}$  и двије пумпе за испирање филтера у згради 53 капацитета по  $180 \text{ м}^3/\text{х}$ . Пројектовани су потисни цјевоводи од РЕНД цијеви класе SDR 17, са употребом заштитне челичне цијеви на дијеловима који пролазе испод саобраћајница. Егализациони базен је постојећа конструкција изведена са армирано-бетонским зидовима фундираним на бетонским тракастим темељима. Дно базена је бетонска плоча дебљине 10 цм на бетонској подлози 10 цм и слоју набијеног шљунка дебљине 40 цм. С обзиром на то да је егализациони базен запуштен, извршено је његово чишћење и утврђивање стања употребљивости. С тим у вези, урађена је засебна експертиза стања овог објекта у виду засебног истражног елабората.



Сл. 11.11. Шематски приказ улаза и излаза третиране отпадне воде из великог егализационог базена (Milovanović 2016)

Fig. 11.11. Schematic representation of the inlet and outlet of treated wastewater from a large equalization basin (Milovanović 2016)

Зауљене отпадне воде у ТЕ Гацко настају углавном усљед просипања горива и мазива, тако да се пажљивим руковањем овим сировинама може утицати на количину и запрљаност ових отпадних вода. Зауљене отпадне воде настају усљед прљања расхладних вода у пумпама, компресорима и сличним постројењима са уљима и мастима за подмазивање, воде од прања и одржавања возног парка, као и површинске воде на којима може доћи до зауљивања. Отпадне воде, које имају стални карактер, чине (Milovanović 2016):

- дренажне воде пода машинске зграде и зауљене воде за хлађење лежајева у машинској згради, које се избацују из дренажне јаме –



- 4,2 м (према сазнањима из експлоатације количине вода прелазе пројектовану вриједност од 10 м<sup>3</sup>/х и крећу се до 90 м<sup>3</sup>/х);
- зауљене воде дренажне уљне станице вентилатора димних гасова и испуст расхладне воде вентилатора димних гасова, које према подацима из експлоатације износе као и пројектоване вриједности, тј. око 6 м<sup>3</sup>/х;
  - зауљене воде од дренажне пумпне станице циркулационе расхладне воде, које према експлоатационим подацима износе 15 м<sup>3</sup>/х;
  - испуст расхладне воде за компресоре, око 22 м<sup>3</sup>/х;
  - испуст расхладне воде из помоћне котловнице и мазутне станице, који према искуственим подацима из експлоатације износи око 6 м<sup>3</sup>/х.

На основу података из експлоатације у току 2011. године утврђено је да су цјевоводи зауљене канализације, шахтови, локални сепаратори и само постројење ван употребе од њихове монтаже. Самим тим, постројење није показало своју техничку исправност, како са аспекта количина прерађених вода, тако и у погледу квалитета пречишћене воде. Утврђено је да неки објекти, као што су ГПО и пумпна станица расхладне воде, нису спојени на подземни цјевовод зауљених вода, већ се зауљена вода из сабирних базена ових објеката пумпама пребацује у атмосферску канализацију. Постојеће постројење за третман зауљених отпадних вода поред зграде 53, које је ван функције, састоји се од грађевинских објеката, тј. базена. Додатно су у згради 53 смјештени филтери активног угља и пјешчани филтери, који ће, како је пројектом реконструкције из 2011. године планирано, такође бити коришћени као дио линије зауљених вода.

У наставку је дат само кратки извод планираних активности у оквиру пројекта реконструкције система за третман отпадних вода у термоелектрани Гацко I из 2011. године (реализованих до краја првог квартала 2013. године). Приликом механичког пречишћавања и декарбонизације сирове воде, настаје муљ који се не може испуштати у околину. Муљ настаје услед додавања сировој води кречног млијека и средстава за флокулацију у постројењу за декарбонизацију, при чему се издвајају и таложе у води нерастворени карбонати и разне суспендоване нечистоће присутне у сировој води. На постројењу за пречишћавање отпадних вода од декарбонизације вршиће се такође и пречишћавање отпадних вода од деминерализације и лабораторије. Пречишћавање замуљених отпадних вода од декарбонизације, врши се тако што се из воде издваја муљ у таложнику-угушћивачу и вода се са прелива угушћивача шаље у велики егализациони базен. Издвојени муљ се

дехидрира на филтер преси и отпрема на депонију. Одмуљивање расхладног торња одвија се преко атмосферске канализације. У овом пројекту задржавају се постојећи изграђени објекти у линији прераде отпадних вода од декарбонизације: пумпна станица прљаве воде у ХПВ-у са припадајућим цјевоводом, зграда 53 постројења за пречишћавање отпадних вода од декарбонизације, пумпни шахтови (базени) у подруму зграде 53 (пумпни шахт издвојеног муља (Т22) од угушћивача  $V=25 \text{ m}^3$ , пумпни шахт третиране воде линије зауљених вода  $V=47 \text{ m}^3$ , пумпни шахт испирне воде за филтере  $V=68 \text{ m}^3$ ) и угушћивач-таложник. Све отпадне воде из процеса декарбонизације и деминерализације, сакупљају се у базену прљаве воде у објекту ХПВ – пумпна станица прљаве воде из ХПВ-а. Пумпе потискују воду у угушћивач-таложник (57) који је смјештен поред зграде за декарбонизацију (53). Одвођење отпадне воде од ХПВ до постројења за пречишћавање (угушћивача) вршиће се постојећим цјевоводом DN 150 дужине цца 320 м. Контролом је утврђено да је надземни дио цјевовода у добром стању. Подземни дио цјевовода биће изведен као нови од РЕНД РЕ 100 SDR 17. У оквиру постојећег објекта постројења за пречишћавање отпадних вода од декарбонизације предвиђена је и грађевинска реконструкција просторија унутар зграде 53. Ове просторије ће бити реконструисане и прилагођене смјештају командно-контролног центра отпадних вода РИТЕ Гацко I. Реконструкција зграде 53 предмет је посебног архитектонског пројекта, а санација базена у подруму саставни је дио *„Извјештаја о истражним радовима“* – дио *„Елаборат о испитивању конструкција постојећих бетонских структура базена ТЕ Гацко са приједлозима санационих мјера“*. Издвојени муљ из угушћивача доводи се у базен, снабдјевен мијешалицом, у коме се врши хомогенизација муља прије његовог одвођења на филтер пресу. Базен има запремину од  $25 \text{ m}^3$ . Након хомогенизације и егализације, муљ се доводи на филтер-пресу, гдје се врши његова дехидратација. Постојећа филтер преса са тракама никада није била у погону. Предвиђено је прилагођавање фундамената постојеће филтер-пресе новој преси. Пошто су објекти на линији отпадних вода од декарбонизације запуштени, почетком 2012. године извршено је њихово чишћење и утврђено стање употребљивости. С тим у вези, израђена је експертиза стања у виду засебног елабората. Да би вратили објекте у употребно стање, неопходно је санирати све оштећене АБ елементе. Слаба мјеста у бетону потребно је било оштематити до здравог бетона, а затим обрадити у зависности од дубине оштећења: површинска оштећења, дубине 10–20% (3–5 цм) дебљине елемента – оштеману површину премазати прајмером и обрадити полимерним репаратур малтером, док за дубока оштећења са кородираним арматуром, која се не може више

рачунати у носећу арматуру, штемањем обухватити и зону тако да остане видно десетак центиметара неоштећене арматуре, оштећене дијелове арматуре исјећи и замијенити новом арматуром коју је потребно заварити за постојећу огољену арматуру, површине оштеманог бетона премазати средством за везу старог и новог бетона и на крају оштемане дијелове запунити бетоном марке МБ 30. Угушћивач је постојећи објекат пречника 10 м (Milovanović 2016). Пројектом је предвиђена његова реконструкција у грађевинском смислу.

За пројектовање новог постројења за пречишћавање отпадних вода од хлађења шљаке са припадајућом канализационом мрежом и канализационим пумпним станицама, усвојено је рјешење са коришћењем постојећих објеката: егализациони базен (расхладни базен са 4 коморе), постојећи објекат који се реконструише у складу са будућом намјеном, пумпна станица за потис третиране воде за хлађење (коришћење постојећег објекта) и постојећи бетонски канал за цјевоводе. За третман отпадних вода од хлађења шљаке предвиђена је изградња сљедећих нових објеката: пумпна станица за муљ у оквиру великог егализационог базена – изградња преградног зида за нову комору у егализационом (расхладном) базену и пумпна станица. У затвореном систему хлађења шљаке, по раније урађеној пројектној документацији, били су предвиђени сљедећи технолошки објекти: одшљакивач, пумпна станица преливних вода са одшљакивача, расхладни базени за воду, пумпна станица хлађене воде ка одшљакивачу, спојни цјевоводи и остали пратећи уређаји. Према раније урађеној пројектној документацији, предвиђено је да се вода која се добија као продукт хлађења шљаке у ГПО-у одведе до базена за хлађење воде, који је и таложник чврстог материјала који се налази у отпадној води од одшљакивања. Вода би се пумпала из пумпне станице преливних вода са одшљакивача. Постојећи егализациони базен, који је ранијом пројектном документацијом имао намјену да послужи као расхладни базен, има сљедеће карактеристике (укупна површина 450 м<sup>2</sup>, укупна ширина 22,5 м, укупна дужина 20 м и стварна дубина 0,8 до 1,3 м) (Milovanović 2016).

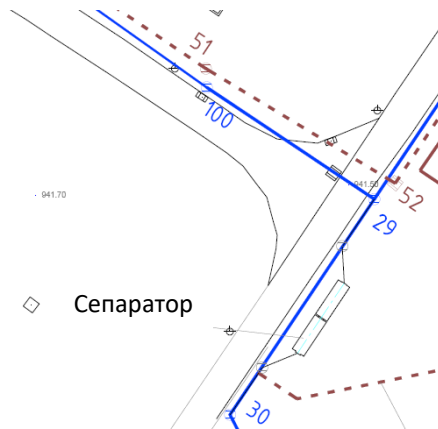
Стварна дубина условљена је конструктивним разлозима усљед потребе за косим дном ради омогућавања скупљања и уклањања талога, као и обезбјеђења равномјерног протикања воде. За транспорт воде из егализационог базена према одшљакивачу по раније урађеној пројектној документацији биле су предвиђене три пумпе вертикалне изведбе. Било је предвиђено да су двије пумпе у раду, трећа у резерви. Свака пумпа има свој посебни базен. Као будуће стање разматрана је адаптација постојећих објеката, али је узето у обзир и грађење нових. Пројектована је пумпна

станица која прикупља отпадну воду која долази из ГПО-а, и даље пумпа воду према егализационом базену. За то су предвиђене двије муљне пумпе, од којих је једна радна, а друга резервна. Пројектом је предвиђено да се вода из ГПО-а транспортује цјевоводом који ће бити положен на трасу већ постојећег канала, који тренутно није у функцији. Најприје је потребно да се канал очисти и санира, а затим положи цјевовод. Егализациони базен (расхладни базен), у који се упуштају воде од хлађења шљаке постојећи је објект који је раније урађеном пројектном документацијом имао намјену као расхладни базен. Постојећи базен за хлађење воде и таложње ће се искористити као егализациони базен (расхладни базен). Прва таложна комора расхладног (егализационог) базена ће се направити са сљедећим карактеристикама: површина  $A=5,4 \times 6$  м од 5 м, дубина коморе  $H=1,06-1,2$  м, укупна запремина 46 м<sup>3</sup>. Егализациони базен (расхладни базен) потребно је испразнити и очистити од наслага муља, како би му се повратио првобитни изглед и задовољила нова функција уз санацију са грађевинског аспекта. Предвиђа се довођење отпадних вода од хлађења шљаке из ГПО-а до егализационог базена (расхладни базен) одговарајућим цјевоводом. Базен ће бити модификован тако да у цјелости буде егализациони базен. Преградни зид између секција, које су раније представљале секције за таложње и за хлађење отпадне воде од одшљакивања, остаће исти и имаће исту функцију. У секцијама постоје додатни раздјелни зидови који остају исти у конструктивном смислу, и треба обезбиједити комуникацију унутар секција, тако што ће се у свакој од њих направити отвори димензија 60 x 60 цм. За новопројектовано стање предвиђају се 2 пумпе (1 радна, 1 резервна) (Milovanović 2016).

Потребни радови и модификације на постојећим објектима обухватају постављање пројектованих цјевовода. Пумпну станицу је потребно реконструисати у складу са потребама монтаже нове опреме и опремити новом електро и машинском опремом. Како су одшљакивач, пумпна станица и егализациони базен запуштени, потребно је у току 2012. године извршити њихово чишћење и утврдити у каквом су стању, на основу чега ће се дефинисати обим интервенција. Да би вратили објекте у употребно стање неопходно је санирати све оштећене АБ елементе. *Санитарне отпадне воде* настају у погону и ресторану. Одвод санитарних отпадних вода из објеката у кругу термоелектране ријешен је потпуно одвојено од кишне канализације. Све воде ове врсте прикупљене су на једно мјесто (у шахт 21), а одатле у пумпну станицу испред постројења за пречишћавање. Пројекат реконструкције из 2011. године обрађује прикупљање и довођење санитарне воде до постројења за пречишћавање. Како је

постојећа мрежа санитарне канализације добрим дијелом потпуно или дјелимично уништена, пројектом је предвиђена реконструкција уништеног дијела канализационе мреже, као и чишћење мреже која се задржава. Приликом реконструкције употребиће се цијеви од полиетилена високе густине PEHD – PE80, профили Ø200, Ø250 и Ø300. Предвиђена је поправка ревизионих силаза пречника 1 м, са стандардним поклопцима ревизионих силаза, лаких или тешких, зависно од тога да ли се шахт налази на саобраћајници или на зеленој површини. Саставни дио пројекта реконструкције је и израда *постројења за третман санитарних отпадних вода*. Постројење се састоји од израде новог објекта СБР постројења од армираног бетона, реконструкција постојеће пумпне станице и израда цјевовода и канала. Санитарне отпадне воде ће бити третиране на новом постројењу за санитарне отпадне воде (ППОВ). Постројење за третман ће бити способно за континуални рад 365 дана у години, на задовољавајући начин у преовлађујућим климатским условима током цијелог радног вијека ТЕ Гацко I. Пројекат постројења урађен је у складу са законском регулативом и најмодернијом праксом за доказано поуздане процесе и технологије, тако да олакшава изградњу, рад, контролу и одржавање свих процеса и опреме. Инсталације за пречишћавање ће бити модуларног концепта, максималне флексибилности и поузданости. Основни пројектни критеријуми са ППОВ су дефинисани у пројектима и студијама припремљених у периоду 2006–2007. година, и то: просјечна количина отпадних вода  $\approx 260 \text{ м}^3/\text{дан}$  или 3 л/с, максимални проток (санитарна отпадна вода + инфилтрација)  $\approx 10,62 \text{ л/с}$ , органско оптерећење загађењем 60 кг ВРК5/дан (1.000 ES), d.h. 60 gBSB5/ES/Tag. Температура отпадне воде од 11 °C разумно је оправдана пројектна температура. Максимална температура отпадне воде је 25 °C. Пречишћена отпадна вода мора испунити захтјеве ЕУ Директиве 91/271/ЕЕС: ВРК5  $\leq 25 \text{ мг/л}$ , суспендоване материје  $\leq 35 \text{ мг/л}$  и НРК  $\leq 125 \text{ мг/л}$ . ППОВ ће обухватити технологије третмана за уклањање загађења до нивоа траженог квалитета ефлуента. Предвиђа се примарни (механички) и секундарни (биолошки) третман отпадне воде. Механички третман треба да обухвати фине решетке. Планирана је примјена биолошког поступка активног муља са симултаном стабилизацијом муља. Предност је дата компактним постројењима, која примјењују технологије засноване на коришћењу природних комплексних еколошких система и који имају ефикасну контролу емисије непријатних мириса. Вишак муља из биолошког третмана привремено се чува на локацији, одакле се даље одлаже на депонију (Milovanović 2016).

Атмосферска канализација у оквиру ТЕ Гацко гравитира ка ријеци Грачаници. Кота дна Грачанице код испуста атмосферске канализације износи 936,80 м.н.м., док кота терена износи 940,20 м.н.м. Плато термоелектране планиран је тако да има уздужни пад од 0,003%, са почетном котом на сјеверној страни од цца 942,50 м.н.м. Одвођење атмосферских отпадних вода ријешено је подземном канализационом мрежом, која је већим својим дијелом положена паралелно са фекалном канализацијом у заједничком рову. Осовине канала су положене паралелно са осовинама путева. Постојећа мрежа изграђена је од аутокларираних азбестцементних канализационих цијеви класе КС-Т производ АННОВО, међусобно спојене спојницама VITLAK са ознаком КС-SU. Најмањи профил цијеви је Ø200 мм, а највећи Ø1100 мм. Дужине цијеви су 5 м. Шахте на постојећој каналској мрежи су монолитне, округле, пречника 1 м, од набијеног бетона марке МБ 20 и са стандардним поклопцима ревизионих силаза, лаких или тешких, зависно од тога да ли се шахт налази на саобраћајници или на зеленој површини. Анализа спроведена током 2011. године показала је да је постојећа мрежа атмосферске канализације била добрим дијелом потпуно или дјелимично уништена. Сва кишница и површинска вода која садржи прашину и уље, сакупља се у постојећем канализационом систему и тако одводи до сепаратора. Пројекат реконструкције рјешава одвођење атмосферских вода са подручја термоелектране Гацко и њихово испуштање у регулисано корито ријеке Грачанице. Пројектом је предвиђена реконструкција уништеног дијела канализационе мреже, као и чишћење постојеће мреже која се задржава. Приликом реконструкције употребиће се цијеви од полиетилена високе густине PEHD, профили Ø200 до Ø1 100 мм. Предвиђена је поправка ревизионих силаза пречника 1 м, са стандардним поклопцима ревизионих силаза, лаких или тешких, зависно од тога да ли се шахт налази на саобраћајници или на зеленој површини. Предвиђена је уградња сепаратора талога и уља на крају атмосферског канализационог система. Предвиђен је сепаратор протока од 250 л/с, који би прихватио и пречистио први, најпрљавији, талас атмосферских вода. Пражњење и чишћење поменутог сепаратора при експлоатацији врши се аутоцистерном и одвожењем садржаја на депонију. Поред сепаратора налази се прелив, који може да прихвати додатну количину атмосферске отпадне воде до 1010 л/с. При изградњи потребно је прилагодити сепаратор постојећој мрежи атмосферске канализације. Сепаратор ће се поставити паралелно са постојећом азбестно цементном цијеви, између шахти 29 и 30 атмосферске канализације (Сл.11.12) (Milovanović 2016).



Сл. 11.12. Систем за пречишћавање атмосферских вода (Milovanović 2016)  
Fig. 11.12. Atmospheric water treatment system (Milovanović 2016)

Предвиђена је уградња двије додатне шахте. Ове шахте ће служити да се постојећи цјевовод атмосферске канализације повеже са сепаратором. Прелив се уграђује у улазну шахту, у правцу струјања канализације. Ово рјешење омогућује да се задржи постојећи азбестно-цементни цјевовод у дужини од око 30 м, те да се сепаратор налази даље од возне површине. На мјесту испуштања кишне канализације у Грачаницу дно ријеке је на коти 936,80 м.н.м., а испуст атмосферске канализације на коти 937,15 м.н.м. При појави великих вода, да не би дошло до изливања воде из ријеке кроз шахтове и сливнике на плато ТЕ, предвиђена је уградња повратне клапне на испусту. Да би атмосферска канализација, као и сепаратор, функционисали исправно, неопходно је да инвеститор обнови постојеће саобраћајнице и терен у оквиру уређења терена, као што је то било у ранијем периоду када су ови објекти били изведени.

Систем за пречишћавање атмосферских вода може да прими 250 л/с (900 м<sup>3</sup>/х), што је довољно за обраду „first flush-а“. Максимална количина воде износи 1.010 л/с, што одговара 3.636 м<sup>3</sup>/х и дешава се само приликом великих невремена, односно топљења снијега, али се преливом спроводи директно до реципијента. Све врсте вода сакупљају се на дну површинског копа у природним колекторима. Одводњавање се изводи помоћу пумпи којима се вода даље спроводи до реципијената смјештених по ободу копа. Након реализације активности везаних за овај пројект, 20.03.2013. године ова постројења су пуштена у погон. У оквиру слика Сл.11.13 до Сл.11.18 дат је приказ дијела реконструисаних постројења и уграђене опреме на систему отпадних вода за постојећу ТЕ Гацко I. Дио ових постројења моћи ће се користити и за другу фазу ТЕ Гацко II.



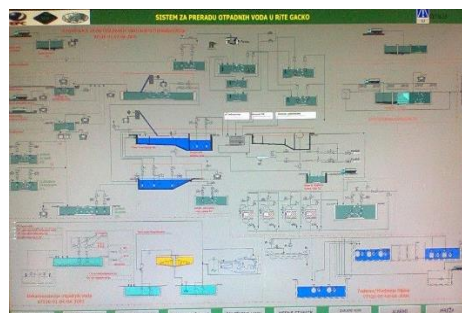
Сл. 11.13. Изглед зграде за управљање отпадним водама прије и након реконструкције (Milovanović 2016)

*Fig. 11.13. Appearance of the wastewater management building before and after reconstruction (Milovanović 2016)*



Сл. 11.14. Угушћивач вода са декарбонизације и зграда отпадних вода након санације (Milovanović 2016)

*Fig. 11.14. Water thickener from decarbonization and wastewater buildings after remediation (Milovanović 2016)*



Сл. 11.15. Аутоматизација система за прераду отпадних вода на ТЕ Гацко I (Milovanović 2016)

*Fig. 11.15. Automation of wastewater treatment systems at TPP Gacko I (Milovanović 2016)*

При томе, зауљене отпадне воде ( $50\text{--}120\text{ м}^3/\text{х}$ ) иду у егализациони базен, воде од декарбонизације ( $50\text{ м}^3/\text{х}$ ) иду у егализациони базен, воде од регенерације ( $30\text{ м}^3/\text{х}$ ) након неутрализације воде шаљу се на третман вода од декарбонизације, воде од хлађења шљаке ( $20\text{--}50\text{ м}^3/\text{х}$ ), у систему рецикулације, као и воде од одмуљивања торња ( $10\text{--}30\text{ м}^3/\text{х}$ ), иду у атмосферску канализацију.





Сл. 11.16. Изглед великог егализационог базена (Велики Егализациони Базен, ВЕБ) у току санације и након реконструкције (Milovanović 2016)  
*Fig. 11.16. Appearance of a large equalization basin (Large Equalization Basin, LEB) during rehabilitation and after reconstruction (Milovanović 2016)*

Полазни циљ пројекта био је реконструкција и ревитализација постројења за третман отпадних вода које настају у току рада РИТЕ Гацко I, како би се у реципијенте, ријеке Грачаницу и Мушницу, испуштале воде задовољавајућег квалитета у складу са законодавством Републике Српске и европским нормама.



Сл. 11.17. Преливни пјешчани филтери из ВЕБ у реципијент (Milovanović 2016)  
*Fig. 11.17. Overflow sand filters from LEB to the recipient (Milovanović 2016)*

Сл. 11.18. Пумпе за транспорт воде из ВЕБ за потребе хидрауличног транспорта пепела и пумпе за испирање филтера зауљених вода (Milovanović 2016)  
*Fig. 11.18. Pumps for transport of water from LEB for the needs of hydraulic transport of ash and pump for rinsing oily water filters (Milovanović 2016)*

Пречишћавање замуљених отпадних вода врши се тако што се из воде издваја муљ у угушћивачу (Сл. 11.19 и Сл. 11.20). Вода се затим неутрализира и након филтрирања испушта у велики егализациони базен. Велики

егализациони базен запремине 6.000 м<sup>3</sup> налази се поред линије за третман зауљених вода. Овај базен користи се као крајњи прихватни базен свих отпадних вода после третмана.



а) зауљене отпадне воде прије реконструкције (складиште мазута, радионице, црпна станица и главни погонски објекат) и изглед након реконструкције



б) двофазне пумпе за флокулацију

ц) коалецентни филтер



д) пјесчани и угљени филтери за зауљене воде      е) згртач муља

Сл. 11.19. Зауљене отпадне воде прије и после реконструкције  
(Milovanović 2016)

Fig. 11.19. Oiled wastewater before and after reconstruction (Milovanović 2016)

Отпадна вода од хлађења шљаке мора се охладити, пречистити од суспендованих нечистоћа и неутралисати (Сл. 11.21).



а) изглед угушћивача прије и после санације



б) систем аутоматизације за отпадне воде од декарбонизације

в) нова линија вода из ХТП према угушћивачу



г) дозир станица

д) филтер преса за отпадне воде са ХТП

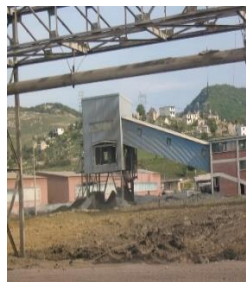
ђ) издвојени муљ

Сл. 11.20. Приказ система отпадних вода од декарбонизације прије и након реконструкције (Milovanović 2016)

Fig. 11.20. Presentation of wastewater systems from decarbonization before and after reconstruction (Milovanović 2016)



Санитарна канализација (10–40 м<sup>3</sup>/х) обухватила је ревитализацију цјевоводне трасе и уградњу новог постројења (СБР) за третман санитарних вода, док је атмосферска канализација подразумијевала ревитализацију цјевоводне трасе (Сл. 11.22).



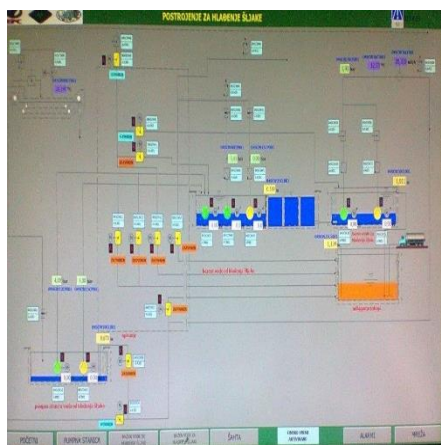
а) приказ одшљакивача



б) слив воде са одшљакивача у канал према Руднику Грачаница



в) расхладни базен (прије реконструкције није био у функцији)



г) систем за аутоматизацију постројења за хлађење шљаке



д) зграда за управљање расхладним системом воде за одшљакивање након реконструкције и расхладни базен након санације

Сл. 11.21. Санација система за отпадне воде од хлађења шљаке (Milovanović 2016)

Fig. 11.21. Presentation of wastewater systems from decarbonization before and after reconstruction (Milovanović 2016)

Што се тиче вода са рудника, пројекат је обухватио само мониторинг вода рудника на мјестима испуста у реципијент. Квалитет пречишћених вода је задовољен према регулативи Републике Српске (Правилник о условима

испуштања отпадних вода у површинске воде, Службени гласник Републике Српске, бр. 42, од 31. 08. 2001. године), те према уговору који је инвеститор имао са извођачем.



а) изглед канализационог шахта прије санације



б) радови на замјени канализационих цијеви (замјена око 40 % цијеви)



в) нова траса санитарне канализације на локацији стартне котловнице

Сл. 11.22. Санација система санитарне канализације (Milovanović 2016)

*Fig. 11.22. Rehabilitation of sanitary sewerage system (Milovanović 2016)*

### **11.3.3. Производи као резултат трансформације биомасе у корисне облике енергије**

Публиковани резултати већег броја истраживања (Babić i Milovanović 2017) показали су да целулоза на температури 120 °C постаје термички нестабилна, док термичка деструкција наступа изнад 240 °C када долази до измјене њеног елементарног састава. На температури изнад 275 °C термичка деградација доводи до интензивног и потпуног распада, уз ослобађање топлоте и настајање гасова и течних продуката сагоријевања. Пиролиза целулозе потпуно се завршава на температури изнад 450 °C, уз настанак продуката, као што су: дрвени угаљ, дестилат воде, смоле, крезол, феноли и други састојци.

Потпуност сагоријевања зависи од тога колико је процес сагоријевања близу стехиометријског. На потпуност процеса сагоријевања дрвне биомасе у ложишту директан утицај има механизам преноса топлоте и губици топлоте који неминовно настају. Треба истаћи да топлотно оптерећење ложишта и ложишних уређаја ниже од номиналног, утиче на потпуност сагоријевања, односно на емисије загађујућих материја у гасовитим продуктима сагоријевања (Milovanović et al. 2020a). Непотпуно сагоријевање дрвне биомасе може настати из више разлога, а главни узроци непотпуног

сагоријевања су: слабо мијешање горива и ваздуха, локални недостатак кисеоника на мјесту сагоријевања, ниска температура сагоријевања у ложишту или недовољно вријеме боравка горива у ложишту. Наведени параметри имају висок степен међузависности, што указује да се њихова оптимизација може извршити само добром организацијом процеса сагоријевања и на тај начин смањити емисије које су резултат непотпуности сагоријевања (Milovanović et al. 2020b). Главни носиоци добре организације сагоријевања су пројектанти ложишта и ложишних уређаја, затим монтажери и погонско особље у процесу експлоатације. Од стручности и обучености особља које рукује и одржава ове уређаје знатно зависи потпуност сагоријевања, односно емисије загађујућих материја које су резултат непотпуности сагоријевања (Milovanović et al. 2018). Предности које имају индустријска постројења за производњу биогаса, осим за производњу топлотне и електричне енергије и дигестата који се користи за потребе пољопривреде, обухватају и смањење трошкова одлагања отпадних материјала, што доприноси побољшању управљања отпадом и отпадним водама и смањењу негативног утицаја на животну средину (Branković et al. 2021).

#### **11.3.4. Технологије термохемијског третмана биомасе**

Повећање потрошње фосилних горива и очекивани раст свјетске популације, доводе до повећања процента учешћа обновљивих извора енергије у производњи корисних облика енергије, при чему отпадна лигноцелуозна биомаса има, као сировина за производњу горива и топлотне енергије, посебно мјесто (Петровић 2017). С обзиром на начин њеног одлагања (најчешће на отворене депоније и уз додатно загађење животне средине), коришћење њеног потенцијала као енергетски перспективне сировине у наредном периоду представља додатни технолошки изазов за развој пратеће опреме за њено искоришћење. Иако се енергетске културе или отпадна дрвна биомаса данас у нешто мањем обиму користе као биогорива добијена примјеном традиционалних поступака конверзије (гасификација и карбонизација), захтјеви за повећање степена ефикасности коришћења примарних енергената подразумевају реализацију процеса претходног њиховог складиштења и сушења на одговарајући проценат влажности. Ове активности додатно поскупљују процес конверзије и смањују актуелност оваквог начина рециклаже и уклањања отпада. Да би се ови недостаци елиминисали, врше се испитивања нових и еколошки унапређених технологија прераде, посебно

влажне отпадне биомасе, са акцентом на дизајнирање производа нове употребне вриједности.

Примјена биомасе у енергетске сврхе у наредном периоду треба да се заснива на савременим технологијама које ће омогућити и задовољење свих захтјева у погледу заштите животне средине који обухватају, између осталог, и смањење емисије CO<sub>2</sub>. Савремене технологије треба да обухвате косагоријевање са фосилним горивом у термоенергетским постројењима, сагоријевање у новим постројењима за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије и производњу биогаса (Brankov 2016). Истовремено, треба разматрати могућност замјене фосилних горива која се користе у сектору грејања биомасом, као и коришћење биомасе у пећима и котловима мале снаге (номиналне снаге до 100 kWh) и системима средње снаге (номиналне снаге од 100 до 1.000 kWh) (Anđelković 2013).

Један од актуелних процеса конверзије отпадне биомасе је и поступак хидротермалне карбонизације, ХТЦ (Hydrothermal Carbonization, HC), као готово заборављен процес који се раније користио у индустрији за хидротермалну деградацију органског материјала, са циљем добијања течних или гасовитих горива (Петровић 2017). Важно је напоменути да акценат код овог процеса треба дати на технологију добијања чврстог угљеничног производа за специфичне примјене и производњу битних хемикалија.

Технологија примјене термохемијске конверзије представља методу конверзије биоматеријала за производњу електричне и топлотне енергије, засновану на термалном распаду биомасе, при чему настају горива и вриједне хемикалије. Ако се у том контексту посматра отпадна биомаса, тада је коришћење термохемијске конверзије разумљивија опција, јер ова врста сировина нема никакву економску вриједност и не заузима земљиште за гајење пољопривредних култура (Kambo and Dutta 2015). С друге стране, коришћење отпадне биомасе као сировине за термохемијски третман је значајна и са аспекта заштите животне средине кроз искоришћење отпада и уштеду примарног горива које би било алтернативно коришћено.

У Републици Српској и Федерацији БиХ, коришћење дрвног отпада и биомасе за производњу топлотне и електричне енергије би могло бити значајно интензивирано, посебно за примјену у домаћинствима (зградарству). Правни оквир за примјену биомасе углавном постоји, при чему приоритет треба дати децентрализованим постројењима када је у питању примјена дрвног отпада и биомасе у општем случају. Величина новоизграђених постројења не би требала зависити само од оперативних трошкова и ефикасности већ такође и од социјалног аспекта, као што је

транспорт, контаминација терена, и регионалних стратегија шумарства (снабдијевање сировином/енергентом у будућности).

Термохемијске технологије укључују процесе: сагоријевање, пиролизу, карбонизацију, торефракцију, гасификацију и хидротермалну карбонизацију (ХТЦ) (Tekin et al. 2014; Bach 2015). Процеси сагоријевања и пиролизе су термохемијске реакције, при чему процес сагоријевања је егзотермни процес јер производи топлотну и свјетлосну енергију, док, с друге стране, пиролиза представља реакцију разградње у којој се органска материја разграђује када дајемо топлотну енергију. Груба подјела ових технологија приказана је у оквиру табеле Таб. 11.5.

Таб. 11.5. Поређење поступака термохемијске конверзије биомасе (Basu 2010; Tekin et al. 2014; Bach 2015 )

*Table 11.5. Comparison of thermochemical conversion processes (Basu 2010; Tekin et al. 2014; Bach 2015)*

Процес	Температура (°C)	Притисак (МПа)	Катализатор	Сушење
Ликвификација	250÷330	5÷20	Неопходан	Није потребно
Сагоријевање	700÷1.400	> 0,1	Није потребан	Није неопходно, али помаже
Пиролиза	380÷530	0,1÷0,5	Није потребан	Потребно
Торефрикација	300÷400	> 0,1	Није потребан	Потребно
Карбонизација	до или преко 1.000 °C	> 0,1	Није потребан	Потребно
Гасификација	500÷1.300	> 0,1	Није потребан	Потребно
Хидротермална карбонизација	180÷280	0,9÷2,4 (у функцији температуре)	Није неопходан, али побољшава деградацију	

#### 11.3.4.1. Ликвификација

Ликвификација (250÷375 °C, 100÷200 бар) је поступак који се проводи да би се добила течна фаза (стабилно течна биоуље), обично уз присуство катализатора и водоника. Користи се и алтернативни израз „утечњавање“ (превођење биомасе у течну фазу).

У поређењу са пиролизом, ликвификација има већи принос течности и даје као резултат течно гориво са вишом топлотном моћи и нижим садржајем кисеоника. Овај процес се сматра воденом пиролизом под притиском, али се као резултат добија биоуље које има нижи садржај кисеоника и влаге, дакле стабилнији производ од производа пиролизе. Такође, могућност



руковања влажном биомасом ову методу чини доста примамљивом за производњу биогорива из микроалги (Preradović i Paruga 2021).

#### **11.3.4.2. Сагоријевање**

Сагоријевање представља сложен физичко-хемијски процес у коме настаје одређена количина енергије (топлотне и свјетлосне), као и материјални продукти сагоријевања (гасовитих и чврстих – пепео). Директно сагоријевање биомасе врши се на температури од око 800 °С у присуству ваздуха, и то без претходне обраде или након формирања пелета или брикета, уз настанак врелих гасова чија топлота се најчешће користе за гријање (Петровић 2017). Процес директног сагоријевања може бити потпун и непотпун. У случају потпуног сагоријевања сви гориви састојци у потпуности изгоре, док код непотпуног сагоријевања усљед недостатка кисеоника за сагоријевање, недовољног времена за реализацију процеса сагоријевања или слабог мијешања горива и ваздуха, производи сагоријевања могу још увијек садржати гориве материје или гасове (Bach 2015). Резултат процеса сагоријевања може бити и емисија штетних гасова попут стакленичких гасова, сумпорних и азотних оксида и других несагорјелих загађивача на које утичу састав биомасе, температура сагоријевања и дужина трајања процеса (Bach 2015).

#### **11.3.4.3. Пиролиза**

Пиролиза као термохемијски деградациони процес током кога се врши загријавање биомасе на повишеној температури и у инертној атмосфери (без кисеоника), има за резултат настанак производа у течном (биоуље) и гасовитом стању, као и чврсти (коксни) остатак (Tekin et al. 2014; Косанић 2015). Течни производ настао разградњом целулозе, хемицелулозе и лигнина из биомасе има црну катранску структуру и садржи оксидоване угљоводонике: феноле, етре, алкилфеноле, хетероцикличне етре, полиароматичне угљоводонике; као и значајан проценат воде настале из влаге у полазној сировини и током деградационих реакција полазне сировине. Гасовите производе чине гасови малих молекулских маса, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>. Коксни остатак углавном се састоји из угљеника, кисеоника и водоника, док је садржај неорганских материја нижи него у фосилним горивима (Goyal et al. 2008). Добија се у приносу од 20 до 26% (Косанић 2015).

Производи пиролизе могу да се користе као горива, са или без претходног унапређивања, или се могу користити као сировина за хемијску индустрију или индустрију материјала. Због природе процеса, принос корисних производа је због саме природе процеса висок у односу на друге процесе, при чему се производи пиролизе све више усавршавају ради што ефикаснијег њиховог коришћења. Процес пиролизе подразумејева примјену горива, као што су: угаљ, животињски и комунални отпад, отпацци од хране, папир, картон, пластика, гума и биомаса (Бранков 2016).

Пиролиза се на основу температуре и времена боравка биомасе односно брзине загријавања, обично дијели у три категорије: конвенционална или спора пиролиза, брза пиролиза и флеш пиролиза. Конвенционална или спора пиролиза подразумејева загријавање биомасе малом брзином (10–30 °C/мин) до финалне релативно ниске температуре (300–650 °C) и дуго вријеме боравка гаса и чврсте фазе (4–8 мин), тако да процес траје сатима. Најзаступљенији производи су чврсти остатак и биоуље, док је принос пиролитичког гаса знатно смањен (Kambo and Dutta 2015). Преовлађајуће температуре су око 500 °C, док при нижим температурама одвијања процеса пиролизе, најзаступљенији производи су коксни остатак и пиролитичко уље (тер). Брза пиролиза је високотемпературни процес који захтијева брже загријавање до финалне реакционе температуре (око 10–200 °C/с) од 400–600 °C, краће реакционо време (<4 с), као и мале величине честица биомасе (<1 мм). Због кратког времена боравка водене паре, производи су високог квалитета, гасови богати етиленом могу да се користе касније за производњу алкохола или бензина.

Производња чврстог остатка и катрана у односу на конвенционалну или спору пиролизу знатно је мања, а као производ настаје више од 60% биоуља (Johnson 2012). Флеш пиролиза представља унапријеђену верзију брзе пиролизе при којој се биомаса загријава брзином од >1.000 °C/с током реакционог времена мањег од секунде у проточним или реактору са флуидизованим слојем, уз добијање више од 80% биоуља. Пошто је брзина загријавања врло висока, а реакционо вријеме доста кратко, неопходне су веома мале честице биомасе како би се ублажила ограничења унутрашњег преноса масе и топлоте. Производња биоуља овим поступком је и даље у фази развоја, јер одређени недостаци везани за висок вискозитет, висок садржај кисеоника, велику корозивност и висок садржај воде, отежавају његову употребу као горива, па је из тих разлога за његову директну употребу или за његово мијешање са горивима на бази нафте неопходно унапређење пиролизе или накнадна прерада. Разматрана врста пиролизе најчешће коришћена за синтезу биоуља углавном се постиже само у флуидизованом слоју или у флуидизованом циркулационом слоју, при чему

се биомаса на тај начин може трансформисати у облик који има високу енергетску вриједност. Зависно од крајњег циља врши се и избор процеса, па самим тим и адекватне технологије процеса пиролизе. Примарне реакције пиролизе су реакције дехидратације и реакције фрагментације, при чему при температури испод 300 °С преовлађује реакција фрагментације са деполимеризацијом биомасе у примарни тер. Секундарне реакције, које обухватају реакције реполимеризације и реакције крековања, одвијају се при повишеним температурама (изнад 600 °С) између продуката примарних реакција, а могу бити хомогене и хетерогене. Пиролитичко уље се реакцијом реполимеризације разлаже на гас, а крековањем на коксни остатак (Бранков 2016). Егзистира више врста реактора за пиролизу, при чему се као најчешће користе: реактори са барботажним флуидизованим слојем, ротирајући конусни реактор, реактор са циркулационим флуидизованим слојем и реактор за вакуум пиролизу (Сл. 11.22).

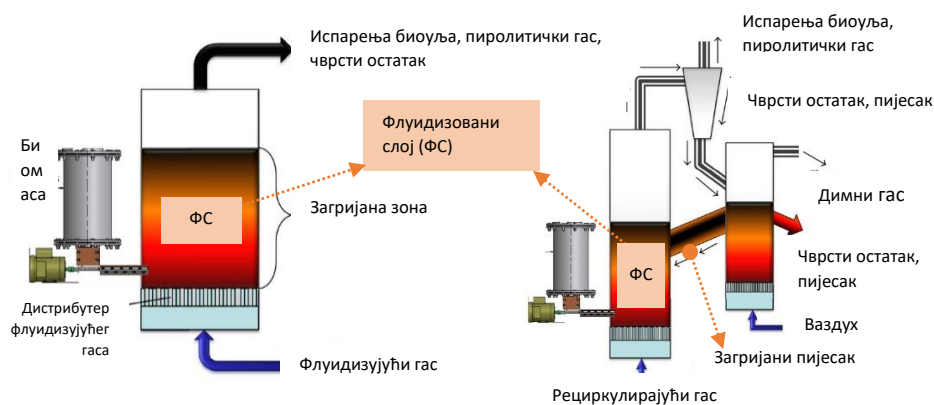
Реактори са барботажним флуидизованим слојем (Сл. 11.22а) једноставније су конструкције, што олакшава њихово пројектовање у односу на друге реакторе и карактерише их велика контактна површина гаса и чврсте материје, добар трансфер топлоте, једноставна контрола температуре и велики капацитет за складиштење топлоте (Вранков 2016). Дају релативно висок принос течне фазе (око 70% од укупне масе суве биомасе. С циљем обезбјеђивања великих брзина загријавања, потребно је користити гориво са малом гранулацијом честица.

Реактори са циркулационим флуидизованим слојем (Сл. 11.22б) сличне су конструкције као и реактори са барботажним флуидизованим слојем, али имају краће вријеме боравка чврстог остатка, што доводи до веће брзине гаса, пара и чврсти остатак брже напуштају реактор и већи је садржај чврстог остатка у биоуљу (Вранков 2016). Реактори са циркулационим флуидизованим слојем, у поређењу са реакторима са барботажним 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.

У ротирајући конусни реактор за пиролизу (Сл. 11.22в) честице биомасе на собној температури и загрејани пијесак уводе се при дну купе, мијешају и транспортују нагоре ротацијом купе, при чему је притисак мало изнад атмосферског притиска. Ово омогућује постизање брзог загријавања и кратког времена боравка гасовите фазе.

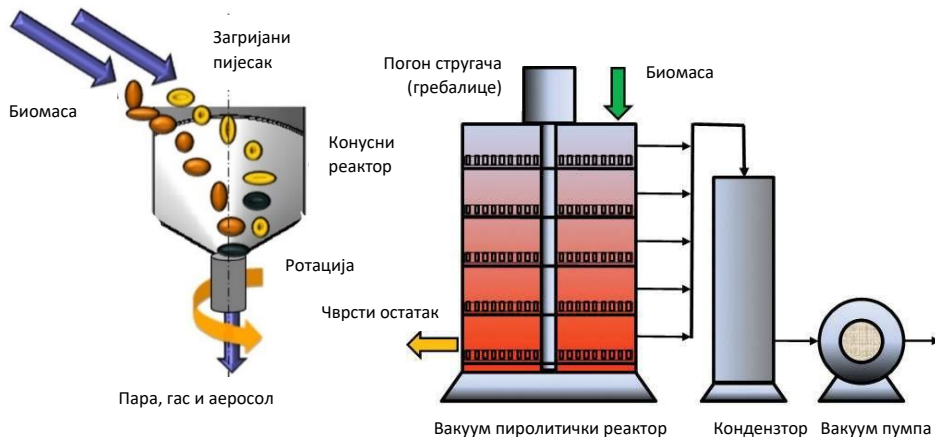
Реактор за вакуум пиролизу (Сл.11.22г) чини више загријаних кружних плоча, при чему на горњој плочи температура износи око 200 °С, а на доњој

приближно 400 °C (Brankov 2016). Са горње плоче биомаса доспијева до доњих плоча помоћу стругова, при чему се приликом кретања врши њено сушење и подлијеже процесу пиролизе. У разматраној врсти реактора није потребан гас носач. Када биомаса дође до најниже плоче, преостаје само чврсти остатак. Иако је брзина загријавања биомасе релативно мала, време боравка паре у зони пиролизе је кратко, што као резултат даје релативно скроман принос течне фазе (приближно 35–50% суве основе), док је принос чврстог остатка висок.



а) реактор са барботажним флуидизованим слојем

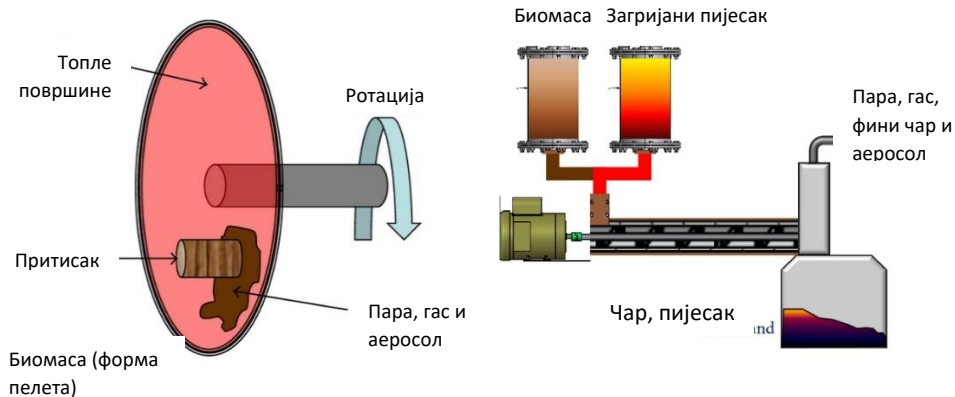
б) реактори са циркулационим флуидизованим слојем



в) ротирајући конусни реактор за пиролизу

г) реактор за вакуум пиролизу

Сл. 10.22. Врсте реактора за пиролизу биомасе (Brankov 2016)  
Fig. 10.22. Types of biomass pyrolysis reactors (Brankov 2016)



д) реактор за аблативну пиролизу

е) концепт пужног/пужног реактора за пиролизу који користи носач топлоте

Сл. 10.22. Врсте реактора за пиролизу биомасе, наставак (Brankov 2016)

Fig. 10.22. Types of biomass pyrolysis reactors, continued (Brankov 2016)

Реактор за аблативну пиролизу, која подразумева стварање високог притиска између честице биомасе и загријаног зида реактора, приказан је на Сл. 11.22д. Аблативна пиролиза омогућава неометани трансфер топлоте са зида реактора на биомасу, што изазива топљење течног производа из биомасе. Клизећи по зиду реактора, биомаса оставља течни филм који испарава и напушта зону пиролизе, а као резултат неометаног преноса топлоте и кратког времена боравка гаса, принос течне фазе може да буде чак до 80% (Brankov 2016). Притисак између биомасе и зида постиже се или механички или центрифугалном силом. Код механичког система, велики комад биомасе притиска се уз ротирајућу загријану плочу. Концепт пужног/пужног реактора за пиролизу који користи носач топлоте дат је на Сл. 11.22е.

#### 11.3.4.4. Торефакција

Процес торефакције подразумева карбонизацију дрвенасте биомасе на нижим реакционим температурама (300-400 °C), у атмосфери са смањеним садржајем кисеоника (Петровић 2017). За ове реакционе услове карактеристична је појава деградирања хемицелулозних фракција, уклањања кисеоника и ослобађања CO<sub>2</sub>, CO и H<sub>2</sub>O, и мање количине органских испарења, укључујући сирћетну и мрављу киселину (Johnson

2012). Чађ као главни производ у овом процесу, са бољом топлотном моћи у односу на топлотну моћ оригиналне сировине, због чега се овај чврсти производ тренутно користи као енергент у процесима гасификације и брзе карбонизације, као замјенски енергент за фосилни угаљ (Child 2014). Торефакција брзо постаје омиљена техника топлотне конверзије дрвенасте биомасе, прије свега због лакоће прераде сирове биомасе и задржавање великог дијела енергије и поред губитака масе током конверзије.

#### **11.3.4.5. Карбонизација**

Појам карбонизације подразумијева термална конверзија органских материја до угљеника или угљеничних остатака, при чему долази до деградације комплексних угљеничних супстанци усљед загријавања у инертној атмосфери. Резултат овог процеса је активни угаљ, настао елиминацијом атома супституената и група из органских молекула полазних материјала (Marinković i sar. 1999). Инертни гасови (азот или аргон), користе се како би се током карбонизације уклонио кисеоник. Процес карбонизације сличан је природном процесу угљенисања биолошких материјала. Разлика је у брзини и времену трајања. Процес карбонизације као брз процес који се дешава примјеном високе реакционе температуре (до/преко 1.000 °C) има трајање које се мјери сатима, док процес угљенисања траје хиљадама година и одвија се на ниској температури (Marinković i sar. 1999). Добијени активни угаљ посједује знатно већи садржај угљеника и ароматичности у односу на полазни прекурсор, са карактеристикама које зависе од реакционих услова, али и полазне сировине (Branckov 2016). Главна разлика између добијених активних угљева је што су одређени активни угљеви „графитабилни“, њиховим даљим загријавањем (загријавањем до 2.500 °C) може се добити графит, док су други „неграфитабилни“ и неће дати графит чак ни при највишим реакционим температурама (3.300 °C) (Marinković i sar. 1999). Активни угљеви добијени карбонизацијом отпадних материјала (угаљ, кокосове љуске, дрво, пољопривредни и други отпад) могу се успјешно користити као адсорбенси специфичних загађујућих материја из водене фазе, попут боја, тешких метала, пестицида и фенола (Vukčević 2013).

#### **11.3.4.6. Гасификација**

Гасификација као високотемпературни термохемијски процес конверзије чврстог у гасовито гориво односи се на дјелимичну оксидацију биогорива на

високој температури (и до 1400 °С) уз ограничен доток кисеоника, при чему настају гасовити производи (тзв. синтезни гас или сингас). Главне компоненте гаса добијеног процесом гасификације су: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и други угљоводоници. Предност гасовитих производа у односу на полазну биомасу је једноставност и свестраност њихове примјене. Током конверзије биомасе процесом гасификације настају гориви гас (који већим дијелом садржи CH<sub>4</sub> и мало N<sub>2</sub>) или синтезни гас састављен од различитих количина CO и H<sub>2</sub>, док се даљим реакцијама могу добити синтетичка горива попут биодизела или друге хемикалије (Johnson 2012; De Jong et al. 2003; Vozhdayev 2014). Карбонизација је први корак у гасификацији биомасе, али се процес гасификације увијек изводи на вишим реакционим температурама него карбонизација (Brankov 2016). Гасификација је процес непотпуног сагоријевања са организованом редукцијом насталог CO<sub>2</sub> и деструкцијом H<sub>2</sub>O коришћењем добијеног коксног остатка. Као резултат непотпуне оксидације, хемија гасовитих производа је комплексна и укључује бројне хомогене и хетерогене реакције чији је преглед дат у оквиру Таб. 11.6 (De Jong et al. 2003).

Таб. 11.6. Главне реакције током гасификације биомасе (De Jong et al. 2003)  
*Table 11.6. Main reactions during biomass gasification (De Jong et al. 2003)*

Хомогене реакције гасне фазе	
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	Сагоријевање водоника/оксидација
$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2$	Сагоријевање угљен-мооксида/оксидација
$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	Сагоријевање метана/оксидација
$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$	Суве реакције реформисања
$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	Метанација воденом паром
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Реакције смјене воде и гаса
Хетерогене реакције	
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	Сагоријевање угљеника/оксидација
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	Дјелимично сагоријевање угљеника/оксидација
$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	Бодуарова равнотежа
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	Реформинг паром
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	Реакције метанације

Процес гасификације може се подијелити на четири радне фазе: сушење горива, пиролиза, сагоријевање и гасификација (зона редукције). Сушење горива одвија се до температуре од 100 до 110 °С, док у процесу даљег

загријавања при температурама од 250 °C почиње ослобађање гасова, углавном угљоводоника и оксида угљеника. Пиролиза биомасе, као процес у коме се ослобађају тер и друге испарљиве материје, одвија се у инертној атмосфери, односно док нема кисеоника који би омогућио сагоријевање, а при температурама вишим од 250 °C. Зона сагоријевања представља простор гдје испарљиве материје и дио чврстог остатка реагују са кисеоником и формирају CO<sub>2</sub> и мале количине CO, док зона гасификације (редукције) представља процес у коме продукти непотпуног сагоријевања (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> и несагорјели продукти пиролизе) реагују са воденом паром и тиме смањују температуру насталих продуката гасификације (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>). Temperatura redukcije је око 700–950 °C (Brankov 2016).

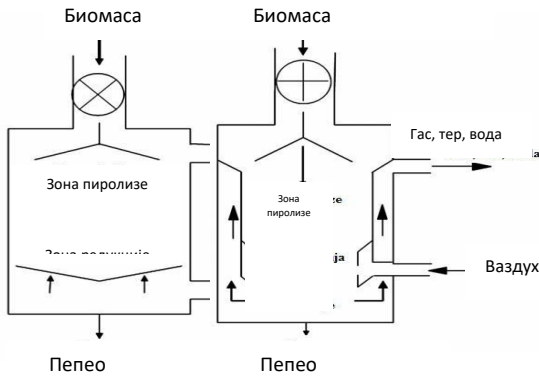
Током гасификације биомасе, произведени гас, поред гасова H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и других лаких угљоводоника, садржи и различите нечистоће (De Jong et al. 2003). При одређеним условима као производ гасификације могу се добити и одређене количина катрана, азотних и сумпорних једињења, са могућношћу настанка кондензације катрана на чађи и појавом загађења околине са полицикличним ароматичним угљоводонцима (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, PAH). Као и у свим процесима суве карбонизације, настанак кондензације катрана на чађи треба избјећи. Зависно од типа биомасе, проблем могу представљати и тешки метали у произведеним чађима (Libra et al. 2011).

Удио продуката гасификације зависи од више параметара: типа гасификатора, карактеристике горивог дијела биомасе, садржаја воде у биомаси, температуре при којој се одвија гасификација, степена оксидације горивих компоненти насталих при пиролизи, врсте оксиданта (ваздух или кисеоник), додавања водене паре (Brankov 2016).

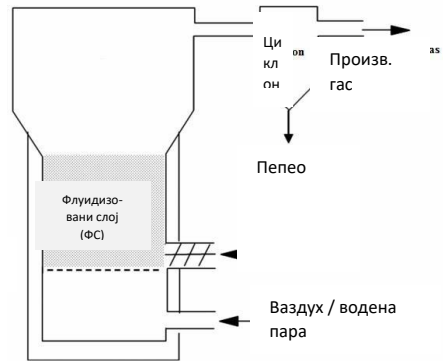
Удио тера који ће бити конвертован у гас зависи од конструктивних рјешења гасификатора (Сл. 11.23), технолошких рјешења и хемијских ограничења. Тер који преостаје, ношен је струјом гаса и обично се сматра се непожељним. Тер настао у процесу гасификације често је врло слабо реактиван и тешко га је уклонити. Одстрањивање тера из струје производа гасификације један је од најважнијих задатака у ефикасној примјени технологија гасификације. Топлотна моћ тера креће се између 20–40 MJ/kg, при чему његове особине зависе од врсте и особине биомасе, услова гасификације и типа гасификатора. Гасификација биомасе нуди већи степен искоришћења при производњи електричне енергије у гасним турбинама у односу на класична постројења за сагоријевање биомасе, и омогућава знатно ниже емисије штетних гасова и честица (Brankov 2016).



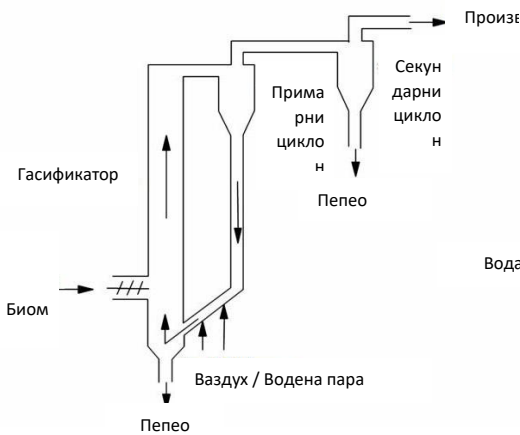
Најстарији и најједноставнији гасификатори су они са током нагоре (Сл. 11.23а), са улазом горива на врху гасификатора. Гориво се креће супротно од смјера кретања ваздуха или кисеоника, пролазећи кроз фазе сушења, деволатилизације и сагоријевања коксног остатка.



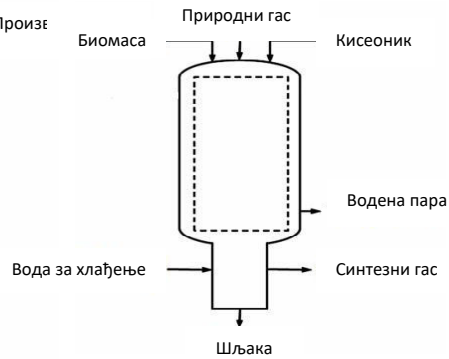
а) реактори са фиксним слојем са током нагоре и са током надоље



б) реактори са барботажним флуидизованим слојем



в) реактори са циркулационим флуидизованим слојем



г) истосмјерни проточни реактор

Сл. 11.23. Типови реактора за гасификацију биомасе (Brankov 2016)

Sl. 11.23. Types of biomass gasification reactors (Brankov 2016)

Несагорјели коксни остатак и пепео излазе помоћу ротирајуће решетке на дну гасификатора, док ваздух или кисеоник који улазе на дну гасификатора реагују са коксним остатком у зони сагоријевања, формирајући  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и

H<sub>2</sub>O на температурама високим и до 1.200 °C (Brankov 2016). Енергију потребну за загријавање, сушење и пиролизу биомасе обезбјеђује врео гас. У зони пиролизе у опсегу температуре од 400–800 °C врели гасови долазе у додир са сувом биомасом, при чему долази до деволатилизације биомасе и настајања продуката пиролизе и коксног остатка. Изнад зоне пиролизе, гасови и пиролитичке паре суше улазећу биомасу. Углавном су излазне температуре продуката релативно ниске и крећу се у дијапазону од 80 до 100 °C (Brankov 2016).

Друга конфигурација код гасификатора са током нагоре са супротносмјерним током доводи до велике количине тера у произведеном гасу који најчешће ствара насlage на одводу гасова из гасификатора, због чега је потребно директно одвођење синтезног гаса из гасификатора са током нагоре у котлове за производњу паре или загријавање воде, гдје тер не представља значајан проблем. Најстарији и најједноставнији гасификатори су они са током нагоре (Сл. 11.23а), са улазом горива на врху гасификатора. Гориво се креће супротно од смјера кретања ваздуха или кисеоника, пролазећи кроз фазе сушења, деволатилизације и сагоријевања коксног остатка. Несагорјели коксни остатак и пепео излазе помоћу ротирајуће решетке на дну гасификатора, док ваздух или кисеоник који улазе на дну гасификатора реагују са коксним остатком у зони сагоријевања, формирајући CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O на температурама високим и до 1.200 °C (Brankov 2016). Енергију потребну за загријавање, сушење и пиролизу биомасе, обезбјеђује врео гас. У зони пиролизе у опсегу температуре од 400–800 °C врели гасови долазе у додир са сувом биомасом, при чему долази до деволатилизације биомасе и настајања продуката пиролизе и коксног остатка. Изнад зоне пиролизе, гасови и пиролитичке паре суше улазећу биомасу. Углавном су излазне температуре продуката релативно ниске и крећу се у дијапазону од 80 до 100 °C (Brankov 2016). Друга конфигурација код гасификатора са током нагоре са супротносмјерним током доводи до велике количине тера у произведеном гасу који најчешће ствара насlage на одводу гасова из гасификатора, због чега је потребно директно одвођење синтезног гаса из гасификатора са током нагоре у котлове за производњу паре или загријавање воде, гдје тер не представља значајан проблем.

У гасификаторима са током надоље (Сл. 11.23а), гориво и гасови теку у истом смјеру, што омогућује да волатили ослобођени током постепеног загријавања биомасе морају проћи кроз зону сагоријевања коксног остатка, гдје због високе температуре (800–1.200 °C) брзо долази до реакције крековања тера (Brankov 2016). Загријани коксни остатак реагује са CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, ослобођеним током сагоријевања, уз настанак CO и H<sub>2</sub>. Температура

гаса на излазу је висока (око 700 °C) (Brankov 2016). Коришћење горива са ниским садржајем пепела и високом температуром топљења пепела је повољније, јер спречава настајање шљаке у зони сагоријевања. Како би се постигле довољно високе температуре за крековање тера, неопходно је да гориво има мање од 20% влаге.

Код гасификатора са барботажним флуидизованим слојем (Сл. 11.23б) гас се креће нагоре кроз слој зрнастог материјала са слободним током, при чему је брзина гаса довољно велика да претвори материјал у мјешавину лебдећих честица и мјехурова гаса. Барботажни флуидизовани слој подсјећа на течност која ври и има многе физичке карактеристике сличне флуиду (Brankov 2016). Као материјал у слоју користе се пијесак, оливин (ортосиликат гвожђа и магнезијума), кречњак, доломит или глина, а сама флуидизација слоја реализује се са ваздухом, кисеоником и/или воденом паром. У гасификатору са барботажним флуидизованим слојем, површинска брзина гаса у доњем дијелу гасификатора контролише се како би се одржао у флуидизованом стању, док у горњем дијелу гасификатора, површина попречног пресека је углавном повећана како би се смањила површинска брзина гаса у односу на брзину флуидизације, што помаже честицама да се врате у слој (Brankov 2016). Површина попречног пресека је већа како би се постигло жељено вријеме боравка у гасној фази које је потребно за потпуну деволатилацију. Биомаса која улази у загријани барботажни флуидизовани слој готово тренутно се деволатилизује. Може доћи до дјелимичног крековања тера и дјелимичне гасификације коксног остатка, али вријеме боравка и за гасове и за честице коксног остатка релативно је кратко тако да се састав гаса не приближава равнотежном стању (Brankov 2016). Дјелимична оксидација врши се у гасификаторима са флуидизованим слојем, а сагоријевање коксног остатка у слоју обезбјеђује топлоту потребну да се одржи температура у слоју и деволатилизује биомаса. У индиректно загријаваним гасификаторима са флуидизованим слојем, топлота се уводи размјеном топлоте кроз зидове гасификатора или кроз цијеви за размјену топлоте у слоју (Brankov 2016).

Реактори са циркулационим флуидизованим слојем (Сл. 11.23в) имају површинске брзине гаса 3 до 5 пута веће него код реактора са барботажним флуидизованим слојем. Циркулациони флуидизовани слој може се користити за гасификаторе и са дјелимичном оксидацијом и са индиректним загријавањем. Код гасификатора са дјелимичном оксидацијом зона оксидације је у дијелу у коме се гас враћа у гасификатор, а гасовити продукти постају дио синтезног гаса, за разлику од гасификатора са индиректним загријавањем, гдје коксни остатак сагоријева изван реактора, док се димни гасови одвајају од чврстих честица и враћају само загријане

чврсте честице у гасификатор, мијењајући на тај начин састав синтезног гаса. Брзина циркулације чврстих честица у циркулационом флуидизованом слоју зависи од количине енергије која је потребна да се гасификује биомаса и да се одржи максимална вриједност температуре која не доводи до настајања шљаке (Brankov 2016).

Код истосмјерних проточних гасификатора (Сл. 10.23г), одвојене чврсте материје и атомизирани течности се инјектирају у струју кисеоника или водене паре који се крећу великом брзином, гдје се брзо гасификују при температури у дијапазону од 1.300 до 1.400 °С, довољно високој да истопи неорганске материје у биомаси, које излазе из зоне реакције у виду течне шљаке. Изузетно висока температура доводи до скоро потпуне деструкције тера, а састав гаса углавном се приближава равнотежном стању и има веома мали удио  $\text{CH}_4$  и других лаких угљоводоника. Разматрани гасификатори ријетко се користе за биомасу, најчешће се користе за угаљ. Основни разлог су високи трошкови смањења удјела влаге и ситњења честица (на величину од 100  $\mu\text{m}$  до 1 мм) (Brankov 2016).

#### **11.3.4.7. Хидротермална карбонизација**

Поступак хидротермалне карбонизације, за разлику од традиционалних процеса конверзије, омогућава коришћење биомасе са високим садржајем влаге без потребе за интензивним и скупим предтретманом сушења, што омогућује коришћење различитих прекурсора за производњу угљеничних материјала (Libra et al. 2011). Током процеса хидротермалне карбонизације рекордно висок проценат угљеника из биљног отпада (до 90%) конвертује се у чврсти, угљеником богат производ, назван хидрочађ, без ослобађања  $\text{CO}_2$  или  $\text{CH}_4$  у атмосферу (Funke and Ziegler 2010; Libra et al. 2011; Titirici et al. 2007).

Поред хидрочађи, при овом процесу генеришу се и веће количине процесне воде, богате фенолним компонентама и раствореним органским материјама (Сл. 10.24). Из тог разлога, овај процес сматра се технологијом будућности за конверзију отпадне биомасе у производ сличан угљу који се може користити за широк спектар еколошких, електрохемијских, каталитичких и дугих примјена (Brankov 2016). Поступак хидротермалне карбонизације подразумијева загријавање суспензије биомасе и воде у затвореном реактору (аутоклаву), на повишеној температури (180–280 °С) и аутогеном притиску током неколико сати (Brankov 2016).

Развој еколошке свијести, доношење нове законске легислативе у вези заштите животне средине и све већа потреба за добијањем енергије из обновљивих извора, довела је до значајнијег интересовања за овим поступком. Посљедњих неколико деценија XIX вијека, поступак хидротермалне карбонизације користио се за деградацију органских материја у циљу синтезе битних хемикалија, уз добијање течних и гасовитих горива. Тренутни фокус примјене овог поступка је на добијању хидрочађи које могу имати различите индустријске примјене (Kambo and Dutta 2015; Mumme et al. 2011).



Сл. 10.24. Шема процеса хидротермалне карбонизације

([http://www.ingeliahtc.com/English/carbonizacion\\_biomasa.htm](http://www.ingeliahtc.com/English/carbonizacion_biomasa.htm))

Sl. 10.24. Scheme of hydrothermal carbonization process

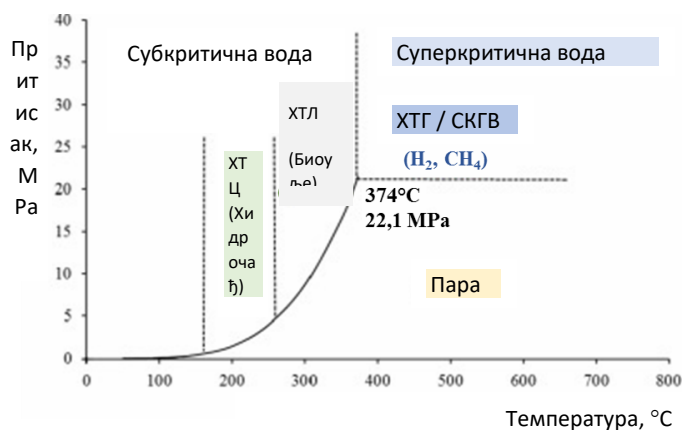
([http://www.ingeliahtc.com/English/carbonizacion\\_biomasa.htm](http://www.ingeliahtc.com/English/carbonizacion_biomasa.htm))

Са повишењем реакционе температуре изнад 260 °C, хидротермални процес се даље класификује на: хидротермалну ликвефакцију-ХТЛ и хидротермалну гасификацију-ХТГ или суперкритичну гасификацију водом-СКГВ (Сл. 10.25) (Kambo and Dutta 2015).

Током процеса хидротермалне карбонизације, употребијелна сировина подвргава се серији реакција које укључују хидролизу, дехидратацију, декарбоксилацију, ароматизацију и кондензацију, при чему се добијају производи у чврстом (хидрочађ), течном (процесна вода) и гасовитом стању (Liu et al. 2013). Компоненте лигноцелулозне биомасе (лигнин, целулоза и

хемицелулоза), при условима хидротермалне карбонизације, постају мање стабилне услед чега долази до њихове дјелимичне хидролизе. Истовремено са формирањем хидрочађи, органске компоненте се разграђују на мање нестабилне фрагменте, који даље реполимеризују у уљане компоненте садржане у процесној води (Roman et al. 2012).

Добијена хидрочађ је хидрофобан, порозан, чврст материјал са високим садржајем угљеника и мањим садржајем кисеоника и водоника у односу на полазну биомасу (Brankov 2016).



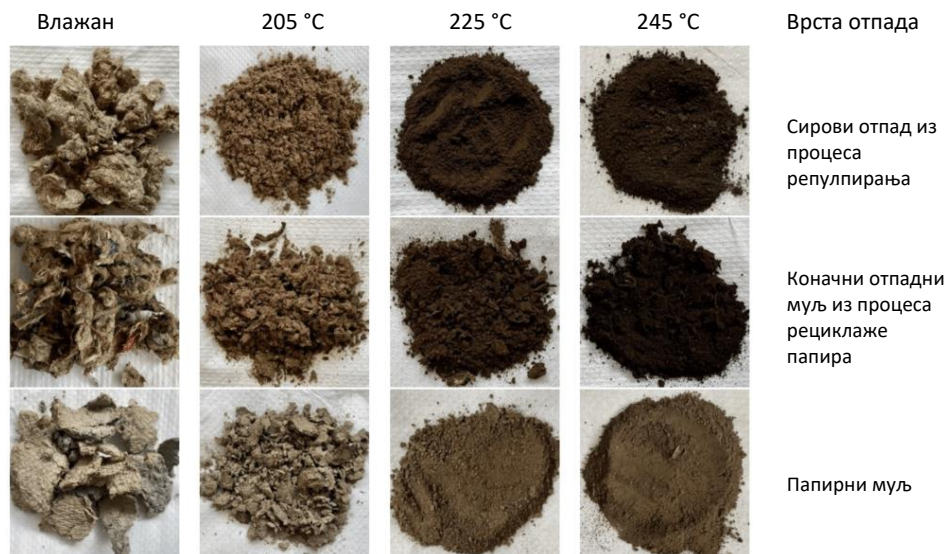
Сл. 10.25. Класификација хидротермалног процеса биомасе на основу температуре реакције (Kambo and Dutt 2015; Brankov 2016)

*Sl. 10.25. Classification of hydrothermal biomass process based on reaction temperature (Kambo and Dutt 2015; Brankov 2016)*

Захваљујући својим физичко-хемијским карактеристикама, хидрочађ је пронашла примјену у многим пољима (Liu et al. 2015; Funke and Ziegler, 2010). Приказ изгледа хидрочађи дат је на Сл. 10.26.

Поред коришћења за производњу топлотне и електричне енергије, хидрочађ се у пољопривреди користи за побољшавање квалитета земљишта, као адсорбенс, катализатор, за складиштење енергије, сировина за пелет и др. (Kruse et al. 2013; Brankov 2016; Петровић и сар. 2016а; Петровић и сар. 2016б).

Поред хидрочађи, при процесу хидротермалне карбонизације генеришу се и веће количине процесне воде, богате фенолним компонентама и раствореним органским фрагментима попут органских киселина, фурфурала и мономерних шећера (Poerschmann et al. 2014; Brankov 2016). Принос и карактеристике производа процеса хидротермалне карбонизације зависе од реакционих услова, али и типа биомасе која се користи (Liu et al. 2013; Brankov 2016).



Сл. 10.26. Узорци осушених супстрата и осушених мљевених хидрочађи добијени на 205 °C, 225 °C и 245 °C (Assis et al. 2021)

Fig. 10.26. Samples of dried substrates and dried ground hydrochars obtained at 205 °C, 225 °C and 245 °C (Assis et al. 2021)

#### 11.4. Тренутно стање коришћења биомасе у енергетске сврхе у БиХ и Републици Српској

Најперспективније коришћење биомасе у Републици Српској, односно БиХ у цјелини, поред малих постројења на локацијама у непосредној близини појаве остатака биомасе, обухвата:

- загријавање простора у домаћинствима и зградама коришћењем брикета и пелета од биомасе;
- производњу електричне енергије коришћењем пољопривредне биомасе и коришћењем остатака индустрије и отпада;
- даљинско гријање, гдје још увијек није развијена мрежа за дистрибуцију природног гаса, и гдје се за потребе даљинског гријања користе мазут и угаљ (уз коришћење фосилних горива може се користити и биомаса или би се могла извршити потпуна замјена горива).

Највеће баријере за значајније коришћење биомасе у Републици Српској, слично као и у Србији, Црној Гори и Хрватској, представљају релативно ниска

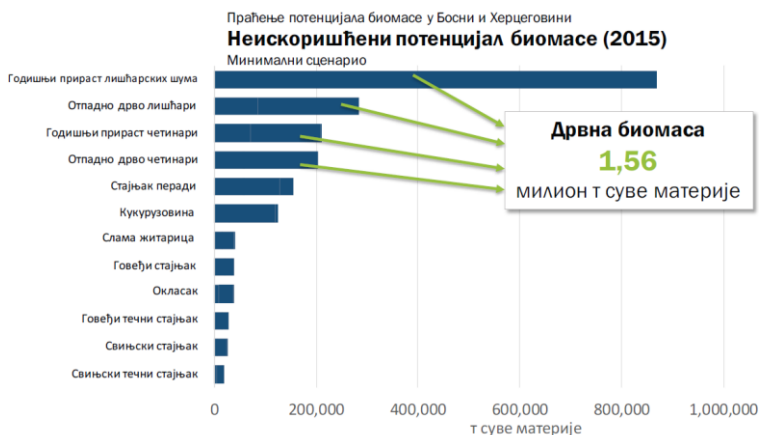
цијена коришћења електричне енергије, која је значајно нижа у поређењу са другим алтернативама (очекује се формирање нове организације у оквиру МХ Електропривреда Републике Српске, која ће покривати јавну потрошњу по тржишним принципима од првог априла ове године, што аутоматски значи и повишење цијена 1 kWh електричне енергије за категорију домаћинстава), затим непостојање довољно искустава у коришћењу биомасе у енергетске сврхе, као и одсуства развијеног тржишта за продају опреме за коришћење биомасе или биомасе као горива.

Сакупљањем биомасе за пелетирање и брикетирање повећава се степен обновљивости шума и пољопривредних површина, уз додатно ослобађање обрадивих површина за раст наредних генерација биљака, гдје се као производи добијају енергенти (пелет, брикет), који замјењују конвенционални енергент при загријавању унутрашњости објеката, што додатно доприноси енергетској независности и енергетској ефикасности у Републици Српској, односно у БиХ као цјелини. При томе, за разлику од пелета због својих релативно великих димензија (пречник 60–100 мм, дужина 20–200 мм), брикети су мање погодни за ложење у малим и средњим котловима са аутоматским дозирањем. Чешће се користе за котлове и ложишта са ручним ложењем. Друга отежавајућа околност примјене брикета је њихова подложност ломљењу и мрвљењу, па су пелети интересантнији као гориво, посебно због њиховог коришћења у малим и средњим котловима са аутоматском регулацијом. При томе, технологија производње пелета треба да обезбиједи основне услове њиховог квалитета (топлотна моћ, отпорност на ломљење и труњење при складиштењу и транспорту).

Доступност шума и шумског земљишта у државном власништву Републике Српске износи 8,9 метара по хектару, што чини управљање шумама веома тешким и ограничава сакупљање шумског отпада. Тренутно, отпад који настане приликом сјече дрвећа (гране, лишће, материјал тањи од прописане дебљине, материјал ниског квалитета) углавном остаје у шумама, а једина обавеза ЈПШ „Шуме Републике Српске“ јесте да сакупе отпадни материјал на гомиле. У Републици Српској постоји 470 пилања које задовољавају минималне техничко-технолошке услове и у којима је запослено око 9.000 радника. Сва економска тијела која су задужена за основну обраду дрвета, тј. пилање, морају да посједују техничко-технолошку документацију која, поред других прописа, одређује и шта треба да се ради са отпадом који настаје у производном процесу. Узимајући у обзир количину стабала која се годишње посијеку, укупна количина отпада приликом примарне обраде дрвета износи 349.200 м<sup>3</sup>. Људи производе отпад за биомасу у многим облицима, укључујући „урбани дрвни отпад“ (као што су палете за доставу и дрво које остане након градње), биоразградиви



дио смећа (папир, храна, кожа, дворишни отпад, итд.) и гас који настаје на одлагалиштима приликом разлагања отпада. Чак и канализација може да се користи као енергија; нека постројења за прераду канализације издвајају метан који испушта канализација и спаљују га због добијања топлоте и електричне енергије, тако смањујући загађење ваздуха и испуштање гасова глобалног загријавања. Управљање отпадом се у овој регији одвија на одлагалиштима. Сматра се да укупна количина производње отпада у Републици Српској износи 0,7–0,9 кг/становнику дневно. Слично као и у шумској индустрији, већина остатака од усјева остаје у пољу. Фарме за узгој животиња производе много „влажног отпада“ у облику гнојива. Овај отпад се често разбацује по њивама не само због своје хранљиве вриједности, него и због тога како би се ријешило његово одлагање. Вода која отиче са прекомјерно ђубрених површина може да изазове загађење руралних језера и потока и на тај начин загади пијаћу воду. Прерада усјева у храну такође производи много искористивог отпада. Пољопривредни ресурси које познају власти у Републици Српској јесу: слама, отпад од кукуруза, стабљике сунцокрета, воћни, те отпад од винове лозе и маслина, коштуничаво воће, и кора од јабука (из пољопривреде) и стајско ђубриво и отпад од узгоја стоке. Већина неискоришћеног потенцијала биомасе састоји се од дрвне биомасе (Сл. 11.29) и износи 1,56 милиона тона суве материје, што је углавном резултат покривености шумама територије БиХ (око 43%) (Pfeiffer et al. 2019). Могуће је да су са незаконитом сјечом огревног дрвета ови потенцијали можда већ нарушени.



Сл. 11.29. Неискоришћени потенцијал биомасе за 2015. годину – минимални сценарио (Pfeiffer et al. 2019)

Fig. 11.29. Untapped biomass potential for 2015 – minimal scenario (Pfeiffer et al. 2019)

Укупна површина шума и шумског земљишта у Републици Српској према подацима из шумскопривредних основа (ШПО) износи 1.352.031 ха (Републички завод за статистику Републике Српске 2020). У власништву Републике налази се 1.044.939 ха (77,3%), а у приватном власништву 307.092 ха или 22,7%.

Број регистрованих пољопривредних газдинстава у Републици Српској се из године у годину повећава, подаци су Министарства пољопривреде, шумарства и водопривреде РС, а један од мотива за такав тренд је могућност кориштења подстицаја. Наводе да је у току 2019. године број пољопривредних газдинстава био 40.501, од чега је број комерцијалних породичних пољопривредних газдинстава износио 3.310, некомерцијалних 36.468 и број пословних субјеката у регистрованим пољопривредним газдинствима 723. У 2020. години укупан број пољопривредних газдинстава клијената је био 40.630, од тога комерцијалних пољопривредних газдинстава 3.515, некомерцијалних пољопривредних газдинстава 36.358 и пословних субјеката 757. Укупан број регистрованих пољопривредних газдинстава у Регистру пољопривредних газдинстава има тренд благог раста.

На пољопривредном добру у Модричи, још 1988. године, инсталисано је постројење за прераду стајњака са фарме музних крава. Постројење је користило израелску технологију термофилне дигестије (радна температура процеса виша од 50 °С). Биогаз је представљао споредни производ овог технолошког процеса. Ова технологија омогућавала је производњу висококвалитетног компоста као примарног производа који је коришћен за ђубрење пољопривредног земљишта. Биогазно постројење је престало са радом 1992. године, након избијања грађанског рата у БиХ и након тога више није пуштано у погон.

У БиХ не постоје постројења на биогаз која испоручују електричну енергију у дистрибутивну мрежу. Једино оперативно постројење на биогаз је пилот-постројење земљорадничке задруге "Ливач" у Александровцу у Републици Српској, капацитета 37 kW електричне енергије. Друго постројење на биогаз „Bufallo Energy Gold - MG” које је у изградњи, капацитета 1 MW, налази се на сточној фарми у Новом Селу (општина Шамац) у Републици Српској и власништво је предузећа „Gold - MG” д.о.о. Доњи Жабар. Очекује се да ће ово постројење почети са радом у току 2016. године.

БиХ има добар потенцијал за производњу биогаза јер располаже релативно великим количинама стајњака домаћих животиња, отпадака од пољопривредних култура, органских компонената које се могу издвојити из комуналног отпада и др. Процјене су да ће у овој земљи у наредном

периоду порасти број биогасних постројења у којима ће се производити топлотна и електрична енергија.

#### **11.4.1. Стање развоја и коришћења технологија за трансформацију биомасе као енергента**

Данашњи и очекивани развој одредиће будућу примјену одређене технологије, а пилот-пројекти различитих технологија бројни су у многим ЕУ земљама. Ипак, биомаса као гориво за производњу електричне енергије може представљати само значајан додатни (али не и најважнији) елемент електроенергетског система, те се у будућности очекује инсталирање већег броја мањих постројења (до 70 MW и мање) у којима би се енергија производила из отпада и споредних производа пољопривреде, шумарства и дрвне индустрије. Охрабрујући подаци су и да у Босни и Херцеговини расте број нових топлана на биомасу, тако да сваке године имамо по једну нову. Највећа се налази у Бањој Луци од 49+16 MW, док се остале налазе на Палама, Сокоцу, Олову, Сребренику, Грачаници, Градишци, Ливну, Бугојну и Витезу. Једна од модернијих топлана на биомасу је у насељу Немила покрај Зенице, док Општина Соколац у оквиру јавног-приватног партнерства покреће градњу модерне енергане.

Еко-топлана у Бањој Луци смјештена је на обали ријеке Врбас у источном дијелу града у близини топлане на мазут (Сл. 11.30). Повезана је са мрежом централног гријања путем постојеће котловнице на мазут.



Сл. 11.30. Спољашњи изглед Еко-топлане на биомасу Бања Лука (Babić i Milovanović 2017; Milovanović i sar. 2021a)

Fig. 11.30. Exterior of the Eco Biomass Heating Plant Banja Luka (Babić i Milovanović 2017; Milovanović i sar. 2021a)

У саставу нове ЕКО топлане је 10 котлова, сваки од 4,9 MWt, што је укупно 49 MWt. Постојећи котлови на мазут одржавају се само као резерва за експлоатацију код нижих спољашњих температура ваздуха или принудног отказа на постојећим котловима на биомасу. Саставни дио Еко-топлане Бања Лука су и два котла на биомасу (Космос и Старчевица) од 16 MWt. Пројекат нове топлане на биомасу укључује изградњу топлане на биомасу од 2.460 м<sup>2</sup> са 12 котлова (10 ће бити стављене у употребу + 2 у резерви). Постројење је комбинација армирано-бетонске и челичне конструкције, прекривено термалним изолацијским панелима. Постројење ће се састојати од 4 јединице: командно-оперативна јединица, постаја силоса (12 силоса, сваки 150 м<sup>3</sup>), линије котлова 4,9 MW сваки (12 комада) и простора за смјештај помодне опреме. На јужној страни грађевине планиран је армирано-бетонски плато од 648 м<sup>2</sup> за смјештај филтерских јединица и димњака. Систем ради на радној температури воде од 80/110 °С и радним притиском од 8 бара. Пројекат укључује и инсталацију софистицираних вредних филтера, који обављају прочишћавање димних плина до минималних вриједности (5 µg/м<sup>3</sup>, док је законска гранична вриједност 20 µg/м<sup>3</sup>). Објекат топлане спојен је на постојеће системе водоснабдијевања и канализације. Процесна (технолошка) вода која ће се користити у систему доведена је из постојећег базена за омекшавање воде, који се налази на локацији топлане на мазут, путем новог цјевовода, постављеног дуж трасе вреловода. Сличну реконструкцију доживјела су и постројења за централно гријање у Градишци (Сл. 11.31).



Сл. 11.31. Спољашњи изглед топлане на биомасу Градишка (Babić i Milovanović 2017; Milovanović i sar. 20216)

Fig. 11.31. Exterior of the Biomass Heating Plant Gradiška (Babić i Milovanović 2017; Milovanović i sar. 20216)

Улагање у реконструкцију система централног гријања и прелазак на биомасу укључивали су замјену котлова на мазут са два котла на биомасу. Постројење има укупан инсталисани капацитет од 12 MW и годишњу производњу од 18 GWh топлотне енергије, која се користи за загријавање око 120.000 м<sup>2</sup> стамбеног и пословног простора. Топлана годишње троши око 8.500 тона дрвне сјечке. Укупна инвестиција износила је 2,5 милиона евра. Фазе развоја постројења централног гријања на биомасу у Градишци обухватале су:

- фаза изградње (надоградња или изградња додатних 400 м<sup>2</sup>, изградња платформе за припрему и складиштење дрвне сјечке);
- припрема и превоз сировина (омогућење коришћења млина за уситњавање дрвног отпада, изградња резервоара за дрвну сјечку и изградња система превоза дрвне сјечке);
- изградња постројења за сагоријевање – горионика биомасе (изградња примарних комора за сагоријевање 2x6 MW, изградња вртложне коморе, изградња мултициклуса и адаптација постојећег котла инсталираног капацитета од 12 MW),
- изградња система за аутоматску контролу и регулацију процеса сагоријевања биомасе.

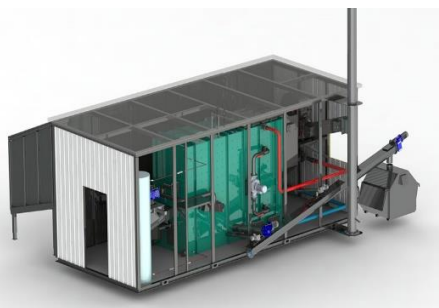
Производња дрвених пелета постаје све чешћа у БиХ. Број произвођача опреме за производњу дрвених пелета је у сталном порасту. Истакнути произвођачи у земљама ЕУ су: Andritz – Аустрија, Larus Impianti – Италија, Salmatec – Њемачка, SG Strojirna – Чешка Република, Sweden Power Chippers Ab – Шведска. У БиХ се такође појавио већи број произвођача пећи и котлова на биомасу. Док су донедавно доминирали страни модели, данас постоји неколико домаћих произвођача, који су постигли висок ниво технолошке софистицираности, а њихови производи могу да се пласирају и на тржиште ЕУ (Таб. 11.7).

На тржишту БиХ постоје произвођачи који нуде контејнерска рјешења система гријања на биомасу. Код ових рјешења сви дијелови система (котлови, складиште горива, систем за управљање и остали помоћни елементи система) налазе се у једном контејнеру, који је прерађен за ову намјену (Сл. 11.32). За постројења снаге од 500 kW оваква рјешења обично користе један контејнер, док код већих снага користе се модуларна рјешења која подразумевају спајање контејнера. Ова рјешења пружају вишеструке предности у смислу реконструкције постојећих објеката, брзине инсталације и једноставности коришћења на планираним локацијама, као и укупних трошкова инсталације.

Таб. 11.7. Произвођачи система за сагоријевање биомасе у БиХ UNDP БиН (2013)

Table 11.7. Manufacturers of biomass combustion systems in BiH UNDP BiH (2013)

Предузеће	Производ	Гориво	Распон снаге (kW)
Топлинг Прњавор	Котлови	Пелете	25–2.000
Thermoflux Јајце	Котлови	Пелет, дрвна сјечке, брикети и огрјевно дрво	25–150
Кован М.И. Грачаница	Котлови	Пелет	25–600
Емпес Бања Лука	Гасификационо ложиште	Све врсте биомасе, дрвне и недрвне	250–4.500
Фамок Костајница	Котлови	Чврста горива, дрво, брикет и угаљ	18–740



Сл. 11.32. Контејнерско постројење FXL серије (ложиште са интегрисаним котлом на дрвену сјечку), Flamma Systems Sverige AN (<https://www.bmdbau.rs/energija-iz-biomase/>)

Fig. 11.32. Container plant FXL series (firebox with integrated wood chip boiler), Flamma Systems Sverige AN (<https://www.bmdbau.rs/energija-iz-biomase/>)

Како би се успјешно организовао ланац снабдијевања енергијом биомасе, осим произвођача, неопходна је организација и подстицање пратећих компанија за сервисирање и одржавање, тзв. ESCO предузећа у регији (*Energy Service Companies, ESCO*), чије основне дјелатности треба да, поред инсталисања опреме и њеног сервисирања и одржавања, укључе и производњу и управљање микросистемима гријања, производњу и дистрибуцију топлотне енергије, развој нових микро и макро система даљинског гријања, као и производњу биомасе (дрвне сјечке у почетку из индустријског дрвног остатка, а затим уз инвестирање у механизацију и

опрему из шумског остатка након сјече, санитарну сјечу и крчење запуштених и девастираних шума и др.).

Системи на биомасу захтијевају више електричне енергије за рад мотора, вентилатора и пумпи од система на класична фосилна горива (угаљ, мазут, земни гас). На бази досадашње праксе у одржавању може се закључити да системи на биомасу захтијевају више радних сати на пословима одржавања, са једним до два дана мјесечно, док се генерални ремонт реализује сваке пете године (Milovanović i Branković 2021). Међутим, као и сви други извори енергије, и биомаса као и сви други енергетски ресурси има одређене недостатке и ограничења у коришћењу, као што су: непостојање организованог тржишта у БиХ, транспортни и манипулативни трошкови, трошкови складиштења и припреме, неповољан облик и висока влажност биомасе (посебно сјечке) и висока вриједност потребних инвестиција у постројења за сагоријевање у односу на постројења која користе фосилна горива (Babić i Milovanović 2017). Како су дрвна сјечка и пелет два тренутно најповољнија горива идентификована у Републици Српској, односно БиХ као целини, постоје бројне препреке које онемогућавају њихово усвајање (финансијски подстицаји за накнаду за ризике и високе трансакционе трошкове за вријеме првих година развоја тржишта за дрвне сјечке и пелет у БиХ, релативно високо почетно улагање потребно за котлове на биомасу, недостатак информација о савременим технологијама гријања на биомасу, безбједност снабдијевања биомасом као горивом, као и развој потребних људских ресурса и капацитета у вези са складиштењем и употребом биогорива, итд.) (Šljivac i Torić 2018).

#### **11.4.2. Процеси и производи као резултат коришћења технологија за трансформацију биомасе као енергента**

Најважнији параметри који се тичу коришћења чврсте, течне и гасовите биомасе су енергетски степен искоришћености горива и економски трошкови улагања (инвестиција у опрему, материјал, инсталације, техничке услуге, превоз, монтажу и пробни рад, трошкови рада и одржавања, трошкови реконструкције, ревитализације и модернизације за продужени радни вијек, трошкови промјене намјене или уклањања постројења по завршетку радног вијека) (Petrović P i Petrović M 2011).

С друге стране, биогаз има широку област примјене: за производњу топлотне енергије, електричне енергије помоћу енергетских ћелија или малих турбина (микротурбина), у когенерационим постројењима за

производњу топлотне и електричне енергије, као погонско гориво за моторна возила и као погонско гориво у домаћинствима, на пољопривредним добрима и сточарским фармама (освјетљење, гријање – гасне гријалице, гасни котлови, хлађење – клима уређаји, гасни хладњаци, припрема топле санитарне воде – гасни бојлери, кување и сл.). На пољопривредним добрима и сточарским фармама биогас се може користити и као гориво у сушарама пољопривредних производа (жита, сијена, силаже и др.), за погон трактора, иригационих пумпи, у ковачким пећима, припрему воде за гријање стакленика, ложење у пекарама, агрегатима за производњу електричне енергије и др. (Ђулић 1986).

С друге стране, биомаса представља обновљиви извор енергије из којег је могуће производити високовриједна течна и гасовита горива, која се могу користити у саобраћају и транспорту и чији удио у будућности такође има тренд значајнијег раста. Производња биогорива представља једну од технологија за производњу енергије из биомасе која ће у будућности доживјети значајан раст. Додатну улогу у широј примјени биомасе за производњу енергије може имати развој биотехнологије (са већом ефикасности фотосинтезе од досадашње) и генетички инжењеринг (узгој биљних врста) ради осигурања потребних количина биомасе у будућности, као могућег горива и сировине за хемијску прераду (Savić 2013; Симић 2007).

Биогас добијен из великих дигесторских постројења користи се за производњу електричне енергије и сагоријевање у гасним котловима етажног или централног гријања. Најједноставнији и најраширенији начин коришћења биогаса је у гасним котловима за добијање топлотне енергије, као уобичајен начин за биогас који настаје у малим постројењима (запремина дигестора 6 м<sup>3</sup>). При производњи топлотне енергије биогас није потребно додатно пречишћавати јер присуство нечистоћа до одређеног нивоа не представља ограничење, као што је то случај за друге начине примјене. Прије употребе врши се кондензација, елиминација честица, компресија, хлађење и сушење биогаса (Симић 2007). Предности коришћења побољшаних технологија за добијање биогаса ће у наредном периоду допринијети повећању броја инсталираних индустријских биогасних постројења.

Обрађени муљ може се користити у пољопривреди слично као и свјежи муљ (за наводњавање или ђубрење њива, ливада, пашњака, воћњака, винограда и у шумарству). При томе, само термички обрађен муљ (термичко кондиционирање, сушење, пастеризација и компостирање) сматра се безбедним и дозвољава се његова примјена у пољопривреди. У зависности од националних прописа и приоритета у земљама Европске уније, 30 до 70%



отпадног муља обрађује се поступком анаеробне дигестије. Примјена анаеробне дигестије, поред обраде органског материјала из чврстог комуналног отпада, значајна је због добијања биогаза и дигестата као нуспродуката процеса. Све већи број изграђених постројења, која за сировину користе органску компоненту чврстог комуналног отпада, има за циљ промјену уобичајеног начина збрињавања органског комуналног отпада (замјена депоновања или спаљивања са рециклирањем и искоришћењем дијела хранљиве компоненте за потребе пољопривреде и добијање енергије) (Savić 2013; Симић 2007).

#### **11.4.3. Трендови коришћења технологија за трансформацију и иновације у области избора технологије коришћења биомасе као енергента за производњу корисних облика енергије у духу одрживог развоја**

Развој и усавршавање технологија са већим степеном искоришћења примарне енергије у биомаси, уз снижење цијена опреме и постројења за технолошке процесе трансформације примарне у корисне облике енергије (електрична енергија, топлотна енергија, механичка енергија, хемијска енергија и енергија расвјете) и дефинисање новог начина подстицања енергије на бази коришћења биомасе као енергента представљају основне предуслове за даљи искорак у коришћењу биомасе за производњу енергије.

Досадашње анализе коришћења биомасе као енергента за производњу електричне енергије (коришћење без икаквих подстицајних мјера, ослобађање од пореза, или увођење субвенција) показале су да је биомаса конкурентна осталим обновљивим изворима енергије. Когенерација, уз гасификацију биомасе, при томе представљају најисплативије технологије које су тренутно у комерцијалној употреби. Добијени гас у процесу гасификације најисплативије је (уз висок степен ефикасности) користити у гасној турбини (Milovanović i sar. 2017a).

Иако ефикасност постројења за спаљивање биомасе при производњи само електричне енергије достиже тек до 30%, она су своју потпуну техничку и комерцијалну зрелост постигла у когенеративној производњи, гдје, уз електричну, производе и топлотну енергију, односно пару за гријање домаћинстава и употребу за производњу технолошке паре и гријање у индустријским предузећима. Додатно унапређење технологије когенерације (тригенерације или полигенерације), односно повећање ефикасности и шема

ових процеса ради смањења инвестиционих трошкова, представљају правце за повећање производње енергије из биомасе у будућности (Milovanović i Miličić 2012).

Рјешавање и обавезе које проистичу из санације проблема глобалног загађења и климатских промјена (Париска конвенција), уз развој нових и усавршавање постојећих технологија имаће значајнију улогу у подстицању веће производње енергије из биомасе у наредном периоду.

Развој и усавршавање технологија гасификације биомасе за производњу електричне енергије имаће стимулативан утицај на повећање удјела коришћења биомасе као енергента у наредном периоду. Интегрисана гасификација у комбинованом циклусу (*Integrated Gasification Combined Cycles Plants, IGCC*) представља тренутно најперспективнију технологију гасификације у ЕУ, гдје су већ у погону три IGCC постројења: (*ARable Biomass Renewable Energy, ARBRE*) ARBRE крај Јорка у сјеверној Енглеској, *Värnamo* у истоименом граду у јужној Шведској, те *Bioelettrica SpA Energy Farm* крај Пизе у Италији.

Почетком осамдесетих година прошлог вијека, топлане које користе биомасу као енергент започеле су процес интензивне замјене фосилних горива (угаљ, угљен и ложиво уље) за добијање топлотне енергије у почетку, а касније и електричне енергије. И у наредном периоду се очекује наставак овог тренда. Електрична енергија из биомасе тренутно се комерцијално производи једино у процесу сагоријевања на решетки или различитим изведбама у флуидизованом слоју, чиме се производи пара за погон најчешће Стирлинговог мотора, мотора СУС или парне/гасне турбине. Рјешења постигнута на бази усавршавања когенерационих и тригенерационих (у задње вријеме и полигенерационих) постројења тренутно представљају најзначајнија технолошка достигнућа за производњу електричне енергије из биомасе, која су и најефикаснија и еколошки најприхваћенија за производњу електричне и топлотне (расхладне) енергије и технолошке паре (Milovanović i Miličić 2012). Досадашња искуства показала су да цијена јединице произведене електричне енергије у њима може бити и до 30–50% нижа од цијене из централизованих енергетских система. Посебну погодност код енергетског коришћења технологија биомасе имају мала когенерациона постројења са гасно-турбинским агрегатом на метан, биогаз и др., затим слиједи парно-турбински агрегати на дрво, сламу и осталу чврсту биомасу, као и горивне ћелије за метан и метанол (Savić 2013).

Читав низ фактора може поспјешити коришћење биомасе као обновљивог извора: политичка подршка, одговарајуће законодавство, подстицајна

пореска политика, финансијска подршка, административна подршка, пројекти за подстицање научно-технолошког развоја и значајнија промоција обновљивих извора путем образовања и средстава јавног информисања. При томе, као најважнији и најпознатији инструменти подршке биомаси као енергенту у енергетском систему, издвајају се пореске олакшице и финансијска подршка (олакшице на улагање у обновљиве изворе енергије или подстицај по произведеном kWh, најчешће у облику тзв. загарантованих тарифа). Овај концепт тренутно се користи и у Републици Српској, гдје електропривреда има обавезу откупа електричне енергије из обновљивих извора, а који се налазе на њиховом подручју, и то по гарантованој цијени (Milovanović i sar. 2017a).

Инвестиције у нова постројења за производњу енергије из обновљивих извора важна су како због неизбежног континуираног раста потрошње енергије, тако и због ограничене примјене конвенционалних извора (фосилна традиционална горива). Све развијенија свијест становништва о потреби заштите животне средине и коришћење обновљивих извора енергије представљају додатни притисак јавности за повећање њиховог удјела у покривању будуће потрошње електричне енергије у Републици Српској (Milovanović i sar. 2017b).

За подстицање производње енергије из биомасе неопходне су додатне економско-финансијске мјере које, поред субвенција на капитална улагања или субвенционирање саме производње енергије из обновљивих извора, односно прописане откупне цијене „зелене“ енергије, укључују и додатне пореске олакшице (или друге мјере фискалне политике), загарантовано и јако енергетско тржиште (или неки други облик тржишне протекције), као и државне подстицаје финансирању истраживања и развоја овог сегмента привреде. Важан недостатак механизма загарантованих тарифа је да не стимулише смањење трошкова производње у обновљивом постројењу, што у коначници може довести електропривредна дистрибутивна предузећа која преузимају електричну енергију, а која су смјештена на подручју са великим удјелом обновљивих извора, у лошији положај обавеза откупа веће количине електричне енергије по загарантованој цијени од својих конкурената. Због тога регулаторне агенције најчешће дефинишу јединствени компензациони систем на читавом подручју повезаном у један електроенергетски систем (Milovanović i sar. 2017a).

На основу члана 28 став (1) и став (2) Закона о енергетици (Службени гласник Републике Српске, број 49/09), на основу члана 30 и члана 31 Закона о обновљивим изворима енергије и у ефикасној когенерацији (Службени гласник Републике Српске, број 39/13, 108/13, 79/15 и 26/19), члана 36 став (2) Закона о електричној енергији (Службени гласник Републике Српске,

број 8/08, 34/09, 92/09 и 1/11), члана 18 став 1 Статута Регулаторне комисије за енергетику Републике Српске – Пречишћени текст (Службени гласник Републике Српске, број 6/10) и члана 33 став 1 тачка в) Пословника о раду Регулаторне комисије за енергетику Републике Српске (Службени гласник Републике Српске, број 59/10), уз сагласност Владе Републике Српске, Регулаторна комисија за енергетику Републике Српске на 157. редовној сједници, одржаној 22. октобра 2020. године, у Требињу, утврдила је Нацрт одлуке о висини накнаде за подстицање производње електричне енергије из обновљивих извора у ефикасној когенерацији у складу са одредбама Правилника о подстицању производње електричне енергије из обновљивих извора и у ефикасној когенерацији и Одлуке о висини гарантованих откупних цијена и премија за електричну енергију произведену из обновљивих извора и у ефикасној когенерацији. Коначну сагласност на Нацрт ове одлуке даје Влада Републике Српске, како је то прописано одредбом члана 30 став 4 Закона о обновљивим изворима енергије и у ефикасној когенерацији.

Овом накнадом обезбјеђују се средства за исплату премија произвођачима електричне енергије који остварују право на обавезан откуп по гарантованој откупној цијени и право на премију, средства потребна за покривање дијела трошкова балансирања производних постројења која раде у систему подстицања, средства потребна за функционисање Оператора система подстицаја и средства за Фонд за заштиту животне средине и енергетске ефикасности. Јединична накнада на бази Нацрта ове одлуке утврђена је у висини од 0,0064 KM/kWh и не садржи порез на додату вриједност, а примјењује се почев од 1. јануара 2021. године. При томе, накнада за подстицање производње електричне енергије из обновљивих извора и у ефикасној когенерацији зарачунава се сваком крајњем купцу у Републици Српској у износу који је једнак производу јединичне накнаде и преузете активне електричне енергије и исказује се као посебна ставка на рачуну крајњег купца.

Регулаторна комисија утврђује потребни износ накнаде за обновљиве изворе и ефикасну когенерацију, а на основу утврђених гарантованих откупних цијена и премија, одобрених трошкова за рад Оператора система подстицаја, планираних трошкова балансирања, планиране производње из обновљивих извора и когенеративних постројења, референтних велепродајних цијена, остварене разлике између укупно обрачунатих накнада и исплаћених премија у претходној години, износа средстава (10% од прикупљене накнаде) за Фонд за заштиту животне средине и енергетску ефикасност (у даљем тексту: Фонд), те планиране потрошње крајњих купаца у Републици Српској.

Улазни параметри за утврђивање јединичне накнаде у висини од 0,0064 КМ/kWh су: средства у износу од 35.783.038 КМ потребна за исплату премија за подстицање планиране производње електричне енергије из обновљивих извора енергије у количини од 460.077.434 kWh, средства за рад Оператора система подстицаја у износу од 319.077 КМ, средства у износу од 1.156.539 КМ, планирана за покривање дијела трошкова балансирања производних постројења која раде у систему подстицаја, која се, у складу са чланом 31 став (1), тачка б) Закона, исплаћују из прикупљене накнаде, а која је Оператор система подстицаја исказао у захтјеву као планску величину, средства за Фонд од 2.407.191 КМ, планирана потрошња крајњих купаца у Републици Српској за 2021. годину од 3.748.787667 kWh, те процијењени преостали износ средстава из претходног периода од 15.593.938 КМ. Преостала средства обрачуната су као разлика између прихода, односно износа обрачунатог кроз фактурисане накнаде крајњим купцима у текућој години и износа осталих прихода и расхода односно преосталих средстава из претходне године и исплата на име премија произвођачима који су у систему подстицаја, исплата на име Оператора система подстицаја, исплата на име Фонда и исплата на име покривања трошкова балансирања.

Код обрачуна преосталих средстава из претходног периода, с обзиром на то да се у моменту обрачуна накнаде није располагало са подацима о остварењу за четири посљедња мјесеца 2020. године, било је неопходно извршити процјену средстава која ће бити обрачуната и утрошена до краја године. Процјена је извршена на основу планиране производње произвођача који су остварили право на подстицај или имају прелиминарно право на подстицај и планирају почети са радом до краја 2020. године, процијењене потрошње крајњих купаца, висине накнаде за 2020. годину, планираног износа потребног за функционисање Оператора система подстицаја и обрачунатих средстава за Фонд и процијењеног износа средстава за покривање дијела трошкова балансирања. Приликом обрачуна потребних средстава за 2021. годину, у складу са чланом 55 Правилника о подстицању, од укупно планираних потребних средстава за 2021. годину у износу од 37.258.654 КМ (премија+ОСП+трошак балансирања), одузет је процијењени износ обрачунатих, а неутрошених средстава из претходног периода у износу од 15.593.938 КМ. На овај начин је утврђен укупан износ од 21.664.716 КМ на који су додата средства за Фонд, планирана у складу са Законом, у износу од 2.407.191 КМ и на тај начин су добијена укупна средства која је потребно прикупити кроз накнаду у 2021. години у износу од 24.071.907 КМ.

Узимајући у обзир напријед наведене чињенице у погледу средстава потребних за функционисање система подстицаја у 2021. години и чињеницу да планирана нето потрошња крајњих купаца у Републици

Српској за 2021. годину (Нацрт биланса) износи 3.748.787.667 kWh, јединична накнада је утврђена у износу од 0,0064 KM/kWh и примјењује се почев од 1. јануара 2021. године.

Планирана годишња производња електричне енергије процијењена је у износу од 460.077.434 kWh и односи се на планирану производњу у производним постројењима која су остварила право на подстицај, као и на планирану производњу у производним постројењима која су остварила прелиминарно право и чији је почетак рада планиран у 2020. години, узимајући у обзир укупне преостале количине утврђене Акционим планом за соларне електране. Ова процјена је рађена на бази претпоставке да је, на основу расположивих информација, у овом моменту, нереално очекивати да се у 2021. години оствари сва планирана производња за све технологије из Акционог плана Републике Српске за коришћење обновљивих извора енергије.

Пораст броја произвођача електричне и топлотне енергије на бази биомасе као енергента може довести да се олакшице на произведени киловатсат додјељују само ограниченом броју инвеститора. У том случају, држава расписује јавни позив за изградњу нових постројења на бази обновљивих извора, а олакшице се додјељују улагачима који понуде најмању производну цијену. Такав систем је дуго био на снази у Великој Британији и Ирској, гдје су се јавни позиви расписивали сваке двије године. Систем се показао ефикасним у погледу смањења трошкова, али је и допринио порасту броја несигурности (ризика) са којима су се потенцијални инвеститори суочавали:

- неизвјесност око исхода јавног позива;
- поштовање рокова из понуде у којем пројекат мора бити реализован, што често није било довољно (проблеми у планирању, чести отпори локалних заједница изградњи нових постројења итд.);
- постојање одређених непознатих величина, посебно висине дијела средстава који ће бити инвестиран у неку од обновљивих технологија, при чему подстицаји у улагања у енергију вјетра у Републици Српској више нису у оптицају.

### **11.5. Утицај нових технологија на безбједност и квалитет производа, на здравље људи и на животну средину**

Захтјеви за континуираном обезбјеђењем потреба за енергијом у довољним количинама за индустријска постројења, саобраћај и животни стандард људи, развој нових технологија заснованих на фосилним горивима

(постројења за сагоријевање у флуидизованим слоју, комбиновани циклуси са гасификацијом, комбиновани циклуси са природним гасом као горивом, гориве ћелије, технологије са спољашњом топлотном енергијом – Стирлингова машина, термофотонапонска конверзија, термално-електрични конвертори са алкалним металима), затим повећање енергетске ефикасности (штедња и рационално коришћење енергије, смањење дистрибутивних и других губитака), као и повећање удјела производње корисних облика енергије из обновљивих извора, уз даље подстицање развоја когенеративних и тригенеративних система (Milovanović i sar. 2017a). У задње вријеме појавило се више утицаја чије је комбиновање довело до повећаног занимања за дистрибуирану производњу из обновљивих извора енергије (смањење емисије CO<sub>2</sub>, програми енергетске ефикасности или рационалног кориштења енергије, дерегулација тржишта електричном енергијом, диверсификација енергетских извора, захтјеви за самоодрживост националних енергетских система, подстицаји од стране влада кроз методологију за вредновање и одређивање цијена из обновљивих извора и сл.). Стварају се стратешки планови и програми за искоришћење обновљивих извора (вјетроелектране, мале хидроелектране, фотонапонски извори, земни гас, енергија из отпада, енергија валова и плиме и осеке, енергија из биомасе и сл.), као и правци отклањања главних недостатака класичних електрана (повећање степена искоришћења енергије садржане у примарном гориву са 33 на 45–50%, избор другачијег начина за сагоријевање, уз знатно снижење штетних полутаната садржаних у димним гасовима, а који се испуштају у ваздух, нпр. гасификација чврстих и текућих горива у синтетички гас) (Milovanović i sar. 2017a). Производња електричне енергије на конвенционалан начин одвија се у великим централизованим постројењима. Тако произведена електрична енергија допрема се до потрошача посредством електродистрибутивне мреже. Топлотна енергија настала у таквом процесу није у потпуности искористива па се дио топлоте одашиље у околину неискориштен. Обезбјеђивање потребне енергије за гријање и хлађење код удаљених потрошача истовремено се остварује потрошњом електричне енергије, фосилних горива или примјеном обновљивих извора енергије. У вези са претходним констатацијама одвијају се бројна и комплексна научна истраживања у освајању нових технолошких процеса и поступака како би се добила „чиста енергетика“. Тако, на примјер, у двије највеће енергетске земље свијета (САД, Русија) усвојени су дугорочни програми развоја енергетике који су повезани са заштитом животне средине, коју у значајној мјери угрожава енергетска производња. Државни научно-технички програм у Русији под називом "Еколошки чиста енергетика" обухвата четири области међу којима су „безбједна нуклеарна електрана“, „еколошки чиста термоелектрана“, „неконвенционална

енергетика“ и „гориво будућности“. Амерички дугорочни програм „Еколошки чиста технологија угља“ посматра развој ових технологија у четири области (Миловановић 2016):

- до уласка угља у ложиште котла, тј. у процесу његовог добијања при сепарацији и чишћењу од дијела минералних примјеса (пепео, сумпор и др.);
- у процесу сагоријевања угља у ложишту котла;
- последице сагоријевања угља у ложишту котла, тј. чишћење димних гасова у зони димних канала од котла до димњака;
- гасификација угља у оквиру енергетског постројења при чему се штетне примјесе из угља одвајају у процесу његове гасификације (пепео, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) – добијени гас користи се у гасно турбинским (ГТП) и гасно-парним турбинским (ГПТП) постројењима.

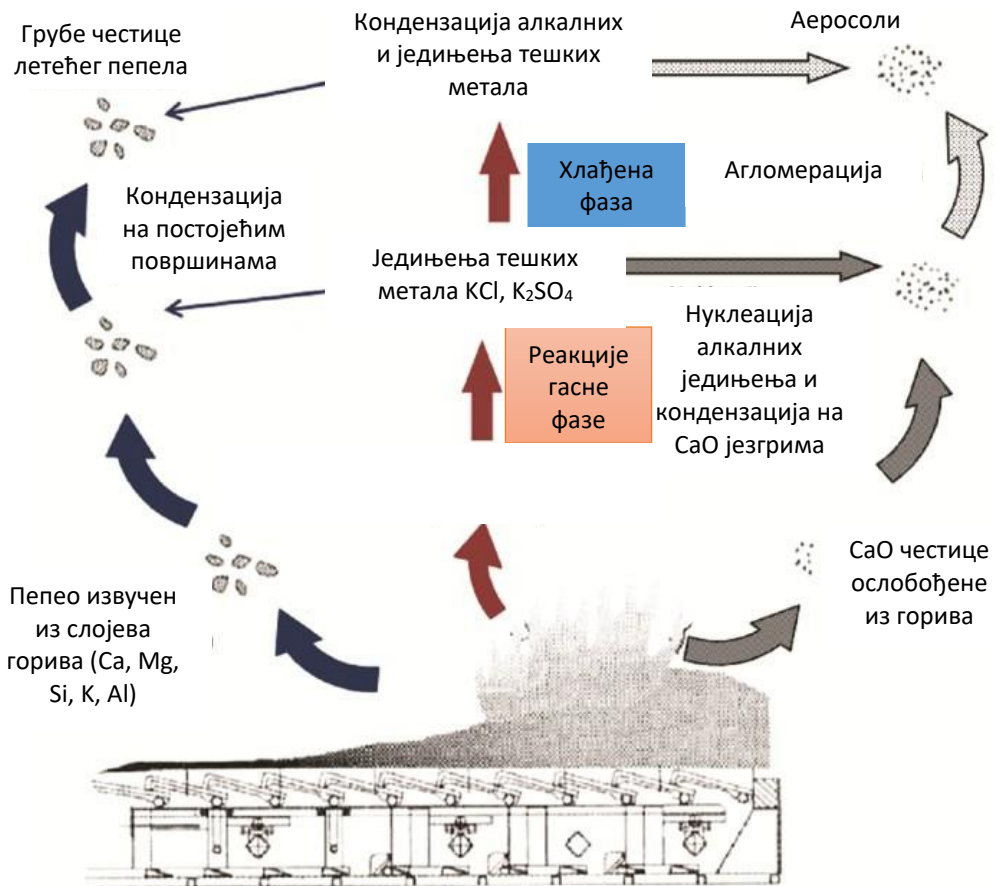
Ови развојни програми указују на правце развоја енергетике и у другим земљама свијета. Иако неконвенционални извори енергије имају релативно мали удио у укупном енергетском билансу, не треба занемарити њихов значај. Пред науком и стручном праксом стоји важан задатак да се повећа коришћење свих видова енергије и технологија којима се смањује загађење животне средине, као и обновљивих неконвенционалних извора енергије као дјелимичне алтернативе необновљивим изворима енергије.

До загађивања ваздуха емисијама различитих загађујућих материја долази у процесу сагоријевања различитих горивних енергената. Зависно од врсте горива, начина сагоријевања и начина пречишћавања гасовитих продуката сагоријевања, добијају се и различите вриједности емисија загађујућих материја (прашина и несагорјеле честице горива, стакленички гасови, азотни и сумпорни оксиди, тешки метали и др.). При сагоријевању биомасе у односу на друга горива највећи утицај на околину имају fine честице мање од 2,5 μm (PM 2.5), које садрже летећи пепео, чађ, соли и кондензоване тешке угљоводонике (Коррејан et al. 2012). Оне утичу и на формирање аеросола и доприносе повећању концентрације тешких метала у исталоженим аеросолима. Имају велики утицај на рад респираторних органа код људи, а често имају и канцерогени ефект. При сагоријевању дрвне биомасе, емисије загађујућих материја зависе од технологије сагоријевања, конструкције уређаја за сагоријевање и организације процеса сагоријевања у ложишту. Начин генерисања аеросола и летећег пепела при сагоријевању биомасе у слоју, приказан је на Сл. 11.33 (Коррејан et al. 2012).

У случају потпуног сагоријевања треба очекивати емисије: угљен-диоксида, сумпорних оксида, азотних оксида, азот субоксида, тешких метала, диоксида, фурана и честица. Код непотпуног сагоријевања настају још и



емисије: угљен-моноксида, волатилних органских једињења (*Volatile Organic Compounds, VOCs*), посебно опасних полицикличних ароматских угљоводоника (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs*) и чврстих и несагорјелих у потпуности честица (Babić i Milovanović 2017; Коррејан et al. 2012).



Сл. 11.33. Генерисање аеросола и летећег пепела при сагоријевању биомасе (Коррејан et al. 2012)

Fig. 11.33. Aerosol and fly ash generation during biomass combustion (Korpejan et al. 2012)

Да би се дошло до закључка да при сагоријевању дрвене биомасе највећи проблем представљају емисије угљен монооксида и финих честица, неопходно је анализирати све наведене емисије, као и начине њиховог

настанка и могуће посљедице по људе и животну средину. Угљен-моноксид се узима као репрезентант непотпуности сагоријевања и присуства осталих емисија загађивача који настају непотпуним сагоријевањем, а чије мјерење у реалним погонским условима је доста отежано. Полазећи од хипотезе о настанку емисија сагоријевањем биомасе усљед недовољно високе температуре сагоријевања у ложишту, локално ниске концентрације кисеоника на мјесту сагоријевања или краћег времена боравка горива у зони сагоријевања од потребног, неопходно је дефинисати и примарне (пројектовање и дизајн ложишта, припрема биомасе и параметри за потпуно сагоријевање, мјере контроле и надзора) и секундарне (пречишћавање димних гасова, мониторинг и упорављање отпадним материјама) мјере за смањење ових емисија. Примарне мјере обухватају активности чији је циљ да се избјегну наведени узроци непотпуног сагоријевања, а подразумеивају: смањење влажности горива сушењем, припрему горива одговарајуће гранулације, правилно организовање процеса сагоријевања, мјере контроле и надзора. Секундарне мјере се односе на одстрањивање честица из димних гасова прије димњака, које настају при потпуном и непотпуном сагоријевању. Ове мјере обухватају уградњу мултициклона за одстрањивање најгрубљих честица, а иза њих електростатичког и/или врећастиог филтера. Врећасти филтери су ефикаснији за одстрањивање мањих честица, мада се могу одстранити и електростатичким филтером, али уз енормно висока улагања. Ове мјере су финансијски оправдане код котлова великих и средњих снага, као и мјере за регулисање, контролу и надзор процеса сагоријевања које су исто тако битне за емисије загађујућих материја. Зато су котлови мањих снага и пећи за домаћинства посебан проблем, који се може донекле ублажити преласком на системе даљинског гријања, гдје год за то постоје реални услови.

У циљу бољег разумијевања овог проблема, Бабић и Миловановић (2017) наводе примјер Бање Луке, гдје је у почетном периоду рада ЕКО топлане Бања Лука извршена дјелимична супституција мазута дрвеном сјечком. За анализу узета је супституција око 4.500 тона мазута годишње, од око 22.000 тона колико је било потребно за просјечну сезону гријања. Изграђена су три тропромајна вреловодна котла укупне снаге 16 MW (1×4 MW и 2×6 MW). У ложиштима ових котлова сагоријевана је дрвена сјечка гранулације 50–80 мм у слоју на степенастој механичкој решетки са осцилаторним кретањем сваког другог реда решетница. Предвиђена је влажност дрвене сјечке 20–50%, а остварује се 35–50%. Ваздух потребан за сагоријевање доводи се као примарни зонски испод решетки и као секундарни у ложиште. Остварен је висок степен аутоматизације и надзора процеса сагоријевања, чиме су постављене претпоставке високог степена потпуности сагоријевања.

Одстрањивање честица је остварено уградњом мултициклона и електростатичког отпашивача (филтера).

Овом супституцијом постигнут је значајан финансијски ефект, који зависи од цијена енергената на тржишту. Како се и очекивало, емисије загађујућих материја овом супституцијом су вишеструко смањене и налазе се у дозвољеним границама за оваква постројења. Измјерене емисије CO су у границама 12,9–98 mg/Nm<sup>3</sup> (дозвољено 150 mg/Nm<sup>3</sup>), што је показатељ високог степена потпуности сагоријевања (Babić i Milovanović 2017).

У оквиру Таб. 11.8. дате су измјерене емисије угљен-моноксида, честица, сумпорних и азотних оксида. Посебно су интересантни подаци о измјереним честицама, који су износили за три различита котла на дрвену сјечку: 6,8, 9,6 и 12 mg/Nm<sup>3</sup> у односу на 20 mg/Nm<sup>3</sup> колико је дозвољено (Babić i Milovanović 2017).

Према очекивању, измјерена емисија сумпорних оксида је 1,3–2,3 mg/Nm<sup>3</sup> што је у односу на измјерену емисију на котлу снаге 58 MW ложеним мазутом од 1.670 mg/Nm<sup>3</sup>, занемарљиво. Слична ситуација је са азотним оксидима. Измјерене су емисије на три различита котла на дрвену сјечку од: 157, 167 и 176 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> као NO<sub>2</sub>, док је на котлу на мазут снаге 58 MW ложеном мазутом измјерено 450 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> (Babić i Milovanović 2017).

Таб. 11.8. Измјерене емисије загађујућих материја на котловима ЕКО топлане Бања Лука на котловима са ложењем дрвене сјечке, mg/Nm<sup>3</sup> (Babić i Milovanović 2017)

*Table 11.8. Measured emissions of pollutants on boilers of EKO heating plant Banja Luka on boilers with wood chip burning, mg/Nm<sup>3</sup> (Babić i Milovanović 2017)*

Врста емисије	Старчевица		Космос
	4 MW	6 MW	6 MW
CO	12,9	98	20,5
Честице	6,8	12	9,6
SO <sub>2</sub>	1,3	2,3	2,1
NO <sub>x</sub>	157,1	166,6	176,1

Развој технологија чистог угља представља одговор на захтјеве везане за заштиту животне средине, посебно према смањењу CO<sub>2</sub> емисија. Развој технологије „чистог угља“ са додатним сагоријевањем биомасе, коју чине различити производи биљног и животињског свијета (попут грања, пиљевине, остатака жетве или бербе плодова, животињски измет, комунални и индустријски отпад), требају бити неутралне са становишта производње CO<sub>2</sub>

(настала узимањем CO<sub>2</sub> из природе, иако се дио CO<sub>2</sub> производи током култивирања, бербе и транспорта биомасе или материјала из којег је настала, при чему се процес суспаљивања биомасе са угљем сматра прелазном фазом у процесу замјене фосилних горива и редукције CO<sub>2</sub>), при чему досадашња искуства показују да се може спаљивати до 10% биомасе са угљем без непожељних ефеката, а даља истраживања теже ка подизању удјела биомасе и до 50%, чиме би коришћење биомасе с технологијама издвајања и складиштења CO<sub>2</sub> могло осигурати чишћење атмосфере од CO<sub>2</sub>.

Технологије суспаљивања биомасе представљају директно суспаљивање у великим постројењима на угљ и тренутно представљају најефикасније коришћење биомасе за производњу електричне енергије. Ефикасност искориштавања биомасе износи 35–45%. Међутим, у већини случајева удио биомасе је ограничен на отприлике 5–10% (Milovanović i sar. 2017a). Главна компонента варијабилних трошкова у постројењима за производњу електричне енергије представља трошак горива (биомасе), чак и у случају индустријског отпада. Узимајући у обзир велику потрошњу биомасе у оваквим постројењима, утицај снабдијевања је прилично велик, што имплицира и велики утицај трошкова превоза на коначну цијену биомасе. За постројења која користе суспаљивање, трошак улагања своди се на трошак опреме која је намијењена припреми биомасе за убризгавање у котло, те на преправљање постојећих котлова и прикључних елемената. Остала опрема једнака је као и у традиционалним постројењима. Ова врста производње електричне енергије омогућава већу инсталисану снагу и до 30% већу ефикасност у односу на 23% у специфичним или индустријским погонима (Milovanović i sar. 2017a).

### **11.6. Анализа различитих утицаја, краткорочни и дугорочни правци развоја с циљем побољшање стања коришћења биомасе као енергента**

За простор бивше Југославије свакако је од посебног интереса коришћење сунчеве и геотермалне енергије, као и енергије вјетра и биомасе. Међутим, њихово коришћење споро се уводи у праксу. У основи, разлози су у доста високим специфичним улагањима у изградњу и нижа цијена енергије која се добија у класичним електранама. Треба рачунати да ће се релативне разлике у инвестиционим улагањима у наредном периоду још више смањити, а да ће се десити и додатна поскупљења изградње класичних и нуклеарних електрана ради додатних улагања у постројења за заштиту животне средине и повећања сигурности рада атомских реактора. Тако се у САД већ сада процјењује да цијена изградње ТЕ износи око 1.500 USD/kW,

при чему се око 30% од тога износа односи на постројења и уређаје за заштиту животне средине. При реалним прорачунима треба узети у обзир и капитална улагања у изградњу рудника угља. С друге стране, постоје и други разлози за недовољно коришћење нових и обновљивих извора енергије (Milovanović i sar. 2017a):

- не постоји довољна економска заинтересованост произвођача и потрошача за веће коришћење постројења и уређаја на бази наведених извора енергије;
- не постоји системска (законска) економска стимулација потрошача који би користили нове изворе енергије;
- врло мала или никаква финансијска подршка државних органа за научна и развојна истраживања у овој области;
- неприпремљеност машиноградње за производњу опреме и уређаја који би користили обновљиве изворе енергије;
- неорганизован рад у овој области (углавном појединци или понегдје мала предузећа и установе) и слаба опремљеност научно-истраживачких организација савременом научном опремом и рачунарском техником;
- слаба повезаност домаћих научних и стручних кадрова и одговарајућих предузећа са иностраним водећим установама у овој области ради кориштења њихових достигнућа и трансфера знања.

Анализом напријед побројаних фактора могу да се извуку закључци у ком правцу треба дјеловати да би се омогућио почетак и даљи развој у коришћењу нових и обновљивих извора енергије и у нашим условима. Посебно је важно размишљати о комбинованим (еластичним) системима у којима се истовремено користе два или више неконвенционалних извора енергије. Други важан развојни правац у енергетици је освајање технологија и енергетских постројења у којима се рационалније користе необновљиви примарни извори енергије. Поред већег степена корисног дејства, оваква постројења треба да омогуће знатно мање загађење околине. То би уједно и продужило вијек коришћења необновљивих фосилних горива, у ком периоду треба пронаћи алтернативну замјену са другим изворима енергије. Неки од тих технолошко-енергетских поступака су (Milovanović i Miličić 2012; Milovanović i sar. 2017a; Milovanović i sar. 2017a):

- освајање високоефикасних технологија у методама откопавања, као и у сепарационо-флотационим процесима за одвајање минералних примјеса у којима ће се постићи веће искоришћење гориве масе угља (смањење откопних губитака и ефикасније сагоријевање у ложиштима котлова);

- подземна гасификација угља уз добијање гасова као носиоца топлотне енергије;
- гасификација чврстих горива у гасним генераторима велике снаге;
- освајање гасно-парних енергетских постројења са гасним турбинама снаге 115–200 MW и почетном температуром гасова преко 1.100 °C, чиме се знатно повећава СКД постројења у односу на класична парно турбинска постројења;
- освајање нових конструкција парних котлова са циркулационим флуидизираним слојем и котлова са аеро-фонтанским преткоморама за сагоријевање угља у којима могу сагоријевати угљеви мањег квалитета уз регулацију CO<sub>2</sub> у пепелу (одсумпоравање у процесу ниско температурног сагоријевања угљева – око 850 °C);
- освајање магнетно-хидродинамичке (МХД-генератори) директне трансформације топлоте у електричну енергију, при чему се комбинацијом МХД-генератора и класичних котловско турбинских постројења постиже степен искориштења топлоте горива од 50–60%;
- спаљивање градског смећа и горивих индустријских отпадака у посебним енергетским парним котловима у блоку са топлификационим функцијама;
- развој техничких система за коришћење ниско-потенцијалних енергетских ресурса: отпадна топлота термоелектрана и нуклеарних електрана, индустријских предузећа, топлота вентилационих гасова и слично;
- увођење поступака термо брикетирања угља – због брзог загријавања угља и његове термичке деструкције, образују се али не издвајају високомолекуларни течни продукти који служе и као везивно средство брикета (повећава се СКД пећи за 15–30%).

Одрживи развој на принципима економског раста уз императив очувања животне средине и уважавања социјалног аспекта, суштина је енергетске и развојне политике земаља ЕУ. Растуће цијене енергије и зависност од увоза енергије угрожавају стабилност испоруке енергије, као и конкурентност Европе. Осим тога, негативни утицаји на околину и постепено исцрпљивање резерви фосилних горива, кључни су проблеми у енергетици ЕУ данас. Додатни проблем је императив смањења емисија, као и борба против климатских промјена. Због тога централни циљеви енергетске политике ЕУ су: стабилност снабдијевања (доноси смањење зависности од увоза енергената), конкурентност (омогућава економски раст) и одрживост (омогућава очување околине и социјалну прихватљивост.

Енергетски сектор у Републици Српској и БиХ у цјелини има значајан развојни потенцијал. Република Српска и БиХ тренутно у регији су ријетки примјери цјелина које имају позитиван електроенергетски биланс. Неадекватан институционални и правни оквир, политичка нестабилност, недефинисане процедуре ауторизације за изградњу и одабир инвеститора, уз познати проблем компликованих и дуготрајних процедура за добивање великог броја дозвола и сагласности, представљају препреку значајнијим улагањима у енергетски сектор у Републици Српској и БиХ у цјелини.

Треба истаћи и да БиХ значајно касни у испуњавању обавеза преузетих потписивањем међународних уговора и споразума. Уговор о енергетској заједници предвиђа креирање правног оквира за успостављање слободног енергетског тржишта, промоцију инвестиција у енергетски сектор, те помоћ енергетском сектору земаља у транзицији. Споразум о стабилизацији и придруживању (*Stabilisation and Association Agreement, SSA*) такође захтијева усвајање европских директива и стандарда везаних за енергетику. Развој МХ Електропривреда Републике Српске, са акцентом на будући производни портфолио компаније, треба бити трасиран узимајући у обзир наведене циљеве ЕУ и правно наслеђе (стечевину) ЕУ, те уважавајући полазно и будуће технолошко, економско, правно-регулаторно и друштвено политичко стање у Републици Српској, као и оквирне ставове везане за БиХ. При томе је посебно важно искористити властите енергетске ресурсе и потенцијале расположиве у Републици Српској као начин за развој привреде, за раст запошљавања и побољшања социјалних прилика (Milovanović i sar. 2017a).

Нове технологије за производњу енергије прати и проблем одређивања начина транспорта добијене енергије, њеног складиштења и саме њене дистрибуције до крајњег корисника (смањење дистрибутивних губитака). Коришћење суперводљивих преносника за транспорт енергије у будућности на температури блиској температури околине засновано је на проналаску материјала, који или немају отпор испод неке одређене температуре (нема губитака у преносу) или је та вриједност таква да се може занемарити. Исто је и са складиштењем енергије у суперпроводљивим магнетима. Други могући начин преноса енергије на велике удаљености представља коришћење енергије за производњу водоника (електролиза), који се даље може лако транспортовати, складиштити или директно користити у системима за производњу електричне енергије (Milovanović i sar. 2017a).

Сигурност и стабилност снабдијевања енергентима представља објективан захтјев за континуирано функционисање привреде у цјелини на глобалном и регионалним нивоима, при чему контрола над енергетским изворима

(односно изградња стратешких партнерстава) постаје у све већој мјери стратешки фактор при планирању и усвајању енергетских стратегија развоја. Током деведесетих година прошлог вијека, када је већина националних тржишта електричне енергије и природног гаса још увијек била монополизована, ЕУ започиње процес њиховог постепеног отварања тржишном натјецању (тзв. либерализација тржишта). Прве директиве о либерализацији (први енергетски пакет) донесене су 1996. године (електрична енергија) и 1998. године (гас), а у правне системе држава чланица требале су бити пренесене до 1998. године (електрична енергија) и 2000. године (гас). Други енергетски пакет усвојен је 2003. године, а директиве из тог пакета требале су у национално право држава чланица бити пренесене до 2004. године, док су поједине одредбе ступиле на снагу тек 2007. године. Основна карактеристика донесених правила је остварење слободног избора добављача гаса и електричне енергије међу већим бројем конкурената од стране индустријских и приватних потрошача. Априла 2009. године усвојен је трећи енергетски пакет, чији је циљ била даљња либерализација унутрашњег тржишта електричне енергије и гаса, а која у принципу представља измјену другог пакета и базу за спровођење унутрашњег енергетског тржишта. У фебруару 2015. године ЕУ комисија је објавила комуникацију о Пакету мјера за енергетску унију, насловљену као „Оквирна стратегија за отпорну енергетску унију са напредном климатском политиком”, гдје се експлицитно наводи да је циљ енергетске уније „пружити потрошачима у ЕУ (домаћинствима и предузећима) сигурну, одрживу, конкурентну и повољну енергију”. Ради остварења тих циљева, у пакету је описано пет уско повезаних и узајамно оснажујућих димензија: енергетска сигурност, солидарност и повјерење, потпуно интегрисано европско енергетско тржиште, енергетска ефикасност (која придноси смањењу потражње), „декарбонизација привреде“ (која би до 2050. године требала, према плану и директивама Европске уније, довести до смањења емисије стакленичких гасова у БиХ за 80% у односу на емисије из 1990. године), те истраживање, иновације и конкурентност (Milovanović 2016; Milovanović i sar. 2017a).

Као резултат овог процеса је низ законодавних приједлога о новом моделу енергетског тржишта ЕУ, представљених од стране ЕУ комисије крајем 2016. године. Циљ пакета „Чиста енергија за све Европљане” представља спровођење политике и зацртаних циљева ЕУ, а обухвата енергетску ефикасност, обновљиву енергију, модел тржишта електричне енергије, сигурност снабдијевања електричном енергијом и правила управљања за енергетску унију. Како би унутрашње тржиште ЕУ у потпуности заживјело у сектору енергетике, потребно је било уклонити бројне трговинске препреке,



ускладити порезне и цјеновне политике и мјере у погледу поштовања норми и стандарда, те оснажење еколошких и сигурносних прописа. Циљ је стварање тржишта које добро функционише, које гарантује свима поштен приступ тржишту и висок ниво заштите потрошача, уз пратећи задовољавајући ниво повезаности и капацитета за производњу енергије.

Иако је ЕУ вијеће поставило крајњи рок за потпуну успоставу унутрашњег енергетског тржишта до 2014. године, тај циљ није у потпуности испуњен, при чему је учињен одређени напредак и у погледу диверсификације добављача енергије и у погледу прекограничне трговине енергијом. Диверсификација (лат. *diversification* – мијењање, различитост, промјена, уношење промјена) енергената и извора укључује избор и снабдијевање (добаву) енергената, уз пратеће осигурање сигурности у снабдијевању потрошача, те осигурања адекватног просторног распореда извора с циљем осигурања стабилности снабдијевања сваког подручја. При томе, коришћење енергије значи стицање, претварање, пренос, дистрибуцију и коришћење свих облика енергије. Анализа параметара квалитета електричне енергије по важећем стандарду BAS EN 50160 (БиХ) представља основу за оптимизацију потрошње електричне енергије, која омогућава повећање поузданости снабдијевања, одржавање квалитета производње, те помаже одржавање стабилног електро-енергетског система (Milovanović i sar. 2017a).

## **11.9. Закључак**

Полазне анализе на основу претходних сагледавања упућују да је за МХ Електропривреда Републике Српске оптималан и реалан развојни сценариј са укљученим миксом обновљивих извора енергије (хидро, вјетар, сунце, биомаса, геотермална енергија и сл.) и замјенских и модернизованих електрана на домаћи угаљ. Такав микс подразумијева оптимизирани удјеле појединих ОИЕ и електрана на угаљ у функцији најнижих трошкова електроенергетског система, као и у функцији других циљева који се односе на еколошки аспект (раст обновљивих, раст ефикасности, смањење емисија) и сигурност снабдијевања и енергетску независност. Енергетска ефикасност постала је једна од кључних тема данашњице. Уштеда енергије, као посљедица ефикаснијег кориштење енергената, има значајан утицај на економско-финансијски аспект пословања компанија, али и живот потрошача. Повећање енергетске ефикасности доприноси смањењу емисије стакленичких гасова (превасходно CO<sub>2</sub>), па су ефикаснија производња и рационалнија потрошња енергије заправо кључне мјере у борби против

глобалног загријавања и климатских промјена. Повећање енергетске ефикасности треба сагледати и у контексту сигурности снабдијевања енергијом, као и очувања енергената за будуће генерације, односно у функцији одрживог развоја. ЕУ потенцира енергетску ефикасност као економски најефективнији начин да се смање емисије, побољша енергетска стабилност и конкурентност, доступност енергије за потрошаче, као и да се повећа запосленост. ЕУ планира да енергетску ефикасност угради у све релевантне политике, укључујући и провођење едукације и тренинга како би се промијениле навике спрам енергије.

Постројења са побољшаним кориштењем фосилних горива (електране са напредним технологијама у кориштењу угља са тежњом да имају нула емисије, електране са комбинованим гасно-парним циклусом, производња електричне енергије у горивним ћелијама), спадају у технологије за производњу електричне енергије, које ће, са аспекта одрживог развоја, бити прихватљиве у првој половини 21. вијека. Паралелно са њима, биће кориштене и побољшане нуклеарне технологије (нуклеарне електране са унапријеђеним лаководним реакторима, нуклеарне електране са високотемпературним реакторима, нуклеарне електране са брзим оплодним реакторима). Елемент који је заједнички у свим дугорочним стратегијама развоја енергетског сектора представља усмјеравање на производне системе и на потрошњу са високом ефикасношћу и ниским трошковима енергије и материјала.

Одрживост коришћења биомасе као енергента подразумијева да количина биомасе која се користи за добијање разних врста корисних облика енергије увијек буде мања или једнака прирасту количине биомасе, што захтијева континуитет са аспекта њеног дугорочног планирања у погледу пошумљавања и експлоатације шумске биомасе. Ако се посматрају пољопривредне културе, одрживост коришћења биомасе додатно треба да обезбиједи планско и редовно враћање дијела органске материје – биомасе (око 30 %) у земљу у виду заоравања, ради одржавања потребне равнотеже (баланса) и постизања веће плодности земљишта. Што се тиче шумске биомасе, та потреба подразумијева остављање извјесне количине материје (најчешће лишћа или иглица у зависности од типа шуме) у шумском тлу.

Када се посматра критеријум затвореног система у погледу стварања угљен-диоксида и чврстих материјалних продуката сагоријевања, од свих горива која су данас у употреби једино биогориво задовољава овај критеријум. Полазећи од улазних елемената неопходних за процес сагоријевања (биомасе као горива и ваздуха, односно кисеоника) и излазних елемената из тог процеса (добијене енергије, пепела и гасовитих продуката

сагоријевања са угљен-диоксидам), као и чињеница да живи биљни свијет процесом фотосинтезе везује угљен-диоксид и уз помоћ сунчеве енергије изграђује своју масу, док чврсти материјални остатак (у форми пепела), као ђубриво учествује у изградњи нове биљне масе, може се закључити да се на тај начин рециклирањем угљен-диоксида и чврстих продуката у природи не ремети постојећа равнотежа, па се за систем коришћења биомасе може рећи да је затворен. Наравно, при томе треба вредновати и стварање угљен-диоксида приликом убирања биомасе и њеног транспорта до потребне локације, што донекле ремети ову  $\text{CO}_2$  неутралност. У циклусу производње и експлоатације биомасе постоје и друге негативне карактеристике њене примјене, као што 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 високе инвестиције за постројења за прераду, припрему, сагоријевање биомасе, итд.

Превенција ерозије, смањење опасности од пожара, заштита животињског и биљног свијета и других компоненти њихових различитости, мања емисија штетних материја из постројења електричне енергије који користе биомасу као гориво, у поређењу са сличним технологијама које користе фосилна конвенционална горива, уз поменуту редукацију гасова који производе ефекат стаклене баште, као и отварање нових радних мјеста, те економске користи у руралним срединама – представљају додатне привредне аспекте који иду у прилог расту тренда њеног коришћења.

Полазећи од принципа слободног тржишта енергената и енергије у цјелини, принципи за подстицање употребе биомасе, као и осталих енергената који спадају у обновљиве изворе енергије, требају бити засновани на интернализацији екстерних трошкова конвенционалних постројења (опорезивање емисије угљен-диоксида, сумпорног диоксида и азотних оксида или опорезивање енергије, уз изузеће енергије добијене на бази обновљивих извора). У већем броју европских земаља је на снази опорезивање потрошње енергије или испуштања продуката сагоријевања, што је довело до смањења разлике између цијене електричне енергије произведене на конвенционалан начин и цијене електричне енергије добијене на бази обновљивих извора. Овом принципу не иду у прилог и искуства других земаља која говоре да, због очувања конкурентности производа који се пласирају на међународно тржиште, такви порези никад нису достигли потребан ниво који би обезбиједио знатнији тренд раста коришћења обновљивих извора. При томе, већина подстицајних мјера често додатно уноси одређене поремећаје на тржиште, па је због тога на отвореном тржишту електричне енергије потребан

првенствено механизам који је усклађен са функционисањем тржишта (нпр. систем зелених сертификата).

Реформа електроенергетског сектора БиХ кроз имплементацију стратешких пројеката, који имају за циљ обезбјеђење високог квалитета универзалне услуге испоруке енергије и снабдијевања и заштите крајњих купаца (потрошача), створиће предуслове за регионалну сарадњу на енергетском тржишту у складу са Уговором о Енергетској заједници Југоисточне Европе. Иако је тренутна предност Републике Српске суфицит електричне енергије, постепена и планирана либерализација тржишта енергије ће укинути привилегије монополског положаја, а увести оштру конкуренцију тржишног надметања која не трпи статичне и неприлагодљиве системе, о чему ће се морати водити рачуна у будућности.

Политика очувања климе претпоставља радикално смањење емисија CO<sub>2</sub> и осталих утицаја на околину. Због тога се, осим до сада кориштених ограничења која произлазе из „енергетско–технолошко-локацијских“ карактеристика постројења, уводи и доминантно ограничење – кумулативно право на емисије стакленичких гасова које има силазни карактер. Може се очекивати да ће до 2030. године права на емисију стакленичких гасова бити најмање преполовљена у односу на почетну 1990. годину, што ће утицати на структурне промјене у производњи и потрошњи енергије. Обавезе радикалног смањења емисија CO<sub>2</sub> и других стакленичких гасова захтијеваће повећање кориштења нефосилних горива, прије свега обновљивих извора као што су вода, вјетар, сунце, биомаса, те повећање енергетске ефикасности и примјену нових технологија. Енергетска ефикасност је посебно потенцирана као економски најефективнији начин да се смање емисије, побољша енергетска стабилност и конкурентност, обезбиједи доступност енергије за потрошаче и повећа запосленост.

## **Литература**

- Andelković M (2013) Energetika i životna sredina, Srpska akademija nauka i umetnosti, Naučni skupovi, Knjiga CXLIII, Odeljenje hemijskih i bioloških nauka, Knjiga 4, Beograd
- Assis EI, Chirwa EM, Tichapondwa SM (2021), Hydrothermal Carbonization of Different Recycling Paper Mill Waste Streams, Chemical Engineering Transactions (88):43-48
- Babić V, Milovanović Z (2017) Biomasa kao zamjena za fosilna goriva u sistemima daljinskog grijanja. Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, ENEF 2017, Banja Luka, 3-4. novembar 2017. godine, Zbornik radova, str 148–153

- Баћић Б (2013) Идејно рјешење пилот постројења са флуидизованим слојем за гасификацију биомасе, Мастер рад, Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет Бања Лука, стр 1–79
- Basso D., Castello D., Baratieri M., Fiori L., 2013. Hydrothermal carbonization of waste biomass: progress report and prospects. 21st European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, 1478-1487
- Basu P (2010) Biomass Gasification and Pyrolysis – Practical Design, Elsevier
- Bach QV (2015) Wet Torrefaction of Biomass-Production and Conversion of Hydrochar, Faculty of Engineering Science and Technology, Norwegian University of Science and Technology,
- De Wild P, Reith H (2011) Biomass pyrolysis for chemicals. *Biofuels* 2(2):185–208
- Brankov S (2016) Могућности коришћења енергије пироллизом пољопривредне биомасе. Докtorska теза, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, стр 1-173
- Branković D, Milovanović Z, Papić Lj (2021) Analysis of the technical system reliability assessment with the application of technical diagnosticst. In: *The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling*, KumarA, Mangey R (eds), Elsevier, Academic Press, pp 315-372
- Breault RW (2010) Gasification process old and new: Basic review of major technologies. *Energies* 3(2):216 –240
- Bridgwater AV (2012) Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy* 38:68–94
- Brownsort PA (2009) Biomass pyrolysis processes: Performance parameters and their influence on biochar system benefits. Master thesis, University of Edinburgh, United Kingdom, pp 1–93
- Vamvuka D (2010) Bio-oil, solid and gaseous biofuels from biomass pyrolysis processes – An overview. *International Journal of Energy Research* 35(10):835–862
- Vouk D, Nakić D, Štirmer N, Serdar M (2015) Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, str 30
- Vozhdayev G.V., 2014. Utilization of Aqueous Product Generated by Hydrothermal Carbonization of Waste Biomass. Doktorska disertacija, University of Minnesota, USA, 1-2
- Vukčević M (2013) Uticaj morfologije i površinskih grupa nanoporoznih ugljeničnih materijala na adsorpciju pesticida iz vode, Tehnološko-metalurški fakultet, Универзитет у Београду, Београд
- Goyal HB, Seal D, Saxena RC (2008) Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources a review, *Renew. Sustain. Energ. Rev.*, 12, pp 504-517
- De Jong W., Unal O., Andries J., Hein K.R.G., Spliethoff H., 2003. Thermochemical conversion of brown coal and biomass in a pressurised fluidised bed

- gasifier with hot gas filtration using ceramic channel filters: measurements and gasifier modeling. *Appl. Energ.*, 74, 425-437
- Đulbić M (1986) Biogas – dobijanje, korišćenje i građenje uređaja. Tehnička knjiga, Beograd, стр 1–174
- Jahirul MI, Rasul MG, Chowdhury AA, Ashwath N (2012) Biofuels production through biomass pyrolysis —A technological review. *Energies* 5:4952–5001
- Johnson RS (2012) Hydrothermal Processing of Biomass and Related Model Compounds, Energy Research Institute, The University of Leeds, Leeds, pp 21-25
- Kambo SH, Dutta A (2015), A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications, *Renew Sust Energ Rev*, (45): 359-378
- Kosanić T (2015) Uticaj procesnih parametara na pirolizu drвне biomase, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad
- Koppejan J, Sokhansanj S, Melin S, Madrali S (2012) Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32, pp 1-54
- Kruse A., Dinjus E., Troger N., 2011. Hydrothermal Carbonization-1. Influence of Lignin in Lignocelluloses. *Chem. Eng. Technol.*, 34, 2037-2043
- Kruse A., Funke A., Titirici M.M., 2013. Hydrothermal conversion of biomass to fuels and energetic materials. *Curr. Opin. Chem. Biol.*, 17, 515-521
- Labudović B, Grđan M, Hrešč I, Jelinić Lakušić B, Lovrak Ž, Uran V (2012) Osnove primjene biomase, Energetika marketing, Zagreb, стр 1-318
- Libra J, Ro K, Kamman C, Funke A, Berge ND, Neubauer Y, Titirici MM, Fuhner C, Bens O, Kern J, Emmerich KH (2011) Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis, *Biofuels*, 2, pp 89-124
- Liu Z., Quek A., Hoekman S.K., Balasubramanian R., 2013. Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization. *Fuel*, 103, 943-949.
- Livingston WR (2006) Biomass ash characteristics and behavior in combustion systems. Workshop on ash related issues in biomass combustion, IEA Task 32, Glasgow, United Kingdom, pp 1–169
- Malik P, Sangwan A (2012) Nanotechnology: A tool for improving efficiency of bio-energy. *Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences* 1:37–49
- Marinković S, Laušević Z, Polovina M (1999) Savremeni karbonski materijali, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd
- Mohan D, Pittman CU, Steele Jr PH (2006) Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels* 20(3):848–889
- Milovanović Z, Miličić D (2012) Parne turbine za kogeneracijsku proizvodnju energije, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, стр 1-99
- Миловановић З (2016) Студија економске оправданости са елементима заштите животне средине за изградњу и коришћење „Термоелектране Гацко II“ снаге 350 MW на подручју општине Гацко, Институт за грађевинарство Бања Лука, Пословни центар Требиње , стр 1–260

- Milovanović Z (2017) Neka razmišljanja o planiranju optimalnog korišćenja obnovljivih izvora energije sa socijalnog i aspekta održivog razvoja – objektivno vrednovanje i socijalni aspekt. Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, ENEF 2017, Banja Luka, 3-4. novembar 2017. godine, Zbornik radova, str 168–178
- Миловановић З, Папић Љ, Думоњић-Миловановић С, Милашиновић А, Кнежевић Д (2017а) Одрживо планирање енергије: технологије и енергетска ефикасност. Библиотека DQM монографије „Квалитет и поузданост у пракси“, Књига бр. 9, стр 1–782
- Milovanović Z, Dumonjić-Milovanović S, Milašinović A, Knežević D, Škundrić J (2017b) Razvoj tehnologija za proizvodnju korisnih oblika energije – čiste tehnologije i održivi razvoj. Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, ENEF 2017, Banja Luka, 3-4. novembar 2017. godine, Zbornik radova, str 122 –133
- Milovanović Z, Papić Lj, Dumonjić-Milovanović S (2018) Modeling the Assessment and Monitoring of Reliability of the Condensation Thermal Power Plants (Co-TPP). In: Modeling and Simulation Based Analysis in Reliability Engineering, Mangey R (ed), Teylor&Francis Group. Boca Raton: CRC Press, pp 1-46
- Milovanović ZN, Papić LjR, Janičić Milovanović VZ, Milovanović SZ, Dumonjić-Milovanović SR, Branković DLj (2020a) Planning Methods for Production Systems Development in the Energy Sector and Energy Efficiency. In: Advances in Reliability Analysis and its Applications, Mangey R, Pham H (eds), Springer, pp 31-93
- Milovanović ZN, Papić LjR, Janičić Milovanović VZ, Milovanović SZ, Dumonjić-Milovanović SR, Branković DLj (2020b) Methods for Prognosis and Optimization of Energy Plants Efficiency in Starting Step of Life Cycle. In: Advances in Reliability Analysis and its Applications, Mangey R, Pham H (eds), Springer, pp 95-148
- Milovanović Z, Branković D (2021) Održavanje industrijskih sistema. Istraživački centar DQM, Prijedor, Čačak, pp 1-434
- Milovanović Z, Milovanović S, Janičić Milovanović V, Dumonjić-Milovanović S, Branković D (2021a) Modeling of the Optimization Procedure for Selecting the Location of New Thermal Power Plants (TPP). International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences 6(1):118-165
- Milovanović Z, Milovanović S, Janičić Milovanović V, Dumonjić-Milovanović S, Branković D (2021b) Methods of modeling the maintenance of a steam turbine based on condition assessment. In: The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling, KumarA, Mangey R (eds), Elsevier, Academic Press, pp 135-177
- Milovanović Z, Papić Lj, Milovanović S, Janičić Milovanović V, Dumonjić-Milovanović S, Branković D (2021c) Qualitative analysis in the reliability assessment of the steam turbine plant. In: The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling, KumarA, Mangey R (eds), Elsevier, Academic Press, pp 179-313

- Milovanović Z, Papić Lj, Milovanović S, Janičić Milovanović V, Dumonjić-Milovanović S, Branković D (2021r) Methods of risk modeling in a thermal power plant. In: The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling, Kumar A, Mangey R (eds), Elsevier, Academic Press, pp 315-372
- Mumme J, Eckervogt L, Pielert J, Diakite M, Rupp F, Kern J (2011) Hydrothermal carbonization of anaerobically digested maize silage, *Bioresource Technology* 102:9255-9260
- Мујанић И (2014) Идејно рјешење пилот постројења са флуидизованим слојем за пиролизу биомасе. Мастер рад. Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет Бања Лука, стр 1–76
- Neves D, Thunman H, Matos A, Tarelho L, Barea AG (2011) Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. *Progress in Energy and Combustion Science* 37:611–630
- Panwar NL, Kothari R, Tyagi VV (2012) Thermo chemical conversion of biomass – Eco friendly energy routes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:1801–1816
- Petrović J, Perišić N, Dragišić Maksimović J, Maksimović V, Kragović M, Stojanović M, Laušević M, Mihajlović M (2016a) Hydrothermal conversion of grape pomace: Detailed characterization of obtained hydrochar and liquid phase. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 118:267-277
- Petrović J, Stojanović M, Milojković J, Petrović M, Šoštarić T, Laušević M, Mihajlović M (2016b) Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb<sub>2+</sub> from aqueous solution. *Journal of Environmental Management* 182:292-300
- Petrović M, Šoštarić T, Stojanović M, Milojković J, Mihajlović M, Stanojević M, Stanković S (2016v) Removal of Pb<sub>2+</sub> ions by raw corn silk (*Zea mays* L.) as a novel biosorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 58:407-416
- Петровић ТЈ (2017) Оптимизација процеса хидротермалне карбонизације комине грожђа и примена добијене хидрочађи, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Металуршки факултет, Београд, стр 1-234
- Petrović P, Petrović M (2018) Sekundarne sirovine iz poljoprivrede u proizvodnji biogoriva. *Zbornik Međunarodne konferencije o obnovljivim izvorima električne energije – MKOIEE* 3(1):63-73, <https://izdanja.smeits.rs/index.php/mkoiee/article/view/3350>
- Poerschmann J, Weiner B, Wedwitschka H, Baskyr I, Koehler R, Kopinke F-D (2014) Characterization of biocoals and dissolved organic matter phases obtained upon hydrothermal carbonization of brewer's spent grain, *Bioresource Technology* 164:162–169
- Preradović M, Papuga S (2021) Biogoriva treće generacije – procesi uzgajanja i dobijanja goriva iz mikroalgi, *Zaštita materijala* 62(4):249-261



- Pfeiffer A, Krause T, Horschig T, Авдибеговић М, Чустовић Х, Љуша М, Чомић Д, Мркобрада А, Mitschke T, Мутаџија Бећировић С, Поњаџић М, Карабеговић А, Brosowski A (2019) Извјештај о праћењу потенцијала биомасе у Босни и Херцеговини, Извјештај у оквиру Заједничког програма за биоенергију, GIZ, БМЗ, UNDP БиХ, Сарајево, стр 1-99
- Radlein D, Quignard A (2013) A short historical review of fast pyrolysis of biomass. *Oil and Gas Science and Technology* 68(4):765–783
- Román S, Nabais JMV, Laginhas C, Ledesma B, González JF (2012) Hydrothermal carbonization as an effective way of densifying the energy content of biomass, *Fuel Processing Technology* 103:78-83
- Савић Р (2013) Могућност примене пелета и брикета од биомасе за производњу топлотне енергије у системима даљинског грејања Београда. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Машински факултет Београд, стр 1–179
- Sevilla M, Fuertes AB (2009) The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon* 47:2281-2289
- Симић С (2007) Утицај решења система аерације на ефикасност процеса при биолошкој обради рафинеријских отпадних вода. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Машински факултет Београд, стр 1–179
- Spliethoff H (2010) Combustion Systems for Solid Fossil Fuels. In: *Power Generation from Solid Fuels. Power Systems*. Springer, Berlin, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02856-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02856-4_5)
- Stoppiello G (2010) Biomass Gasification - Process analysis and dimensioning aspects for downdraft units and gas cleaning lines. PhD thesis. University of Bologna, Italy, pp 1–167
- Tekin K, Karagöz S, Bektaş S (2014) A review of hydrothermal biomass processing, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40:pp 673-687
- Titirici MM, Thomas A, Antonietti M (2007) Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO<sub>2</sub> problem?. *New Journal of Chemistry* 31:787-789
- Titirici MM (2013) Sustainable Carbon Materials from Hydrothermal Processes. School of Engineering and Materials Science, London, pp 27-30
- UNDP BH (2013) Cost/Benefit analiza u sektoru biomase u BiH, sa posebnim fokusom na regiju Srebrenice. U sklopu projekta: Zapošljavanje i sigurno snabdijevanje energijom korištenjem biomase u BiH, Global Environment Facility (GEF), [https://www.ba.undp.org/content/bosnia\\_and\\_herzegovina/bs/home/library/energija-i-okolis/cost-benefit-analiza-u-sektoru-biomase-u-bosni-i-hercegovini-sa-posebnih-fokusom-na-regiju-srebrenice.html](https://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/library/energija-i-okolis/cost-benefit-analiza-u-sektoru-biomase-u-bosni-i-hercegovini-sa-posebnih-fokusom-na-regiju-srebrenice.html), str 1-24
- Funke A, Ziegler F (2010) Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels, Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 4:160-177

- Carrara S (2010) Small-scale biomass power generation. PhD thesis. University of Bergamo, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, pp 1–231
- Царић М, Солеша Д (2014) Биомаса као обновљив извор енергије и технологија за производњу биогаса. Приручник за петодневни курс, ДАИ, Агенција за консалтинг Лесковац, Србија, стр 1–121
- Child M (2014) Industrial-scale hydrothermal carbonization of waste sludge materials for fuel production. Master of Science Thesis, Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology, Finland, pp 1-113
- Yin C, Rosendahl L, Ker SK (2008) Grate-firing of biomass for heat and power production. *Progress in Energy and Combustion Science* 34 (6):725–754
- Šljivac D, Topić D (2018) *Obnovljivi izvori energije*, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, str 1-199

## **Methods of energy production from biomass**

Zdravko Milovanović, Valentina Janičić Milovanović

### **Summary**

Biomass, in addition to being used for heating purposes in households, is increasingly used for the production of electricity, as well as liquid fuels for motor vehicles. Similar to other renewable resources, the analysis of the possibility of using biomass (theoretical, technical and economic potential) should include a systematic analysis of available potentials and technologies, as well as economic parameters related to its price (biomass as raw material), the price of energy obtained from biomass (effectiveness of applied technology of transformation of primary into useful form of energy) and competitiveness in relation to other energy sources (static and dynamic economic-financial parameters). As there are different techniques and methodologies for estimating the potential of biomass, it is possible to significantly deviate from the obtained results in the estimated quantities, so it is necessary to further analyze the acceptability of the error in the assessment. The biggest obstacle in the use of biomass as an energy source for industrial purposes for energy production is the lack of a fuel cycle of a chaos system of processes, technologies and equipment that allow fuel from its natural state (primary form of fuel) to be prepared and brought into a usable state (usable forms of energy).

The process of formation and development of the fuel cycle for biomass is further complicated by the diversity of forms and properties of biomass, its wide distribution and low energy concentration, as well as its seasonal character. The potential of biomass in the territory of Republic of Srpska comes from various production activities (residues from field, fruit, vineyard, livestock and forestry production, as well as municipal waste). Farming and animal husbandry have a long tradition among farmers in the Republic of Srpska, as well as fruit, vineyard and forestry production. The structure and quantities of communal waste depend on housing density, economic and communal activities, cultural habits and social environment.

Biomass as an energy source is available in the form of waste from forestry and wood processing (waste wood from forestry, sawdust, bark, construction waste, wood packaging, plant residues from fruit production, plant residues from agricultural production - straw, corn, etc.), plantation of energy crops (energy

cereals, fast-growing energy tree plantations, sugar-rich plants, oilseeds, etc.), as well as organic waste.

The process of conversion of biomass into energy is most often observed from the thermal, i.e., thermo-chemical, biological or physic-chemical process. Within this chapter, an overview of the state and directions of development of technologies for the conversion of biomass as an energy source into a useful form of energy (primarily into electricity and heat) is given. Each method of energy production used, including methods that use biomass as fuel, has its advantages and disadvantages. Special emphasis was given to overcoming significant shortcomings in the use of biomass as an energy resource, as well as its impact on covering the total consumption of electricity and heat and technological steam in industrial plants, as well as consumption as biofuels in transport technology.

A special segment is given to the impact of biomass as an energy source on environmental protection, as well as on the conditions that need to be provided in order to achieve CO<sub>2</sub> neutrality. Also, the sustainability of each of the methods for the transformation of biomass into a useful form of energy was analyzed.

*Keywords:* Biomass, sustainable energy, technological processes, methods of energy production, directions of further development