

## Будући трендови одрживог коришћења биомасе

Војислав Тркуља, Ново Пржуљ, Јелена Левић, Милош Ножинић

**Сажетак:** *Савремени свијет се суочава са бројним изазовима, као што су повећање броја становника, потреба обезбјеђивања довољних количина хране, климатске промјене, све већа загађења животне средине, повећање цијена енергената, нови еколошки прописи, висока стопа исцрпљености нафте и других минералних сировина, растућа социо-еколошка питања, као и потреба за енергетском безбједности. Сви ови изазови довели су до значајног напретка у истраживању и развоју обновљивих извора енергије, при чему се очекује да ће у потрази за алтернативним изворима енергије у будућности модел производње обновљиве енергије из биомасе бити циљ који ће слиједити већина земаља које воде рачуна о заштити животне средине. Међутим, да би овај задатак био успјешно извршен, у наредном периоду потребно је превазићи неколико изазова, међу којима су најважнији економска одрживост производње и сакупљања биомасе и њене конверзије у различите облике биоенергије.*

*Биоенергија постаје централно питање одрживости јер смањује емисију гасова стаклене баште и загађење атмосфере, те повећава разноврсност и енергетску сигурност. У том контексту, допринос модерне и одрживе биоенергије у будућности мора бити значајно повећан у финалној потражњи за енергијом, као и у повећаном удјелу одрживих биогорива са ниским емисијама угљеника у транспортним горивима. Осим тога, емисије*

---

*Цитирање:* Тркуља В, Пржуљ Н, Левић Ј, Ножинић М (2023) Будући трендови одрживог коришћења 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:773–808

---

*Cite as:* Trkulja V, Pržulj N, Lević J, Nožinić M (2023) Future trends in the sustainable use of biomass. In: Trkulja V, Govedar Z, Pržulj N (eds) Resource management in biomass production and processing. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LII:773–808

*угљеника требало би постепено да се смањују на основу коришћења биогорива као замјене за фосилна горива. Такође, требало би да повећа глобална улагања у одрживу и нискоугљеничну биоенергију, укључујући напредне и флексибилне биорафинерије које су способне да производе енергију и производе засноване на биомаси и биоeкономији.*

*Међутим, експанзија биоeкономије, која је дефинисана као скуп активности у вези са иновацијама, развојем, производњом и употребом биомасе или процеса за производњу обновљиве енергије, материјала и хемијских производа, у будућности треба да се заснива на одрживим праксама које гарантују смањење емисије гасова стаклене баште и избјегавању негативних утицаја са еколошке, економске и социјалне тачке гледишта. Упркос све већем консензусу о важности и хитности убрзања развоја биоенергије и биогорива, улагања се још увијек не одвијају потребним интензитетом, а имплементација технологија наилази на бројне баријере, као што су велика почетна улагања, финансијски ризици, нестабилност цијена нафте и биогорива и регулаторне неизвјесности.*

*У овом поглављу дати су прегледни подаци о будућим трендовима при коришћењу биомасе за добијање разних видова биоенергије. Посебно је дат акценат на најзначајније изазове при преради и коришћењу биомасе у будућности. Приказани су подаци о побољшању технологија при коришћењу и преради биомасе у будућности, укључујући сагоријевање, заједничко сагоријевање, гасификацију, пиролизу и комбиновану топлотну и електричну енергију. Дат је и преглед неких од најзначајнијих биогорива будућности, као што су: биоводоник, биобутанол, биоуље и биодиметил етар.*

*Кључне ријечи: Биомаса, биоенергија, будући изазови и трендови коришћења, биогорива будућности*

## **15.1. Увод**

Глобални друштвени и економски развој углавном је вођен енергијом. Тренутно, више од 80% потражње за енергијом у цијелом свијету задовољава нафта и друга фосилна горива. Очекује се да ће глобална потражња за енергијом порастати за 37% до 2040. године (Joshi et al. 2017), због чега су данас у току многа истраживања с циљем покушаја превазилажења ограничених ресурса традиционалних фосилних горива, како би се у будућности могла задовољити све већа потражња за енергијом и изнаћи неке алтернативе за његову производњу из обновљивих ресурса. Постоји низ метода и техника помоћу којих се енергија може производити из обновљивих извора, при чему биоенергија која се производи из различитих обновљивих ресурса биомасе у

будућности може бити један од потенцијалних извора за задовољавање глобалне потражње за енергијом (Joshi et al. 2017; Tomes et al. 2011).

Биомаса је обновљив ресурс јер се њена производња сваке године обнавља на одржив начин. Главне карактеристике биомасе су: а) присутна је у огромним количинама, које се процјењују на око 1.800 милијарди тона угљеника (C), у виду залиха на Земљи и 170 милијарди тона C, у виду годишњег циклуса кружења C у природи; в) формира затворени циклус угљеника и стога је CO<sub>2</sub> неутрална; г) разликује се по врстама, својствима и начинима коришћења; д) равномјерније је распоређена на Земљи него сви други природни енергетски ресурси (Kitani and Peart 1999).

У свијету постоји блиска веза између економског раста и енергије (Aslan 2016; Sarkodie and Strezov 2019). Овај однос настаје зато што се, на основу енергетске политике сваке земље појединачно, доступност енергије представља као ограничавајући фактор за њен економски раст и развој. Зато постоји потреба да се истраже алтернативни извори и стратегије, како би се енергетска политика било које земље учинила флексибилнијом. При томе, као императив се поставља задатак да ти алтернативни извори енергије морају бити одрживи. Због свега тога, с обзиром на неизвјесност и сложеност глобализованог свијета, енергетска политика и енергетски извори једне земље су стратешко питање и питање националног суверенитета за све земље свијета, укључујући и нашу (Andrade et al. 2020).

Позитивна страна коришћења биомасе је утицај на развој различитих области истраживања, нових технологија или побољшање постојећих технологија. И обрнуто, развој науке и технолошких иновација промовишу обновљиве изворе енергије са већим ефектима на економију, екологију, рурални и друштвени развој (Haggerty 2011). Технолошке иновације за повећање продуктивности и смањење трошкова су главни изазови за даље ширење удјела обновљивих извора енергије (Tursi 2019). У будућности је неопходно више истраживања, као и развој напреднијих технологија за превазилажење недостатка биомасе (Patil et al. 2015). При томе напоре треба усмјерити ка развоју корисних и економичних технологија у различитим аспектима производње и одрживог коришћења биомасе како би оне привукле више економских улагања на терену. Неопходно је, такође, стварање даље свијести о предностима експлоатације биомасе за производњу обновљиве енергије (Tursi 2019).

## **15.2. Будућност биоенергије**

Све већа свијест и забринутост свјетске популације о климатским промјенама, новим еколошким прописима, растућим социо-еколошким питањима,

повећању цијена горива и других енергената, високој стопи исцрпљености нафте и минералних сировина, као и потреби за енергетском сигурности, промовисали су интензивну употребу различитих ресурса биомасе, а посебно отпада. Истовремено, креатори политика предлажу и доносе законе и обезбјеђују одређене субвенције како би подстакли конверзију биомасе у течна биогорива, као и у електричну или топлотну енергију (Rosillo-Calle et al. 2007; Jawaid et al. 2017; Vraastort 2019). Ради остваривања тог циља, владе појединих земаља (САД, Бразил, Индија, Јапан, Кина, ЕУ и др.) подстичу производњу и потрошњу енергије из обновљивих извора уз често законско одређивање обавезног нивоа употребе обновљиве енергије и биогорива, као што је то нпр. ЕУ одредила Директивом о енергији из обновљивих извора из 2009. године (Directive 2009/28/EC) којом је предвиђено да 20% производње енергије из обновљивих извора, као и најмање 10% горива у сектору транспорта долази из обновљивих извора до 2020. године (Azevedo et al. 2019).

Познато је да је тешко предвидјети дугорочну потражњу за енергијом. Међутим, чини се јасним да ће та потражња и у будућности наставити да расте. Због тога се поставља питање како се у наредном периоду тај захтјев може успјешно задовољити и који ће при том бити најважнији ресурси? Тачније, каква ће при том бити будућа улога биоенергије? Да ли обновљиве врсте енергије, а посебно енергија биомасе, коначно достижу пуни замах? При томе је важно препознати да ће развој производње енергије из биомасе у великој мјери зависити од развоја индустрије обновљивих извора енергије у цјелини, јер и он зависи од сличних енергетских, еколошких, политичких, друштвених и технолошких фактора (Rosillo-Calle 2007).

У области енергетике, Европска унија је у циљу постизања одрживог развоја у будућности јасно окренута ка смањењу емисија CO<sub>2</sub>, као и смањењу зависности од тржишта фосилних горива. Додатни импулс остваривању ових циљева у пракси постигнут је усвајањем Директиве о енергији из обновљивих извора (RED I) из 2009. године (Directive 2009/28/EC), којом су договорени национални циљеве за обновљиву енергију који би довели до 20% производње енергије из обновљивих извора у ЕУ до 2020. године. Отада су многе државе чланице доживјеле брзи раст производње енергије из обновљивих извора, често чак и изнад преузетих циљева, што показује широки консензус у Европској унији о овој теми. Као дио „Пакета чисте енергије за све Европљане“, Европска комисија је 2016. године предложила ажурирање Директиве о обновљивој енергији за период од 2021. до 2030. године (названа RED II). Недвосмислена подршка производњи и коришћењу обновљивих извора енергије у ЕУ додатно је потврђена у децембру 2018. године, када је Европски парламент усвојио ревидирану Директиву о енергији из обновљивих извора – RED II (Directive (EU) 2018/2001) и поставио

обавезујући циљ ЕУ од 32% за удио енергије из обновљивих извора у финалној потрошњи енергије, као и смањење емисије гасова стаклене баште за најмање 40% до 2030. године (Giuntoli 2018). Ова посљедња тачка сматра се приоритетом за будућност, јер је смањење емисија гасова стаклене баште за 10 претходних година било само 3,8%, у поређењу са свим осталим секторима који су показали пад од 18% или више (EUROSTAT 2018). Осим тога, RED II дефинише критеријуме одрживости за течна биогорива која се користе у саобраћају, као и за чврста и гасовита горива од биомасе за производњу електричне енергије, гријања и хлађења, при чему је постављен циљ за годишњи пораст од 1,3% удјела обновљивих извора енергије у гријању и хлађењу, повећање на 14% биогорива која се користе у саобраћају до 2030. године, са само 7% биогорива произведених од биљака које се могу користити као храна до 2021. године и 3,8% до 2030. године (Stattman et al. 2018). Директива је ступила на снагу као дио пакета „Чиста енергија за све Европљане” првенствено усмјереног на очување статуса Европске уније као глобалног предводника у домену обновљивих извора енергије. У ширем смислу, овај пакет тежи подстицању држава чланица ЕУ да испуне своје обавезе у погледу смањења емисија штетних гасова у оквиру Париског споразума (Paris Agreement) из 2015. године. У циљу одржавања енергетске стабилности и приближавања ЕУ, Босна и Херцеговина, као и Република Српска, такође су усвојили низ закона и прописа о коришћењу обновљивих извора енергије.

Из свега наведеног се види да је камен темељац у европским енергетским политикама и стратегијама биомаса и биоенергија. Међутим, сматра се да ће коришћење биомасе за производњу биоенергије у будућности зависити од бројних фактора, укључујући развијеност земље, њену енергетску политику, локалну иницијативу, цијене биомасе, успостављене инфраструктуре за сакупљање биомасе у пољопривреди и шумарству, технолошке методе за конверзију биомасе и, коначно, будуће изазове конкурентности употребе биомасе (Ericsson and Werner 2016; Beuchelt and Nassl 2019).

Да би биоенергија имала дугорочну будућност, она се мора производити и користити на одржив начин, како би се демонстрирале њене еколошке и друштвене користи у поређењу са фосилним горивима. Развој модерних енергетских система биомасе још увијек је у релативно раној фази, при чему се већина истраживања и развоја фокусира на развој путева снабдијевања и конверзије биомасе који минимизирају утицаје на животну средину. Иако се технологије развијају прилично брзо, истраживање и развој посвећен биоенергији још увијек је занемарив у поређењу са фосилним горивима и у будућности га је потребно значајно повећати. Осим тога, развој производње енергије из биомасе треба ближе интегрисати са другим технологијама

обновљивих извора енергије, као и са изградњом локалних капацитета, финансирањем и сл. (Rosillo-Calle 2007; Beuchelt and Nassl 2019).

Тек посљедњих година, комбинација технолошких, еколошких и социоекономских промјена намеће потрагу за новим алтернативама које би могле да замијене доминацију мотора са унутрашњим сагоријевањем. Међутим, још увијек је нејасно која(е) алтернатива(е) ће превладати, с обзиром на садашњу фазу развоја и опсег разматраних алтернатива из којих до сада нису изашли јасни побједници. Краткорочно, главни изазов ће бити проналажење здравих алтернатива фосилним горивима која се могу користити у моторима са унутрашњим сагоријевањем, као што су етанол или биодизел, који су тренутно у комерцијалној употреби, док се појављују друга, нова биогорива, попут биоводоника, биобутанола, биоуља и биодиметил етера. Дугорочно гледано, изазов ће бити проналажење значајних алтернатива фосилним горивима које се могу користити и у постојећим моторима са унутрашњим сагоријевањем, као и у новим погонским системима (Rosillo-Calle 2007; Baloch et al. 2018; Mondal and Yadav 2019; Pugazhendhi et al. 2019; Yang et al. 2019).

Постоје велике варијације између многих покушаја да се квантификује потенцијал биомасе за производњу биоенергије. Ово настаје због сложене природе производње и коришћења биомасе, укључујући факторе као што су потешкоће у процјени доступности ресурса овог обновљивог енергента, као и дугорочно одржива продуктивност и економичност производње и коришћења биомасе, с обзиром на широк спектар технологија њене конверзије, те бројна друга економска, друштвена, културолошка и еколошка питања. Процјена будућег потенцијала употребе енергије произведене из биомасе такође је сложена због низа различитих крајњих употреба енергије биомасе, као и различитих ланаца снабдијевања и конкурентних употреба ресурса биомасе. Такође постоји значајна неизвјесност око процјена потенцијалне улоге намјенског узгоја брзорастућих енергетских биљака, пошто традиционални извори биомасе који би их могли замијенити, као што су остаци из пољопривреде, шумарства и других извора, имају много нижу и разнолику енергетску вриједност. Осим тога, доступност обновљивих извора енергије, укључујући и биомасу, веома варира у зависности од нивоа друштвено-економског развоја. Сви ови фактори отежавају процјену и екстраполацију биоенергетског потенцијала, посебно на глобалном нивоу (Rosillo-Calle 2007; Ziolkowska 2020).

Сви главни енергетски сценарији препознају биоенергију као главни извор енергије у будућности, као што је приказано у Таб. 15.1. Из напријед наведених разлога, постоје веома велике разлике у овим процјенама, тако да ове бројке треба посматрати само као грубе процјене (Solantausta et al. 2002; Rosillo-Calle 2007).

Таб. 15.1. Сценарији доприноса биомасе производњи глобалне енергије у будућности (ЕЈ) (loc. cit. Rosillo-Calle 2007)

Table 15.1. Scenarios for the contribution of biomass to global energy production in the future (EJ) (loc. cit. Rosillo-Calle 2007)

| Сценарио                  | Снабдијевање примарном енергијом биомасе |         |         |
|---------------------------|--|---------|---------|
|                           | 2025                                     | 2050    | 2100    |
| Lashof and Tirpack (1991) | 130                                      | 215     |         |
| Greenpeace (1993)         | 114                                      | 181     |         |
| Johansson et al (1993)    | 145                                      | 206     |         |
| WEC (1994)                | 59                                       | 94–157  | 132–215 |
| Shell (1996)              | 85                                       | 200–220 |         |
| IPCC (1996) – SAR         | 72                                       | 280     | 320     |
| IEA (1998)                | 60                                       |         |         |
| IIASA/WEC (1998)          | 59–82                                    | 97–153  | 245–316 |
| IPCC (2001) – TAR         | 2–90                                     | 52–193  | 67–376  |

Напомена: Тренутно се енергија биомасе користи око 55 ЕЈ/години.

Процјене су да ће се сакупљање и прерада свих врста остатака као важног извора биомасе и даље налазити у фокусу производње биоенергије јер су остаци велики и још увијек недовољно искоришћен потенцијални енергетски ресурс, који је скоро увијек потцијењен и који представља велику могућност за боље коришћење биомасе (Woods and Hall 1994). Међутим, то ће захтијевати даљи развој технологија сакупљања, раздвајања и прераде различитих врста остатака, као и већи фокус на технолошку интеграцију како би се одговорило великом изазову за декарбонизованим снабдијевањем енергијом (Bentsen and Felbs 2012).

Таб. 15.2. Енергетски потенцијал из остатака (ЕЈ) (Rosillo-Calle 2007)

Table 15.2. Energy potential from residues (EJ) (Rosillo-Calle 2007)

|                       | Остаци из пољопривреде | Остаци из шумарства | Екскременти од животиња | Укупно |
|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|--------|
| Свијет                | 24                     | 36                  | 10                      | 70     |
| Земље OECD, од којих: | 7                      | 14                  | 2                       | 24     |
| Сјеверна Америка      | 4                      | 9                   | 0,7                     | 14     |
| Европа                | 3                      | 5                   | 1                       | 9      |
| Азија –               | 0,8                    | 0,8                 | 0,4                     | 2      |
| Пацифик/Океанија      |                        |                     |                         |        |

Из Таб. 15.2 се види да се потенцијално доступна енергија из биљних, шумских и животињских остатака на глобалном нивоу процјењује на око 70

ЕЈ. Процјене дате у Таб. 15.2. засноване су на енергетском садржају остатака на основу коефицијената производње остатака примијењених на FAOSTAT податке о примарној производњи биљака и животиња, док су остаци из шумарства израчунати на основу FAOSTAT података о производњи дрвета, огрјева и дрвеног угља, користећи стандардне производне коефицијенте за остатке (Woods and Hall 1994).

Будућу улогу енергетских брзорастућих шумских плантажа тешко је предвидјети, јер ће она зависити од многих међусобно повезаних фактора, укључујући доступност земљишта, трошкове и постојање других алтернатива (Rosillo-Calle 2007). Све у свему, према Rosillo-Calle and Moreira (2006) изгледа да је мало вјероватно да ће се предвиђања о великим брзорастућим енергетским плантажама остварити, упркос потенцијалној доступности земљишта, из сљедећих разлога:

- деградирано земљиште је мање атрактивно од земљишта доброг квалитета због виших трошкова и ниже продуктивности, иако је препознат значај довођења деградираног земљишта у продуктивну употребу;
- капитална и финансијска ограничења, посебно у земљама у развоју;
- културолошке навике, лоше управљање, потенцијална конкуренција за земљиште са биљкама за производњу хране, итд.;
- потреба за повећањем продуктивности далеко изнад онога што би могло бити реално могуће, иако су могућа значајна повећања;
- све већи проблеми дезертификације и утицаји климатских промјена на пољопривреду који су тренутно превише непредвидиви;
- појава других одрживих енергетских алтернатива (нпр. енергија вјетра, соларна енергија, енергија плиме и осеке, итд.);
- ограничења воде.

Из свега наведеног се види да основни проблем није доступност ресурса биомасе, већ одрживо управљање и конкурентна и приступачна испорука савремених енергетских услуга. То подразумијева да се сви аспекти производње и коришћења биоенергије морају модернизовати и, што је најважније, заснивати на одрживој и дугорочној основи (Rosillo-Calle 2007; Runge and Senauer 2007). Поузданост, друштвени статус и удобност такође играју важну улогу у избору енергије. Оно што је важно, међутим, јесте да се биоенергија може све више повезивати са модернизацијом и еколошком одрживошћу (Sims 2002; Ziolkowska 2020).

Горива од биомасе такође ће имати све важнију улогу у добробити глобалне животне средине. Коришћењем савремених технологија за конверзију енергије, могуће је замијенити фосилна горива еквивалентним биогоривима.



Када се биомаса узгаја на одржив начин за добијање енергије, нема нето акумулације CO<sub>2</sub>, под претпоставком да је узгојена количина једнака оној која се сагоријева, пошто се CO<sub>2</sub> који се ослобађа при сагоријевању компензује оним који апсорбује растући енергетски усјев. Одржива производња биомасе је стога важан практични приступ заштити животне средине и дугорочним питањима, као што су пошумљавање, поновна успостава вегетације на деградираним земљиштима и ублажавање глобалног загријавања. Осим тога, биоенергија може играти значајну улогу и као модеран извор енергије и у смањењу загађења (Rosillo-Calle 2007; Bonatto et al. 2020).

Заиста, комбинација еколошких разматрања, друштвених фактора, потребе за проналажењем нових алтернативних извора енергије, политичких потреба и технологија које се брзо развијају, отварају нове могућности за задовољавање енергетских потреба из биоенергије у свијету који све више води рачуна о животној средини. Ово се огледа у тренутном свјетском интересовању за обновљиве изворе енергије уопште и биоенергију посебно. Забринутост за климатске промјене и животну средину игра значајну улогу у промовисању биоенергије, иако још увијек постоји велика неизвјесност у погледу тога који ће бити крајњи ефекти (Rosillo-Calle 2007; Ziolkowska 2020).

Тешко је предвидјети колико ће дуго трајати прелазак са традиционалних на модерне и ефикасне примјене биоенергије, или тачне технологије које ће се користити, с обзиром на многе варијабилне и сложене факторе који су укључени, од којих многи нису директно повезани са енергијом. Јасно је, међутим, да је пред нама дуг пут и да ће ова промјена бити неуједначена (географски, технички, друштвено, итд.) због разлика у степену развоја и јачине бриге о одрживости животне средине. Ово је посебно случај међу земљама у развоју, које се толико разликују у нивоу друштвено-економског и технолошког развоја, а да не спомињемо богатство природних ресурса. Штавише, многи облици биоенергије (чврста, течна, гасовита), разноврсност укључених сектора и много различитих примјена, обезбиједиће да трансфер на модерне технологије биоенергије буде неуједначен и сложен (Rosillo-Calle 2007; Cainenga et al. 2016).

Охрабрујући тренд је раст међународне трговине биоенергијом, која се донедавно одвијала углавном на локалном нивоу. Биотрговина би могла донијети многе користи, јер ће повећати конкуренцију и донијети нове могућности руралним заједницама које имају значајне природне ресурсе и које су довољно близу добрим саобраћајним мрежама. Развој индустрије биоенергије ући ће у свој процват, а годишњи врхунац производње ће бити око 2060. године, што ће играти кључну улогу у будућем енергетски

одрживом развоју. Развој и коришћење нових енергетских извора улазе у златно доба (Cainenga et al. 2016).

## **15.2. Изазови при одрживом коришћењу биомасе у будућности**

Климатске промјене су једна од највећих пријетњи са којом се данас суочава наше окружење, а процјене су да ће у будућности оне то бити још и више (Trkulja et al. 2004; Trkulja i sar. 2010, 2012; Ikanović et al. 2017a). Стога, неопходно је да се интензивно ради на драстичном смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште, како би се ограничио обим климатских промјена (Onochie et al. 2015).

Данас изгледа да је коришћење биомасе за производњу биоенергије привилегија богатих, јер је њена употреба најразвијенија у тим земљама. Међутим, и многе земље у развоју настоје да замијене фосилна горива биоенергијом.

У будућности ће коришћење земљишта и промјена намјене његове употребе бити један од кључних изазова при одрживој производњи биоенергије из биомасе, јер је расположивост земљишта крајњи ограничавајући фактор за будући раст производње енергије из биомасе (Bentsen and Felbs 2012).

Директна и индиректна промјена намјене коришћења земљишта, у вези са ширењем производње енергије из биомасе и успоставом плантажа брзорастућих енергетских биљака, сложено је питање са потенцијално великим и бројним утицајима (Rosillo-Calle 2016). Због тога би, према истом аутору, свеобухватна анализа ове проблематике требала узети у обзир, не само сложеност производње биоенергије из биомасе и коришћење земљишта, већ и: а) дугорочни општи интерес; б) потенцијал за повећање продуктивности; в) позитивне и негативне утицаје на климатске промјене; г) сигурност и доступност хране; д) неједнакост прихода и социјалну правду, и њ) комплементарност сигурности хране и производње енергије из биомасе.

Такође, за израду глобалних пројекција будућих потенцијала и могућности ширења производње енергије из биомасе према Black and Richter (2010) неопходно је комплетирање и анализа бројних података, од којих су кључни:

- попис коришћења земљишта и земљишних ресурса;
- агроеколошко зонарање у смислу продуктивности на регионалном и субрегионалном нивоу;
- инвентар биоресурса (понуда и потреба за храном, храном за животиње и влакнима);

- моделирање биланса воде и енергије;
- инвентар подручја за заштиту биодиверзитета;
- прорачун биоенергетског потенцијала земље;
- интеграција и анализа вишенамјенских производних система биомасе;
- анализа ланца снабдијевања биомасом према диверзификацији сировине, потражњи и инфраструктури;
- процјена ефикасности, економска анализа и пословни план за биомасу на регионалном нивоу.

Даља истраживања будућих потенцијала биомасе треба да утврде колико би заиста биомасе остало за производњу биоенергије када би се прво обезбиједила сигурност и довољна доступност хране и пристојан минимални стандард глобалног благостања људи. Даље, колико биомасе би било на располагању уколико би се додатно укључила већа перспектива одрживости животне средине. Друга питања у вези одрживог коришћења биомасе у будућности су практичније оријентисана: које су националне политике и промјене потребне, као и који мултилатерални ниво сарадње како би се осигурала глобална сигурност хране прије било које друге употребе биомасе, с обзиром на огромне разлике у приходима, моћи и употреби енергије међу народима? Које економске политике и државни прописи су потребни на глобалном и националном нивоу како би се осигурало задовољење материјалних потреба свих људи у ситуацији када моћне економије фаворизују биоенергију? Ово подразумијева изазов да се многа питања у вези са дистрибуцијом и одрживом употребом природних ресурса, укључујући и биомасу, подигну на мултилатерални ниво, као и да добију већу глобалну пажњу с циљем изградње мирног, одрживог и равноправног свијета (Beuchelt and Nassl 2019).

Висок принос биомасе по јединици земљишне површине и висока ефикасност њене конверзије у биоенергију од суштинске су важности за изградњу еколошки одрживог система производње биоенергије. Замјену фосилних горива биљном биомасом вјероватно треба повезати и са изазовима да се побољша ефикасност употребе течних биогорива и смањи њихова укупна потражња (Henry 2010). Развој постројења за производњу нуспроизвода високе вриједности такође је важан изазов како би се обезбиједили адекватни економски приходи при производњи биомасе намијењене за конверзију у биоенергију.

Стандарди ефикасности већ постоје за многе технологије производње енергије из биомасе, док би неке технологије требало побољшати (Onochie et al. 2015). Тако, на примјер, тамо гдје постоје проблеми са недозвољеним

емисијама NO<sub>x</sub>, CO и честицама повезаним са биомасом, ови изазови могу се контролисати помоћу побољшаних технологија, као што су примјена флуидизованог слоја или гасификационих система и електрофилтера који смањују ове емисије (Opochie et al. 2015).

Да би се задовољиле будуће потребе за биомасом, а не само за енергијом, мора се ставити нагласак на храну и храну за животиње, те повећање производње биомасе по јединици површине, као и истраживање потенцијала нових извора биомасе ради смањења притиска на пољопривреду, употребу земљишта и заштићене екосистеме (Bentsen and Felbs 2012). Тако, нпр. биогорива произведена од биљака познатих као биогорива прве и друге генерације, имају одређене недостатке као што су конкуренција са пољопривредом за храну и обрадиво земљиште (Surriya et al. 2015). Такође, као други изазови при производњи биљне биомасе могу се навести чињенице да се берба многих биљака од којих се добија биомаса одвија два до четири пута годишње, што представља важно ограничење за континуирану употребу биомасе за производњу бионергије, те што раст биљне биомасе захтијева обезбјеђење оптималних услова узгоја и што њена даља прерада често захтијева употребу енергетски интензивних метода, што је повезано са значајним додатним трошковима, због чега се често у пракси доводи у питање економска исплативост узгоја многих биљака за производњу биомасе (Voloshin et al. 2016 Kour et al. 2019).

Биомаса микроалги нема такве недостатке и стога се сматра да ће микроалге у будућности добијати све већу пажњу за производњу биогорива. Оне посједују способност да претворе CO<sub>2</sub> у биомасу путем фотосинтезе у много већем проценту у поређењу са конвенционалним биљним усјевима за производњу биоенергије (Kumar et al. 2010). Штавише, микроалге могу лако да искористе пољопривредне, комуналне или индустријске отпадне воде као извор воде и подлогу за раст, те као извор азота, фосфора и других хранљивих материја (Becker 1994). Осим тога, постоји низ предности коришћења микроалги за производњу биогорива, укључујући и њихову већу продуктивност у поређењу са другим биоресурсима који се користе за производњу биогорива (Dragone et al. 2010; Scott et al. 2010; Rodionova et al. 2017). Међутим, упркос таквим предностима, још увијек постоје многи изазови које је у будућности неопходно успјешно превазићи да би се обезбиједила комерцијална производња биогорива из микроалги у обиму који би био довољан да дâ значајан допринос задовољавању енергетских потреба транспортног сектора (Demirbas 2009; Scott et al. 2010). Први изазов који се појављује код узгоја микроалги за добијање биогорива је да ли су технички изводљивији и прихватљивији затворени или отворени биореактори, затим које кораке је неопходно предузети како би се избјегла

контаминација култура микроалги случајним организмима, те како се хранљиви састојци и CO<sub>2</sub> могу успјешно испоручити култури микроалги (Scott et al. 2010; Neimann 2016). Осим тога, главни захтјев ове производње је добијање уља које би се издвојило из култура микроалги без икакве значајне контаминације другим ћелијским компонентама, као што су нпр. хлорофил или ДНК (Scott et al. 2010; Kour et al. 2019).

За разлику од лигноцелулозне или биомасе алги, канализацијски муљ као биомаса обично садржи знатне количине штетних састојака, као што су тешки метали и токсични органски загађивачи, као што су нпр. полихлоровани бифенили (*Polychlorinated biphenyls* – PCB), полициклични ароматични хидрокарбонати (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* – PAH), диоксини, нонил-феноли, итд., због чега се као посебан изазов намеће питање како омогућити безбједан пренос, трансформацију и инактивацију ових штетних састојака. Осим тога, у блиској будућности пажња истраживача при преради биомасе која садржи штетне састојке треба да буде усмјерена и на сљедећа питања: а) избор ефикасних растварача са одговарајућим катализаторима за додатно сужавање дистрибуције штетних састојака и производњу жељених једињења; б) ефекте коришћеног растварача на понашање течности органског отпада; в) утечњавање канализационог муља, водећи при том посебно рачуна о покретљивости и опасности од присуства тешких метала у биоуљима, као и о преносном понашању токсичних органских загађивача (Huang and Yuan 2015).

Један од важних изазова за одрживо коришћење биомасе у будућности је доношење одлука којима би креатори политика требали да ограниче краткорочне подстицаје за интензивну производњу биомасе на квалитетним земљиштима, те да, умјесто тога, обезбиједи подстицаје за увођење сљедеће генерације технологија које ће омогућити будућност са нултим емисијама угљеника (Reid et al. 2020). Осим тога, креатори политика одрживог коришћења биомасе у будућности требало би да спријече: а) употребу биоенергије добијене сјечом шума због нарушавања екосистема; б) претварање шума у намјенске плантаже биомасе, осим ако су шуме на деградираном земљишту, ако су шуме мртве или умируће или ако постоји висок ризик од њиховог губитка усљед пожара; в) непримјерено фаворизовање коришћења дрвног пелета за производњу струје и топлоте; г) ширење биогорива произведених од прехрамбених усјева или претварање ратарских површина на којима се производи храна у производњу биогорива.

Владине интервенције у виду субвенција, тарифа, прописа и стандарда емисије гасова у будућности треба да имају за циљ смањење зависности од фосилних горива, као и подстицање запослености и развој руралних подручја заснован на индустрији биомасе. Такве мјере ће као посљедицу

имати утицај на економски просперитет и одрживи развој земаља, као и на ублажавање климатских промјена кроз дјеловање у сектору биомасе (Kitani and Peart 1999; Bildirici 2014; Azevedo et al. 2019).

Савремени концепти усмјерени на смањење укупне потрошње енергије и повећање енергетске ефикасности у блиској будућности морају још више постати дио агенде политичара, предузећа, цивилног друштва и истраживача (Beuchelt and Nassl 2019). При том, креатори политика треба да пруже што више оквирних смјерница за овакав економски систем, укључујући и биекономију, више него што је то тренутно случај. Ако је циљ да праведнија расподјела употребе биомасе треба да постане глобална норма, онда би се и биекономија и енергетика, као и економске, климатске и социјалне политике већине земаља у будућности требале значајно промијенити како би узеле у обзир ограничену и неравномјерну доступност биомасе (Beuchelt and Nassl 2019; Kashanian et al. 2020).

Прије него што се будући енергетски системи за биомасу буду промовисали, неопходно је темељно разумијевање локалних и регионалних потреба које су пресудне за осигуравање повећања производње биомасе, а да се при том не утиче негативно како на екосистеме, тако и на социо-економске захтјеве. При томе, кључне компоненте које треба размотрити на локалном и регионалном нивоу према Black and Richter (2010) укључују: а) потребе за енергијом из система за производњу биомасе – за кување, гријање, електричну енергију и гориво за транспорт; б) доступност биомасе или погодност постојећих усјева за пружање биомасе; в) коришћење земљишта за друге намјене, нпр. за производњу хране, сточарску производњу и др.; г) доступну технологију прераде биомасе.

Суочавање са изазовима економске одрживости производње биоенергије из биомасе, између осталог, захтијева и интеграцију између јавних и приватних актера. Дакле, мјере за консолидацију и развој ланаца производње биоенергије састоје се од изградње група, удружења, фондација или тематских комора састављених од репрезентативних представника ових области, као што су истраживачи, произвођачи, трговци и потрошачи биоенергије. Ове групе треба да дјелују на промовисању сарадње у области производње и коришћења биоенергије произведене из биомасе, као и да стварају, развијају и одржавају односе између својих чланова у одбрани својих глобалних интереса. Стога би сврха ових организација била да дјелују као катализатори за његовање синергије између владе, научника, индустрије, потрошача и доносилаца одлука како би се промовисао развој истраживања, технологије и индустријских капацитета у области биомасе. Друге мјере за

консолидацију ланаца производње биоенергије састоје се у формулисању стратешког планирања ланаца снабдијевања биомасом за производњу биоенергије, са циљем оптимизације производње, логистике и производних процеса (Andrade et al. 2020).

Међународна трговина биоенергијом је нови тренд са потенцијално великим утицајима, који нуди бројне могућности и користи, при чему је кључно осигурати одрживост ове трговине (Rosillo-Calle 2016). Због тога ће успјешни биоенергетски системи у блиској будућности захтијевати формирање функционалних и организованих ланаца снабдијевања који задовољавају потребе свих релевантних актера, при чему су енергетске компаније и добављачи биомасе најважнији учесници у биоенергетским системима. Улагање у ресурсе биомасе могуће је само ако постоје енергетске компаније које захтијевају биомасу, а успостављање технологија конверзије могуће је само ако постоје добављачи биомасе. Осим тога, потребне су технологије и производни системи за сакупљање, пречишћавање и транспорт биомасе. Стога је координација ланца снабдијевања кључна за успјешан рад биоенергетских система широм свијета (McCormick and Kaberger 2007). Према томе, у погледу технологија које се развијају за производњу биоенергије из биомасе, тенденција је да се токови интегришу што је више могуће јер такав приступ може смањити губитке биомасе кроз процесе и посљедично повећати профит, те смањити негативне утицаје на животну средину (de Castro and de Castro 2012).

Такође, важно је истаћи и изазов да се у блиској будућности правилно идентификују области производње, прераде и коришћења биомасе у којима недостају тренутна знања и у којима је потребно обезбиједити даља улагања у истраживања и развој (Irmak 2019). Идеално би било да будућа истраживања у области одрживог коришћења биомасе, осим техничких и технолошких, укључују и организациона, временска и географска рјешења (Var-Опа et al. 2018).

### **15.3. Побољшања технологије прераде биомасе и коришћења биоенергије у будућности**

Многе студије су показале да мања побољшања технологије могу значајно повећати ефикасност производње и коришћења енергије биомасе, одржати високу продуктивност њене прераде и ублажити проблеме животне средине у вези са производњом и коришћењем биомасе (Rosillo-Calle 2007).

### 15.3.1. Избор оптималних метода предтретмана биомасе

При преради биомасе у различите видове биоенергије ради побољшања доступности ензима који разлажу целулозу, често је потребно обезбиједити одређени предтретман који укључује физичке, хемијске, физичко-хемијске и биолошке процесе, с циљем да се лигнин и хемицелулозе уклоне из биомасе, те да се смањи кристалност целулозе и повећа порозност биомасе након чега се сахарификација и ферментација могу несметано извршити (Wang et al. 2018). Међутим, главни недостатак метода претходног третмана је то што он може резултирати стварањем одређених инхибитора који негативно дјелују на активност појединих микроорганизама који су неопходни за успјех одређених реакција разградње биомасе. Ти инхибитори могу укључивати алифатичне киселине са кратким ланцем, као што су мравља, сирћетна и левулинска киселина, као и различита фенолна једињења, фуран алдехиде, јонске липиде и др. (Wang et al. 2018; Zhang et al. 2016). Тако нпр. присуство фуран алдехида у медијуму културе током производње етанола из биљне биомасе од стране квасца *Saccharomyces cerevisiae*, смањује специфичну брзину раста његових ћелија, а тиме и принос етанола (Pampulha and Loureiro-Dias 2000; Wang et al. 2018).

У наредном периоду очекује се наставак истраживања и развој нових метода које би се могле примјенити с циљем да се побољша толеранција микроорганизама на такве инхибиторе, као што су нпр. скрининг гена за толеранцију на стрес, те генетички и метаболички инжењеринг за побољшање толеранције, који укључује *in situ* детоксификацију, ефлукс пумпе, реакције на стрес и мембрански инжењеринг (Wang et al. 2018). Тренутно је мало реално да неко биогориво буде комерцијално конкурентно у односу на фосилна горива, али није искључено да се у будућности, комбинацијом различитих метода генетичког инжењеринга, могу развити нове врсте биогорива са комерцијалним потенцијалом (Kour et al. 2019).

### 15.3.2. Оптимизација метода сагоријевања

Разне технологије сагоријевања тренутно производе око 90% енергије из биомасе, претварајући горива из биомасе у неколико облика корисне енергије, као што су нпр. топли ваздух, топла вода, пара и струја. Комерцијална и индустријска постројења за сагоријевање могу сагоријевати многе врсте биомасе, у распону од дрвене биомасе до чврстог комуналног отпада. Основна технологија сагоријевања биомасе је коришћење пећи које сагоријевају биомасу у комори за сагоријевање, при чему се у будућности као



главни циљеви за унапређење технологије сагоријевања биомасе постављају смањење емисија штетних гасова и честица и повећање енергетске ефикасности. Постројења за сагоријевање биомасе која производе електричну енергију из парних турбинских генератора имају ефикасност конверзије између 17–25%, док се као примјер увођења нових технологија са циљем повећања ефикасности може навести когенерација помоћу које се може повећати ова ефикасност на скоро 85%. Когенерација је комбинована производња топлотне и електричне енергије која се спроводи додавањем измјењивача топлоте који апсорбују издувну топлоту из постојећег генератора, која се иначе губи. Ухваћена топлотна енергија се затим користи за погон електричног генератора (Rosillo-Calle 2007).

### **15.3.3. Заједничко сагоријевање биомасе са фосилним горивима**

Заједничко сагоријевање је потенцијално једна од главних опција за коришћење биомасе, уколико се могу превазићи неки од техничких, друштвених и проблема са снабдијевањем биомасом. Заједничко сагоријевање биомасе са фосилним горивима, првенствено угљем или лигнитом, добило је у посљедње вријеме велику пажњу, посебно у Данској, Холандији и САД. Биомаса се може мијешати са угљем у различитим пропорцијама, у распону 2–25% или више. Опсежна испитивања показују да би енергија биомасе у будућности могла да обезбиједи, у просјеку, око 15% укупног уноса енергије при заједничком сагоријевању биомасе са фосилним горивима, уз одређене модификације само система за унос биомасе и горионика (Rosillo-Calle 2007). Према истом аутору, главне предности заједничког сагоријевања фосилних горива и биомасе укључују:

- релативно мање инвестиције у поређењу са набавком новог постројења само на биомасу (тј. мање модификације постојећег котла на угаљ);
- високу флексибилност у уређењу и интеграцији главних компоненти у постојећа постројења (тј. коришћење постојећих капацитета постројења и инфраструктуре);
- повољан утицај на животну средину у поређењу са електранама само на угаљ;
- потенцијално ниже локалне трошкове сировина (тј. омогућују употребу остатака из пољопривреде и шумарства, као и енергетских усјева који, уколико постоје, могу значајно повећати продуктивност);
- потенцијалну доступност великих количина сировина (биомасе и отпада) које се могу користити у уређајима за заједничко

сагоријевање, уколико се може успоставити ланац снабдијевања биомасом;

- већу ефикасност за претварање биомасе у електричну енергију у поређењу са котловима који су 100% на угаљ (нпр. ефикасност конверзије биомасе у електричну енергију била би 33%–37% када се биомаса ложи заједно са угљем, док је ефикасност сагоријевања биомасе када се ложи сама 26%–30%);
- посебна сагласност за заједничко сагоријевање биомасе са фосилним горивима у већини случајева није потребна.

#### **15.3.4. Оптимизација метода гасификације**

Гасификација је једна од најважнијих области истраживања и развоја прераде биомасе за производњу биоенергије у будућности, јер је главна алтернатива директном сагоријевању. Гасификација је технологија ендотермалне конверзије у којој се чврста биомаса претвара у запаљиви гас. Важност ове технологије лежи у чињеници да може искористити предности напредног дизајна турбина и генератора паре са повратом топлоте како би се постигла висока енергетска ефикасност (Rosillo-Calle 2007).

Гасификација биомасе је обећавајућа, одржива и економски исплатива технологија. Показало се да процес није ограничен на одређену сировину и специфични производ, те да је чак флексибилан према третману отпада биомасе, који може бити токсичан или контаминиран, за производњу различитих употребљивих производа (Kaltschmitt et al. 1998; Sikarwar et al. 2016). Стратегија за побољшање изводљивости и одрживости гасификације биомасе у будућности је даљи рад на технолошком унапређењу и минимизирању социо-еколошких ефеката. Међутим, за оптимизацију и будући напредак у овој области прераде биомасе потребни су добро разумијевање и познавање процеса гасификације. При томе разни полигенерацијски приступи за производњу топлоте и енергије заједно са другим производима попут синтетичког гаса,  $H_2$ , ђубрива или биогорива, на свеобухватан начин демонстрирају будући развој и могућности гасификације (Sikarwar et al. 2016).

Према Rosillo-Calle (2007), главне предности производње различитих видова биоенергије из биомасе помоћу гасификације су:

- већа ефикасност (нпр. 40% или више у поређењу са сагоријевањем код кога је ефикасност 26–30%), док су трошкови слични;

- у перспективи је значајан развој и напредак у примјени нових технологија гасификације, као што су напредне гасне турбине и горивне ћелије;
- биогаз представља могућу замјену за природни гас или дизел гориво које се користи у индустријским котловима и пећима, као и потенцијалну замјену за бензин или дизел гориво у моторима са унутрашњим сагоријевањем.

### **15.3.5. Оптимизација метода пиролизе**

Пораст интересовања за пиролизу потиче од вишеструких производа који се могу добити овом технологијом: на примјер, течна горива која се лако могу складиштити и транспортовати, дрвени угаљ, као и велики број хемикалија (нпр. лијепкова, органских хемикалија и арома), које нуде добре могућности за повећање прихода (Rosillo-Calle 2007).

За прераду пиролизом може се користити било који облик биомасе, иако целулоза даје највеће приносе биогорива од око 85–90% тежинских дијелова суве биомасе (Kaltschmitt and Bridgwater 1997; Rosillo-Calle 2007). У будућем развоју технологија пиролизе за претварање биомасе у различите облике бионергије, метода торефикације привукла је велику пажњу јер може ефикасно надоградити чврсту биомасу и производити гориво слично угљу (Chen et al 2021). Наиме, ради додатног побољшања својстава горива у посљедње вријеме интензивно се ради на различитим термичко-хемијским процесима претходног третмана. Један посебно перспективан метод представља торефикација или тзв. „благ“ термички третман биомасе уз искључивање ваздуха при температурама од 250 °C до преко 300 °C у трајању између 15 и 30 минута. При томе чврста биомаса у загријаном реактору прво пролази фазу сушења и загријавања, након чега долази до одређених реакција њене пиролитичке разградње које одговарају релативно ниским процесним температурама. При томе је циљ редукција тежине чврсте биомасе, али тако да се не смањи њен енергетски садржај. То је базирано на чињеници да се, осим воде, издвајају и једињења која садрже кисеоник (између осталог угљен-диоксид, угљен-моноксид и органске киселине) које се одликују ниском топлотном вриједношћу с циљем да губитак енергије и утрошак енергије буду што је могуће мањи, тако што се ослобођени процесни гасови користе као гориво за загријавање (Hartmann 2014).

Торефикација може бити сува и влажна, при чему се сува торефикација може подијелити на неоксидативну и оксидативну. Упркос бројним развијеним методама, неоксидативна торефикација има већи потенцијал за

практичну примјену и комерцијализацију у поређењу са другим методама. Интегрисање торефакције са другим процесима, као што су сагоријевање, гасификација, пиролиза и др., чине је ефикаснијом и економски исплативијом за разлику од тога када се користи само један процес. Захваљујући „хватању“ CO<sub>2</sub> током фазе прераде биомасе, у торефикованој биомаси могу се чак постићи негативне емисије угљеника (Chen et al 2021).

### 15.3.6. Друге нове технологије прераде биомасе

Процес измјене водене фазе (*Aqueous Phase Reforming* – APR) нова је технологија која се заснива на разградњи кисеоничних угљоводоника, да би се из њих добио гас богат водоником (Haggerty 2011). Главна предност ове технологије је релативно ниска температура гасификације са прилично ниском концентрацијом CO унутар водоничног тока (Haggerty 2011). Угљени хидрати, као што су шећери (нпр. глукоза) и полиоли (нпр. етилен гликол, глицерол), могу се ефикасно претворити у водене фазе преко одговарајућих хетерогених катализатора при условима релативно благе обраде за производњу мјешавине гаса богатог водоником. Такође, и биомаса која садржи високе нивое полисахарида може успјешно послужити као потенцијални извор биомасе за APR гасификацију под условом да се коришћењем еколошких техника предтретмана, полисахариди нерастворљиви у води хидролизују у релативно мање угљене хидрате који су растворљиви у води (Haggerty 2011).

Производња биогорива путем примјене биотехнологије веома је актуелно поље истраживања (Trkulja i sar. 2014, 2018). Тако нпр. текућа истраживања производње биоетанола помоћу ферментације са биотехнолошки измијењеним микроорганизмима, имају за циљ повећање приноса и енергетске ефикасности етанола произведеног из биомасе (Wackett 2008). С друге стране, сматра се да примјена алата савремене биотехнологије на бактеријама и гљивама може допринијети развоју биогорива четврте генерације која су еквивалентна тренутним течним фосилним горивима, попут бензина или керозина (Henry 2010).

Више нових технологија, као што су гасификација плазме (*Plasma gasification*) и надкритична гасификација воде (*Supercritical Water Gasification* – SCWG) могу бити ефикасни начини за максимално искоришћавање токсичне и влажне биомасе за производњу биоенергије (Sikarwar et al. 2016). Такође, нове методе термохемијског утјечавања биомасе широко се истражују као обећавајући метод за производњу једне врсте течног биогорива или биоуља (Huang and Yuan 2015).

### 15.3.7. Нови трендови примјене биогорива у сектору транспорта

Већина данашњих возила ради на фосилна горива, што представља велики проблем услед емисија штетних гасова, јер потражња за фосилним горивима наставља да расте. Развој *возила са флексибилним горивом*, те *двогоривних возила*, као и *хибридних возила*, дио је новог тренда коришћења разних врста биогорива у сектору транспорта. Ове технологије не представљају никакву револуционарну или фундаменталну промјену, већ дуг ланац малих побољшања са потенцијално великим позитивним утицајем. Посебно је значајно то што су ове иновације имплементиране уз ниске трошкове. Нема сумње да ће ове технологије бити значајно унапређене у блиској будућности и да ће тренутне потешкоће са различитим моторима и биогоривима бити ријешене на задовољавајући начин, што представља нове могућности и будуће изазове за индустрију, потрошаче и друштво у цјелини (Rosillo-Calle and Walter 2006; Folkson 2014).

**Возила са флексибилним горивом** (*Flexible-fuel or flex-fuel vehicles*) су возила на алтернативно гориво са мотором са унутрашњим сагоријевањем дизајнираним да раде на више од једног горива, обично на бензин помијешан са биоетанолом или биометанолом, при чему се оба горива чувају у истом заједничком резервоару. Модерни мотори са флексибилним горивом су способни да сагоре било који дио добијене мјешавине у комори за сагоријевање, јер се убризгавање горива и вријеме варнице аутоматски подешавају према стварној мјешавини коју детектује сензор састава горива. Возила са флексибилним горивима разликују се од возила на два горива, код којих мотор ради одвојено на једно по једно гориво (Pearson and Turner 2014).

**Двогоривна возила** (*Bi-fuel vehicles*) су возила са вишегоривим моторима који могу да раде на два горива која се чувају у одвојеним резервоарима и мотор може да ради на једно по једно гориво. Код мотора са унутрашњим сагоријевањем, мотор са два горива обично сагоријева бензин и алтернативно биогориво као што је нпр. биоетанол, компримовани течни нафтни гас или биоводоник. Возила са два горива имају могућност преласка са бензина на друго биогориво, ручно или аутоматски (Naber and Johnson 2014).

**Хибридна возила** (*Hybrid vehicles*) су возила која користе два различита мотора који се покрећу на различите врсте енергије, као што су електрични мотор и мотор са унутрашњим сагоријевањем. Основни принцип рада код хибридних возила је да различити мотори раде боље при различитим брзинама, при чему је електрични мотор ефикаснији у производњи обртног момента или снаге окретања, док је мотор са унутрашњим сагоријевањем бољи за одржавање велике брзине. Пребацивање са једног на други мотор,

у одговарајуће вријеме уз убрзавање, доноси додатну добит у смислу веће енергетске ефикасности горива. Нека хибридна возила пројектована су да, осим електричног мотора, који се покреће на електричне батерије, користе други мотор са унутрашњим сагоријевањем, који се може покретати на различите врсте биогорива, као што су нпр. компримовани течни нафтни гас или биоводоник, или се у њима пак користи модификовани дизел мотор који ради на отпадно биљно уље које није прерађено у биодизел (Folkson 2014; Hofman 2014).

## **15.4. Биогорива будућности**

Сматра се да ће у будућности нека горива добити посебно велики значај, због чега се о њима све више говори као о „биогоривима будућности“. У ова горива спадају: биоводоник, биобутанол, биоуље и биодиметил етар.

### **15.4.1. Биоводоник**

Биоводоник је гасовито гориво за које се сматра да је једно од најперспективнијих биогорива за будућност. Осим предности за животну средину (његовим коришћењем нема производње гасова стаклене баште), биоводоник је постигао значајан успјех у еволуцији и развоју као горива на техничком и социо-економском нивоу (Bharathiraja et al. 2016). Биоводоник се може користити као гориво за директно сагоријевање у моторима са унутрашњим сагоријевањем, као и у горивним ћелијама (Bharathiraja et al. 2016; Rahman et al. 2016). Има већи енергетски садржај (142 kJ/g) од било ког другог познатог горива и већу густину енергије од осталих постојећих биогорива (Argun et al. 2008; Rahman et al. 2016).

У процесу добијања биоводоника ферментацијом, кључни су извори угљених хидрата који се могу наћи у више врста биомасе и остатака богатих шећерима или сложеним угљеним хидратима (Ntaikou et al. 2010). Сировине као што су пољопривредни нуспроизводи, производи од лигноцелулозе, отпад од хране, материјали за прераду воденог биља и чврсти градски отпад, неке су од биомаса које су веома погодне за прераду у ову врсту биогорива (Bharathiraja et al. 2016).

Један од највећих изазова за ову врсту технологије, јесте превазилажење препрека ферментације, јер већина горе наведених биомаса има сложenu структуру, због чега извор угљених хидрата из њих често није лако доступан микроорганизмима. Због тога је неопходно увести одређене процесе за

предтретман биомасе који могу да поскупе процес. Неке студије са избором нових напреднијих врста биореактора процијене су да имају потенцијал да превазиђу изазове ефикасне производње биоводоника. Према Bharathiraja et al. (2016), реактори са тамном ферментацијом могу бити атрактиван избор за деградацију лако разградивих супстрата на бази шећера, док су фото-биореактори и системи ћелија микробне електролизе погоднији за биоконверзију. Према овим ауторима, потребно је открити нове путеве да се директно искористи 12 мол  $H_2$  који су доступни у 1 мол хексозе. Приноси биоводоника су такође верификовани кодигестијом једног или више супстрата који доводе до ефикаснијих путева ферментације, омогућавајући нове трендове у коришћењу различитих врста биомасе за добијање биоводоника (Gomez-Romero et al. 2014; Garcia-Depraect et al. 2017; Yang et al. 2019).

#### 15.4.2. Биобутанол

Биобутанол је безбојна, запаљива течност која се може мијешати са бензином или дизел горивом, а може се користити и у хемијској индустрији као растварач (Pugazhendhi et al. 2019). Када се помијеша са бензином, биобутанол се може користити у већем омјеру од етанола без потребе за модификацијом карактеристика мотора (Kumar and Gayen 2011; Bonatto et al. 2020).

Биобутанол се производи у процесу алкохолне ферментације биомасе уз помоћ бактерија из рода *Clostridium* које су главне ферментационе бактерије које се користе у овом процесу (Pugazhendhi et al. 2019). Бројни шећери као што су глукоза, фруктоза, маноза, сахароза, лактозни скроб и декстрин су неки од супстрата које ове бактерије у потпуности прерађују и који могу бити присутни у неколико врста јефтиних сировина за производњу биогорива друге генерације, као што су нпр. различити остаци након жетве (слама, кукурузовина и сл.), шумски остаци и енергетски усјеви који се узгајају у подручјима која се не користе за производњу хране (Kumar and Gayen 2011; Ziolkowska 2020).

Након завршетка процеса ферментације, могу се користити додатни кораци за обнављање биобутанола у ферментационом бујону. Дестилациони процеси најчешће се користе због разблаживања бутанола у медијуму за ферментацију (Kujawska et al. 2015). Због овога, као и због других фактора који узрокују високе трошкове процеса (предтретмани биомасе, ниске концентрације шећера у лигноцелулозној биомаси, присуство инхибитора, добијање више крајњих производа и др.), производња биобутанола великих

размјера за сада још увијек остаје непрактична и неконкурентна са тренутно коришћеним фосилним горивима. Стога је у блиској будућности неопходно повећати истраживачке напоре како би процес производње биобутанола био изводљив и економски конкурентан (Ibrahim et al. 2017; Bonatto et al. 2020).

### **15.4.3. Биоуље**

Биоуље је још једно атрактивно течно биогориво са потенцијалом за одрживију замјену фосилних горива у будућности. То је високо оксидисана, тамносмеђа, слободно текућа органска течност која садржи значајну количину воде (обично око 25%), али је она нерастворљива у води (Basu 2010). Истраживања о овој врсти биогорива привукла су пажњу због његове неутралне, одрживе природе, те лакоће складиштења и транспорта (Xu et al. 2011). Неке од сировина које се могу користити за производњу ове врсте горива укључују остатке из дрвне индустрије (Garcia-Perez et al. 2007), пиринчане љуске (Zheng et al. 2006), стабљике кукуруза (Yi et al. 2000), остатке након резивања винове лозе (Demiral and Aian 2011), отпад од шећерне трске (Islam et al. 2010) и др.

Из биоуља се могу екстраховати и различите хемикалије са потенцијалом за примјену као биогориво (биоводоник и гориво преко сингаса), хемикалије (смоле за ђубриво, ароме и лијепкови), топлота (сагоријевањем биоуља у котловима и пећима) и енергија (коришћењем биоуља у дизел моторима и турбинама) (Basu 2010; Safana et al. 2017).

Биоуље се из биомасе може произвести на два главна начина: *флеш пиролизом* (која захтијева претежно суву биомасу) и *утечњавањем или ликвифакцијом*, односно термичком конверзијом чврсте биомасе у биоуља при високим температурама (250–550 °C) и високим притисцима (5–25 MPa), за коју се може користити биомаса са високим садржајем влаге (Ross et al. 2010; Xiu and Shahbazi 2012). Неки типови биомасе, као што су нпр. пиљевина од боровог дрвета, пиљевина од намјештаја, пиринчане љуске, остаци шећерне трске и љуске кукуруза, уколико се користе у новијим типовима реактора у условима флеш пиролизе остварили су ефикасност конверзије у биоуље која прелази 56% (Safana et al. 2017). Такође, у већем броју студија наводи се да повећање температуре у процесима утечњавања за неколико врста биомасе фаворизује принос биоуља (% по тежини), што све заједно сугерише неколико нових трендова за синтезу биоуља у будућности (Baloch et al. 2018; Bonatto et al. 2020).



#### **15.4.4. Биодиметил етар**

Диметил етар (ДМЕ) је најчистије, најједноставније и најбезбједније гориво за паљење, које је нетоксично, неканцерогено, нетератогено, немутагено и некорозивно. Не штети животној средини након ослобађања, фотохемијски се разграђује до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O у року од свега неколико сати, те не оштећује озонски омотач нити ствара гасове стаклене баште (Good et al. 1998; Mondal and Yadav 2019). До сада је почело са радом неколико производних погона јединице ДМЕ као агенса за мијешање са утечњеним нафтним гасом (посебно биодиметил етар који потиче из биомасе), замјењујући њиме дизел као транспортно гориво, гориво за гасне турбине и прекурсоре за различите хемикалије, међу којима су олефини и петрохемијске супстанце (Mondal and Yadav 2019; Bonatto et al. 2020).

Неке врсте биомасе за производњу биодиметил етера су у фази испитивања у лабораторијама или пилот-постројењима (Li et al. 2009). Тако се нпр. неки остаци из пољопривреде, као што су слама од пиринча, ризоми маниоке, листови шећерне трске и стабљике кукуруза, интензивно истражују као потенцијална сировина за производњу биодиметил етера, због ниске емисије гасова стаклене баште (Lecksiwilai et al. 2016). Међутим, иако се биодиметил етар добијен из биомасе сматра веома атрактивном алтернативом за дизел у будућности, прерада биомасе у ову супстанцу је још увијек скуп процес, те остаје у будућности да се истраже техничке могућности да се овај процес појефтини (Mondal and Yadav 2019; Bonatto et al. 2020).

### **15.5. Значај истраживања и развоја у области одрживог коришћења биомасе у будућности**

Ублажавање опасних климатских промјена, укључујући и биомасу, биће јака покретачка снага за употребу разних врста обновљивих извора енергије за које се предвиђа да ће широм свијета играти централну улогу у већини стратегија за ублажавање ефекта стаклене баште, које морају бити технички изводљиве и економски ефикасне тако да се сви трошкови и оптерећења минимизирају. Такође, како би се помогло у доношењу одлука, требало би да се спроведу даља истраживања о позитивним и негативним спољним ефектима сектора биомасе, како би се омогућило креаторима политике да одлуче о рационалности субвенционисања или опорезивања активности у овом сектору, а тиме и да ли би требало да пруже подстицај одрживости у вези са биомасом у земљи (Azevedo et al. 2019).

Исти аутори, као и Ikanović et al. (2013, 2017), Ikanović i sar. (2015) и Janković et al. (2017), наводе да би резултати будућих истраживања требали да буду подршка: 1) новим инвестицијама; 2) покретању иновација и нових технологија у настајању; 3) омогућавању изводљивости пројеката за инвеститоре; 4) обезбјеђивању приступачне енергије; 5) јачању конкурентности индустрије; 6) смањењу зависности од фосилних горива; 7) обезбјеђивању енергетске сигурности; 8) стварању нових радних мјеста и обезбјеђивању послова у руралним регионима; 9) ревитализацији руралних региона; 10) омогућавању побољшања животног стандарда; 11) смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште; 12) искоришћавању и вредновању нуспроизвода и отпада; 13) омогућавању обнављања станишта и деградираних земљишта; 14) промовисању одрживог газдовања шумама; 15) декарбонизацији енергетског сектора, 16) консолидацији потрошње обновљиве енергије.

## **15.6. Закључак**

Имајући у виду трендове раста становништва, потражње за енергијом и производње отпада за будући развој производње биоенергије из различитих врста биомасе, широм свијета су неопходне глобалне политике. Коришћење отпадне биомасе у енергетске сврхе нуди економске, друштвене и еколошке предности које помажу одрживом расту производње енергије у цијелом свијету.

Да би биоенергија имала дугорочну будућност, мора се производити и користити на одржив начин како би се демонстрирале њене еколошке и друштвене користи у поређењу са фосилним горивима. Развој модерних енергетских система биомасе још увијек је у релативно раној фази, при чему се већина истраживања и развоја фокусира на развој путева снабдијевања горивом и конверзије који минимизирају утицаје на животну средину. Иако се технологије развијају прилично брзо, истраживање и развој посвећен биоенергији још увијек је недовољан у поређењу са фосилним горивима и у будућности га је потребно значајно повећати. Осим тога, развој производње енергије из различитих сировина биомасе потребно је ближе интегрисати са другим технологијама обновљивих извора енергије, као и са изградњом локалних капацитета, финансирањем и сл.

Тек посљедњих година, комбинација технолошких, еколошких и социоекономских промјена намеће потрагу за новим алтернативама које би могле да замијене доминацију фосилних горива. Међутим, још увијек је нејасно која(е) алтернатива(е) ће превладати, с обзиром на садашњу фазу развоја и опсег разматраних алтернатива из којих до сада нису изашли јасни

побједници. Краткорочно, главни изазов ће бити проналажење здравих алтернатива фосилним горивима која се могу користити у моторима са унутрашњим сагоријевањем, као што су етанол или биодизел, који су тренутно у комерцијалној употреби, док се појављују друга веома обећавајућа биогорива, попут биоводоника. Дугорочно гледано, изазов ће бити проналажење великих алтернатива фосилним горивима које се могу користити и у постојећим моторима са унутрашњим сагоријевањем, као и у новим погонским системима.

На крају, у области енергетике очекује нас свијетла будућност уколико би се остварила визија Тесле (1900), а то је: „Какви год да буду наши ресурси примарне енергије у будућности, морамо их, да бисмо били рационални, набавити без потрошње било каквог материјала. Радим за будућност и савременици ме неће разумјети, али једнога дана превладаће научни закони природе чије сам тајне открио и све ће се измијенити, као дланом о длан, све ће се промијенити. Наступиће нова ера мудрости човјечанства, чије ће главне одлике бити разумијевање времена, обликовање материје по вољи научника и откриће извора бескрајне енергије“.

## Литература

- Azevedo SG, Sequeira T, Santos M, Mendes L (2019) Biomass-related sustainability: A review of the literature and interpretive structural modeling. *Energy* 171(15):1107–1125
- Andrade DS, Telles TS, Castro GHL (2020) The Brazilian microalgae production chain and alternatives for its consolidation. *Journal of Cleaner Production* 250:119526. Доступно на: <https://10.1016/10.1016/j.jclepro.2019.119526>, Приступљено: 19.04.2022
- Anon (2001) G8 renewable energy task force. Final Report. IEA, Paris, France, pp 1–53
- Argun H, Kargi F, Kapdan IK, Oztekin R (2008) Biohydrogen production by dark fermentation of wheat powder solution: Effects of C/N and C/P ratio on hydrogen yield and formation rate. *The International Journal of Hydrogen Energy* 33:1813–1819
- Aslan A (2016) The causal relationship between biomass energy use and economic growth in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57:362–366
- Baloch HA, Nizamuddin S, Siddiqui MTH, Riaz S, Jatobi AS, Dumbre DK, Mujawar M, Srinivasan M, Griffin G (2018) Recent advances in production and upgrading of bio-oil from biomass: A critical overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6:5101–5118
- Bar-Ona YM, Phillips R, Milo R (2018) The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(25):6506–6511

- Basu P (2010) Production of synthetic fuels and chemicals from biomass. In: Basu P (ed) *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design*, pp 301–323 Academic Press, Cambridge, Massachusetts, USA
- Bentsen NS, Felbs C (2012) Biomass for energy in the European Union – A review of bioenergy resource assessments. *Biotechnology for Biofuels* 5:25. Доступно на: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-25>, Приступљено: 15.04.2022
- Beuchelt TD, Nassl M (2019) Applying a sustainable development lens to global biomass potentials. *Sustainability* 11(18):1–26
- Becker EW (1994) *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp 1–293
- Bildirici ME (2014) Relationship between biomass energy and economic growth in transition countries: panel ARDL approach. *Bioenergy* 6:717–726
- Black M, Richter GM (2010) Mapping out global biomass projections, technological developments and policy innovations. In: International Institute for Environment and Development (IIED) for an international ESPA workshop on biomass energy, 19–21 October 2010, Edinburgh, United Kingdom, pp 1–21
- Bonatto C, Camargo AF, Scapini T, Stefanski FS, Alves SL, Müller C, Fongaro G, Treichel H (2020): Biomass to bioenergy research: Current and future trends for biofuels. In: Gupta VK, Treichel H, Kuhad RC, Rodriguez-Cout S (eds) *Recent Developments in Bioenergy Research*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 1–17
- Bracmort K (2019): Biomass: Comparison of Definitions in Legislation. Congressional Research Service, pp 1–13. Доступно на: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R40529.pdf>, Приступљено: 11.04.2022
- Bharathiraja B, Sudharsanaa T, Bharghavi A, Jayamuthunagai J, Praveenkumar R (2016) Biohydrogen and biogas: An overview on feedstocks and enhancement process. *Fuel* 185:810–828
- Bhattacharya SC (2004) Fuel for thought: The status of biomass energy in developing countries. *Renewable Energy World* 7(6):122–130
- Voloshin RA, Rodionova MV, Zharmukhamedov SK, Veziroglu TN, Allakhverdiev SI (2016) Bio-fuel production from plant and algal biomass. *International Journal of Hydrogen Energy* 41:17257–17273
- Garcia-Depraect O, Gomez-Romero J, Leon-Becerril E, Lopez-Lopez A (2017) A novel biohydrogen production process: Co-digestion of vinasse and nejayote as complex raw substrates using a robust inoculum. *The International Journal of Hydrogen Energy* 42:5820–5831
- Garcia-Perez M, Chaala A, Pakdel H, Kretschmer D, Roy C (2007) Vacuum pyrolysis of softwood and hardwood biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78:104–116
- Gomez-Romero J, Gonzalez-Garcia A, Chairez I, Torres L, Garcia-Pena EI (2014) Selective adaptation of an anaerobic microbial community: Biohydrogen production by co-digestion of cheese whey and vegetables fruit waste. *The International Journal of Hydrogen Energy* 39:12541–12550

- Good DA, Francisco JS, Jain AK, Wuebbles DJ (1998) Lifetimes and global warming potentials for dimethyl ether and for fluorinated ethers: CH<sub>3</sub>OF<sub>3</sub> (E143a), CHF<sub>2</sub>OCHF<sub>2</sub> (E134), CHF<sub>2</sub>OCF<sub>3</sub> (E125). *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 103:28181–28186
- Giuntoli J (2018) Advanced biofuel policies in select EU Member States: 2018 update. International Council on Clean Transportation (ICCT). Доступно на: <https://www.theicct.org/publications/advanced-biofuel-policies-select-eu-member-states-2018-update>, Приступљено: 22.04.2022
- de Castro SM, de Castro AM (2012) Assessment of the Brazilian potential for the production of enzymes for biofuels from agroindustrial materials. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2(1):87–107
- Demiral I, Ayan EA (2011) Pyrolysis of grape bagasse – effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product. *Bioresource Technology* 102:3946–3951
- Demirbas A (2009) Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Conversion and Management* 50:2239–2249
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (2009) OJ L 140, pp 16–62. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
- Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (2018) OJ L 328, pp 82–209. <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2018-12-21>
- Dragone G, Fernandes BD, Vicente AA, Teixeira JA (2010) Third generation biofuels from microalgae. In: Méndez-Vilas A (ed) *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. Formatex Research Center, Badajoz, Spain, pp 1355–1366
- Ericsson K, Werner S (2016) The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass and Bioenergy* 94:57–65
- EUROSTAT (2018) Greenhouse gas emissions by source sector. European Statistical System. Доступно на: <https://ec.europa.eu/eurostat>, Приступљено: 23.04.2022
- Ziolkowska JR (2020) Biofuels technologies: An overview of feedstocks, processes, and technologies. In: Ren J, Scipioni A, Manzardo A, Liang H (eds) *Biofuels for a More Sustainable Future*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 1–19
- Zhang L, Li X, Yong Q, Yang ST, Ouyang J, Yu S (2016) Impacts of lignocellulose-derived inhibitors on L-lactic acid fermentation by *Rhizopus oryzae*. *Bioresource Technology* 203:173–180
- Zheng J, Zhu X-F, Guo Q-X, Zhu Q-S (2006) Thermal conversion of rice husks and sawdust to liquid fuel. *Waste Management* 26:1430–1435
- Ibrahim MF, Ramli N, Bahrin EK, Abd-Aziz S (2017) Cellulosic biobutanol by *Clostridia*: Challenges and improvements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:1241–1254

- Ikanović J, Rakić S, Janković S, Trkulja V, Dražić G (2017a) Effect of the locality of growing on sweet maize production in Republic of Srpska. VIII International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2017", Book of Proceedings, pp 1866–1873
- Ikanović J, Janković S, Živanović Lj, Popović V, Dražić G, Lakić Ž, Trkulja V, Kolarić Lj (2017b) Prospects for increasing the use of sweet sorghum in the production of energy. 8th Symposium with international participation "Innovations in Crop and Vegetable Production 2017", Faculty of Agriculture, Belgrade. Book of abstracts, pp 42–43
- Ikanović J, Popović V, Trkulja V, Živanović LJ, Lakić Ž, Pavlović S (2013) Morphological characteristics of the interspecies hybrid between sorghum and sudan grass under intensive nitrogen nutrition. *Genetika* 45(1):31–40
- Ikanović J, Trkulja V, Lakić Ž, Dražić G (2015) Mogućnost gajenja alternativnih žita na degradiranom zemljištu. *Svarog* 10:308–315
- Irmak S (2019) Challenges of biomass utilization for biofuels. In: Abomohra AE (ed) *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*. IntechOpen London, UK. Доступно на: <https://www.intechopen.com/chapters/65348>, Приступљено: 1.05.2022
- Islam MR, Parveen M, Haniu H (2010) Properties of sugarcane waste-derived biooils obtained by fixed-bed fire-tube heating pyrolysis. *Bioresource Technology* 101:4162–4168
- Janković Snežana, Ikanović J, Kolarić Lj, Živanović Lj, Popović V, Dražić G, Rakić S, Trkulja V (2017) Prospects for using sudan grass as a source of renewable energy. VIII International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2017", Book of Proceedings, pp 1853–1859
- Jawaid M, Paridah MT, Saba N (2017) Introduction to biomass and its composites. In: Jawaid M, Paridah MT, Saba N (eds) *Lignocellulosic, Fibre and Biomass-Based Composite Materials: Processing, Properties and Applications*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 1–11
- Joshi G, Pandey JK, Rana S, Rawat DS (2017) Challenges and opportunities for the application of biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:850–866
- Kaltschmitt M, Bridgwater AV (1997) *Biomass gasification and pyrolysis: State of the art and future prospects*. CPL Press, Newbury, United Kingdom, pp 1–550
- Kaltschmitt M, Rosch C, Dinkelbach L (1998) *Biomass gasification in Europe*. European Commission Report AIR3-CT94–2284, Brussels, Belgium, pp 1–243
- Kashanian M, Pishvae MS, Sahebi H (2020) Sustainable biomass portfolio sourcing plan using multi-stage stochastic programming. *Energy* 204:117923. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117923>, Приступљено: 14.04.2022
- Kitani O, Peart RM (1999) Natural energy and biomass. In: Kitani O, Jungbluth T, Peart RM, Ramdami A (eds) *Energy and Biomass Engineering*. The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, pp 1–11
- Kour D, Rana KL, Yadav N, Yadav AN, Rastegari AA, Singh C, Negi P, Singh K, Saxena AK (2019) Technologies for biofuel production: Current development,

- challenges, and future prospects. In: Rastegari AA, Yadav AN, Gupta A (eds) *Prospects of Renewable Bioprocessing in Future Energy Systems, Biofuel and Biorefinery Technologies*. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp 1–50
- Kujawska A, Kujawski J, Bryjak M, Kujawski W (2015) ABE fermentation products recovery methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48:648–661
- Kumar M, Gayen K (2011) Developments in biobutanol production: New insights. *Applied Energy* 88:1999–2012
- Kumar A, Ergas S, Yuan X, Sahu A, Zhang Q, Dewulf J, Malcata FX, Van Langenhove H (2010) Enhanced CO<sub>2</sub> fixation and biofuel production via microalgae: Recent developments and future directions. *Trends in Biotechnology* 28:371–380
- Li Y, Wang T, Yin X, Wu C, Ma L, Li H, Sun L (2009) Design and operation of integrated pilot-scale dimethyl ether synthesis system via pyrolysis/gasification of corncob. *Fuel* 88(11):2181–2187
- Lecksiwilai N, Gheewala SH, Sagisaka M, Yamaguchi K (2016) Net energy ratio and life cycle greenhouse gases (GHG) assessment of bio-dimethyl ether (DME) produced from various agricultural residues in Thailand. *Journal of Cleaner Production* 134:523–531
- Mondal U, Yadav GD (2019) Perspective of dimethyl ether as fuel: Part I. Catalysis. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 32:299–320
- McCormick K, Kaberger T (2007) Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain coordination. *Biomass Bioenergy* 31(7):443–452
- Naber JD, Johnson JE (2014) Internal combustion engine cycles and concepts. In: Folkson R (ed) *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance – Towards zero carbon transportation*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 197–224
- Ntaikou I, Antonopoulou G, Lyberatos G (2010) Biohydrogen production from biomass and wastes via dark fermentation: A review. *Waste Biomass Valorization* 1:21–39
- Onochie UP, Aliu SA, Itabor N, Damisah LE, Eyakwanor TO (2015) A review on the use of biomass energy for electricity generation: Environmental impact on climate. *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology* 4(9):674–678
- Pampulha ME, Loureiro-Dias MC (2000) Energetics of the effect of acetic acid on growth of *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Letters* 184:69–72
- Patil VS, Hanmantrao DV (2015) Review article biomass as a source of renewable energy: A comprehensive review. *International Journal of Current Research* 7(3):13749–13757
- Pearson RJ, Turner JW (2014) The role of alternative and renewable liquid fuels in environmentally sustainable transport. In: Folkson R (ed) *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance – Towards zero carbon transportation*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 19–51

- Pugazhendhi A, Mathimani T, Varjani S, Rene ER, Kumar G, Kim SH, Ponnusamy VK, Yoon JJ (2019) Biobutanol as a promising liquid fuel for the future – recent updates and perspectives. *Fuel* 253:637–646
- Rahman SNA, Masdar MS, Rosli MI, Majlan EH, Husani T, Kamarudin SK, Daud WRW (2016) Overview biohydrogen technologies and application in fuel cell technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66:137–162
- Reid WV, Ali MK, Field CB (2020) The future of bioenergy. *Global Change Biology* 26:274–286
- Rodionova M, Poudyal R, Tiwari I, Voloshin R, Zharmukhamedov S, Nam H, Zayadan B, Bruce B, Hou H, Allakhverdiev S (2017) Biofuel production: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy* 42:8450–8461
- Rosillo-Calle F (2007) Overview of bioenergy. In: Rosillo-Calle F, de Groot P, Hemstock SL, Woods J (eds) *The Biomass Assessment Handbook – Bioenergy for a Sustainable Environment*. Earthscan Publications Ltd., London, UK & Sterling, Virginia, pp 1–26
- Rosillo-Calle F (2016) A review of biomass energy – shortcomings and concerns. *Journal Chemical Technology and Biotechnology* 91:1933–1945
- Rosillo-Calle F, de Groot P, Hemstock LS, Woods J (2007) *The Biomass Assessment Handbook Bioenergy for a Sustainable Environment*. Earthscan Publications Ltd., London, UK & Sterling, Virginia, USA, pp 1–292
- Rosillo-Calle F, Moreira JR (2006) Domestic energy resources. In: *Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development*. International Atomic Energy Agency (IAEA/UN), Vienna, Austria, pp 47–63
- Rosillo-Calle F, Walter AS (2006) Global market for bioethanol: Historical trends and future prospects. *Energy for Sustainable Development* 10(1):20–32
- Ross AB, Biller P, Kubacki ML, Li H, Lea-Langton A, Jones JM (2010) Hydrothermal processing of microalgae using alkali and organic acids. *Fuel* 89:2234–2243
- Runge CF, Senauer B (2007) Biofuel: Corn isn't the king of this growing domain. *Nature* 450:478
- Sarkodie SA, Strezov V (2019) Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *Science of the Total Environment* 646:862–871
- Safana AA, Idowu II, Saadu I, Adamu BI, Musa IM, Habibu S (2017) Potential application of pyrolysis bio- oil as a substitute for diesel and petroleum fuel. *Journal of Petroleum Engineering & Technology* 7:19–29
- Sikarwar VS, Zhao M, Clough P, Yao J, Zhong X, Memon MZ, Shah N, Anthony EJ, Fennell PS (2016) An overview of advances in biomass gasification. *Energy Environmental Science* 9:2939–2977
- Sims REH (2002) The brilliance of bioenergy: In business and in practice. James and James, London, United Kingdom, pp 1–328
- Solantausta Y, Wagener M, Faaij APC, Schlamadinger B (2002) Large scale international bio-energy trade. In: *Proceedings 12th European Conference and*



- Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. ETA-Florence Renewable Energies, Amsterdam, Netherlands, pp 1193–1196
- Stattman SL, Gupta F, Partzsch L, Oosterveer P (2018) Toward sustainable biofuels in the European Union? Lessons from a decade of hybrid biofuel governance. *Sustainability* 10:4111
- Surriya O, Saleem SS, Waqar K, Kazi AG, Ozturk M (2015) Bio-fuels: A blessing in disguise. In: Öztürk M, M Ashraf, A Aksoy, MSA Ahmad (eds) *Phytoremediation for Green Energy*. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp 11–54
- Scott SA, Davey MP, Dennis JS, Horst I, Howe CJ, Lea-Smith DJ, Smith AG (2010) Biodiesel from algae: Challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology* 21:277–286
- Tesla N (1900) The problem of increasing human energy – With special reference to the harnessing of the sun’s energy. *The Century Illustrated Monthly Magazine* 60(2):175–211
- Tomes D, Lakshmanan P, Songstad D (2011) *Biofuels: Global Impact on Renewable Energy, Production Agriculture, and Technological Advancements*. Springer Science & Business Media, Heidelberg, Germany, pp 1–365
- Trkulja V, Bajrović K, Vidović S, Ostojić I, Terzić R, Ballian D, Subašić Đ, Mačkić S, Radović R, Čolaković A (2014) Priručnik za uzorkovanje reprodukcionog materijala bilja i proizvoda koji sadrže i/ili se sastoje ili potiču od genetički modificiranih organizama (GMO). Agencija za bezbjednost hrane Bosne i Hercegovine i Uprava Bosne i Hercegovine za zaštitu zdravlja bilja, str 1–64
- Trkulja V, Ballian D, Vidović S, Terzić R, Ostojić I, Čaklović F, Džubur A, Hajrić Dž, Perković G, Brenjo D, Čolaković A (2018) Genetički modificirani organizmi – stanje i perspektive. Agencija za bezbjednost hrane Bosne i Hercegovine, str 1–141
- Trkulja V, Karić N, Ostojić I, Treštić T, Dautbašić M, Mujezinović O (2012) Atlas karantinskih štetnih organizama. Uprava Bosne i Hercegovine za zaštitu zdravlja bilja, Sarajevo, str 1–668
- Trkulja V, Ostojić I, Škrbić R, Herceg N, Petrović D, Kovačević Z (2010) *Ambrozija*. Društvo za zaštitu bilja u Bosni i Hercegovini, Banja Luka, str 1–194
- Trkulja V, Rajić Z, Ralević N, Kajgana M, Ikanović J, Kalanović B (2004) Organization of hemp production by network planning technique appliance. 3rd Global workshop (General Consultation) of the FAO/ESCORENA European Cooperative Research Network on Flax and Other Bast Plants "Bast Fibrous Plants for Healthy Life", October 24–28, 2004, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. *The Electronic Book of Proceedings*, pp 1–10
- Tursi A (2019) A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal* 22:962–979
- Folkson R (2014) *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance – Towards zero carbon transportation*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 1–784
- Haggerty AP (2011) *Biomass Crops: Production, Energy and the Environment*. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, New York, USA, pp 1–232

- Hartmann H (2014) *Proizvodnja, priprema i svojstva biogenih čvrstih goriva*. U: Priručnik o čvrstim biogorivima. Stručna agencija za obnovljive resurse (FNR), Gülzow-Prüzen, Germany, str 17–52
- Heimann K (2016) Novel approaches to microalgal and cyanobacterial cultivation for bioenergy and biofuel production. *Current Opinion in Biotechnology* 38:183–189
- Henry RJ (2010) Evaluation of plant biomass resources available for replacement of fossil oil. *Plant Biotechnology Journal* 8(3):288–293
- Hofman T (2014) Hybrid drive train technologies for vehicles. In: Folkson R (ed) *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance – Towards zero carbon transportation*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 567–581
- Huang H-J, Yuan X-Z (2015) Recent progress in the direct liquefaction of typical biomass. *Progress in Energy and Combustion Science* 49:59–80
- Cainenga Z, Qunb Z, Guosheng Z, Bo X (2016) Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B* 3(1):1–11
- Chen W-H, Lin B-J, Lin Y-Y, Chu Y-S, Ubando AT, Show PL, Ong HC, Chang J-S, S-H Ho Culaba AB, Pétrissans A, Pétrissans M (2021) Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. *Progress in Energy and Combustion Science* 82:100887. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100887>, Приступљено: 22.04.2022
- Wang S, Sun X, Yuan Q (2018) Strategies for enhancing microbial tolerance to inhibitors for biofuel production: A review. *Bioresource Technology* 258:302–309
- Wackett LP (2008) Microbial-based motor fuels: Science and technology. *Microbial Biotechnology* 1(3):211–225
- Woods J, Hall DO (1994) *Bioenergy for Development: Technical and Environmental Dimensions*, FAO Environment and Energy Paper 13. FAO, Rome, Italy
- Xiu S, Shahbazi A (2012) Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:4406–4414
- Xu Y, Hu X, Li W, Shi Y (2011) Preparation and characterization of bio-oil from biomass. In: Shaukat S (ed) *Progress in Biomass and Bioenergy Production*. IntechOpen Limited, London, United Kingdom, pp 197–222
- Yang G, Hu Y, Wang J (2019) Biohydrogen production from co-fermentation of fallen leaves and sewage sludge. *Bioresource Technology* 285:121342. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121342>, Приступљено: 21.04.2022
- Yi W, Bai X, He F, Yao F (2000) Biomass liquefaction in a high-temperature plasma jet flow. *Journal of Shandong University of Science and Technology* 14:9–12

## **Future trends in the sustainable use of biomass**

Vojislav Trkulja, Novo Pržulj, Jelena Lević, Miloš Nožinić

### **Summary**

The modern world is facing many challenges such as population growth, the need to provide sufficient food, climate change, increasing environmental pollution, rising energy prices, new environmental regulations, high depletion of oil and other minerals, growing socio-environmental issues, as well as the need for energy security. All these challenges have led to significant progress in the research and development of renewable energy sources, and it is expected that in the search for alternative energy sources in the future the model of renewable energy production from biomass will be a goal to be pursued by most countries. However, in order for this task to be successfully completed in the coming period, it is necessary to overcome several challenges, among which the most important are the economic sustainability of biomass production and collection and its conversion into various forms of bioenergy.

Bioenergy is becoming a central issue of sustainability as it reduces greenhouse gas emissions and air pollution and increases diversity and energy security. In this context, the contribution of modern and sustainable bioenergy must be significantly increased in final energy demand, as well as an increase in the share of sustainable low-carbon biofuels in transport fuels. In addition, carbon emissions should be gradually reduced based on life cycle estimates, using biofuels to replace fossil fuels. It should also increase global investment in sustainable and low-carbon bioenergy, including advanced and flexible biorefineries capable of producing energy and products based on biomass and bioeconomy.

However, the expansion of the bioeconomy – defined as a set of activities related to innovation, development, production and use of biomass or processes of production of renewable energy, materials and chemical products – should be based on sustainable practices that guarantee greenhouse gas emission reductions and avoidance of adverse effects from ecological, economic and social point of view. Despite the growing consensus on the importance and urgency of accelerating the development of bioenergy and biofuels, investment is not as intensive as necessary, and the implementation of technologies encounters a number of barriers, such as large initial investments, financial risks, volatility in oil and other commodity prices and regulatory uncertainties.

This chapter provides an overview of the potentials and future trends in the use of biomass for various types of bioenergy. Special emphasis is placed on the most significant challenges in the processing and use of biomass in the future. Data on the improvement of technologies in the use and processing of biomass in the future, including combustion, co-combustion, gasification, pyrolysis and combined heat and electrical energy, are presented. An overview of some of the most important biofuels of the future is also given, such as: biohydrogen, biobutanol, biooils and bio-dimethyl ether.

*Keywords:* Biomass, bioenergy, future challenges and trends, biofuels of the future