

Биомаса као обновљиви извор енергије

Војислав Тркуља, Јелена Левић, Ново Пржуљ, Драган Мандић

Сажетак: Конвенционални извори енергије, као што су фосилна горива, нафта, угаљ и природни гас метан, необновљиви су извори енергије, који су некада сматрани примарним изворима енергије, а исцрпљују се услед интензивне употребе, што је довело до ескалације глобалне енергетске кризе. Поред тога, употреба фосилних горива има значајан недостатак у вези са емисијом у атмосферу токсичних и штетних гасова, који загађују животну средину. Алтернатива употреби фосилних горива јесте да се енергија добија прерадом биомасе која се добија у процесу фотосинтезе и која се користи као сировина за производњу биоенергије.

Биомаса се односи на нефосилизовани биолошки материјал добијен из живих или донедавно живих организама и биоразградиви органски материјал или материјал на бази угљеника поријеклом из биљака, животиња, биљних материјала и микроорганизама. Биоенергија се може дефинисати као извор енергије добијен из органске материје или биомасе који се експлицитно користи у енергетске сврхе. Биоенергија је највећи обновљиви извор енергије на свијету, који и даље има велики удио у снабдијевању обновљивим изворима енергије и чини 70% укупне понуде обновљивих извора. Данас је биоенергија једини облик енергије која задовољава

Цитирање: Тркуља В, Левић Ј, Пржуљ Н, Мандић Д (2023) Биомаса као обновљиви извор енергије. 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:1–63

Cite as: Trkulja V, Lević J, Pržulj N, Mandić D (2023) Biomass as a renewable energy source. 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:1–63

критеријум затвореног система у погледу стварања угљен-диоксида и чврстих материјалних продуката сагоријевања. Највећи дио угљеника који се ослобађа у облику угљен-диоксида наредна генерација биљака упија процесом фотосинтезе или преко минерала из земљишта. Стога, биомаса постаје један од кључних енергетских ресурса у борби са глобалним загријавањем и исцрпљивањем резерви фосилних горива.

Треба истаћи да примарна предност биомасе као извора енергије није у њеном значајном потенцијалу, већ у обновљивости. Управо обновљивост даје суштинску предност биомаси над класичним, фосилним горивима која су необновљива и самим тим не могу бити основ за дугорочно планирање одрживог раста, који подразумевијева рационално коришћење енергије.

Биомаса није извор енергије у транзицији, како се то често представља, већ ресурс који постаје све важнији као савремени енергент. Због тога је у овом поглављу дат детаљан преглед биомасе као највећег свјетског извора обновљиве енергије, укључујући дефиниције биомасе, историјат коришћења биомасе и садашњу производњу биоенергије из биомасе. Приказани су подаци о класификацији/категоризацији биомасе и главним методама за производњу биоенергије из биомасе, као и предностима и недостацима коришћења биомасе за производњу биоенергије. Посебно је дат акценат на утицај биомасе на животну средину и биодиверзитет, као и најзначајније актуелне изазове при коришћењу биомасе за производњу биоенергије, укључујући садржај воде и густину биомасе, њену сложеност и разноликост, избор оптималних метода предтретмана и услова прераде биомасе и недостатак података о биомаси, као и изазове економске одрживости производње биоенергије из биомасе те друге еколошке, економске и друштвене изазове.

Кључне ријечи: Биомаса, класификација, историјат коришћења, актуелно стање, методе прераде, изазови коришћења

1.1. Увод

Енергија, вода и храна три су главна елемента која осигуравају опстанак људи на планети Земљи. Свјетски енергетски развој улази у нови историјски период, када је неизоставно потребна чиста и нискоугљенична енергија (Cainenga et al. 2016). Економски, социјални и индустријски раст било које земље и цивилизације зависи од енергије. Комерцијална потрошња енергије расте са повећањем броја становника, високим економским растом и индустријским развојем (Patil et al. 2015). Статистика показује да се потрошња

енергије експоненцијално повећала од Индустијске револуције (Haggerty 2011). Генерално, енергија се може класификовати као необновљива и обновљива (Patil et al. 2015).

Примарни извори енергије у данашње вријеме су необновљиви извори, гдје спадају угаљ, нафта, природни гас (фосилна горива) и нуклеарна енергија. Основни проблеми у вези са необновљивим изворима енергије јесу њихова ограничена количина и негативан утицај на животну средину. Сагоревањем фосилних горива ослобађа се велика количина CO₂ са ефектом стаклене баште, који доводи до глобалног загријевања или глобалног пораста температуре на Земљи. Са друге стране, нуклеарна горива нису штетна за атмосферу, али јединења настала приликом нуклеарне реакције остају радиоактивна још годинама и морају бити ускладиштена у посебним условима (Subić i sar. 2017).

Као што је у 20. вијеку нафта доживјела пораст као главно гориво, тако ће у 21. вијеку све више доминирати обновљиви извори енергије (Rosillo-Calle et al. 2007). Обновљивост означава могућност и ниво истрајности подношења нежељених стања унутар неког система који неће довести до његовог уништења, као и могућност квалитативног и континуираног развоја посматраног система од општег интереса за човјечанство (Subić i sar. 2017). У обновљиве изворе енергије сврставају се соларна енергија, енергија вјетра, енергија водених токова и енергија биомасе.

Широм свијета, биомаса је четврти највећи енергетски ресурс, након угља, нафте и природног гаса. Процењује се на око 14% глобалне примарне енергије или много више у земљама у развоју, али са потенцијалом да учествује до 30%–40% или више процената до 2050. године, зависно од врсте извора. Енергија биомасе пружа вишеструку енергију, заштиту животне средине и социјално-економске користи, у распону од електричне енергије, топлоте до транспорта (Kurchania 2012; Rosillo-Calle 2016; Sikarwar et al. 2016).

Генерално, биомаса је прихваћена као „зелено“ гориво за производњу енергије јер су емисије CO₂ много мање него за фосилна горива (Onochie et al. 2015). Енергија из биомасе, која је замјена за нафту, може се користити за задовољавање различитих енергетских потреба, укључујући производњу електричне енергије, гријање, моторно (дизел, бензин) или авио-гориво, топлоту за индустрију и др. (Rosillo-Calle et al. 2007; Henry 2010; Kurchania 2012; Bildirici 2014; Hood 2016; Ericsson and Werner 2016; Morgan et al. 2019).

Биомаса је тренутно најраспрострањенији облик обновљиве енергије и њено коришћење даље се повећава због забринутости над штетним утицајима потрошње фосилних горива, као што су климатске промјене са глобалним

загријевањем и утицаји на људско здравље (Tursi 2019). Биомаса биљака доминира биомасом биосфере и углавном се налази на површини Земље, док се испод површине Земље налази око 15% укупне биомасе у биосфери, која се углавном састоји од бактерија и археја (једноћелијски прокариоти или прабактерије). Морско окружење превасходно заузимају микроби, углавном бактерије и протисти, који чине око 70% од укупне морске биомасе, док се преосталих око 30% углавном састоји од чланконожаца и риба. Међутим, студије о биомаси у воденим срединама су ријетке, што значи да процјене имају посебно високу несигурност и да је присутан недостатак систематских и поузданих података (Bar-Ona et al. 2018).

Постојећа међународноправна глобална политика у области климатских промјена на посредан начин има утицај на све већи значај биомасе у сектору енергетике сваке земље. Ова политика, чију основу чине Оквирна конвенција УН о промјени климе (UNFCCC) и Кјото протокол (КР), има за циљ да осигура стабилизацију нивоа гасова стаклене баште (CO_2 , N_2O , CH_4 , HFCs , PFCs и SF_6) у атмосфери на нивоу који ће спријечити опасне антропогенске утицаје на климатски систем, који се састоји од атмосфере, хидросфере, земљишта, леденог покривача, биосфере и интерактивних односа међу овим подсистемима, те да се спријече нежељени временски услови за производњу хране и снабдијевање водом и осигура будући привредни развој (Службени гласник Босне и Херцеговине бр. 19/00 и 3/08).

Закон о заштити животне средине (Службени гласник Републике Српске бр. 53/02 и 109/05) има, такође, посредан утицај и на коришћење биоенергије, јер се њиме уређује: а) очување, заштита, обнова и побољшање еколошког квалитета и капацитета животне средине, као и квалитета живота; б) мјере и услови за управљање, очување и рационално коришћење природних ресурса; в) оквир правних мјера и институција за очување, заштиту и побољшање заштите животне средине; г) финансирање активности; д) спречавање нарушавања животне средине; ђ) заштита људског здравља; е) очување и заштита природних ресурса, рационално коришћење ресурса и такав начин привреде којим се осигурава обнова ресурса; ж) међународна сарадња; з) учешће јавности; и) координација привреде и интегрисање социјалног и економског развоја; ј) успостављање и развој институција за заштиту животне средине. Поред тога, овај закон утврђује одрживост животне средине, која „подразумијева стално очување биолошке разноликости, људског здравља, те квалитета ваздуха, воде и земљишта према стандардима који су увијек довољни за живот и благостање људи, као и флоре и фауне“. Исто тако, Закон утврђује да се „при коришћењу природних ресурса животне средине мора поштовати начело предострожности, тј. пажљиво управљати и економично користити компоненте животне средине.

Осим тога, и продуковање отпада мора се свести на најмању могућу мјеру, уз примјену рециклаже насталог отпада, односно поновног коришћења природних и вјештачких материјала“.

Након трансформације кључног извора енергије од дрвета у угљ, послје чега је дошло и до трансформације угља као кључног извора енергије у нафту и гас, у будућности ће се догодити и трећа велика енергетска трансформација од нафте и гаса у нову енергију – биоенергију која се добија из биомасе. Напредак у социјалној цивилизацији, науци и технологији покреће ефикасан развој обновљивих извора енергије и повећање удјела нове потрошње биоенергије. Прије или касније, нафта, гас, угљ и биоенергија чиниће по четвртину глобалне потрошње енергије у новој ери. Иако се фосилна енергија још увијек доста користи у свијету, очекује се да ће велики пробој бити постигнут у неким кључним технологијама, те да ће све већа потражња за еколошком заштитом животне средине подстаћи и трећу енергетску трансформацију, односно све веће коришћење биоенергије произведене из биомасе (Cainenga et al. 2016).

Да би одржива производња биоенергије из биомасе била широко прихваћена у пракси, мора као предуслове имати неконкурентност са производњом хране и допринос смањењу емисија гасова стаклене баште у поређењу са традиционалним изворима енергије (Owusu and Asumadu-Sarkodie 2016; Narjanne and Korhonen 2019). Производња биогорива, безбједност хране и одрживи развој јесу циљеви који се могу истовремено остварити јер земљиште које је на располагању за истовремену производњу хране и биоенергије у свијету није ограничавајући фактор (Kline et al. 2017). Иако је доступност земљишта озбиљно ограничење за производњу биоенергије, Reid et al. (2020) истакли су да ће, на основу тренутних трендова и политика, биоенергија која интензивно користи земљиште вјероватно порасти у наредној деценији.

1.2. Дефиниција биомасе

Термин „биомаса“ први пут је употребиљен у Закону о коришћењу електрана и индустријског горива (САД) из 1978. године (P.L. 95-620), гдје се о њој говорило као о врсти алтернативног горива. Међутим, термин је први пут дефинисан у Закону о енергетској сигурности из 1980. године (P.L. 96-294, II), као „било која органска материја која је доступна на обновљивој основи, укључујући пољопривредне усјеве и пољопривредни отпад и остатке, дрво и дрвни отпад и остатке, животињски отпад, комунални отпад и водене биљке“ (Brasmort 2019).

Ријеч „биомаса“ је сложена и потиче од грчке ријечи „bio“, што значи „живот“, и ријечи „máza“, што значи „маса“ (Jawaid et al. 2017). „Биомаса“ је научни израз за живу материју, али ријеч „биомаса“ се такође користи за означавање производа добијених из живих организама – дрво, биљни дијелови и остаци попут гранчица, стабљика и лишћа, као и водене биљке и животињски отпад (Kurchania 2012; Huang and Yuan 2015). Различите дефиниције биомасе, садржане у закону, одређују шта се квалификује као биомаса и која земљишта испуњавају услове да се на њима производи биомаса, те енергетски програм за обрачун фарми, порез, подстицаје и још много тога. Начин на који је биомаса дефинисана у законодавству утиче на одлуке о врстама узгајаних усјева, мјестима гдје се они могу узгајати, као и њихове потенцијалне префериране употребе за производњу биоенергије (Friedman et al. 2004).

Најједноставније речено, биомаса је сва органска материја која се налази на нашој планети. Термин „биомаса“ се генерално односи на обновљиве органске материје које генеришу биљке кроз фотосинтезу. Током фотосинтезе, биљке усвајају CO₂ из ваздуха и воду из земљишта да би уз помоћ сунчеве енергије створиле угљене хидрате који формирају биохемијски „градивни и енергетски блок“, због чега је биомаса која се производи директно фотосинтезом „основни мотор живота“ на Земљи. У дефиницију биомасе могу се укључити и животиње, које су, попут биљака, обновљиве, али не користе сунчеву енергију (Haggerty 2011; Kurchania 2012; Decker et al. 2012; Patil et al. 2015). Репрезентативне компоненте различитих сировина из биомасе укључују и угљене хидрате, лигнин, протеине и липиде (Huang and Yuan 2015).

У овој монографији, према McKendry (2002), термин „биомаса“ односи се на сав органски материјал и сав органски отпад, који потиче од свих биљака и животиња на копну и у води, укључујући све гајене и спонтанорастуће биљке, као и макроалге и микроалге, које могу користити сунчеву свјетлост и CO₂ у процесу фотосинтезе за производњу биомасе.

Дефиниције биомасе обично садрже три компоненте: пољопривреду (нпр. усјеве), шумарство (нпр. прорјеђивање шума) и отпад (нпр. храну). Више дефиниција биомасе може бити укључено у један закон који испуњава захтјеве повезаних програма или одредби (Friedman et al. 2004). Биомаса се односи на нефосилизовани биолошки материјал добијен из живих/недавно живих организама и биоразградиви органски материјал или материјал на бази угљеника поријеклом из биљака, животиња, биљних материјала и микроорганизама (Jawaid et al. 2017).

Биомаса се односи на масу живих организама, укључујући биљке, животиње и микроорганизме, или, са биохемијског аспекта, целулозу, лигнин, шећере, масти и протеине. Биомаса биљака укључује надземно (лишће, гранчице,

гране и др.) и подземно ткиво (коријење дрвећа и ризома трава). Биомаса се често наводи као маса по јединици површине (g m^{-2} или Mg ha^{-1}) и обично као сува маса (код које је вода уклоњена сушењем). Ако није другачије назначено, биомаса обично укључује само живи материјал. На примјер, ни мртво дрво ни органска материја земљишта не сматрају се биомасом, мада земљиште садржи биомасу у облику бактерија, гљива и мезофауне. Генерално, биомаса земљишта (живи и мртви микроби) је < 5% органске материје земљишта (Houghton 2008).

1.3. Историјат коришћења биомасе

Током људске историје, биомаса је у свим својим појавним облицима била најважнији извор свих основних потреба човјека, често резимираних као шест „f“ на енглеском језику: храна (food), храна за животиње (feed), гориво (fuel), сировина (feedstock), влакна (fibre) и ђубриво (fertilizer). Производи од биомасе су такође често извор седмог „f“ – финансија (finance). Све до раног 19. вијека, биомаса је била главни извор енергије за индустријске земље, при чему она и данас обезбјеђује највећи дио енергије за многе земље у развоју (Rosillo-Calle 2007).

Прошле цивилизације најбоље свједоче о улози биоенергије. Људи су хиљадама година, од открића ватре, директно или индиректно трошили биомасу, преваходно дрво, као главни извор глобалне енергије, прије свега за кување, гријање и мале кућне радности (Ingole and Kakde 2012; Bildirici 2014; Rosillo-Calle 2016). Шуме су имале пресудан утицај на свјетске цивилизације, које су цвјетале све док су градови били подржани шумама и областима за производњу хране. Дрво је било темељ на коме су била изграђена прошла друштва. Без овог ресурса, цивилизација је пропадала – шуме су за њих биле оно што је нафта данас за нас (Rosillo-Calle and Hall 2002; Hall et al. 1994). На примјер, Римљани су користили огромне количине дрвета за градњу, гријање и за све врсте индустрија, због чега су посједовали бродове за довоз дрвета чак из Француске, Сјеверне Африке и Шпаније. Интензивно коришћење дрвета као материјала за архитектуру и бродоградњу, горива за гријање, кување, металургију и за друге намјене на Криту, Кипру, у микенској Грчкој и многим областима око Рима узроковало је крчење већег дијела шума. Када су њихове шуме биле исцрпљене, ове цивилизације почеле су да пропадају (Perlin and Jordan 1983).

Почетак индустријализације такође је био заснован и на ресурсима биомасе. Као примјер може се навести дрвени угаљ, који се хиљадама година користио за топљење гвожђа. Археолози су утврдили да је топљење гвожђа топлотом

добитоном спаљивањем дрвеног угља одговорно за крчење шума великих размјера у близини Викторијиног језера у Централној Африци, прије око 2.500 година. Такође, главни град Етиопије Адис Абеба може се навести као примјер зависности од огревног дрвета. Наиме, Етиопија није имала модерну престоницу све до успостављања модерних плантажа еукалиптуса, које су подигнуте почетком 20. вијека, што је омогућило Влади да трајно остане у Адис Абеби. Прије него што је обезбијеђен одржив извор биомасе, Влада је била принуђена да се сели из региона у регион пошто су ресурси шуме били исцрпљени (Hall and Overend 1987).

Такође, неки историчари су тврдили да се Сједињене Америчке Државе и Европа не би развиле без обилних залиха дрвета, пошто је индустријска револуција у почетку била могућа само због доступности ресурса биомасе. Британија је одличан примјер земље која је успјела да постане једна од најмоћнијих нација свијета захваљујући, великим дијелом, својим шумама. У почетку су шуме, углавном хрестове, покривале двије трећине Велике Британије. Дрво и дрвени угаљ произведени из ових шума били су основа за индустријску револуцију и наставили су да подстичу индустријски развој у Великој Британији све до XIX вијека (Schubert 1957).

Прелазак енергије са традиционалних „биљних“ или „органских“ извора енергије на савремена фосилна горива означио је снажни дисконтинуитет у доступности и коришћењу енергије и био је један од главних темеља савременог економског раста (Warde 2007).

Древни народи обожавали су свету ватру са природним гасом, који је пролазио на површину кроз поре и пукотине Земљине коре. Један од примјера је чувено пророчиште Делфи око 1.000 године п.н.е. Писани извори из 500. године указују на то да су Кинези користили природни гас за загријавање воде до кључања. Упркос покушајима транспорта гаса још давне 1821. године, тек је послје Другог свјетског рата то питање ријешено стварајући нагли развој индустрије природног гаса (Devold 2013).

Није тачно познато када је човјечанство први пут користило нафту, али корисност нафте препозната је од самих почетака цивилизације. Вискозни облик нафте или асфалт користио се за водоотпорне чамце и гријање домова већ 6.000 година п.н.е. или као средство за балзамовање мумија око 3.000 година п.н.е. Огроман скок важности нафте за човјечанство забиљежен је крајем 1800-их година, када је нафта замијенила угаљ као примарно гориво за машине индустријске револуције. Тек 1859. године Едвин Дрејк први је успио добити нафту из земљишне бушотине, која је након тога као извор енергије пресудно утицала на развој аутомобилске индустрије крајем XIX вијека или авио-индустрије у XX вијеку. Бродови на

нафтни погон могли су се кретати и до два пута брже од бродова на угаљ, што је омогућавало онима који су их посједовали виталну војну предност (Devold 2013). У данашњем индустријализованом друштву, нафта значи моћ (Fagan 1991), а предвиђа се да ће врхунац развоја нафтне индустрије бити око 2040. године (Cainenga et al. 2016).

Међутим, без обзира на доминацију фосилних горива, која је настала са почетком индустријализације, многа биогорива користила су се и наставила су да се користе у наредном периоду. Тако је, нпр., интересантно поменути да је Рудолф Дизел 1893. године као прво моторно гориво за свој нови дизел-мотор користио уље кикирикија (Shay 1993; Rosillo-Calle et al. 2007).

Седамдесете године XX вијека биле су пионирске године, које су пружале обиље иновативних идеја о обновљивој енергији, које су додатно напредовале осамдесетих година 20. вијека, када је компјутерска револуција играла кључну улогу. Током деведесетих година, побољшања у обновљивим изворима енергије омогућила су технологији да искористи прилике на тржишту у настајању, као што су гасификација, когенерација итд. Ове прилике биле су у великој мјери повезане са растућом забринутошћу за климатске промјене и животну средину. Почетком XXI вијека, почела је да доминира глобална политика за ублажавање климатских промјена, при чему је од суштинског значаја да енергија биомасе буде интегрисана са постојећим изворима енергије и да на тај начин буде у стању да одговори на изазове интеграције са другим обновљивим изворима енергије и фосилним горивима (Rosillo-Calle 2007).

Широм свијета, горива од биомасе наставила су да се користе за кување у домаћинствима и многим институцијама и кућним радностима, почевши од производње цигле и плочица, обраде метала, пекара, прераде хране, ткања, гријања итд. У скорије вријеме, постављају се многа нова постројења која обезбјеђују енергију из биомасе директно кроз сагоријевање, за производњу електричне енергије или у објектима за комбиновану топлотну и електричну енергију. Супротно општем мишљењу, према Rosillo-Calle (2007), коришћење биомасе широм свијета остаје стабилно или расте из три основна разлога, и то: раст популације, урбанизација и побољшање животног стандарда и све већа забринутост за животну средину.

1.4. Садашња производња биоенергије из биомасе

Традиционална биоенергија поново је добила на значају у посљедњих 100 година, али сада у напреднијој и савременијој верзији (Rosillo-Calle et al.

2007). Њена топографска независност и сразмјерно велика доступност чини је обећавајућим избором у односу на друге обновљиве изворе енергије, попут соларних, вјетроелектрана или хидроелектрана (Sikarwar et al. 2016). У свијету, 1,2 милијарде сеоског становништва још увијек је енергетски сиромашно и захтијева приступачнију, чисту и одрживу енергију. Сви ови разлози учинили су биоенергију данас потребнијом него икада прије и није случајно да развој биоенергије данас узима маха у многим земљама, како у развоју, тако и у развијеним индустријализованим земљама (Rosillo-Calle et al. 2007).

Тако је енергија из биомасе и даље главни извор енергије у многим земљама у развоју, посебно у својим традиционалним облицима, обезбјеђујући у просјеку 35% енергетских потреба три четвртине свјетског становништва. Тај проценат достиже чак 60%–90% у најсиромашнијим земљама у развоју. Међутим, савремена примјена енергије добијене из биомасе брзо се повећава, како у индустријским земљама, тако и у земљама у развоју, тако да сада чини 20%–25% укупне употребе енергије у свијету (Rosillo-Calle 2007).

Биомаса је тренутно најраспрострањенији облик обновљиве енергије, а њена експлоатација додатно је повећана усљед забринутости због утицаја повећања потрошње фосилних горива на климатске промјене (Tursi 2019). У контексту алтернативних енергетских политика, употреба различитих извора биомасе заснованих на пољопривреди нашла је широку примјену широм свијета, захваљујући њиховим атрактивним особинама, као што су компатибилност са постојећом инфраструктуром за дистрибуцију горива, бољи профил емисије издувних гасова, обновљивост и одрживост (McKendry 2002; Andrade et al. 2020). Такође и Sharma et al. (2020) истичу да за успјешну одрживу имплементацију биомасе за производњу биоенергије, коришћење пољопривредног отпада и комуналног чврстог отпада може допринијети рјешавању проблема управљања отпадом и помоћи у смањењу емисија гасова стаклене баште (Andrade et al. 2020).

Главно ограничење у производњи биоенергије из биомасе јесте економска одрживост производње сировина и процеса конверзије (Carlson et al. 2008; Chen et al. 2007). Цијена отпадног јестивог уља је 2,5–3,5 пута нижа од некоришћених биљних уља, тако да може значајно да смањи укупне трошкове производње биодизела. Како се велике количине отпадног јестивог уља илегално одлажу у ријеке и депоније, изазивајући загађење животне средине, овај проблем може се значајно смањити коришћењем отпадног јестивог уља за производњу биодизела, који се користи за замјену дијела дизел-горива на бази нафте (Balat 2011a).

Микроалге су назначене као алтернатива коришћењу кукуруза, соје, уљане репице и других гајених биљака за производњу биоенергије због њихове високе продуктивности по јединици површине, као и због тога што оне не представљају конкуренцију гајеним биљкама у коришћењу земљишта, смањујући на тај начин ризик од утицаја на снабдијевање довољним количинама хране (Li et al. 2008). Према Khan et al. (2018), биомаса микроалги је обновљив, одржив и економичан извор сировина за добијање биоенергије. Такође, алге имају више уља у односу на друге гајене биљке (Chisti 2007), њихов процес узгоја је лакши, а на њих не утичу сезонски и климатски услови (Maroubo et al. 2018). Микроалге се могу прилагодити пустињским условима и имају неколико предности, као што је узгој у најлонским врећама или резервоарима у близини електрана које емитују угљен-диоксид (Yasar 2020), јер се овај гас може користити за побољшање производње биомасе микроалги. Осим тога, треба истаћи ефикасност микроалги у складиштењу сунчеве енергије кроз производњу органских једињења путем фотосинтетског процеса који одликује стварање високих приноса биомасе са високим садржајем липида, брз раст и усвајање CO₂ у контролисаним условима култивације (Delrue et al. 2012). Ипак, треба имати у виду да се квантитативна производња уља микроалги често прецењује и да је биолошка вриједност гајених микроалги као адитива у храни, храни за животиње и фармацеутским производима много већа него као биогорива (Petkov et al. 2012) те да још увијек постоји неколико изазова које треба превазићи како би производња микроалги постала економски одржива (Andrade et al. 2020).

Међутим, чак и када ланац снабдијевања има позитиван енергетски биланс, трошкови производње и продаје биогорива добијеног од микроалги у Бразилу су 10–30 пута већи од трошкова дизел-горива добијеног од нафте (Espinosa et al. 2014), због високе цијена добијања суве биомасе микроалги и екстракције липида из ње (Balat 2011a). Међутим, производи на бази микроалги нуде низ могућности изван биоенергије, као што су, нпр., њихова употреба као извора протеина за људе и животиње, као дијететских суплемената (Jacob-Lopes et al. 2019; Yamaguchi et al. 2019) и хране за животиње (Wild et al. 2019). Осим тога, микроалге се најчешће користе у козметичкој индустрији (Mourelle et al. 2017), третману комуналног отпада (Otondo et al. 2018) и индустријских отпадних вода (Garcia-Velasquez et al. 2020). Коначно, у случају микроалги, сматра се да ће мултилатерални приступ, који, између осталог, подразумијева и процјену соја микроалги, у будућности бити један од водећих начина смањења укупних трошкова производње биодизела из ове сировине. У пракси, то се преводи у имплементацију оптимизованог фотобиореакторског система, који може

повећати продуктивност липида и задовољити економску одрживост производње микроалги за биодизел (Shin et al. 2018).

Већина енергетских усјева директно се надмеће са биљкама за производњу хране за најплоднија земљишта (Beringer et al. 2011). Да би се омогућила одрживост производње биоенергије, економска одрживост сама по себи не гарантује квалитет производног ланца ове технологије. Недавне анализе енергетских усјева показале су да тренутне праксе за претварање угљених хидрата из прехрамбених производа или биљних уља у биогорива имају ограничене могућности смањења емисија загађујућих гасова (Crutzen et al. 2016). Међутим, Fargione et al. (2008) сугерисали су да би биогорива добијена из вишегодишњих биљака узгајаних на деградираним и маргиналним обрадивим површинама и из отпадне биомасе минимизирала уништавање станишта, конкуренцију у производњи хране и емисије гасова стаклене баште, који су сви повезани са директним и индиректним коришћењем земљишта за производњу биогорива.

Донедавно је у већини земаља изградња постројења за производњу биогаса била у директној вези са присуством значајних производних површина важних гајених биљака, као што су кукуруз (*Zea mays* L.), сирак (*Sorghum* spp.) или друга жита, за шта се већ сматра да ће бити озбиљно ограничено у будућности. Наиме, постројења за производњу биогаса друге генерације карактерише промјена сировина, посебно у корист заједничког коришћења пољопривредних остатака, као што су стајњак, слама и други остаци и биомасе поријеклом од енергетских и брзорастућих усјева, како би се минимизирали трошкови (Karoor et al. 2020).

Стога се у наредном периоду очекује да ће се даљи развој технологија производње биоенергије из биомасе значајно заснивати на конверзији енергетских и брзорастућих биљних сировина. Ови енергетски и брзорастући усјеви, као што су: шпанска трска, мискантус, вишегодишњи просо, америчка црна топола, врба, итд., мање зависе од повољног земљишта и временских услова и захтијевају мање агрохемијских инпута, чиме се смањује њихова директна конкуренција производњи хране и обезбеђује сигурност за снабдијевање биомасом. Такође, Schmer et al. (2008) и Beringer et al. (2011) наводе да биомаса енергетских и брзорастућих биљака има потенцијал да постане значајан извор обновљиве енергије чак и ако смјернице одрживости за ублажавање климатских промјена и заштиту природе ограничавају доступност земљишних ресурса.

Према подацима Уједињених нација, свјетска популација би 2025. године могла да достигне 8,5 милијарди, што је скоро пет пута више од почетка овог вијека. Број становника на Земљи удвостручио се у посљедњих 39 година, за

разлику од 1.600 година колико је било потребно након почетка нове ере да се тадашњи број становника удвостручи. Потрошња примарне енергије у свијету у истом периоду се утростручила због повећања броја становника и потрошње по глави становника. Нагли пораст свјетске популације захтијевао је и огромну количину хране, која је још један облик есенцијалне енергије за човјечанство. Такође, промјена навика у исхрани ка већој потрошњи меса захтијева све више примарних калорија, у просјеку приближно седам пута у поређењу са директним уносом из биљака. Бројне земље сада увозе храну за животиње. Иста тенденција може се уочити и у потрошњи енергије. Потражња за енергијом расте са свјетском популацијом и бољим животним условима. Али нафтна криза и еколошки проблеми ограничили су експанзију потрошње енергије. Сада је потребна побољшана конверзија енергије и систем коришћења за ефикасно коришћење енергије са мањим оптерећењем животне средине (Kitani and Peart 1999).

Према извјештају Међународне агенције за енергију (IEA 2018), само 14% укупно произведене енергије у свијету долази из обновљивих извора, при чему биомаса чини 70% ове количине. Међу континентима, Африка има највећи удио у укупном снабдијевању енергијом из обновљивих извора, са 48,8%. Америка је на другом мјесту, са 12,7%, а Европа је посљедњи континент, са само 10,5%. Африка је такође водећи континент у погледу снабдијевања енергијом из биомасе: 95,8% њеног укупног снабдијевања примарном енергијом из обновљивих извора долази из извора заснованих на биомаси. У том погледу, Азија је на другом мјесту, са 21,8% својих обновљивих извора енергије добијених из биоенергије (WBA 2018). Упркос чињеници да је Европа тренутно континент са најнижим процентом снабдијевања обновљивом енергијом, нордијске земље очекују да ће постићи око 60% удјела биоенергије у својој потрошњи енергије из обновљивих извора (IEA 2018).

Из биомасе је могуће екстраховати различите високоенергетске производе, као што су биодизел, биогаз, биоетанол, биокерозин, органска ђубрива и дрвени угаљ (Bridgwater 2012). У биоенергетском сценарију већина биомасе се производи да би се обезбиједила топлота и електрична енергија; међутим, потреба да се замијене фосилна горива за погон аутомобила или других мотора и транспортних средстава довела је до трајног раста потрошње биогорива посљедњих година: од 2010. до 2017. године производња биогорива порасла је са 16 милијарди литара на 143 милијарде литара (WBA 2018), при чему је биоетанол првенствено одговоран за овај раст (RFA 2019a), посебно као резултат политике подстицања повећања процента етанола у бензину, као што је Е15 у САД, код кога је повећање удјела етанола у бензину за 15% (RFA 2019b), Е10 у Кини, код кога је повећање за 10% (Li et al. 2017) и Е27 у Бразилу, код кога је повећање за 27% (USDA 2018; Bonatto et al. 2020).

Свјетска производња *биоетанола* у првих 18 година XXI вијека повећала се шест пута, достигавши 122 милијарде литара у 2018. години (OECD/FAO 2018a), због чега је биоетанол по произведеним количинама прво течно биогориво у свијету. Само двије земље, САД и Бразил, произвеле су 84% укупне свјетске количине биоетанола у 2018. години (RFA 2019a), што је последица огромног пољопривредног потенцијала обје земље. Бразилска производња биоетанола прве генерације (Г1) првенствено се добија из шећерне трске, док се у САД добија од кукуруза (Sarkar et al. 2012).

Биодизел је друго по производњи течно биогориво у свијету. У случају биодизела, иако САД и Бразил остају земље са највећим појединачним обимом производње (OECD/FAO 2018a), Европа чини 41% свјетске производње, док Америка чини 37%, а Азија 22% (WBA 2018). На западној хемисфери Аргентина заузима треће мјесто по важности, послје Бразила и САД, при чему се у ове три земље биодизел добија првенствено од сојиног уља, с обзиром на огромне површине на којима се у овим земаљама узгаја соја (Manduca and Berni 2018; OECD/FAO 2018b). Биодизел је најважније биогориво у Европи, а главни произвођачи су Њемачка, Француска и земље Бенелукса. Биодизел се у ЕУ производи првенствено од уља уљане репице, при чему он чини скоро 80% тржишта биогорива за транспорт (Vušić et al. 2018), док је у Азији Индонезија највећи произвођач биодизела, при чему је у овој земљи главна сировина за његову производњу палмино уље (OECD/FAO 2018b).

Биогас је данас у свијету, заједно са биоетанолом и биодизелом, једно од најважнијих биогорива, при чему се широм свијета годишње произведе више од 60 милијарди м³ биогаса. Европа производи више од половине (> 60%) ове количине, док је удио Азије мањи од 25%, а САД нешто више од 15% (IRENA 2018; REN21 2019; WBA 2018). Међу главним земљама произвођачима биогаса су Њемачка, као свјетски лидер, са 33.803 GWh, затим САД (13.466 GWh), Италија (8.259 GWh), Велика Британија (7.706 GWh) и Чешка Република (2.590 GWh) (Treichel et al. 2019). Сировине које се у овим земљама користе за производњу биогаса прилично су варијабилне. У ЕУ се подстиче употреба локалних сировина, јер успјешна и профитабилна производња биогаса захтијева одабир најприкладнијих локалних сировина у сваком конкретном случају. Такође, утврђено је да се најбољи резултати постижу када се користи технологија специфична за сваку појединачну локацију (Sun and Cheng 2002; Sun et al. 2015; Sarkodie and Strezov 2019).

Владине политике одиграле су суштинску улогу у производњи и потрошњи обновљиве биоенергије у смислу подстицања одрживих приступа, смањења баријера и пружања субвенција (Araujo et al. 2017). Ипак, очекује се да ће и у

наредном периоду, због континуиране бриге о животној средини и раста броја становника, националне политике морати бити континуирано ревидиране како би се осигурало адекватно повећање производње и потрошње биогорива, омогућавајући већу одрживост и квалитет живота становништва. Док се биоетанол и биодизел скоро искључиво користе као транспортна горива, биогаз се првенствено користи за производњу електричне и топлотне енергије. Ипак, напредне технике пречишћавања омогућиле су проширену производњу чистог биометана из биогаза за каснију употребу као транспортног горива (Vušić et al. 2018). Такође, биогаз се производи углавном из отпадних материјала (пољопривредни отпад, стајњак, органски отпад са депонија, муљ од третмана отпадних вода и др.). Данас се у свијету још увијек производе највеће количине биодизела и биоетанола прве генерације (1Г), који се првенствено производе од уљарица и прехранбених усјева, што изазива значајну забринутост у погледу безбједности и обезбјеђивања довољних количина хране (Vušić et al. 2018).

1.5. Класификација/категоризација биомасе

Бројни су и разноврсни извори биомасе за производњу биоенергије, који се према различитим параметрима могу класификовати на различите начине и категорије, и то:

- 1) *према доминантном извору*, биомаса се може подијелити у три категорије: а) пољопривредна биомаса; б) шумска биомаса и в) животињски отпад (Bildirici 2014);
- 2) *према агрегатном стању*, биомаса се може подијелити у три категорије, и то: а) чврста биомаса, у коју спадају дрво, крути дио комуналног отпада, пелети, брикети и сл.; б) текућа биомаса, у коју спадају биогорива (биодизел, биоетанол), дрвно уље и сл.; и в) гасовита биомаса, у коју спадају биогаз и синтетички гас (Jawaid et al. 2017);
- 3) *према поријеклу*, биомаса се може подијелити у више категорија, и то: а) пољопривредни усјеви; б) енергетски усјеви; в) остаци из пољопривреде, шумарства и нуспроизводи из индустрије; г) стајско ђубриво; д) алге; њ) разне врсте отпада (грађевински, чврсти, комунални, дворишни, отпад од хране и сл.) (Wagstort 2019);
- 4) *према генерацијама за производњу биогорива*, извори биомасе могу се подијелити на четири главне категорије, и то: а) *прва генерација* (Г1), која се производи директно од јестивих гајених биљака, као што су соја, кукуруз, шећерна репа, шећерна трска, маниока, сирак и сл.

(Ikanović et al. 2013, 2017a,б, Ikanović i sar. 2015; Janković et al. 2017); б) *друга генерација* (Г2), која се производи од нејестивих извора биомасе, као што су пољопривреди и комунални отпад, остаци након жетве, слама, кукурузовина, шумски остаци и енергетски усјеви који се узгајају у подручјима која се не користе за производњу хране; в) *трећа генерација* (Г3), која се производи из биомасе алги; и г) *четврта генерација* (Г4), која је још увијек у фази основних истраживања, али се односи на производњу фотобиолошких соларних горива и електрогорива из биљака и фотосинтетских микроорганизама (Aro 2016; Enamala et al. 2018);

- 5) *према чврстоћи биомасе*, сви извори могу се подијелити у двије широке категорије: а) дрвенасте и б) недрвенасте. Шуме дају само дрвенасту биомасу, а пољопривреда дрвенасту и недрвенасту биомасу за производњу биоенергије (Kerckhoffs and Renquist 2013; Jawaid et al. 2017);
- 6) *према разликама у композицији и структури*, биомаса се може подијелити на три категорије: а) лигноцелуозна биомаса, која садржи целулозу, хемицелулозу и лигнин, а користи се за производњу биоуља; б) микроалге, атрактивна сировина за производњу треће генерације биогорива, богата је протеинима или липидима или има уравнотежени састав липида, шећера и протеина; и в) органски отпад са бактеријским састојцима, као што су нуклеинске киселине, протеини, угљени хидрати и липиди (Huang and Yuan 2015);
- 7) *према коначном производу* који се из ње добија, биомаса може бити извор за добијање слједећих облика енергије: а) топлотне енергије; б) електричне енергије; в) заједничко добијање топлотне и електричне енергије (когенерација); и г) механичке енергије (биогорива за потребе превоза) (Huang and Yuan 2015; Onochie et al. 2015; Jawaid et al. 2017; Vracstort 2019);
- 8) *према поступку прераде и употребе*, биомаса се може подијелити на: а) биомасу за компостирање (у сврху добијања компоста); б) биомасу која се користи за прераду анаеробном дигестијом у биогас; в) биомасу која се користи за прераду ферментацијом и дестилацијом (за добијање етилног алкохола); г) биомасу која се користи за прераду деструктивном дестилацијом (за добијање метилног алкохола из отпада богатих целулозом); д) биомасу која се користи за прераду пиролизом (загријавање органског отпада без присуства ваздуха у сврху производње запаљивог гаса и угља); ђ) биомасу која се користи за спаљивање у сврху добијања топлотне и електричне енергије; е) биомасу која се користи као грађевински материјал; и ж) биомасу која

се користи за производњу биоразградиве пластике и папира (Friedman et al. 2004; Gramatikov 2009; Haggerty 2011; Ingole and Kakde 2012; Kurchania 2012; Hartma 2014; Morgan et al. 2019; Chen et al. 2021).

1.6. Главне методе за производњу биоенергије из биомасе

Биоенергија се може дефинисати као извор енергије добијен из органске материје или биомасе који се експлицитно користи у енергетске сврхе. Биоенергија је највећи обновљиви извор енергије на свијету који и даље има велики удио у снабдијевању обновљивим изворима енергије и чини 70% укупне понуде обновљивих извора (WBA 2018). Биоенергија се сматра обновљивом јер угљеник, који сви ови извори биоенергије садрже, а емитују када се користе, потиче од биљака које свој угљеник добијају из атмосфере (Sachdeva 2016).

Уз све већу употребу савремених рјешења за прераду биомасе у различите производе, као што су дрвени пелет, биогаз и течна биогорива, процјене су да ће допринос савремених извора биомасе и даље бити велики у будућој обновљивој енергији. Међутим, битно је напоменути да највећи дио доприноса снабдијевању биомасом на глобалном нивоу потиче од традиционалне употребе биомасе за кување и гријање у земљама у развоју. Поред тога, ланац снабдијевања биоенергијом доприноси запошљавању великог броја људи у свијету, као други највећи послодавац на свијету са приближно 3,2 милиона људи који раде у ланцу снабдијевања биоенергијом, што је од суштинског значаја за одрживи развој у многим земљама (WBA 2018).

Методе помоћу којих се биомаса може претворити у биоенергију (процес конверзије биомасе) могу се класификовати на сљедећи начин:

- 1) *биохемијске*, укључујући ферментацију и анаеробну дигестију; и
- 2) *термохемијске*, које укључују пиролизу, гасификацију и укапљивање.

1.6.1. Производња биогорива ферментацијом биомасе

Биогорива су горива која се добијају прерадом биомасе. У посљедњих неколико година, производња и потрошња биогорива расту. Еколошки су далеко прихватљивија од фосилних, али им је производња још увек скупља.

Најинтензивнија производња је у Бразилу, из шећерне трске, те у САД, из кукуруза. Главна биогорива су биоетанол и биодизел (Kour et al. 2019).

Основни концепт биогорива јесте да су то облици обновљиве енергије, који се производе биолошким процесима у кратком периоду и са неутралним угљеником, односно са благим излазом CO₂, без доприноса порасту глобалног атмосферског CO₂. Главне сировине на бази биомасе за производњу биогорива јесу биомаса из биљака, животиња, микроорганизама и отпада (Aro 2016; Andrade et al. 2020).

Биогорива могу се класификовати и према технологији и према сировини (Ziolkowska 2020). Уопштено говорећи, горива добијена из биомасе могу бити чврста, течна или гасовита и широко су позната као биогорива, као што су биодизел, биоуље, етанол, биоводоник, биометан и биометанол (Bahadar and Khan 2013; Demirbas 2010; Joshi et al. 2017). Познато је да биогорива пружају различите предности у односу на необновљиве изворе, као што су: ослобађају мање токсичних једињења у атмосферу током сагоријевања, не ослобађају штетну емисију CO₂ у атмосферу јер апсорбују већи дио ослобођеног CO₂ (Dragone et al. 2010; Surriya et al. 2015; Voloshin et al. 2016; Kour et al. 2019).

Потреба за коришћењем биомасе коју је теже прерадити (која показује веома ниске или веома високе стопе биоразградње) захтијева развој специфично прилагођених предтретмана таквој биомаси. Међу њима, биолошки предтретмани гљивама и бактеријама или њиховим ензимима посебно обећавају због разумне цијене, компатибилности са животном средином и могуће примјене на широк спектар различитих врста биомасе (Bremond et al. 2018), укључујући микроалге и лигноцелулозу (Zabed et al. 2019).

Постоје два главна процеса конверзије биомасе за производњу биогорива биохемијским реакцијама, и то: ферментацијом праћеном дестилацијом, помоћу које се добија етанол (биоетанол), и екстракцијом/естерификацијом за добијање биодизела из уљарица. Као биоенергија, биогорива се сврставају у прву, другу, трећу и четврту генерацију, у зависности од поријекла и технологије производње. Тренутно се у класификацији наводе и биогорива четврте генерације, која би се производила употребом нових организама произведених помоћу метода синтетичке биологије, али ова група је још увијек у фази развоја основних истраживања и још увијек није заживјела у пракси (Srirangan et al. 2012; WBA 2018). Што се тиче биоенергије која се добија из биомасе биљака, Yadav et al. (2019) предложили су да се оне класификују у различите групе, односно на биоенергетске усјеве прве, друге и треће генерације, намјенске енергетске усјеве и халофите (Таб. 1.1).

Таб. 1.1. Подјела биоенергентских усјева и сировина (Yadav et al. 2019)
 Tab. 1.1. Division into groups of bioenergy crops/feedstock (Yadav et al. 2019)

Прва генерација	Друга генерација	Трећа генерација	Четврта генерација	Намјенски биоенергетски усјеви	Халофити
Уљане	Вишегод. просо	Бореалне биљке	Бактерије	Нејестива	<i>Acacia</i> spp.
биљке	Мискантус	Биљке аридних подручја	Гљиве	уља	<i>Eucalyptus</i> spp.
Соја	Луцерка			<i>Jatropha curcas</i>	<i>Casuarina</i> spp.
Сунцокрет	Канарска трава	Еукалиптуси			<i>Melaleuca</i> spp.
Уљана репица	Палма	<i>Casuarina</i> spp.			<i>Prosopis</i> spp.
Кокос	Бадем	Алге			<i>Rhizophora</i> spp.
Сјеменке памука	<i>Brassica napus</i>	Микроалге			<i>Tamarix</i> spp.
Кукуруз	<i>Brassica carinata</i>	ГМ биљке			<i>Kosteletzkya pentacarpos</i>
Слатки сирак	<i>Camelina sativa</i>	Коришћено биљно уље			
	Лигноцелулозне сировине	Рибље уље			
		Маст од живине			

Биогорива прве генерације (Г1) производе се директно од гајених биљака које могу да производе молекуле током свог животног циклуса као што су шећери, уља и целулоза. Биогорива прве генерације имају ограничења јер се производе од јестивих биљака, те су у конкуренцији са производњом хране и коришћењем обрадивог земљишта (Aro 2016; Sachdeva 2016). Као примјери за прву генерацију биогорива могу се навести производња биодизела из соје, као и производња етанола из шећерне трске, кукуруза, шећерне репе, маниоке, пшенице и сирка (Singh et al. 2020).

Биогорива друге генерације (Г2) производе се од лигноцелулозних сировина као што су остаци након жетве, слама, кукурузовина, шумски остаци и енергетски усјеви који се узгајају у подручјима која се не користе за производњу хране (Rostagno et al. 2015; Ziolkowska 2020).

Биогорива треће генерације (Г3) производе се из биомасе алги. Тренутно постоји велики број истраживачких публикација које имају за циљ побољшање производње ових микроорганизама, као и процеса метаболичке сепарације у производњи биоуља, како би се уклониле незапаљиве компоненте и даље смањили трошкови производње (Chowdhury et al. 2019).

Биогорива четврте генерације (Г4) још увијек су у фази основних истраживања, али се односе на производњу фотобиолошких соларних горива и електрогорива. Студије показују да би ова линија истраживања требало да донесе фундаментални напредак у области биогорива (Aro 2016; Enamala et al. 2018). Биогорива четврте генерације имају за циљ да обезбиједу одрживије могућности комбиновањем производње биогорива са усвајањем и складиштењем CO₂, процесом сагоријевања кисеоника или примјеном

генетичког инжењеринга или нанотехнологије (Ziolkowska 2020). Ова обновљива биогорива, добијена из биљака и фотосинтетских микроорганизама, неопходна су за угљенички неутралну биоекономију, али је за одрживу производњу ових биогорива неопходан даљи научни напредак (Аго 2016). Што се тиче фотосинтетских микроорганизама, дошло је до повећања броја открића нових путева биосинтезе за разне цијанобактерије и микроалге, уз доступност потпуно секвенционираниог генома. Међутим, потребно је ријешити неке изазове прије него што се развије побољшани инжењерски сој са жељеним особинама за производњу биоенергије (Srivastava et al. 2020). Упоредивањем квалитета биодизел горива из различите обновљиве биомасе, уочено је да је највећа вриједност садржаја естра и цетанског броја била за биодизел горива произведена од алги и маслиновог уља. Истовремено, за биодизел горива добијена од алги, кукуруза и уља репице утврђена су најбоља својства хладног течења (Yasar 2020).

Неколико биомаса може се претворити у различите врсте биоенергије, у зависности од процеса конверзије који се користи. Међу овим могућностима биомасе, оне које се односе на ланац исхране, које се називају 1Г сировине, изазивају низ одступања у погледу њихове примјене као сировина за производњу биоенергије, јер то промовише конкуренцију са храном, изазивајући неравнотеже у цијенама хране и забринутости у вези са несташицом хране широм свијета (Demirbas 2009; Gashaw and Lakachev 2014).

Ово објашњава непрестану потрагу за алтернативном биомасом као изворима за производњу биогорива. У том контексту, пољопривредни, животињски и индустријски отпад показали су се обећавајућим као сировина за 2Г за производњу биоенергије. Ипак, појавили су се технолошки изазови у вези са употребом ових сировина у енергетском ланцу, укључујући потребу за предтретманом биомасе да би се ослободиле једињења од интереса за производњу биогорива (Bonatto et al. 2020).

1.6.1.1. Биоетанол

Биоетанол је биогориво произведено ферментацијом извора једноставних угљених хидрата, посебно сахарозе, глукозе и фруктозе. Ова једињења се лако метаболишу микроорганизмима и претварају у биоетанол. Из тог разлога, као супстрати за производњу етанола преферирају се биомасе које садрже ове компоненте на приступачан начин (Dalena et al. 2019; Lopes et al. 2016).

Отприлике 65% биоетанола произведеног широм свијета долази директно из сировина богатих ферментабилним шећерима, укључујући шећерну трску,

шећерну репу и слатки сирак или сахарификовани шећер који даје ферментабилне шећере, као што је случај са амилазним изворима, као што су нпр. кукуруз, пшеница, јечам, овас, пиринач и маниока (Bertrand et al. 2016; Dalena et al. 2019). Од њих, кукуруз и шећерна трска су најчешће коришћене биомасе у производњи 1Г етанола у различитим земљама, прије свега у САД и Бразилу (Manochio et al. 2017; Bergmann et al. 2018). Приближно 94,3% укупног етанола произведеног у Сједињеним Државама добија се од кукурузног скроба, а остатак се производи од слатког сирка (Balat 2011b; RFA 2019в). Производњу етанола из шећерне трске води Бразил, одговоран за производњу 58,8% укупне производње шећерне трске у свијету и 28% свјетске производње етанола, користећи шећерну трску као главну биомасу (FAOSTAT 2019). Пољопривредни отпад, као што су пшенична слама, сојина слама, кукурузна слама, пиринчана слама, остаци шећерне трске, зоби и соје, љуске кукуруза и кикирикија и бобице кафе такође могу бити извори целулозне биомасе (Saha et al. 2015; Kim 2018; De Carvalho et al. 2016; Dall Cortivo et al. 2018; Shankar et al. 2019; Adelabu et al. 2019; Yuvadatkun et al. 2018).

Још једна атрактивна сировина за производњу етанола јесте биомаса алги (Saladini et al. 2016; Dalena et al. 2017). Главни интерес за морске алге за производњу биоетанола приписује се високом садржају структурних полисахарида, посебно целулозе и скроба, те ниском садржају лигнина и хемицелулозе (Jambo et al. 2016). Оне су и атрактивне биомасе за постизање одрживије енергије, јер својим обликом производње умањују конкуренцију производњи хране у погледу количине пољопривредних површина доступних за узгој (Shuba and Kifle 2018). Даље, пошто фотосинтетичке алге за раст користе велике количине CO₂ из атмосфере, технологија пружа услове за развој система производње биогорива без угљеника (Dalena et al. 2017).

Ипак, производња биоетанола до комерцијалног нивоа из алги остаје неодржива због њихове ограничене доступности и високих трошкова повезаних са производњом који произлазе из њене зависности од свјетлосне енергије. Ови трошкови могли би се смањити када би производња алги зависила само од сунчеве енергије; међутим, дневне и сезонске варијације нивоа освијетљености стварају услове који нису довољни за постизање ефикасне производње биомасе (Shuba and Kifle 2018).

Биоетанол има мању топлотну вриједност, али већи октански број од бензина, што омогућава већу ефикасност мотора уз већи степен компресије. Користи се за моторе са варничним паљењем у облику 20%–23% мјешавине са бензином или у чистом облику. Уколико се користи чист, захтијева посебно дизајниран мотор са већим степеном компресије те стога може постићи већу ефикасност. Европска унија троши знатне количине биоетанола (Kitani and Peart 1999).

1.6.1.2. Биодизел

Биодизел представља алтернативу дизел-гориву произведеном из фосилних горива. Производи се највише из уљарица (уљане репице, соје, сунцокрета, лана, рицинуса и др.), као и из великог броја других сировина, као што су палмино уље, кукуруз, памук, рециклирана или отпадна уља за пржење, нуспроизводи индустрије јестивог уља и млијечне индустрије, остатака уља за кување, рибљег уља, животињских масти, уља произведених од алги и микроорганизама и др. (Li et al. 2008; Bart et al. 2010; Pinzi and Pilar Dorado 2012; Anr et al. 2016; Akubude and Nvaigve 2016; Sidra et al. 2016; Ambat et al. 2018; Akubude et al. 2019; Karmakar and Halder 2019; Cesar et al. 2019). Такође, посљедњих година интензивно се истражује производња биодизела из нејестивих уљарица, углавном зато што су оне природно доступне у различитим дијеловима свијета (Demirbas 2009).

Биодизел је биоразградив и није опасан за животну средину, што ово биогориво чини једним од најперспективнијих алтернативних извора енергије. У неким земљама Европске уније, биодизел је у одређеном постотку заступљен у горивима, те такође постоје возила која могу возити на стопостотни биодизел (Yasar 2020).

Најпознатија метода која се користи за производњу биодизела јесте трансестерификација, која може бити алкална или кисела, јер, иако постоје и друге методе, као што су микроемулзије, пиролиза и биокатализа, ове технике могу утицати на квалитет биодизела и произвести више загађивача због нижег цветанског броја произведеног биодизела, што резултује непотпуним сагоријевањем (Singh et al. 2020).

Принос биодизела је добро дефинисан као количина биодизела произведеног из сировог уља која укључује приближан проценат метил-естара масних киселина (Yue et al. 2014; Singh et al. 2020). Уочено је да је највећа вриједност садржаја естра измјерена за биодизел горива из алги у поређењу са метил-естер биодизелом из соје, сунцокрета, уљане репице, кукуруза, памука и маслиновог уља (Yasar 2020). Аутор је закључио да се то дешава зато што својства горива произведеног биодизела зависе од физичко-хемијских својстава и састава масних киселина његове сировине.

Биодизел је биогориво добијено од масних киселина или од ацилглицерола, који се добија реакцијом естерификације или трансестерификације са алкохолом (Casas-Godoy et al. 2020). Користи се у моторима са унутрашњим сагоријевањем за производњу енергије која може дјелимично или потпуно замијенити фосилна горива (Ma and Hanna 1999; Talebian-Kiakalaieh et al. 2013).

Изазов у вези са производњом биодизела великих размјера јесте чињеница да је његова цијена релативно висока у поређењу са фосилним дизелом, због великог оптерећења инпута и производних трошкова (Tabatabaei et al. 2019). Неке студије сугеришу да је цијена сировина еквивалентна 75% укупне цијене производње биодизела (Meng et al. 2009; Lim and Teong 2010). Ипак, треба нагласити да је, да би ове алтернативе биомасе заиста ушле на тржиште биогорива, неопходно улагати у подршку, субвенције и јавне политике за развој истраживања (Živković et al. 2017; Goh et al. 2019).

За дизел-моторе могу се и директно користити биљна уља од уљане репице, соје, сунцокрета и др. Међутим, сирови биљни уљови су обично јако вискозни и њихов цетански број је веома низак за брзе дизеле, због чега се обично врши њихова трансестерификација метанолом. Тренутно се интензивно ради на развоју специјалног мотора за коришћење рафинисаног сировог биљног уља (Kitani and Peart 1999).

1.6.2. Производња биогаза анаеробном дигестијом биомасе

Састав и карактеристике чврстог отпада из различитих извора, као што су, нпр., комунални, индустријски и пољопривредни отпад, веома се разликују и значајно утичу на карактеристике анаеробне дигестије у чврстом стању, као што су покретање, вријеме задржавања, принос биогаза, као и однос конверзије укупних и испарљивих чврстих материја (Li et al. 2011).

Остаци пољопривредног отпада, као што су кукурузна, пшенична и пиринчана слама, обећавајуће су сировине за анаеробну дигестију у чврстом стању због њиховог обилног снабдијевања, високог потенцијалног приноса биогаза и ниских трошкова (Karoo et al. 2020).

1.6.2.1. Биогаз

За наставак снабдијевања енергијом растуће популације без погоршања еколошких проблема, неопходно је прећи на хибридни енергетски систем заснован на обновљивим изворима (Laperriere et al. 2017), као што је производња биогаза. За производњу биогаза, биохемијски процес анаеробне дигестије који се одвија у одсуству слободног молекуларног кисеоника од суштинског је значаја, у коме неколико врста микроорганизама заједнички дјелују с циљем претворања сложених органских једињења у метан (CH_4) и друга једињења, као што су CO_2 , N_2 , NH_3 и H_2S (Pavlostathis and Giraldo-Gomez 1991).

Међу различитим носиоцима обновљиве енергије, биогаз се користи за гријање или комбиновану производњу топлоте и електричне енергије, а са квалитетом природног гаса или када се пречисти у биометан, може се користити и за друге сврхе, па и као транспортно гориво (Surendra et al. 2014). У земљама у развоју, крајња употреба биогаза ограничена је на кување и освјетљење због мале количине произведеног биогаза, што не дозвољава комбиновање топлоте и енергије или пречишћавање у биометан за друге сврхе (Andrade et al. 2020). Према Vacenetti et al. (2013), без обзира на сировине које се користе у анаеробној биодигестији, производња електричне енергије из биогаза има огроман потенцијал, како за уштеду енергије, тако и за смањење емисије гасова стаклене баште.

Анаеробна дигестија јесте природни процес микробне деградације сложене органске материје у одсуству кисеоника, који се састоји од четири главна процеса: хидролизе, ацидогенезе, ацетогенезе и метаногенезе, који се појављују у широком спектру природних и вјештачких станишта и резултирају производњом биогаза (Bremond et al. 2018). Овај процес је дуготрајан јер је бактеријским врстама одговорним за процес деградације потребно вријеме да се прилагоде новом окружењу прије него што почну да троше органску материју за раст (Poh and Chong 2009). Анаеробна дигестија једна је од водећих биобазираних технологија за претварање органског отпада у енергију. Микробне заједнице играју суштинску улогу у биохемијским путевима процеса анаеробне дигестије (Fitamo et al. 2017). У овај процес укључене су три различите метаболичке групе бактерија: ферментативне, ацетогене и метаногене (Bryant 1979). Ферментативне бактерије хидролизују материјале као што су липиди, протеини и полисахариди и ферментишу већину производа са излучивањем ацетата и других засићених масних киселина, CO_2 и H_2 , као главних крајњих производа. Друга група углавном мање познатих врста ацетогених бактерија производе ацетат и H_2 из крајњих производа прве групе. Метаногене бактерије катаболишу крајње производе, углавном ацетат, CO_2 и H_2 , које заједно производе друге двије групе, до крајњих производа (Andrade et al. 2020).

Главне фазе процеса анаеробне дигестије од било које органске материје до производње биогаза посредоване су разноликом микробном заједницом. Током процеса метаногенезе, метаногене бактерије дјелују на ацетат и угљен-диоксид претварајући их у метан (CH_4). У случају сложених органских супстрата, корак хидролизе или метаногенезе често је ограничавајући корак, јер зависи од састава супстрата и његове структуре. Брзина производње, количина и разноврсност хидролитичких ензима које ослобађају хидролитички микроорганизми често нису довољни да правилно разграде дати супстрат (Bremond et al. 2018). Ова фаза ограничава брзину реакционог

ланца, углавном због формирања микромјехурића метана и угљен-диоксида око метаногене бактерије, изолујући је од директног контакта са смјешом за дигестију, због чега је мијешање масе садржане у дигестору увијек препоручена пракса (Al-Rubaye et al. 2019).

Састав биогаса варира у зависности од врсте сировине и радног стања дигестора. Генерално, биогас се састоји од 50%–75% CH_4 и 25%–50% CO_2 заједно са другим компонентама, као што су водена пара (H_2O), водоник-сулфид (H_2S) и амонијак (NH_3) (Surendra et al. 2014). У посљедњих неколико деценија развијене су различите методе претходног третмана за деградацију различите лигноцелулозне биомасе, али многе од њих су штетне по животну средину, а понекад и веома скупе (Kovacic et al. 2017).

Анаеробна дигестија представља занимљив приступ производњи обновљиве енергије / биогорива, а њена употреба значајно се развила у Европској унији, посебно у областима интензивне пољопривреде (D'Imporzano et al. 2018). Биогас који садржи мање од 60% метана (CH_4) не може се директно користити као гориво због високих концентрација CO_2 и мора се трансформисати у „биометан“ високог квалитета (обично 95% CH_4), што је еквивалентно природном гасу. Биометан се може користити директно у процесима производње електричне енергије или топлоте или се може претворити у гориво за возила, биоводоник или биометанол (Bochiwal 2010).

Коначни процес биодигестије резултује стварањем прерађеног нупроизвода богатог хранљивим материјама и органском материјом који се може користити као органско ђубриво (Bong et al. 2018). Анаеробна дигестија повећава биорасположивост хранљивих материја у овој биодигестији; стога овај копроизвод, ако се користи као биођубриво, може играти важну улогу у рециклажи хранљивих материја у органској пољопривреди. Вриједност и квалитет добијеног органског ђубрива зависи од врсте сировине, процеса дигестије и метода које се користе за предтретмане (Ammenberg and Feiz 2017).

Генерално, све врсте биомасе могу се користити као супстрати или сировине за процес анаеробне дигестије, под условом да садрже угљене хидрате, протеине, масти, целулозу и хемицелулозу као своје главне компоненте. Deublein and Steinhauser (2008) наводе да је приликом одабира биомасе за производњу биогаса важно да се узму у обзир сљедеће ставке:

- 1) садржај органске супстанце треба да буде одговарајући за одабрани процес ферментације;
- 2) нутритивна вриједност органске супстанце, која даје потенцијал за стварање гаса, треба да буде што већа;
- 3) супстрат мора бити без патогена и других штетних организама, који морају да буду безопасни прије процеса ферментације;

- 4) садржај штетних и отпадних супстанци треба да буде у границама дозвољеног како би се омогућио несметан процес ферментације;
- 5) састав биогаса треба да буде погодан за даљу примјену;
- 6) састав остатка ферментације треба да буде такав да се може користити као органско ђубриво.

Лигнин, главни састојак дрвета, и већина синтетичких органских полимера споро се разлажу. Неки супстрати законски захтијевају одговарајућу дезинфекцију прије и после процеса ферментације, као што је биомаса добијена од свиња, која има добар потенцијал за употребу као биођубриво због високе концентрације хранљивих материја. Међутим, примјена стајњака на земљиште треба да се заснива на безбједносним параметрима на основу присуства патогена (између осталог, инфективни PCV2, *Salmonella* spp., чак и након третмана анаеробном варењем), који потенцијално могу да заразе животиње и људе (Fongaro et al. 2014).

Биогас се производи енергетским трансформацијама из животињског измета, канализацијског отпада и круте биомасе, у анаеробним условима. Првенствено се састоји од метана и угљен-диоксида. Може се користити као погонско гориво за возила, а његовим прочишћавањем може се добити и гас који је чист попут природног.

Биогас може се користити за добијање електричне енергије, гријање воде и просторија, те у индустријским процесима. Ако се компримује, може замијенити природни гас који се користи у аутомобилима са моторима са унутрашњим сагоријевањем. Биогас се углавном састоји од метана (50%–70%) и угљен-диоксида (30%–50%), који настаје разградњом органске материје кроз низ метаболичких реакција, укључујући хидролизу, ацидогенезу, ацетогенезу и метаногенезу, које спроводе бројни микроорганизми у срединама без кисеоника, што је процес познат као анаеробна дигестија (Andre et al. 2019; Hagos et al. 2017; Kwietniewska and Tys 2014).

Интересовање широм свијета за производни ланац биогаса усредсређено је на његову употребу као горива за возила, убризгавање гаса у мреже, производњу електричне енергије и кућно и индустријско гријање (Al Seadi et al. 2008). Дигестит, односно ефлуент који настаје током процеса анаеробне дигестије, може се користити као ђубриво у пољопривреди (Aziz and Hanafiah 2020). Лакоћа добијања и кондиционирања биомасе за производњу биогаса једна је од главних атракција за улагање у ову врсту енергије (Zhao et al. 2014; 2019).

Неколико категорија органских материјала, укључујући отпад и нуспроизоде, могу се користити као биомаса за производњу биогаса. Прва индустријска постројења за анаеробну дигестију користила су животињски стајњак и

канализациони муљ као сировине. Примјена ове технологије била је повезана са третманом и управљањем овим сировинама, а не са производњом енергије из њих (Al Seadi et al. 2013; Winqvist et al. 2019).

Биогас технологија ипак представља ефикасан метод за коришћење различитих остатака, побољшање еколошких и санитарних аспеката животне средине, позитивно утичући на енергетску кризу (Treichel et al. 2019). Животињско ђубриво (од говеда, свиња, живине и др.) и муљ из канализације сматрају се одличним супстратима за производњу биогаса јер су богати хранљивим материјама (однос C : N је око 25 : 1) неопходним за раст анаеробних микроорганизама. Штавише, комбинација производње енергије са рециклирањем хранљивих материја и управљањем отпадом ствара кружну економију (Al Seadi et al. 2013; Meyer et al. 2018). Због високе концентрације воде присутне у животињском стајњаку, биогас постројења ријетко користе само овај супстрат у раду. Кодигестија животињског стајњака и остатака усјева (слама од пшенице, пиринча и кукуруза), траве поред пута и силаже која се раније користила за исхрану животиња идентификована је као алтернатива за повећање приноса биогаса (Meyer et al. 2018; Andre et al. 2019; Parralejo et al. 2019).

У неколико студија, остаци усјева, укључујући неколико нуспроизвода пољопривредних усјева и остатке усјева, процијењени су како у директној дигестији, тако и у кодигестији са другим отпадом и индустријским отпадним водама (Song et al. 2019; Sun et al. 2019; Tsapekos et al. 2019; Prajapati and Sing 2019; Veluchamy et al. 2019). Побољшање директне дигестије ових остатака у смислу производње биогаса обезбијеђено је претходном обрадом биомасе прије пуњења дигестора (Song et al. 2019; Sun et al. 2019; Tsapekos et al. 2019). Предтретмани се крећу од процеса механичког смањења величине честица до хемијских процеса за делигнификацију биомасе како би се олакшао приступ микроорганизама структурама угљених хидрата присутним у биомаси (Al Seadi et al. 2013).

Отпад од хране, ефлуент (санитарни, кућни и агроиндустријски) и водена биомаса, посебно микроалге, такође су се показали као потенцијална биомаса за производњу биогаса (Garcia et al. 2019; Brigagao et al. 2019; Kozlowski et al. 2019; Alghoul et al. 2019; Aziz and Hanafiah 2020; Sanchez-Bayo et al. 2020; Zhang et al. 2019).

У посљедње вријеме енергетски усјеви (кукуруз, сунцокрет, шећерна репа, траве, итд.) цијењени су за производњу биогаса, управо зато што имају висок енергетски садржај и веће приходе у поређењу са другим културама (Balussou et al. 2018; Tomita et al. 2019). Међу њима, зелени кукуруз се највише користи у постојећим биогас постројењима, углавном у Њемачкој (Britz and Delzeit

2013). Ипак, употреба енергетских усјева као сировине за производњу биогаза захтијева додатне кораке прије анаеробне дигестије, укључујући жетву, смањење величине честица и складиштење. Штавише, узгој енергетских усјева захтијева високу потрошњу ђубрива, пестицида и енергије за транспорт и жетву, смањујући одрживост његовог коришћења за биогаз. Дрвени усјеви се не користе у анаеробној дигестији јер ова врста биомасе садржи високе нивое лигнина, који анаеробни микроорганизми не разлажу ефикасно (Al Seadi et al. 2013).

1.6.2.2. Метан (CH₄)

Метаногенеза или биометанација је биолошки процес стварања метанола из биомасе помоћу активности микроба (метаногена) у анаеробним условима или завршни корак у разградњи биомасе. Производња CH₄ је повољна за добијање горива из биомасе са високим садржајем влаге. Стална производња са једноставним резервоаром за ферментацију, међутим, није тако лака, док је реактор великих размјера са софистициранијом контролом погодан за стабилан и ефикасан рад. Реактор са два резервоара је, у принципу, бољи, али му је потребан одређени ниво контроле. CH₄ може се користити за гријање и стационарну енергију без проблема са емисијом (Kitani and Peart 1999).

Биоетанол може се синтетизовати из гаса добијеног пиролизом биомасе и може се користити као алтернативно гориво за бензин. Међутим, биометанол се лакше прерађује из природног гаса (Kitani and Peart 1999).

1.6.3. Производња биоенергије термохемијском прерадом биомасе

Производња биоенергије термо-хемијском прерадом биомасе се може одвијати процесима пиролизе, гасификације и утечњавања (ликвефакција).

1.6.3.1. Пиролиза

Пиролиза је ендотермни процес и прва фаза и процеса гасификације и процеса сагоријевања. Пиролиза се обично, индустријски, у зависности од времена и температуре процеса, категорише у три главна типа, и то: *спора*, *флеш* и *брза пиролиза*. Међутим, не постоје оштре границе које раздвајају ове три врсте пиролизе.

Спора пиролиза. Спора пиролиза одвија се релативно дуго, чак и неколико дана. Обично се изводи при релативно ниским температурама, које не прелазе 500 °С, и малим брзинама загријавања, од 0,1 °С до 2 °С у секунди. Дрвени угаљ и катран представљају главне производе споре пиролизе, јер дуго вријеме задржавања гасова и других производа пиролизе у пиролитичком конвертору омогућава да се одвијају реакције реполимеризације и рекомбинације. Међутим, врста биомасе је такође важан фактор за одређивање односа дрвеног угља, катрана и произведеног гаса.

Нови индустријски примјери споре пиролизе концентришу се на производњу дрвеног угља, а такође користе произведено биоуље и биогаз као извор енергије за пиролизу. Такође, спором пиролизом добијају се и неке друге хемикалије, као што су, нпр., ацетон, метанол и сирћетна киселина (Jonsson 2016).

Флеш пиролиза. Брзе стопе загријавања могу достићи 2.500 °С у секунди. Цио процес може се завршити у времену од 0,1 до 0,5 с. Умјерене температуре, у распону од 400 °С до 600 °С, могу да достигну 1.000 °С и карактеришу флеш пиролизу. Главна компонента у производима флеш пиролизе јесте течна фаза, односно биоуље. Међутим, врста биомасе је такође важан фактор за одређивање односа чврсте, течне и гасовите произведене фазе (Fahmy et al. 2020).

Брза пиролиза. Релативно је слична флеш пиролизи, али се спроводи при споријим брзинама загријавања. Главна компонента у производима брзе пиролизе јесу течна и гасовита фаза, односно биоуље и биогаз. Брза пиролиза обично укључује високе стопе загријавања (> 10–200 °С/с) и кратко вријеме задржавања (0,5–10 с, типично < 2 с). Принос биоуља (на бази суве биомасе) може бити и до 50–70 тежинских %. За поређење, процес флеш пиролизе карактеришу веће брзине загријавања и краће вријеме задржавања (<0,5 с), што резултује веома високим приносима биоуља, који могу достићи и до 75%–80% тежине (Kan et al. 2016). Брза пиролиза користи биомасу за производњу производа који се користи и као извор енергије и као сировина за хемијску производњу (Moħan et al. 2006).

1.6.3.2. Гасификација

Гасификација је добијање биогаза из биомасе, односно конверзија чврсте биомасе у гасовито биогориво. Гасификација, у суштини, представља термохемијски процес и високоефикасан начин конверзије биомасе у гасификатору у присуству оксидационог средства (најчешће ваздуха), у коме

се добија мјешавина горивих (CO , H_2 и CH_4) и негоривих (CO_2 и N_2) гасова. Произведени гас класификује се у двије групе зависно од тога да ли је настао при нижим или при температурама гасификације од $1.200\text{ }^\circ\text{C}$ (Čeković et al. 2019). Када се говори о квалитету гаса, без обзира на претходно поменуте групе, гас се може и мора стандардизовати, а самим тим омогућити његово коришћење за покретање мотора и гасних турбина (примјер такозваних СНР постројења за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије) или пак употребити као хемијска сировина (примјер производње течних горива) (Чековић 2019).

Гасификација је процес који конвертује органске или фосилне базне угљеничне материјале у угљен-моноксид, водоник и угљен-диоксид. То се постиже реакцијом материјала при високим температурама ($> 700\text{ }^\circ\text{C}$), без сагоријевања, са контролисаном количином кисеоника и/или водене паре. Добијена смјеса гаса зове се сингас (од „синтеза гаса“ или „синтетички гас“). Снага добијена из гасификације и сагоријевања добијеног гаса сматра се извором обновљиве енергије ако је гасификовано једињење добијено из биомасе (Sikarwar et al. 2016).

Гасификација је хемијски процес претварања чврсте или течне биомасе у биогаз. Овим се процесом добија смјеса гасова или генераторски гас, који у свом саставу садржи CO , CH_4 и H_2 и има предности у односу на чврста горива: лакша и ефикаснија регулација снаге у термоенергетским постројењима, коришћење горива с еколошки прихватљивим емисијама и повећање енергетске ефикасности термоенергетских блокова (Šljivac i sar. 2012).

Конверзија биомасе у поменуте производе омогућава да се ниској или негативној тржишној вриједности биомасе подигне вриједност (Ruiz et al. 2013). Најбитније карактеристике висококвалитетног гаса јесу висока топлотна моћ и низак садржај тера. Параметри који значајно могу утицати на квалитет гаса, према Puig-Arnavat et al. (2010), Ruiz et al. (2013) и Susastriawan et al. (2017), јесу: а) карактеристике биомасе, односно облик и величина честица биомасе, густина, елементарна и техничка анализа; б) процесни параметри (радна температура и притисак, потрошња биомасе и коефицијент вишка ваздуха), и в) конструкција гасификатора.

1.6.3.3. Утечњавање (ликвефакција)

Утечњавање или ликвефакција може да се дефинише као превођење биомасе у течну фазу, односно као термичка конверзија чврсте биомасе у течну фазу при високим температурама ($250\text{--}550\text{ }^\circ\text{C}$) и високим притисцима

(5–25 МПа). У поређењу са пиролизом, утечњавање има већи принос течности и даје као резултат течно гориво са вишом топлотном моћи и нижим садржајем кисеоника (Brankov 2016).

Утечњавање је хидротермални процес у коме се велики молекули у биомаси редукују у високоактивне мале молекуле у условима високе температуре (250–550 °С) и високог притиска (5–25 МПа). Помоћу ликвифације могу да се конвертују лигноцелулозне сировине у висококвалитетна (> 90%) једињења биоуља високе молекуларне тежине. Утечњавање је техника термохемијске конверзије вођена водом која директно претвара биомасу у течна горива. При температури 250–550 °С и притиску 5–25 МПа, вода дјелује као реактант и катализатор који разлаже органски материјал на угљоводонике. За разлику од пиролизе и гасификације, утечњавање не захтијева суву биомасу као сировину, а посебно је погодна за сировине са високим садржајем влаге (Fang et al. 2022).

1.7. Предности и недостаци коришћења биомасе за производњу биоенергије

Производња биоенергије из разних врста биомасе нуди много економских, одрживих и еколошких добробити (Ingole and Kakde 2012). Према бројним ауторима (Craine et al. 2003; Friedman et al. 2004; Hammerschlag 2006; Campbell and Doswald 2009; Ingole and Kakde 2012; Haggerty 2011; Kurchania 2012; Onochie et al. 2015; Ericsson and Werner 2016; Sikarwar et al. 2016; Tursi 2019), најзначајније предности производње и коришћења биомасе за прераду у биоенергију јесу следеће:

- широко је доступна и има огроман потенцијал за производњу биоенергије;
- обновљиви је извор енергије чијом се употребом обезбјеђује смањење загађења атмосфере;
- широм свијета, без обзира на географске услове, могу се сакупити и прерадити велике количине отпадне биомасе и тиме истовремено допринијети ефикасном управљању разним врстама отпада;
- енергија из биомасе може се складиштити;
- примарна енергија из биомасе може се искористити даље од мјеста настанка;
- производња енергије из биомасе омогућује континуирани процес, сличан као и код конвенционалне енергије;
- коришћење енергије из биомасе може донијети значајну корист за локалну заједницу;

- гајење енергетских биљака за производњу биомасе може помоћи руралном развоју, запошљавању локалног становништва, повећати плодност земљишта и обезбиједити здравије окружење;
- сакупљање, производња и прерада биомасе у разне видове биоенергије доприноси ублажавању климатских промјена, енергетској сигурности и руралном развоју;
- енергија биомасе помаже у одржавању чистоће у селима и градовима;
- може се сакупити и/или издвојити из свакодневног људског и животињског отпада, као и из разног отпада из пољопривреде, шумарства, прехранбене индустрије и др. и омогућити додатни извор прихода произвођачима;
- прерада отпада у биоенергију доприноси смањењу загађења и ширења болести;
- издвајањем и прерадом чврстог органског отпада у биоенергију смањује се количина смећа на депонији и тиме се смањују трошкови одлагања смећа, као и количине земљишта потребног за депоније;
- уклањање отпада у шумама доприноси смањењу опасности од пожара;
- сакупљање и прерада разних врста органског отпада у различите видове биоенергије смањује преношење разних болести или зараза инсектима и тиме доприноси обнављању здравља екосистема;
- узгојем енергетских усјева за биомасу троши се угљен-диоксид и производи кисеоник;
- осим за системе гријања, биомаса се може користити и за многе друге намјене, као што је нпр. сировина за производњу транспортних биогорива, хемикалија и пластике;
- смањује прекомјерно ослањање на фосилна горива;
- доприноси очувању резерви фосилних горива;
- доприноси енергетској независности и смањењу увоза нафте и других фосилних горива;
- доприноси развоју нових технологија.

Према бројним ауторима (Decker et al. 2012; Onochie et al. 2015; Rosillo-Calle 2016; Beuchelt and Nassl 2019), кључни недостаци и изазови који произлазе из раста производње и коришћења биомасе за прераду у разне видове биоенергије јесу:

- конверзија садашњих економија заснованих на фосилним горивима у економије на биолошким основама ограничена је укупном доступношћу биомасе;
- непоздани научни подаци;
- промјена намјене земљишта – „биогориво наспрам хране“;

- импликације на животну средину и одрживост, као и потенцијални негативни утицаји међународне трговине енергијом биомасе;
- високи трошкови изградње постројења за биогаз, тако да их могу користити само богата друштва;
- усјеви који се користе за производњу енергије из биомасе сезонски су и нису доступни током цијеле године;
- за успјешан рад постројења за биогаз потребно је обезбиједити континуирано снабдијевање биомасом;
- неки људи не воле да кувају храну на биогазу произведеном из канализационог отпада;
- постројења за производњу биогаза захтијевају одређени простор и производе неугодан мирис;
- због грешака у пројектовању и изградњи, многа постројења за производњу биогаза раде неефикасно;
- тешко је складиштити биогаз у боцама;
- транспорт биогаза цијевима на велике удаљености је тежак;
- коришћење сировина које се користе као храна за производњу биогорива продубљује проблем недостатка хране;
- лоше посљедице уколико се превише усјева преузмјери (кукуруз, пшеница, соја, уљана репица и др.) за употребу као биогориво;
- да би се повећала ефикасност, често се енергија из биомасе мора ојачати фосилним горивима;
- постојање неколико још увијек отворених питања у вези са начином мијешања биомасе и угља, као што су утицаји на перформансе сагоријевања, емисију штетних гасова, корозију и склоност запрљању и шљачењу;
- иако тренутно има довољно дрвног отпада, у будућности постоји ризик од крчења шума.

1.8. Утицај биомасе на животну средину

Протекле три деценије обиљежила је потреба да се преиспита однос између човјечанства и животне средине. Овај нови сценарио је као своју главну полазну тачку имао Конференцију Уједињених нација о животној средини и развоју („Рио 92“), одржану јуна 1992. године у Рио де Жанеиру у Бразилу. Упркос чињеници да је први велики догађај ове размјере одржан 1972. године (Стокхолм, Шведска), релативно дуг временски период од 20 година између ова два догађаја није донио значајније користи за животну средину. Ова чињеница вјероватно је допринијела великом утицају

конференције „Рио 92“. Тај догађај је дјеловао као прекретница: више није било времена за одлагање; човјечанство је требало да ревидира свој однос према планети Земљи и њеним ресурсима (Bonatto et al. 2020).

Климатске промјене су један од највећих изазова са којим 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). Истраживачи из више различитих дисциплина почели су да раде са заједничким циљем ублажавања утицаја климатских промјена на животну средину без ометања људског развоја, при чему је фокус био на одрживом развоју. У овом контексту постало је фундаментално спровести истраживања о алтернативним, обновљивим облицима биоенергије. Према Свјетском удружењу за биоенергију (*World Bioenergy Association – WBA*), израз *биоенергија* односи се на употребу биолошких производа (или биомасе) посебно у енергетске сврхе, односно на коришћење биомасе за производњу електричне енергије и топлоте, као и на претварање биомасе у секундарна биогорива која ће се користити у сектору транспорта (WBA 2018). С обзиром на њихову разноликост, разноврсност и нашу зависност од транспорта, биогорива играју истакнуту улогу у контексту биоенергије, очигледно и због потребе да се побољша енергетска сигурност и смањи емисија гасова стаклене баште (OECD/FAO 2018a).

Развој биогорива сматра се важном противмјером за смањење антропогених емисија CO₂, сузбијање ефеката стаклене баште и ублажавање глобалног загријевања (Chen et al. 2021). Биогорива су еколошки прихватљиви извори енергије чија употреба резултира смањењем испуштања велике количине CO₂ и других штетних гасова са ефектом стаклене баште у атмосферу, узрокујући глобално загријевање и климатске промјене. То су биогорива попут биодизела и биоетанола, која се користе самостално или као додатак фосилним горивима (Haggerty 2011).

Данас концепт одрживог развоја (одрживости економске активности) проналази упориште у принципу моралне правде и тежњи да потомци морају наслиједити идентичне шансе за развој које су нама доступне (неопходност контролисана деградације животне средине и употребе расположивих природних ресурса), као и у чињеници да је човјек само дио природе који не полаже право да је неповратно мијења економском активносту, угрожавајући опстанак осталих живих бића (Subić i sar. 2017).

Одрживи развој може се класификовати као доња линија о економским, социјалним и еколошким димензијама одрживости (Azevedo et al. 2019). Одрживи развој подразумева дугорочно постојање људског друштва и животне средине која га окружује уз коришћење (не експлоатацију или

искоришћавање) расположивих ресурса чији капацитети успијевају да задовоље људске потребе, не угрожавајући притом природне системе и животну средину. Према Subić i sar. (2017), одрживи развој подразумијева више врста одрживости, као што су:

- 1) *еколошка одрживост*, која се односи на очување интегритета и капацитета екосистема, конзервацију и рационалну употребу природних ресурса, одржање биодиверзитета (укључујући и угрожене врсте) и елиминацију и редукцију емисије загађења животне средине;
- 2) *економска одрживост*, која се заснива на хармонизацији привредног развоја са расположивим природним ресурсима и снагом елемената производње на некој територији (Subić i sar. 2017).
- 3) *друштвена (социјална) одрживост*, која представља стање када су формални и неформални процеси у друштву, постојећи системи, структуре и односи у функцији активне подршке капацитета садашње и будућих генерација да креирају здраве друштвене заједнице погодне за бивствовање људи;
- 4) *одрживост пољопривреде*, која представља развој који омогућава очување земљишта, воде, биљних и животињских врста (биодиверзитета), на такав начин да је у складу са захтјевима екологије, технички примјенљив, економски профитабилан и друштвено прихватљив.

Производња биомасе мора бити одржива, уз мање оптерећење животне средине, како не би нарушила еколошку равнотежу и изазвала загађење животне средине. При производњи енергетских биљака треба избјегавати примјену хемикалија и превелику обраду земљишта, која може довести до ерозије. Такође, и прерада и коришћење биомасе треба да буду извршени на начин који ће допринијети смањењу утицаја на животну средину, при чему се повећање ефикасности конверзије и енергетске ефикасности намеће као стални изазов за пољопривредне и друге инжењере (Kitani and Peart 1999). Стога се, према истим ауторима, у наредном периоду очекује развој и примјена сљедећих савремених технологија:

- узгој нових биљних врста или нових сорти и хибрида енергетских биљака које су отпорне на сушу, болести, заслањивање и недостатак хранљивих материја, те које садрже већи садржај пожељних састојака. Нови усјеви ће омогућити проширење обраде земљишта и претворање деградираних или маргиналних земљишта у оранице;
- развој и примјена савремених агротехничких мјера при узгоју енергетских биљака које подразумијевају прецизну обраду

- земљишта, ђубрење, контролу болести и штеточина, као и ефикасне методе њихове бербе и жетве;
- унапређење метода сакупљања, транспорта и складиштења кабасте биомасе;
- нове технологије конверзије које омогућавају боље коришћење одређених компоненти биомасе и повећање ефикасности њихове конверзије;
- примјена система коришћења биомасе са већом ефикасношћу и нижим трошковима.

1.9. Утицај биомасе на биодиверзитет

Већина досадашњих истраживања усредсређена је на утицај биоенергије произведене из биомасе на смањење емисије угљеника, а знатно мање на потенцијални утицај биоенергије на биодиверзитет. Међутим, утицаји биомасе/биоенергије на биодиверзитет нису увијек очигледни (нпр. услед индиректне промјене намјене земљишта) и потребно је више истраживања, посебно на локалном нивоу, јер се већина истраживања изводи на глобалном нивоу (Campbell and Doswald 2009).

Биодиверзитет покрива три нивоа: генетичку разноликост, разноликост врста и разноврсност екосистема. Од процијењених 10–20 милиона врста, само на Земљи научно је регистровано 1,75 милиона. Још увијек је недовољно позната генетичка разноликост унутар врста и популација, интеракција између појединих нивоа разноликости, као и како фрагментација, смањење, поједностављивање и деградација екосистема утичу на биодиверзитет (Meyer et al. 2018).

Утицај биомасе на биодиверзитет зависиће од усјева који се користе за производњу биомасе и претходне употребе земљишта. Притом, биомаса може бити корисна за биодиверзитет када се (Campbell and Doswald 2009; Padilla et al. 2013; Louwaars 2018):

- одговарајући усјеви гаје на погодним површинама или доприносе ублажавању климатских промјена, које су индиректно корисне за биодиверзитет у цјелини;
- плантаже енергетских или брзорастућих биљака за биомасу гаје на деградираним или маргиналним земљиштима;
- користи фенотипска пластичност биљака или својство да један генотип може произвести различите фенотипове у различитим срединама.

У неким случајевима, према Lević (2000) и Campbell and Doswald (2009), употреба биљака за производњу биогорива може и негативно утицати на биодиверзитет. То су сљедећи случајеви:

- директно нарушавање природних екосистема или коришћење земљишта које није деградирано за производњу енергетских биљака умјесто за производњу хране;
- неке сировине за производњу биогорива, као што су, нпр., непрегледна поља кукуруза или велике плантаже уљане палме, посједују далеко ниже нивое биодиверзитета у односу на природне екосистеме, те могу проузроковати загађење водотока и ерозију земљишта;
- генетичка рањивост биљака гајених на плантажама или усјевима.

Фенотипска пластичност је веома корисно својство живих организама, како за одржавање биодиверзитета, тако и за производњу биомасе. Многе биљке су пластичне за изванредан низ еколошки важних својстава, у распону од различитих аспеката морфологије и физиологије, до анатомије, временског развоја и размножавања, система оплемењивања и развојних образаца потомака. Упоредна, квантитативна генетика и молекуларни приступи воде ка новом увиду у адаптивну природу пластичности, њене основне механизме и њену улогу у еколошкој дистрибуцији и еволуционој диверзификацији биљака (Sultan 2000). Морски организми пружају неке од најважнијих примјера фенотипске пластичности до данас. За разлику од копнених система, већина студија пластичности је на животињама, а мање на биљкама и алгама. Код бескичмењака је морфолошка пластичност најчешћа, и то посебно у абиотском окружењу, док је хемијска пластичност најчешћа међу алгама (Padilla et al. 2013).

Оплемењивање биљака сакупља, индукује и преуређује генетичку разноликост праћену селекцијом. Узгој може допринијети разноликости на пољима пољопривредника или је пак знатно смањити (Louwaars 2018). Оплемењивањем биљака могуће је повећати продукцију биомасе намијењене за производњу појединих врста биоенергије. Тако је, нпр., оплемењивањем шећерне трске повећана продуктивност биоетанола за 20,8%. Програм производње бразилског биодизела, покренут 2005. године, имао је годишњу стопу раста од 10%, због чега је ова земља већ четврти највећи свјетски произвођач (Antônio and Dias 2011). Међутим, гајење великог броја генетички идентичних индивидуа или једног генотипа на великим површинама повећава ризик од дјеловања биотичких и абиотичких чинилаца, односно ризик од генетичке рањивости. У економском смислу, унформност је корисна стратегија за повећање приноса, али она представља

и највећи ризик (Lević 2002). Претпоставка је да ће „слједећа генерација“ биљака намијењених за производњу биогорива, које ће бити добијене методама генетичког инжењеринга (Trkulja i sar. 2014, 2018), имати мањи негативан утицај на биодиверзитет због потребне мање површине и веће продуктивности биљака, гајења вишегодишњих врста на деградираним или маргиналним земљиштима или коришћења других извора биомасе (Campbell and Doswald 2009).

Стандарди одрживости биљака за производњу биогорива могу помоћи у смањењу негативних утицаја на биодиверзитет и вјероватно ће бити само дио рјешења. Стога, мораће се комбиновати са побољшаним планирањем коришћења земљишта. Конверзија природног земљишта и управљање након конверзије може негативно утицати на биодиверзитет, на примјер, усљед појаве нових штетних организама, загађења ђубривима или пестицидима (Trkulja i sar. 2010, 2012, 2019; Campbell and Doswald 2009).

1.10. Изазови коришћења биомасе за производњу биоенергије

1.10.1. Садржај влаге у биомаси

Биомаса са високим садржајем влаге није погодна сировина за конвенционалне технологије термохемијске конверзије као што су гасификација и пиролиза. Висока влага може смањити ефикасност процеса конверзије. Влага у сировој биомаси такође је непожељна јер биогориво произведено од такве биомасе може садржати висок садржај влаге, што је неповољно, јер таква биогорива не могу лако да сагоре, пошто се дио енергије троши на испаравање воде која је присутна у гориву. Да би се максимизирала топлотна вриједност горива произведеног од ових сировина, садржај влаге у биомаси треба да буде мањи од 20%. Међутим, сушење биомасе прије њене употребе у процесу конверзије није пожељно због високе цијене. С друге стране, неки процеси конверзије користе биомасу са високим садржајем влаге. На примјер, хидротермални процеси конверзије, који користе суперкритичну и супкритичну воду као реакциони медијум, као и биолошки процеси као што је производња алкохола из угљених хидрата хидролизом и ферментацијом биомасе, могу се примијенити на биомасу са високим садржајем влаге без потребе за сушењем. У овим процесима, влага у биомаси игра важну улогу у конверзији, било као главни реактант или као реакционо окружење (Irmak 2019).

Висок садржај влаге у биомаси често може изазвати негативне ефекте јер изазива биолошку деградацију, стварање буђи и губитке у органском садржају (нпр. угљени хидрати) током њеног складиштења (Johansson et al. 2006), што може да смањи принос биогорива произведеног од овакве биомасе. Чување биомасе са мање од 10% влаге може продужити вријеме конзервације сировина и смањити велике губитке шећера у биомаси током периода складиштења (Balan 2014). Недостаци високог садржаја влаге могу се ријешити компресијом биомасе, што је процес који се назива згушњавање. Повећање насипне густине биомасе згушњавањем смањује трошкове транспорта и запремину складиштења. Међутим, овај процес повећава цијену крајњег производа (Irmak 2019).

1.10.2. Густина биомасе

Запреминска густина лигноцелулозне биомасе је генерално често ниска и износи од нпр. 80–150 кг/м³ за травну биомасу до 160–220 кг/м³ за дрвену биомасу. Ово ствара потешкоће у руковању тако великим количинама сировина различите биомасе и повећава трошкове њиховог транспорта и складиштења (Sokhansanj and Fenton 2006). За ефикасан транспорт у различитим величинама камиона са носивошћу од 25 тона препоручује се да насипна густина биомасе буде између 190 и 240 кг/м³ (Kaliyan et al. 2009).



Сл. 1.1. Повећање густине биомасе (Irmak 2019)
Fig. 1.1. Increasing density of biomass (Irmak 2019)

Величина, облик, садржај влаге, густина честица и карактеристике површине фактори су који утичу на насипну густину биомасе. Изазов мале густине и различите величине и облика биомасе може се превазићи процесом згушњавања (Сл. 1.1). У овом процесу, биомаса се механички компресује с циљем да се повећа њена густина, те да се она претвори у уједначене облике и величине, што се постиже помоћу балирања, брикетирања или пелетирања (Sokhansanj and Turhollow 2004).

Густина биомасе може се повећати и до 10 пута у зависности од врсте биомасе, садржаја влаге, услова обраде и др. Трошкови руковања, транспорта и складиштења добијене згуснуте биомасе могу се значајно смањити, те се због уједначених величина и облика тако припремљеном биомасом може лако руковати стандардним машинама или опремом (Irmak 2019).

1.10.3. Сложеност и разноликост биомасе

Лигноцелулозна биомаса углавном се састоји од три компоненте, а то су лигнин, целулоза и хемицелулоза. Ови полимери организовани су у сложене неуједначене тродимензионалне структуре, при чему сваки од њих има различите степене полимеризације и/или структуре ових биополимера, који могу значајно варирати међу различитим врстама биомасе.

Целулоза је полисахарид са линеарном структуром састављеном од $\beta(1-4)$ повезаних подјединица глукозе. Молекули целулозе улазе у састав ћелијског зида. Присуство интерланчаних и интраланчаних водоничних веза у структури чини целулозу кристалном, због чега се овај дио целулозе много теже хидролизује у поређењу са аморфном структуром целулозе (Bali et al. 2016). Мономерне јединице полисахарида хемицелулозе укључују јединице ксилозе, манозе, галактозе, рамнозе и арабинозе, за разлику од само глукозе у целулози. Њен степен полимеризације је мањи од целулозе. Лигнин је сложена ароматична супстанца састављена од три различите фенол пропан градивне јединице, и то: п-кумарил алкохол, кониферил алкохол и синапил алкохол, који формирају структуру лигнина (Irmak 2019).

Састав лигнина, целулозе и хемицелулозе значајно се разликује у појединим врстама биомасе, при чему неке врсте биомасе, као што је нпр. тврдо дрво, у својим структурама садржи више целулозе, док неке друге, као што је слама, имају више хемицелулозе. Осим тога, постоје разлике и између форми појединих полимера у различитим врстама биомасе, при чему нпр. хемицелулозне фракције меког дрвета углавном имају структуре изведене

из D-манозе, као што су галактоглукоманани, док хемицелулозне фракције у тврдом дрвету имају структуре изведене из D-ксилозе, као што је арабиноглукуронокисан (Puls 1997). Ове различитости међу биомасом могу значајно утицати на процесе њихове прераде за производњу биогорива или других корисних производа од њих (Irmak 2019).

1.10.4. Избор оптималних метода предtretмана и услова прераде биомасе

Успјех коришћења лигноцелулозне биомасе за биогорива и добијање других корисних хемијских производа у великој мјери зависи од физичких и хемијских својстава биомасе, од метода предtretмана и оптимизације услова прераде. У процесу прераде лигноцелулозна биомаса прво се мора разложити на компоненте са мањом молекуларном тежином (нпр. олигосахариде и моносахариде) да би се они потом ефикасно могли претворити у низ производа. Овако добијени хидролизати могу се користити за производњу широког спектра производа са додатом вриједношћу, укључујући биогорива (биоетанол, биоводоник, итд.), индустријски важне хемикалије (нпр. растварачи), а у неким случајевима и прехранбене производе (шећер, шећерни алкохоли и др.) (Irmak 2019).

Значајни изазови при хидролизи лигноцелулозне биомасе јесу сљедећи:

- многе постојеће методе хидролизе скупе су и дуготрајне, а већина њих није еколошки прихватљива. Ово из разлога што главни процеси хидролизе који се најчешће користе за растварање биомасе захтијевају или употребу токсичних, корозивних и опасних хемикалија (нпр. третмани киселинама или базама) или дуже вријеме задржавања (нпр. ензимска хидролиза), што заједно чини процес еколошки небезбједним и/или скупим. При процесу хидролизе, за растварање хемицелулозе обично се користе минералне киселине, док се лигнин обично раствара коришћењем претходног третмана алкалним или органским растварачима (Alvira et al. 2010);
- често су потребни додатни кораци (коришћење катализатора, неутрализација и сл.), при чему је неутрализација коришћеног хемијског катализатора често кључна за успјех ових процеса (Mosier et al. 2005);
- ослобођени угљени хидрати разлажу се у сложеним условима хидролизе. Генерално, често је потребно обезбиједити сложене услове (нпр. високе температуре и високе концентрације киселина) да

би се глукоза успјешно ослободила из комплексних структура биомасе. Притом пиролиза и друге споредне реакције које се одвијају при вишим температурама постају веома важне, а количина непожељних нуспроизвода (катрана) расте како се температура повећава изнад 220 °C (Brennan et al. 1986).

При свему овоме, сложеност и разноврсност биомасе значајно утиче на ефикасност њене растворљивости, док разлике у садржају и саставу добијених хидролизата могу промијенити принос биогорива или циљног једињења произведеног од ових хидролизата (Irmak 2019).

1.10.5. Недостатак података о биомаси

Прикупљање информација о производњи и коришћењу биоенергије из биомасе често је оптерећено потешкоћама због недостатка поузданих података. Чак и када су доступни, ови подаци често су нетачни или превише специфични за одређену регију или земљу. Поред тога, енергију биомасе, посебно у њеним традиционалним облицима, тешко је квантификовати јер често не постоје договорене стандардне јединице за мјерење и квантификацију различитих облика биомасе, што отежава поређење података између различитих регија или земаља (Rosillo-Calle 2007).

Упркос огромном значају енергије биомасе у многим земљама у развоју, планирању, управљању, производњи, дистрибуцији и коришћењу биомасе још увијек се не придаје одговарајућа пажња међу креаторима енергетских политика. Такође, ако се и донесу релевантне одредбе политике, оне се често у пракси не спроводе до краја због комбинације више фактора, као што су буџетска ограничења, недостатак људских ресурса, низак приоритет који се даје биомаси, недостатак података итд. Међутим, посљедњих година, захваљујући значајним напорима неких међународних агенција, као што су FAO, UNDP и Међународна агенција за енергију (*International Energy Agency – IEA*), подаци су се знатно побољшали, посебно у многим индустријски развијеним земљама. Међутим, без обзира на то, у многим земљама у свијету недостатак квалитетних и прецизних података о биомаси још увијек остаје озбиљан проблем. Ово је посебно случај са економским подацима, који нису лако доступни или су цитирани на начин који отежава поређење. Због свега тога, немогућност да се у потпуности сагледају капацитети аутохтоних ресурса биомасе и њиховог вјероватног доприноса производњи и коришћењу биоенергије и даље представља озбиљно ограничење за реализацију пуног енергетског потенцијала биомасе (Rosillo-Calle 2007).

1.10.6. Изазови економске одрживости производње биоенергије из биомасе

Економска одрживост система за производњу биоенергије углавном је повезана са инвестицијама потребним за његову инсталацију и рад, као и са додатном вриједношћу финалног производа. Стога је битно узети у обзир да постоје различити производи који се могу добити од разних врста биљних усјева, при чему су неки са високом додатом вриједношћу, док други имају ниску додатну вриједност (Andrade et al. 2020).

Кључни фактор за успех прераде биомасе јесте избор сировине, који укључује доступност, приступачност и цијену (Alves et al. 2017). Свака врста биогорива има своје карактеристике – поријекла, употребе и енергетског садржаја. На међународном тржишту енергената, биоенергија вриједи по свом енергетском садржају, а не по запремини или маси. Дакле, поређење између врста биоенергије треба да се врши на основу калоријске вриједности (количине енергије). Због тога развијене земље продају биомасу у доларима по GJ енергије, док земље у развоју или неразвијене земље спроводе трансакције у односу на локалну валуту за одређену масу или запремину биомасе. Посљедица овог проблема, цијена сировина, јесу велики губици за купце, од малих предузећа до великих индустријских група. Ова чињеница произлази из недостатка знања о износу који се плаћа за количину купљене енергије. Недостаје стандардизација цијена, што је један од изазова када се разматра производња биоенергије на глобалном нивоу.

Технологија производње етанола и биодизела из биљне биомасе напредовала је великом брзином, стварајући увјерење да ће индустрија производње ова два биогорива бити профитабилна и одржива. Будући да се биомаса веома разликује у хемијском саставу и структури, а разликују се и поступци примјенљиви за сваки тип биомасе, очекује се да у наредном периоду мањи погони за прераду биомасе у ова биогорива буду стандард ове индустрије, умјесто да се изграђују велике биорафинерије, које тешко могу да постигну економску одрживост (Hood 2016). Осим тога, очекује се да ће у наредном периоду профитабилности индустрије прераде биомасе у разне врсте биоенергије значајно доприносити производња нуспроизвода из биомасе, као што су: угљенична влакна, пунила, смоле, полимерне мјешавине, ензими, биопластика и други споредни производи добијени екстракцијом из биомасе (Hood 2016; Uzojinwa et al. 2018).

1.10.7. Други организациони, економски и друштвени изазови

Иако су потребе за енергијом континуиране, сировине биомасе за прераду у различитим погонима за производњу биоенергије често су сезонске. Такође, неке од ових сировина биомасе имају предности у погледу производње, жетве, складиштења и транспорта у односу на друге. Тако, нпр., биомаса нејестивих биљака, попут енергетских усјева (шпанска трска, мискантус, вишегодишњи просо, америчка црна топола итд.), има предност у односу на коришћење јестивих биљних врста (кукуруз, шећерна трска, шећерна репа, слатки сирак и др.). Вишегодишње енергетске биљке, као што су мискантус и вишегодишњи просо, не морају се поново заснивати сваке године и не захтијевају посебну његу и високо одржавање да би расле. С друге стране, остаци пољопривредне биомасе (кукуруз, пшенична слама, пиринчана љуска, коре биљних плодова, пулпе итд.) обећавајуће су јефтине сировине јер им није потребно додатно земљиште за узгој (Runge and Senauer 2007).

Шумска биомаса је такође велики извор сировина за производњу биогорива и других производа са додатом вриједношћу. Међутим, високи трошкови њеног сакупљања и транспорта често у пракси ограничавају њену употребу. Осим напријед наведених предности и мана, различити извори сировина биомасе немају исти састав, уједначену величину, облик и др., што значајно утиче на ефикасност процеса конверзије за одређени производ. Због свега тога, сировине биомасе за прераду у различитим погонима за производњу биоенергије треба да буду стандардизоване (Irmak 2019).

1.11. Закључак

Конвенционални извори енергије, као што су фосилна горива, нафта, угаљ и природни гас метан, јесу необновљиви извори енергије, који су некада сматрани примарним изворима енергије, а исцрпљују се услед интензивне употребе, што је довело до ескалације глобалне енергетске кризе. Поред тога, употреба фосилних горива има значајан недостатак у вези са емисијом у атмосферу токсичних и штетних гасова, који загађују животну средину. Алтернатива употреби фосилних горива јесте да се енергија добија прерадом биомасе која се добија у процесу фотосинтезе и која се користи као сировина за производњу биоенергије.

Биомаса се сматра важном сировином за производњу електричне и топлотне енергије, као и за конверзију у секундарне производе, као што су биогорива која се користе у сектору транспорта. У погледу енергетског садржаја, биогорива се сматрају примарном енергијом, као и у случају

пелета, биогаса и дрвеног угља. Да би се биоенергија сматрала одрживом, поред значајног доприноса смањењу емисија гасова стаклене баште, такође мора испунити суштински услов, а то је да нема конкуренције са усјевима за производњу хране.

Биоенергија је највећи обновљиви извор енергије на свијету, који и даље има велики удио у снабдијевању обновљивим изворима енергије и чини 70% укупне понуде обновљивих извора. Биоенергија се сматра обновљивом јер угљеник, који сви ови извори биоенергије садрже, а емитују када се користе, потиче од биљака, које свој угљеник добијају из атмосфере.

Мogućности производње биоенергије кроз прераду обновљиве биомасе варирају у зависности од климатских и социоекономских услова који владају у одређеној земљи, при чему су у већини земаља на располагању различити извори биомасе за одрживу производњу биоенергије.

Литература

- Adelabu BA, Kareem SO, Oluwafemi F, Adeogun IA (2019) Bioconversion of corn straw to ethanol by cellulolytic yeasts immobilized in *Mucuna urens* matrix. *Journal of King Saud University* 31:136–141
- 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
- Aziz NIHA, Hanafiah MM (2020) Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Renewable Energy* 145:847–857
- Akubude VC, Nwaigwe KN (2016) Economic importance of edible and non-edible almond fruit as bioenergy material: A review. *The American Journal of Energy Engineering* 3:31–39
- Akubude VC, Nwaigwe KN, Dintwa E (2019) Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Materials Science for Energy Technologies* 2:216–225
- Al Seadi T, Rutz D, Janssen R, Drog B (2013) Biomass resources for biogas production. In: Wellinger A, Murphy J, Baxter D (eds) *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 1–882
- Al Seadi T, Ruiz D, Prassl H, Kottner M, Finsterwaldes T, Volke S, Janssens R (2008) In: Al Seadi T (ed) *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark, Esbjerg, Denmark, pp 1–124
- Alves CM, Valk M, De Jong S, Bonomi A, Van der Wielen LA, Mussatto SI (2017) Techno-economic assessment of biorefinery technologies for aviation biofuels supply chains in Brazil. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 11(1):67–91

- Alvira P, Tomas-Pejo E, Ballesteros M, Negro M (2010) Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology* 101:4851–4861
- Alghoul O, El-Hassan Z, Ramadan M, Olabi AG (2019) Experimental investigation on the production of biogas from waste food. *Energy Sources* 41:2051–2060
- Al-Rubaye H, Karambelkar S, Shivashankaraiah MM, Smith JD (2019) Process simulation of two-stage anaerobic digestion for methane production. *Biofuels* 10(2):181–191
- Ambat I, Srivastava V, Sillanpaa M (2018) Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90:356–369
- Ammenberg J, Feiz R (2017) Assessment of feedstocks for biogas production, part II—results for strategic decision making. *Resources, Conservation & Recycling* 122:388–404
- Andrade DS, Telles TS, Leite Castro GH (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 April 2022]
- Andre L, Zdanevitch I, Pineau C, Lencauchez J, Damiano A, Pauss A, Ribeiro T (2019) Dry anaerobic co-digestion of roadside grass and cattle manure at a 60 L batch pilot scale. *Bioresource Technology* 289:121737
- Anr R, Saleh AA, Islam MS, Hamdan S, Maleque MA (2016) Biodiesel production from crude jatropha oil using a highly active heterogeneous nanocatalyst by optimizing transesterification reaction parameters. *Energy Fuels* 30:334–343
- Antônio L, Dias S (2011) Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* S1:16–26
- Araujo K, Mahajan D, Kerr R, Silva M (2017) Global biofuels at the crossroads: An overview of technical, policy, and investment complexities in the sustainability of biofuel development. *Agriculture* 7:1–22
- Aro E-M (2016) From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio* 45(1):24–31
- Balan V (2014) Current challenges in commercially producing biofuels from lignocellulosic biomass. *ISRN Biotechnology*, Hindawi Publishing Corporation, pp 1–31
- Balat M (2011a) Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. *Energy Conversion and Management* 52(2):1479–1492
- Balat M (2011b) Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management* 52:858–875
- Bali G, Khunsupat R, Akinoshio H, Payyavula RS, Samuel R, Tuskan GA, Kalluri UC, Ragauskas AJ (2016) Characterization of cellulose structure of *Populus* plants modified in candidate cellulose biosynthesis genes. *Biomass and Bioenergy* 94:146–154

- Balussou D, McKenna R, Most D, Fichtner W (2018) A model-based analysis of the future capacity expansion for German biogas plants under different legal frameworks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96:119–131
- 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
- Bart JCJ, Palmeri N, Cavallaro S (2010) Feedstocks for biodiesel production. In: Bart JCJ, Palmeri N, Cavallaro S (eds) *Biodiesel Science and Technology: From Soil to Oil*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 130–225
- Bahadar A, Khan MB (2013) Progress in energy from microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27:128–148
- Bacchetti J, Negri M, Fiala M, Gonzalez-Garcia S (2013) Anaerobic digestion of different feedstocks: Impact on energetic and environmental balances of biogas process. *Science of the Total Environment* 463–464:541–551
- Bentsen NS, Felbs C (2012) Biomass for energy in the European Union – A review of bioenergy resource assessments. *Biotechnology for Biofuels* 5:25
- Bergmann JC, Trichez D, Sallet LP, Silva FCP, Almeida JRM (2018) Technological advancements in 1G ethanol production and recovery of by-products based on the biorefinery concept. In: Chandel AK, Silveira MHL (eds) *Advances in Sugarcane Biorefinery: Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and ByProduct*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 73–95
- Beringer T, Lucht W, Schaphoff S (2011) Bioenergy production potential of global biomass plantations under environmental and agricultural constraints. *GCB Bioenergy* 3(4):299–312
- Bertrand E, Vandenberghe LPS, Soccol CR, Sigoillot J, Faulds C (2016) First generation bioethanol. In: Soccol CR, Brar SK, Faulds C, Ramos LP (eds) *Green Fuels Technology: Biofuels*. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp 1–558
- Beuchelt TD, Nassl M (2019) Applying a sustainable development lens to global biomass potentials. *Sustainability* 11(18):5078
- Bildirici ME (2014) Relationship between biomass energy and economic growth in transition countries: panel ARDL approach. *Bioenergy* 6:717–726
- 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
- Bong CPC, Lim LY, Lee CT, Klemes JJ, Ho CS, Ho WS (2018) The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion – A review. *Journal of Cleaner Production* 172:1545–1558

- Bochiwal C, Malley CO, Chong JPJ (2010) Biomethane as an energy source. In: Timmis KN (ed) Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp 2809–2815
- Brankov S (2016) Mogućnosti korišćenja energije pirolizom poljoprivredne biomase. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, str 1–161
- Bracmort K (2019): Biomass: Comparison of Definitions in Legislation. Congressional Research Service pp 1–13. Доступно на: <https://crsreports.congress.gov/R40529>, Приступљено: 19.03.2022
- Bremont U, De Buyer R, Steyer J-P, Bernet N, Carrere H (2018) Biological pretreatments of biomass for improving biogas production: an overview from lab scale to full-scale. Renewable and Sustainable Energy Reviews 90:583–604
- Brennan AH, Hoagland W, Schell DJ (1986) High temperature acid-hydrolysis of biomass using an engineering scale plug flow reactor: Results of low solids testing. Biotechnology and Bioengineering Symposium 17:53
- Brigagao GV, Wiesberg IL, Pinto JL, Araujo OQF, Medeiros JL (2019) Upstream and downstream processing of microalgal biogas: Emissions, energy and economic performances under carbon taxation. Renewable and Sustainable Energy Reviews 112:508–520
- Bridgwater AV (2012) Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass Bioenergy 38:68–94
- Britz W, Delzeit R (2013) The impact of German biogas production on European and global agricultural markets, land use and the environment. Energy Policy 62:1268–1275
- Bryant MP (1979) Microbial methane production – theoretical aspects. Journal of Animal Science 48 (1):193–201
- Bušić A, Kundas S, Morzak G, Belskaya H, Marđetko N, Šantek MI, Komes D, Novak S, Šantek B (2018) Recent trends in biodiesel and biogas production. Food Technology Biotechnology 56(2):152–173
- Veluchamy C, Gilroyed BH, Kalamdhad AS (2019) Process performance and biogas production optimizing of mesophilic plug flow anaerobic digestion of corn silage. Fuel 253:1097–1103
- Voloshin RA, Rodionova MV, Zharmukhamedov SK, Veziroglu TN, Allahverdiev SI (2016) Bio-fuel production from plant and algal biomass. International Journal of Hydrogen Energy 41:17257–17273
- Garcia NH, Mattioli A, Gil A, Frison N, Battista F, Bolzonella D (2019) Evaluation of the methane potential of different agricultural and food processing substrates for improved biogas production in rural areas. Renewable and Sustainable Energy Reviews 112:1–10
- Garcia-Velasquez CA, Daza L, Cardona CA (2020) Economic and energy valorization of cassava stalks as feedstock for ethanol and electricity production. BioEnergy Research 8. Доступно на: <https://10.1016/10.1007/s12155-020-10098>, Приступљено: 20.4.22

- Gashaw A, Lakachew A (2014) Production of biodiesel from non edible oil and its properties. *International Journal of Environmental Science and Technology* 3:1544–1562
- Goh BHH, Ong HC, Cheah MY, Chen WH, Yu KL, Mahlia TMI (2019) Sustainability of direct biodiesel synthesis from microalgae biomass: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 107:59–74
- Gramatikov P (2009) Biomass energy utilisation – Ecological and economic aspects. Faculty of Mathematics & Natural Science – FMNS, pp 100–105
- Dalena F, Senatore A, Iulianelli A, Di Paola L, Basile M, Basile A (2019) Ethanol from biomass: Future and perspectives. In: Basile A, Iulianelli A, Dalena F, Veziroglu TN (eds) *Ethanol: Science and Technologies*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 25–59
- Dalena F, Senatore A, Tursi A, Basile A (2017) Bioenergy production from second- and third- generation feedstocks. In: Danela F, Basile A, Rossi C (eds) *Bioenergy Systems for the Future: Prospects for Biofuels and Biohydrogen*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 559–599
- Dall Cortivo PR, Hickert LR, Hector R, Ayub MAZ (2018) Fermentation of oat and soybean hull hydrolysates into ethanol and xylitol by recombinant industrial strains of *Saccharomyces cerevisiae* under diverse oxygen environments. *Industrial Crops and Products* 113:10–18
- De Carvalho DM, De Queiroz JH, Colodette JL (2016) Assessment of alkaline pretreatment for the production of bioethanol from eucalyptus, sugarcane bagasse and sugarcane straw. *Industrial Crops and Products* 94:932–941
- Devold H (2013) *Oil and gas production handbook: An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*. ABB, Oslo, Norway, pp 1–162
- D'Imporzano G, Pilu R, Corno L, Adani F (2018) *Arundo donax* L. can substitute traditional energy crops for more efficient, environmentally-friendly production of biogas: A life cycle assessment approach. *Bioresource Technology* 267:249–256
- Delrue F, Setier PA, Sahut C, Cournac L, Roubaud A, Peltier G, Froment A-K (2012) An economic, sustainability, and energetic model of biodiesel production from microalgae. *Bioresource Technology* 111:191–200
- Demirbas A (2009) Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Conversion and Management* 50:2239–2249
- Demirbas A (2010) Social, economic, environmental and policy aspects of biofuels. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies* 2:75–109
- Deublein D, Steinhauser A (2008) *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, pp 1–443
- Decker SR, Sheehan J, Dayton DC, Bozell JJ, Adney WS, Hames B, Thomas SR, Bain RL, Czernik S, Zhang M, Himmel ME (2012) Biomass Conversion. In: Kent JA (ed)

- Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. Springer Science – Business Media, New York, USA, pp 1249–1322
- Dragone G, Fernandes BD, Vicente AA, Teixeira JA (2010) Third generation bio-fuels from microalgae. Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology 2:1355–1366
- Enamala MK, Enamala S, Chavali M, Donepudi J, Yadavalli R, Kolapalli B, Vasu AT, Velpuri J, Kuppam C (2018) Production of biofuels from microalgae — A review on cultivation, harvesting, lipid extraction, and numerous applications of microalgae. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94:49–68
- Ericsson K, Werner S (2016) The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. Biomass and Bioenergy 94:57–65
- Espinosa L, Tapanes N, Gomes DA, Cruz YR (2014) As microalgas como fonte de producao de biodiesel: discussao de sua viabilidade. Acta Scientiae et Technicae 2(1):15–24
- Živković SB, Veljković MV, Banković-Ilić IB, Krstić IM, Konstantinović SS, Ilić SB, Avramović JM, Stamenković OS, Veljković VB (2017) Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use. Renewable and Sustainable Energy Reviews 79:222–247
- Zabed HM, Akter S, Yun J, Zhang G, Awad FN, Qi X, Sahu JN (2019) Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 105:105–128
- 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 J, Mao L, Nithya K, Loh KC, Dai Y, He Y, Tong YW (2019) Optimizing mixing strategy to improve the performance of an anaerobic digestion waste-to-energy system for energy recovery from food waste. Applied Energy 249:28–36
- Zhao C, Chen B, Yang J (2014) Embodied water consumption of biogas-digestate utilization. Energy Procedia 61:615–618
- IEA (2018) IEA bioenergy countries' report: Bioenergy policies and status of implementation. Доступно на: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/10/IEA-Bioenergy-Countries-Report-Update-2018-Bioenergy-policies-and-status-of-imple-mentation.pdf>, Приступљено: 11.04.2022
- Ingole SP, Kakde AU (2012) Evaluation of various plant species for biodiesel production. Current Botany 3(3):22–25
- 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
- IRENA (2018) Renewable energy statistics 2018. International Renewable Energy Agency. Доступно на: <https://www.irena.org/publications/2018/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2018>, Приступљено: 17.04.2022
- 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
- Jambo SA, Abdulla R, Azhar SHM, Marbawi H, Gansau JA, Ravindra P (2016) A review on third generation bioethanol feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65:756–769
- Jacob-Lopes E, Maroneze MM, Depra MC, Sartori RB, Dias RR, Zepka LQ (2019) Bioactive food compounds from microalgae: an innovative framework on industrial biorefineries. *Current Opinion in Food Science* 25:1–7
- 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 MP, Tahir Md, Saba N (eds) *Lignocellulosic, Fibre and Biomass-Based Composite Materials: Processing, Properties and Applications*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 1–496
- Jonsson E (2016) Slow pyrolysis in Brista: An evaluation of heat and biochar production in Sweden (Dissertation). KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, pp 1–51
- 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
- Johansson J, Liss J, Gullberg T, Bjorheden R (2006) Transport and handling of forest energy bundles-advantages and problems. *Biomass and Bioenergy* 30:334–341
- Kaliyan N, Morey RV, White MD, Tiffany DG (2009) A tub-grinding/roll-press compaction system to increase biomass bulk density: Preliminary study. In: ASABE Annual International Meeting, 21–24 June, Nevada, USA. Presentation Paper Number: 096658
- Kan T, Strezov V, Evans TJ (2016) Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 1:1126–1140

- Kapoor R, Ghosh P, Kumar M, Sengupta S, Gupta A, Kumar SS, Vijay VK, Pant D (2020) Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. *Bioresource Technology* 123036. Доступно на: <https://10.1016/10.1016/j.biortech.2020.123036>, Приступљено: 19.04.2022
- Karmakar B, Halder G (2019) Progress and future of biodiesel synthesis: Advancements in oil extraction and conversion technologies. *Energy Conversion and Management* 182:307–339
- Kerckhoffs H, Renquist R (2013) Biofuel from plant biomass. *Agronomy for Sustainable Development* 33:1–19
- Kim S (2018) Evaluation of alkali-pretreated soybean straw for lignocellulosic bioethanol production. *International Journal of Polymer Science* 1–7
- 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
- Kline KL, Msangi S, Dale VH, Woods J, Souza GM, Osseweijer P, Clancy JS, Hilbert JA, Johnson FX, McDonnell PC, Mugera HK (2017) Reconciling food security and bioenergy: priorities for action. *GCB Bioenergy* 9(3):557–576
- Kovacic D, Kralik D, Rupcic S, Jovicic D, Spajic R, Tisma M (2017) Soybean straw, corn stover and sunflower stalk as possible substrates for biogas production in Croatia: A review. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 31(3):187–198
- Kozłowski K, Pietrzykowski M, Czekala W, Dach J, Kowalczyk-Jusko A, Jozwiakowski K, Brzoski M (2019) Energetic and economic analysis of biogas plant with using the dairy industry waste. *Energy* 183:1023–1031
- 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
- Kurchania K (2012) Chapter 2: Biomass Energy. In: Baskar C, Baskar S, Dhillon S, Ranjit S (eds) *Biomass Conversion*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp 91–122
- Khan MI, Shin JH, Kim JD (2018) The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories* 17(1):36
- Kwietniewska E, Tys J (2014) Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34:491–500
- Laperriere W, Barry B, Torrijos M, Pechine B, Bernet N, Steyer JP (2017) Optimal conditions for flexible methane production in a demand-based operation of biogas plants. *Bioresource Technology* 245:698–705
- Lević J (2002) Otpornost kukuruza prema parazitima. Almaši R, Bača F, Bošnjaković A, Čamprag D, Drinić G, Ivanović D, Lević J, Marić A, Marković M, Penčić V, Sekulić R, Stefanović L, Šinžar B, Videnović Ž (urednici) *Bolesti, štetočine i*

- korovi kukuruza i njihovo suzbijanje. Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd-Zemun i DOO "Školska knjiga", Novi Sad, str 190–220
- Li M, Zhang W, Hayes D (2017) China's new nationwide E10 ethanol mandate and its global implications. *Ag Decision Maker* 22(1):1–4
- Li Q, Du W, Liu D (2008) Perspectives of microbial oils for biodiesel production. *Applied Microbiology and Biotechnology* 80:749–756
- Li Y, Park SY, Zhu J (2011) Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(1):821–826
- Lim S, Teong LK (2010) Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:938–954
- Lopes ML, Paulillo SCL, Godoy A, Cherubin RA, Lorenzi MS, Giometti FHC, Bernardino CD, De Amorim Neto HB, De Amorim HV (2016) Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. *Brazilian Journal of Microbiology* 47:64–76
- Louwaars NP (2018) Plant breeding and diversity: A troubled relationship? *Euphytica* 214:114
- Ma F, Hanna MA (1999) Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology* 70(1):1–15
- Manduca PC, Berni M (2018) The potential of biofuels in Brazil and Argentina for the biobased economy. *International Journal of Earth & Environmental Sciences* 3:1–4
- Manochio C, Andrade BR, Rodriguez RP, Moraes BS (2017) Ethanol from biomass: a comparative overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80:743–755
- Maroubo LA, Andrade DS, Caviglione JH, Lovato GM, Nagashima GT (2018) Potential outdoor cultivation of green microalgae based on response to changing temperatures and by combining with air temperature occurrence. *BioEnergy Research* 11(4):748–762
- Meng X, Yang J, Xu X, Zhang L, Nie Q, Xian M (2009) Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy* 34:1–5
- Meyer AKP, Ehimen EA, Holm-Nielsen JB (2018) Future European biogas: animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass Bioenergy* 111:154–164
- Morgan TJ, Youkhana A, Turn SQ, Ogoshi P, Garcia-Perež M (2019) Review of biomass resources and conversion technologies for alternative jet fuel production in Hawai'i and Tropical Regions. *Energy Fuels* 33(4):2699–2762
- Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee Y, Holtzapple M (2005) Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96:673–686
- Mourelle, M, Gomez C, Legido J (2017) The potential use of marine microalgae and cyanobacteria in cosmetics and thalassotherapy. *Cosmetics* 4:46–60
- Mohan D, Pittman CU, Steele PH (2006) Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy Fuels* 20(3):848–889
- McKendry P (2002) Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology* 83(1):37–46

- OECD/FAO (2018a) Biofuels. In: OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. Доступно на: <https://doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>, Приступљено: 19.04.2022
- OECD/FAO (2018b) Oilseeds and oilseed products. In: OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. Доступно на: <https://doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>, Приступљено: 20.04.2022
- 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
- Otondo A, Kokabian B, Stuart-Dahl S, Gude VG (2018) Energetic evaluation of wastewater treatment using microalgae, *Chlorella vulgaris*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(2):3213–3222. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.064>, Приступљено: 19.04.2022
- Owusu PA, Asumadu-Sarkodie S (2016) A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering* 3(1):1–14
- Pavlostathis SG, Giraldo-Gomez E (1991) Kinetics of anaerobic treatment: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Control* 21(5–6):411–490
- Padilla DK, Savedo MM (2013) Chapter Two – A Systematic Review of Phenotypic Plasticity in Marine Invertebrate and Plant Systems. In: Lesser M (ed) *Advances in Marine Biology*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, USA, pp 65:67–94
- Parralejo AI, Royano L, Gonzalez J, Gonzalez JF (2019) Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues. *Industrial Crops and Products* 131:307–314
- 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
- Perlin J, Jordan P (1983) Running out: 4200 years of wood shortages. *The Convolution Quarterly* (Spring), Sausalito, California, USA, pp 1–277
- Petkov G, Ivanova A, Iliev I, Vaseva I (2012) A critical look at the microalgae biodiesel. *European Journal of Lipid Science and Technology* 114(2):103–111
- Pinzi S, Pilar Dorado M (2012) Feedstocks for advanced biodiesel production. In: Luque R, Melero JA (eds) *Advances in Biodiesel Production: Processes and Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge, United Kingdom, pp 1–304
- Poh PE, Chong MF (2009) Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresource Technology* 100(1):1–9
- Prajapati KB, Singh R (2019) Enhancement of biogas production in bio-electrochemical digester from agricultural waste mixed with wastewater. *Renewable Energy* 146:460–468

- Puig-Arnavat M, Bruno JC, Coronas A (2010) A review and analysis of biomass gasification models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:2841–2851
- Puls J (1997) Chemistry and biochemistry of hemicelluloses. Relationship between hemicellulose structure and enzymes required for hydrolysis. *Macromolecular Symposia* 120:183–196
- Reid WV, Ali MK, Field CB (2020) The future of bioenergy. *Global Change Biology* 26(1):274–286
- REN21 (2019) Market and industry trends. In: *Renewables 2019 Global Status Report*. REN21 Secretariat, Paris. Доступно на: https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_03/chapter_03, Приступљено: 25.04.2022
- 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, London, UK & Sterling, Virginia, USA, 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, UK and USA
- Rosillo-Calle F, Hall DO (2002) Biomass energy, forests and global warming. *Energy Policy* 20:124–136
- Rostagno MA, Prado JM, Mudhoo A, Santos DT, Forster-Carneiro T, Meireles MAA, (2015) Subcritical and supercritical technology for the production of second generation bioethanol. *Critical Reviews in Biotechnology* 35(3):302–312
- Ruiz JA, Juárez MC, Morales MP, Muñoz P, Mendivil MA (2013) Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18:174–183
- Runge CF, Senauer B (2007) Biofuel: Corn isn't the king of this growing domain. *Nature* 450:478
- RFA (2019a) Ethanol industry outlook. Renewable Fuels Association. Доступно на: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2019/02/RFA2019Outlook.pdf>, Приступљено: 17.04.2022
- RFA (2019б) E15 in the transportation fuel marketplace: Use of E15 in your automobile. Renewable Fuels Association. Доступно на: <https://ethanolrfa.org/wpcontent/uploads/2015/10/Use-of-E15-in-your-Automobile-FAQs.pdf>, Приступљено: 17.04.2022
- RFA (2019в) Powered with renewed energy: 2019 ethanol industry outlook. Renewable Fuels Association. Доступно на: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2019/02/RFA2019Outlook.pdf>, Приступљено: 17.04.2022
- Saladini F, Patrizi N, Pulselli FM, Marchettini N, Bastianoni S (2016) Guidelines for energy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66:221–227
- Sanchez-Bayo A, Lopez-Chicharro D, Morales V, Espada JJ, Puyol D, Martinez F, Astals S, Vicente G, Bautista LF, Rodríguez R (2020) Biodiesel and biogas production

- from *Isochrysis galbana* using dry and wet lipid extraction: a biorefinery approach. *Renewable Energy* 146:188–195
- Sarkar N, Ghosh SK, Bannerjee S, Aikat K (2012) Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy* 37:19–27
- 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
- Saha BC, Nichols NN, Qureshi N, Kennedy GJ, Iten LB, Cotta MA (2015) Pilot scale conversion of wheat straw to ethanol via simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresource Technology* 175:17–22
- Sachdeva D (2016) Biodiesel: Production, opportunities and challenges. In: Krishnaraj RN, Yu J-S (eds) *Bioenergy – Opportunities and Challenges*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp 207–220
- Sidra H, Sumba G, Tariq M, Umar N, Hadayatullah F (2016) Biodiesel production by using CaO-Al₂O₃ nano catalyst. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2:43–49
- 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
- Singh D, Sharma D, Soni SL, Sharma S, Kumar Sharma P, Jhalani A (2020) A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel* 262:116553. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>, Приступљено: 2.04.2022
- Сл. гласник БиХ (2000) Оквирна конвенција Уједињених нација о промјени климе. Службени гласник Босне и Херцеговине, број 19/00
- Сл. гласник БиХ (2008) Кјото протокол. Службени гласник Босне и Херцеговине, број 3/08
- Сл. гласник РС (2007) Закон о заштити животне средине. Службени гласник Републике Српске, број 53/02 и 109/05
- Sokhansanj S, Turhollow AF (2004) Biomass densification – Cubing operations and costs for corn stover. *Applied Engineering in Agriculture* 20(4):495–499
- Sokhansanj S, Fenton J (2006) Cost benefits of biomass supply and pre-processing. Synthesis Paper, A BIOCAP Research Integration Program. BIOCAP Foundation, Canada, pp 1–32
- Song X, Wachemo AC, Zhang L, Bai T, Li X, Zuo X, Yuan H (2019) Effect of hydrothermal pretreatment severity on the pretreatment characteristics and anaerobic digestion performance of corn stover. *Bioresource Technology* 289:121646
- Srivastava A, Villalobos MB, Singh RK (2020) Engineering photosynthetic microbes for sustainable bioenergy production. In: Singh P, Singh RP, Srivastava V (eds) *Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change*. Springer, Singapore, pp 183–198

- Srirangan K, Akawi L, Moo-Young M, Chou CP (2012) Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources. *Applied Energy* 100:172–186
- Subić J, Kljajić N, Jeločnik M (2017) Obnovljivi izvori energije i navodnjavanje u funkciji održivog razvoja poljoprivrede – ekonomski aspekti. Monografija, Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, pp 1–302
- Sultan SE (2000) Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science* 5(12):537–542
- Sun J, Li Z, Zhou X, Wang X, Liu T, Cheng S (2019) Investigation on methane yield of wheat husk anaerobic digestion and its enhancement effect by liquid digestate pretreatment. *Anaerobe* 59:92–99
- Sun Q, Li H, Yan J, Liu L, Yu Z, Yu X (2015) Selection of appropriate biogas upgrading technology – A review of biogas cleaning, upgrading and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51:521–532
- Sun Y, Cheng J (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology* 83:1–11
- Surendra KC, Takara D, Hashimoto AG, Khanal SK (2014) Biogas as a sustainable energy source for developing countries: opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31:846–859
- Surriya O, Saleem SS, Waqar K, Kazi AG, Ozturk M (2015) Bio-fuels: A blessing in disguise. In: Öztürk M, Ashraf M, Aksoy A, Ahmad MSA (eds) *Phytoremediation for green energy*. Springer, pp 11–54
- Susastriawan P, Saptoadi H, Purnomo V (2017) Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:989–1003
- Shankar K, Kulkarni NS, Jayalakshmi SK, Sreeramulu K (2019) Saccharification of the pretreated husks of corn, peanut and coffee cherry by the lignocellulolytic enzymes secreted by *Shingobacterium* sp. ksn for the production of bioethanol. *Biomass and Bioenergy* 127:105298
- Sharma HB, Sarmah AK, Dubey B (2020) Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 123:109761. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109761>, Приступљено: 15.04.2022
- Shay EG (1993) Diesel fuel from vegetable oils: Status and opportunities. *Biomass Bioenergy* 4(4):227–242
- Shin YS, Choi HI, Choi JW, Lee JS, Sung YJ, Sim SJ (2018) Multilateral approach on enhancing economic viability of lipid production from microalgae: A review. *Bioresource Technology* 258:335–344
- Shuba ES, Kifle D (2018) Microalgae to biofuels: 'Promising' alternative and renewable energy, review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81:743–755

- Schubert HR (1957) History of the British Iron and Steel Industry. Routledge & Kegan Paul, London, United Kingdom, pp 1–445
- Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Perrin RK (2008) Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 105(2):464
- Tabatabaei M, Aghbashlo M, Dehghani M, Panahi HKS, Mollahosseini A, Hosseini M, Soufiyan MM (2019) Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review. Progress in Energy and Combustion Science 74:239–303
- Talebian-Kiakalaieh A, Amin NAS, Mazaheri H (2013) A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. Applied Energy 104:683–710
- Tomita H, Okazaki F, Tamaru Y (2019) Biomethane production from sugar beet pulp under cocultivation with *Clostridium cellulovorans* and methanogens. AMB Express 9:1–10
- Treichel H, Alves SL, Müller C, Fongaro G (2019) An overview about of limitations and avenues to improve biogas production. In: Treichel H, Fongaro G (eds) Improving Biogas Production – Biofuel and Biorefinery Technologies. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp 289–304
- Trkulja V, Ballian D, Vidović S, Terzić R, Ostojić I, Čaklović F, Džubur A, Hajrić Dž, Perković G, Brenjo D, Čolaković A (2018) Genetički modifikovani organizmi – stanje i perspektive. Agencija za bezbjednost hrane Bosne i Hercegovine, str 1–141
- Trkulja V, Karić N, Ostojić I, Trešić 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, Predić T, Cvijanović T, Tanasić B, Mihić Salapura J, Kremenović Ž, Kovačić Jošić D (2019) Održiva upotreba pesticida, integralna zaštita bilja i uzorkovanja u poljoprivredi – ilustrovani praktični priručnik. JU Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka, str 1–59
- 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/SCORENA 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
- Tsapekos P, Khoshnevisan B, Alvarado-Morales M, Symeonidis A, Kougias PG, Angelidakis I (2019) Environmental impacts of biogas production from grass: Role of co-digestion and pretreatment at harvesting time. Applied Energy 252:113467
- Tursi A (2019) A review on biomass: Importance, chemistry, classification, conversion. Biofuel Research Journal 6(2):962–979
- Uzoejinwa BB, He X, Wang S, Abomohra AEF, Hu Y, Wang Q (2018) Co-pyrolysis of biomass and waste plastics as a thermochemical conversion technology for

- high-grade biofuel production: Recent progress and future directions elsewhere worldwide. *Energy Conversion and Management* 163:468–492
- USDA (2018) USDA Foreign Agricultural Service. Brazil: Biofuels Annual. U.S. Department of Agriculture. Доступно на: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-10-2018.pdf, Приступљено: 17.04.2022
- Fagan A (1991) An Introduction to the petroleum industry. Government of Newfoundland and Labrador, Department of Mines and Energy, pp 1–106
- Fang Y, Li W, You S (2022) Techno-economic analysis of biomass thermochemical conversion to biofuels. In: Yusup S, Rashidi NA (eds) *Value-chain of biofuels: Fundamentals, technology, and standardization*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 379–394
- FAOSTAT (2019) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sugarcane production in Brazil. Доступно на: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, Приступљено: 17.04.2022
- Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319(5867):1235
- Fahmy TYA, Fahmy Y, Fardous M, El-Sakhawy M, Abou-Zeid RE (2020) Biomass pyrolysis: Past, present, and future. *Environment, Development and Sustainability* 22:17–32
- Fitamo T, Treu L, Boldrin A, Sartori C, Angelidaki I, Scheutz C (2017) Microbial population dynamics in urban organic waste anaerobic co-digestion with mixed sludge during a change in feedstock composition and different hydraulic retention times. *Water Research* 118:261–271
- Fongaro G, Viancelli A, Magri ME, Elmahdy EM, Biesus LL, Kich JD, Kunz A, Barardi CRM (2014) Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes. *Science of the Total Environment* 479–480:277–283
- Friedman WE, Moore RC, Purugganan MD (2004) The evolution of plant development. *American Journal of Botany* 91(10):1726–1741
- Haggerty AP (2011) *Biomass Crops: Production, Energy and the Environment*. Nova Science Publishers, Inc.
- Hagos K, Zong J, Li D, Liu C, Lu X (2017) Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:1485–1496
- Hall DO, Overend RP (1987) Biomass forever. In: Hall DO, Overend RP (eds) *Biomass: Regenerable Energy*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, pp 469–473
- Hall D, Rosillo-Calle F, Woods J (1994) Biomass utilisation in households and industry: Energy use and development. *Chemosphere* 29(5):1099–1119
- Hammerschlag R (2006) Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the Literature 1990 – Present. *Environmental Science. Technology* 40:1744–1750
- Harjanne A, Korhonen JM (2019) Abandoning the concept of renewable energy. *Energy Policy* 127:330–340

- Henry RJ (2010) Evaluation of plant biomass resources available for replacement of fossil oil. *Plant Biotechnology Journal* 8:288–293
- Hood EE (2016) Plant-based biofuels. [version 1; referees: 2 approved] F1000Research, 5(F1000 Faculty Rev):185 (doi: 10.12688/f1000research.7418.1)
- Houghton RA (2008) Biomass. In: Jørgensen SE, Fath BD (eds) *Encyclopedia of Ecology*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, USA, pp 448–453
- Huang H-J, Yuan X-Z (2015) Recent progress in the direct liquefaction of typical biomass. *Progress in Energy and Combustion Science* 49:59e80
- 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*, 3:1–11
- Campbell A, Doswald N (2009) The impacts of biofuel production on biodiversity: A review of the current literature. UNEP–WCMC, Cambridge, UK pp 1–36
- Carlson TR, Vispute TP, Huber GW (2008) Green gasoline by catalytic fast pyrolysis of solid biomass derived compounds. *ChemSusChem* 1(5):397–400
- Casas-Godoy L, Barrera-Martinez I, Ayala-Mendivil N, Aguilar-Juarez O, Arellano-Garcia L, Reyes AL, Méndez-Zamora A, Sandoval G (2020) Biofuels. In: Galanakis CM (ed) *Biobased Products and Industries*. Elsevier, pp 125–170
- Cesar AS, Conejero MA, Ribeiro ECB, Batalha MO (2019) Competitiveness analysis of "social soybeans" in biodiesel production in Brazil. *Renewable Energy* 133:1147–1157
- Craine JM, Reich PB, Tilman GD, Ellsworth D, Fargione J, Knops J, Naeem S (2003) The role of plant species in biomass production and response to elevated CO₂ and N. *Ecology Letters* 6:623–630
- Crutzen PJ, Mosier AR, Smith KA, Winiwarter W (2016) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. In: Crutzen PJ, Brauch HG (eds) *A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp 227–238
- Chen M, Xia L, Xue P (2007) Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate. *International Biodeterioration and Biodegradation* 59(2):85–89
- 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: 1.05.2022
- Chisti Y (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25:294–306
- Chowdhury H, Loganathan B, Mustary I, Alam F, Mobin SMA (2019) Algae for biofuels: The third generation of feedstock. In: Basile A, Danela F (eds) *Second and Third Generation of Feedstocks: The Evolution of Biofuels*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 1–503

- Чековић И (2019) Процес гасификације дрвне сечке у постројењу за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Машински факултет Београд, стр 1–136
- Čeković I, Manić N, Stojiljković D, Trninić M, Todorović D, Jovović A (2019) Modelling of wood chips gasification process in ASPEN Plus with multiple validation approach. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 25(3):217–228
- Šljivac D, Stojkov M, Markanović K, Topić D, Janković Z, Hnatko E (2012) Energetska učinkovitost rasplinjavanja drвне biomase u proizvodnji električne energije. *Zbornik radova 10. skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi i 3. međunarodnog skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi*, Osijek, 26–28. 09.2012, str 1–11
- Warde P (2007) Traditional and modern energy sources, Energy consumption in England & Wales 1560–2000. *Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Studi sulle Società del Mediterraneo*, pp 1–142
- WBA (2018) WBA global bioenergy statistics 2018. World Bioenergy Association. Доступно на: http://www.worldbioenergy.org/uploads/181203%20WBA%20GBS%202018_hq.pdf, Приступљено: 1.05.2022
- Wild KJ, Steingafi H, Rodehutsord M (2019) Variability of in vitro ruminal fermentation and nutritional value of cell-disrupted and nondisrupted microalgae for ruminants. *GCB Bioenergy* 11(1):345–359
- Winqvist E, Rikkonen P, Pyysiäinen J, Varho V (2019) Is biogas an energy or a sustainability product? Business opportunities in the Finnish biogas branch. *Journal of Cleaner Production* 233:1344–1354
- Yadav P, Priyanka P, Kumar D, Yadav A, Yadav K (2019) Bioenergy crops: Recent advances and future outlook. In: Rastegari AA, Yadav AN, Gupta A (eds) *Prospects of Renewable Bioprocessing in Future Energy Systems*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp 315–335
- Yamaguchi SKF, Moreira JB, Costa JAV, De Souza CK, Bertoli SL, Carvalho LFD (2019) Evaluation of adding spirulina to freeze-dried yogurts before fermentation and after freeze-drying. *Industrial Biotechnology* 15(2):89–94
- Yasar F (2020) Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type. *Fuel* 264:116817. Доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116817>, Приступљено: 22.04.2022
- Yuvadatkun P, Reungsang A, Boonmee M (2018) Comparison between free cells and immobilized cells of *Candida shehatae* in ethanol production from rice straw hydrolysate using repeated batch cultivation. *Renewable Energy* 115:634–640
- Yue D, You F, Snyder SW (2014) Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. *Computers & Chemical Engineering* 66:36–56

Biomass as a renewable energy source

Vojislav Trkulja, Jelena Lević, Novo Pržulj, Dragan Mandić

Summary

Conventional energy sources such as fossil fuels, oil, coal and natural gas methane are non-renewable energy sources that were once considered primary energy sources and are depleted due to intensive use which has led to the escalation of the global energy crisis. In addition, the use of fossil fuels has a significant disadvantage in terms of the emission of toxic and harmful gases into the atmosphere that pollute the environment. An alternative to the use of fossil fuels is to obtain energy by processing biomass obtained in the process of photosynthesis and used as a raw material for bioenergy production.

Biomass refers to non-fossilized biological material obtained from living or until recently living organisms and biodegradable organic or carbon-based material originating from plants, animals, plant materials and microorganisms. Bioenergy can be defined as a source of energy obtained from organic matter or biomass that is explicitly used for energy purposes. Bioenergy is the largest renewable energy source in the world, which still has a large share in the supply of renewable energy sources and accounts for 70% of the total supply of renewable energy sources. Today, bioenergy is the only form of energy that meets the criteria of a closed system, in terms of the creation of carbon dioxide and solid material products of combustion. Most of the carbon released in the form of carbon dioxide is absorbed by the next generation of plants through photosynthesis or through minerals from the soil. Therefore, biomass is becoming one of the key energy resources in the fight against global warming and depletion of fossil fuel reserves.

It should be noted that the primary advantage of biomass as an energy source is not in its significant potential, but in renewability. Renewability is the essential advantage that biomass has over conventional, fossil fuels that are non-renewable and therefore cannot be the basis for long-term planning of sustainable growth that implies rational use of energy.

Biomass is not a source of energy in transition, as it is often presented, but a resource that is becoming increasingly important as a modern energy source. Therefore, this chapter provides a detailed overview of biomass as the world's largest source of renewable energy, including definitions of biomass, a history of biomass use, and current bioenergy production from biomass. Data on the

classification/categorization of biomass and the main methods for the production of bioenergy from biomass, as well as the advantages and disadvantages of using biomass for bioenergy production, are presented. Emphasis is placed on the impact of biomass on the environment and biodiversity, as well as the most significant current challenges in the use of biomass for bioenergy production, including moisture content and density of biomass, its complexity and diversity, selection of optimal pre-treatment methods and biomass processing conditions and lack of biomass data, as well as challenges to the economic sustainability of bioenergy production from biomass and other environmental, economic and social challenges.

Keywords: Biomass, classification, history of use, current situation, processing methods, challenges of use

