

# УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА У ПРОИЗВОДЊИ И ПРЕРАДИ БИОМАСЕ

*Цитирање монографије:* Тркуља В, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) (2023)  
Управљање ресурсима у производњи и преради биомасе. У: Пржуљ Н, Јањић В  
(уредници) Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске  
(Едиција). Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 865

*Monograph cite as:* Trkulja V, Govedar Z, Pržulj N (eds) (2023) Resource management in  
biomass production and processing. In: Pržulj N, Janjić V (eds) Sustainable development  
and management of natural resources of the Republic of Srpska (Edition). Academy of  
Science and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, pp 865

## Едиција

ОДРЖИВИ РАЗВОЈ И УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

## Уредници Едиције

Академик Ново Пржуљ

Академик Васкрсија Јањић

## Чланови Одбора за биотехничке науке:

Академик Ново Пржуљ, председник

Академик Миљивоје Надаждин, члан

Проф. др Зоран Говедар, дописни члан АНУРС-а, члан

Проф. др Радослав Грујић, члан

Проф. др Родољуб Тркуља, члан

Проф. др Војислав Тркуља, члан

Проф. др Александар Остојић, члан

Проф. др Милан Матаруга, члан

Проф. др Горан Трбић, члан

Проф. др Драгана Стојисављевић, члан

Проф. др Предраг Илић, члан

*Цитирање едиције:* Пржуљ Н, Јањић В (уредници) (2020) Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске. Академија наука и умјетности Републике Српске

## Edition

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES OF THE REPUBLIC OF SRPSKA

## Edition editors

Academician Novo Pržulj

Academician Vaskrsija Janjić

## Members of Committee on Biotechnical Sciences:

Academician Novo Pržulj, president

Academician Milivoje Nadaždin, member

Prof. dr Zoran Govedar, corresponding member of ANURS, member

Prof. dr Radoslav Grujić, member

Prof. dr Rodoljub Trkulja, member

Prof. dr Vojislav Trkulja, member

Prof. dr Aleksandar Ostojić, member

Prof. dr Milan Mataruga, member

Prof. dr Goran Trbić, member

Prof. dr Dragana Stojisavljević, member

Prof. dr Predrag Ilić, member

*Edition cite as:* Pržulj N, Janjić V (eds) (2020) Sustainable development and management of natural resources of the Republic of Srpska. Academy of Science and Arts of the Republic of Srpska

**АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ**

Научне монографије

Књига LII

**Одјељење природно-математичких и техничких наука**

Одбор за биотехничке науке

Књига 50

**Монографија**

# **УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА У ПРОИЗВОДЊИ И ПРЕРАДИ БИОМАСЕ**

**Главни уредник**

Академик Рајко Кузмановић

**Одговорни уредник**

Академик Драго Бранковић

**Уредник**

Академик Бранко Шкундрић

**Уредници монографије**

Проф. др Војислав Тркуља

Проф. др Зоран Говедар, дописни члан АНУРС-а

Академик Ново Пржуљ

**Рецензенти**

Академик Драган Шкорић

Академик Рудолф Кастори



Бања Лука, 2023.

**ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF THE REPUBLIC OF SRPSKA**  
Scientific monographs  
Book LII  
**SECTION FOR MATHEMATICS, NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**  
Committee on Biotechnical Sciences  
Book 50

**Monograph**  
**RESOURCE MANAGEMENT IN BIOMASS  
PRODUCTION AND PROCESSING**

**Editor-in-chief**  
Academician Rajko Kuzmanović

**Executive editor**  
Academician Drago Branković

**Editor**  
Academician Branko Škundrić

**Monograph editors**  
Prof. dr Vojislav Trkulja  
Prof. dr Zoran Govedar, corresponding member of ASARS  
Academician Novo Pržulj

**Reviewers**  
Academician Dragan Škorić  
Academician Rudolf Kastori



Banja Luka, 2023

## САДРЖАЈ

Подаци о ауторима текстова у монографији

Ријеч председника Академије наука и умјетности Републике Српске

Предговор *Едицији*

Предговор монографији

Рецензија 1

Рецензија 2

- 1 Биомаса као обновљиви извор енергије 1  
Војислав Тркуља, Јелена Левић, Ново Пржуљ, Драган Мандић
- 2 Историјски преглед и тренутно стање у производњи  
и коришћењу биомасе 65  
Славко Ђурић, Ранко Божичковић, Мирјана Ђеранић, Тијана Косанић
- 3 Земљиште као ресурс за производњу травне биомасе 105  
Жељко Џелетовић
- 4 Значај биомасе у одрживом управљању пољопривредним  
земљиштем 141  
Весна Тунгуз, Ново Пржуљ
- 5 Производња биомасе из енергетских и брзорастућих биљака 219  
Јела Икановић, Вера Поповић, Далибор Дончић, Војислав Тркуља
- 6 Производња биомасе из шума и остатака из дрвопрерађивачке  
индустрије 249  
Зоран Говедар, Милун Крстић, Милан Матаруга
- 7 Производња и коришћење биомасе из отпада као дио одрживог  
ланца снабдијевања храном 297  
Радослав Грујић, Ђорђе Окановић, Милутин Ристић
- 8 Коришћење биомасе за производњу биогаса 367  
Никола Ракашћан, Јела Икановић, Љубиша Живановић, Игор  
Милуновић, Вера Поповић
- 9 Стратегија и правни аспекти одрживог обезбјеђења биомасе за  
производњу биодизела 393  
Вера Поповић, Јела Икановић, Андреја Михаиловић, Милена  
Аћимић Ремиковић, Драгана Поповић

- 
- 10 Примјена биомасе као сорбента за адсорпцију тешких метала из водених раствора 431  
Кирил Лисичков, Катерина Атковска, Стефан Кувенџиев,  
Ерхан Мустафа, Мирко Маринковски
  - 11 Методе производње енергије из биомасе 459  
Здравко Миловановић, Валентина Јаничић Миловановић
  - 12 Одрживост производње енергије из биомасе 559  
Срђан Васковић, Петар Гверо
  - 13 Електране на биомасу 581  
Здравко Миловановић, Валентина Јаничић Миловановић
  - 14 Економија инвестиционих пројеката у области електрана на биомасу 703  
Јасмин Комић, Жељана Јовичић, Борут Босанчић
  - 15 Будући трендови одрживог коришћења биомасе 773  
Војислав Тркуља, Ново Пржуљ, Јелена Левић, Милош Ножинић
  - Умјесто закључка 809  
Војислав Тркуља, Зоран Говедар, Ново Пржуљ

# CONTENT

Contributors contact details

A word from the president of the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska

Preface to the Edition

Foreword to the Monograph

Review 1

Review 2

- 1 Biomass as a renewable energy source 1  
Vojislav Trkulja, Jelena Lević, Novo Pržulj, Dragan Mandić
- 2 Historical overview and current status of the production and use of biomass 65  
Slavko Đurić, Ranko Božičković, Mirjana Čeranić, Tijana Kosanić
- 3 Land as a resource for biomass production 105  
Željko Dželetović
- 4 The importance of biomass in sustainable agricultural soil management 141  
Vesna Tunguz, Novo Pržulj
- 5 Biomass production from energy and fast growing plants 219  
Jela Ikanović, Vera Popović, Dalibor Dončić, Vojislav Trkulja
- 6 Production of biomass from forests and residues of the wood processing industry 249  
Zoran Govedar, Milun Krstić, Milan Mataruga
- 7 Production and use of biomass from waste as part of a sustainable food supply chain 297  
Radoslav Grujić, Đorđe Okanović, Milutin Ristić
- 8 Use of biomass for biofuel production 367  
Nikola Rakašćan, Jela Ikanović, Ljubiša Živanović, Igor Milunović, Vera Popović
- 9 Strategy and legal aspects of sustainable biomass supply for biodiesel production 393  
Vera Popović, Jela Ikanović, Andreja Mihailović, Milena Aćimić Remiković, Dragana Popović

- 
- 10 Biomass application as a sorbent for adsorption of heavy metals from aqueous solutions 431  
Kiril Lisichkov, Katerina Atkowska, Stefan Kuvendziev,  
Erhan Mustafa, Mirko Marinkovski
  - 11 Methods of energy production from biomass 459  
Zdravko Milovanović, Valentina Janičić Milovanović
  - 12 Sustainability of energy production from biomass 559  
Srđan Vasković, Petar Gvero
  - 13 Biomass power plants 581  
Zdravko Milovanović, Valentina Janičić Milovanović
  - 14 Economics of investment projects in the field  
of biomass power plants 703  
Jasmin Komić, Željana Jovičić, Borut Bosančić
  - 15 Future trends in the use of biomass 773  
Vojislav Trkulja, Novo Pržulj, Jelena Lević, Miloš Nožinić
- Instead of a Conclusion 809  
Vojislav Trkulja, Zoran Govedar, Novo Pržulj



## Коришћење биомасе за производњу биогаза

Никола Ракашћан, Јела Икановић, Љубиша Живановић,  
Игор Милуновић, Вера Поповић

**Сажетак:** Биомаса биљака је највећи обновљиви извор енергије. Република Српска и Република Србија спадају у врх европских земаља по количини расположиве а неискоришћене биомасе. Биогаз је производ који се добија анаеробном разградњом органске супстанце уз помоћ комплекса микроорганизама у биогасним електранама. За добијање биогаза могу послужити сви типови биомасе, која садржи угљене хидрате, протеине, масти, целулозу и хемицелулозу. У теоретском смислу, биогаз се може произвести из било ког супстрата органског поријекла. Такође, постоје могућности да се разне врсте супстрата комбинују у једном биогас постројењу. Међутим, за то постоје ограничења техничке или економске природе, због чега је у пракси најбоље користити више врста супстрата различитог поријекла. У зависности од агрегатног стања, супстрати се дијеле на чврсте и течне. У течне супстрате убрајају се осока и разне отпадне воде са знатним садржајем органске супстанце, док се у чврсте супстрате убрајају стајњак, разне врсте силаже, отпад из прехранбене индустрије, чврсти органски комунални отпад и друге врсте органског отпада.

---

*Цитирање:* Ракашћан Н, Икановић Ј, Живановић Љ, Милуновић И, Поповић В (2023) Коришћење биомасе за производњу биогаза. 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:367–391

---

*Cite as:* Rakašćan N, Ikanović J, Živanović LJ, Milunović I, Popović V (2023) Use of biomass for biogas production. 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:367–391

*Посебан значај производње и коришћења биогаза, као једне врсте обновљивих извора енергије, јесте спречавање емисија метана, гаса који утиче на повећање ефекта стаклене баште (интензитет је 23 пута већи од угљендиоксида). Такође, коришћењем биогаза као горива, најчешће се производи електрична енергија, те се и тиме доприноси реализацији постављених циљева што већег коришћења обновљивих извора енергије. Додатни позитиван утицај јесте смањење распрострања непријатних мириса, спречавање загађења земљишта и подземних вода. Остварују се и позитивни социоекономски ефекти, подстиче се рурални развој, боље се користе људски и материјални ресурси на локалном нивоу.*

*Приликом проучавања могућности производње биогаза, прво се разматрају количине и цијене појединих супстрата. Анализирају се њихове карактеристике, којима се одређује потенцијал за производњу биогаза, на тај начин и величина биогаз постројења. Само мањи дио течне и чврсте биомасе у постројењу за ферментацију буде трансформисан у биогаз. Остатак од овог процеса неопходно је збринут и искористити на адекватан начин. Остатак ферментације је нуспроизвод у производњи биогаза, а најчешће се користи као ђубриво. У њему се налазе биљна хранива и органске материје, те се враћањем на пољопривредне површине доприноси очувању плодности земљишта. Један од начина употребе остатка ферментације јесте да се након сепарације и сушења произведу пелети или брикети, те да се користи као чврсто гориво.*

*Захваљујући развоју нових технологија прераде биолошког отпада у енергенте, стопа пораста употребе алтернативних горива значајно расте.*

*Кључне ријечи: Биомаса, биогаз, енергија, супстрат, ферментација, алтернативна горива.*

## **8.1. Увод**

Посљедњих деценија, због пораста потражње за обновљивим изворима енергије, влада велико интересовање за биљне врсте које имају велику годишњу продукцију биомасе, које су толерантне на биотички и абиотички стрес и за које су потребна минимална улагања у агротехнику, с циљем добијања биомасе (Ikanović i sar. 2015; Popović et al. 2020; Simon et al. 2021). Сагоријевањем биомасе ових биљака, емисија штетних гасова у атмосферу је мања него из фосилних горива. Примјеном правилне технологије производње, биљке C<sub>4</sub> типа могле би постати извор енергије погодан за енергетска постројења мањих села и градова.

Захваљујући развоју нових технологија прераде биолошког отпада у енергенте, стопа пораста употребе алтернативних горива значајно расте. У земљама ЕУ, изналажење најподеснијих метода производње биогаса из сувих жетвених остатака још увијек је у експерименталној фази, све док се не разради технолошки поступак који је исплатив и уједно штити и брине о животnoj средини. Суштина претварања жетвених и свих других биљних остатака у биогорива није само добијање више енергије, већ и примјена одрживог начина производње, од кога ће сви имати користи.

С обзиром на то да биогорива постају све популарнија због раста цијене нафте, потребе за сигурнијим извором енергије, забринутости због штетних емисија стакленичких гасова и другог, може се очекавати све већа потражња за истим. Према подацима Међународне енергетске агенције (*International Energy Agency, IEA*), до 2050. године биогорива могу задовољити четвртину свјетске потребе за горивима у промету. Глобално, биогорива најчешће се користе за превоз и у домаћинству. Већина горива за превозна средства су капљевита (која се могу укапљивати) јер возила захтијевају горива са великом густоћом енергије, као што су она која су садржана у капљевинама и чврстинама. Осим тога, капљевита и гасовита горива најлакше изгарају, практична су за пренос и изгарају чисто (без чврстих продуката). Велику густоћу енергије најлакше је и најефикасније искористити уз помоћ мотора с унутрашњим сагоријевањем, који захтијева да гориво буде чисто (Јанковић и сар. 2019).



Сл. 8.1. Биомаса сакупљена након жетве пшенице (Фото Поповић В)  
*Fig. 8.1. Biomass collected after wheat harvest (Photo Popović V)*

Биогорива добијају се прерадом биомасе. Њихова енергија добија се фиксацијом угљеника, тј. редукацијом угљеника из ваздуха у органске спојеве. За разлику од угљеника који ослобађају фосилна горива мијењајући климатске услове на Земљи, угљеник у биогоривима долази из атмосфере, одакле га биљке узимају током раста. Иако су фосилна горива добијена

фиксацијом угљеника, не сматрају се биогоривима јер садрже угљеник, који се не измјењује у природи већ дуго времена.

ЕУ је себи била поставила амбициозан циљ да до 2020. године обезбиједи 20% финалне енергије из обновљивих извора (ЕЕА Report 6/2013). У Европи биоенергија има централну улогу у националним акционим плановима развоја енергетике, али остају неријешена питања око њиховог истинског утицаја на животну средину и добробит становника преласком на ове енергенте.

Биомаса је највећи обновљиви извор енергије, а Република Српска и Србија спадају у врх европских земаља по количини расположиве а неискоришћене биомасе (Сл. 8.1). Технологије за њено коришћење расположиве су и еколошки прихватљиве (Babović i sar. 2012). Тренутно стање сектора обновљивих извора енергије означава се као категорија неискоришћености, иако и Србија и Република Српска имају добре потенцијале за развој на овом плану (Дражић и сар. 2014; Živanović et al. 2014; Živanović i sar. 2017).

## 8.2. Биогаз

Биогаз је производ који се добија анаеробном разградњом органске супстанце уз помоћ комплекса микроорганизама у биогазним електранама (Сл. 8.2). Као производ овог процеса настаје смјеша гасова, која се углавном састоји од метана (50%–75%) и угљен-диоксида (25%–50%), мале количине водене паре и других гасова: водоника, кисеоника, амонијака, азота и водоник-сулфида (Calbry-Muzuca et al. 2022; Јанковић и сар. 2017).



Сл. 8.2. Електрана *Biogas Energy* у Иланџи (лијево), генератор електричне енергије у фирми *Biogas Energy* (десно) (Фото Ракашћан Н)

*Fig. 8.2. Biogas Energy power plant in Ilandža (left), Electricity generator in the company Biogas Energy (right) (Photo Rakašćan N)*

Значај производње и коришћења биогаза, као једне врсте обновљивих извора енергије, јесте спречавање емисија метана, гаса који утиче на повећање ефекта стаклене баште (интензитет је 23 пута већи од угљен-диоксида). Такође, коришћењем биогаза као горива најчешће се производи електрична енергија, те се и тиме доприноси реализацији постављених циљева што већег коришћења обновљивих извора енергије. Додатни позитиван утицај јесте смањење распрострања непријатних мириса, спречавање загађења земљишта и подземних вода. Остварују се и позитивни социо-економски ефекти, подстиче се рурални развој, боље се користе људски и материјални ресурси на локалном нивоу (Martinov i sar. 2012; Trypolska et al. 2022).

Састав биогаза зависи од сировине, односно супстрата који се користи за његову производњу и услова у којима настаје. Биогаз се користи као енергент за производњу електричне или топлотне енергије, а његовим прочишћавањем до садржаја метана од преко 96% добија се биометан, који се може директно убризгавати у гасоводну мрежу за природни гас (земни).

За добијање биогаза могу послужити сви типови биомасе која као основне састојке садржи угљене хидрате, протеине, масти, целулозу и хемицелулозу. При одабиру биомасе која ће се користити за добијање биогаза, треба водити рачуна о следећем:

- садржај органске супстанце мора бити одговарајући за изабрани ферментациони процес;
- потенцијал за формирање биогаза мора бити што виши;
- супстрат не би требало да садржи патогене нити друге организме;
- садржај опасних супстанци и отпада требало би да буде што мањи како би се обезбиједио несметан ток ферментационог процеса;
- састав гаса треба да одговара за даљу употребу и
- састав ферментационог остатка треба да буде подесан за коришћење као органско храниво за земљиште.

Анаеробне бактерије разграђују органску супстанцу, а као производ овог процеса настаје биогаз, топлота и остаци овог ферментативног поступка. Процес разградње у условима ферментације доста је распрострањен у природи, гдје год се створе анаеробни услови и гдје су присутне одговарајуће врсте анаеробних бактерија.

Под појмом „биогаз“ подразумејева се гас који настаје у анаеробним ферменторима и контролисаним условима, односно у биогаским постројењима. Смјеша гасова, чију запремину чине око двије трећине метана и једна трећина угљен-диоксида, назива се биогаз. Аеробним поступком ферментације, органска биомаса разграђује се до угљен-

диоксида, док се анаеробном ферментацијом добија метан, који је горивни гас и који се користи као енергент, те као такав представља основни циљ прераде биомасе у биогаз.

### **8.3. Процес производње биогаза**

Поступак производње биогаза одвија се у четири фазе, и то: хидролиза, киселинска, сирћетна и метаногена фаза (Raja and Wazir 2017). За одвијање хемијских процеса у свакој од ових фаза учествују друге групе бактерија, при чему су производи претходне фазе полазне сировине за одвијање наредне. Ове фазе одвијају се и просторно и временски паралелно, а свакој групи бактерија одговарају другачији услови. Поремећај услова околине утиче на бактерије метаногене фазе и њихову осјетљивост и брзину размножавања.

У одвијању *прве фазе – хидролизе*, органска биомаса разграђује се биохемијским процесом, ослобађањем ензима бактерија. Органски комплекси, као што су: протеини, угљени хидрати и липиди, разлажу се на своје поткомплексе – аминокиселине, једноставне шећере и масне киселине. Производи хидролизе се у *другој, киселинској фази* даље разграђују, при чему углавном настаје ацетат, угљен-диоксид и водоник, док мањи дио чине једноставније масне киселине и алкохоли. У *трећој, сирћетној фази*, разлажу се једноставније масне киселине и алкохоли, при чему настају сирћетна киселина, водоник и угљен-диоксид. Током посљедње, *четврте, метаногене фазе*, из сирћетне киселине или водоника и угљен-диоксида настаје метан.

Приликом вођења поступка производње биогаза, неопходно је обезбиједити стабилност процеса анаеробне ферментације. Ова стабилност подразумијева константан принос биогаза приближно истог састава. Осигурање неопходних услова за стабилан принос кључно је и за економичан рад система. Такође, хемијски састав супстрата има значајну улогу у овом технолошком поступку. Бактерије морају имати довољно супстанци и инхибирајуће концентрације, јер вриједност рН има различит утицај на активност бактерија. У фази хидролизе, рН треба да буде у границама 4,5–6,3. У сирћетној и метаногеној фази, оптимална је неутрална реакција рН 6,8–7,5. Колике ће вриједности рН бити током анаеробне ферментације зависи од концентрације киселина, угљен-диоксида и амонијака. Вриједности рН се током процеса мијењају споро и мало, али је могуће да се киселине акумулирају без његове промјене. Из тих разлога, овај параметар се не користи као једини за праћење процеса, али је брз и јефтин начин препознавања евентуалних поремећаја стабилности процеса.

Мања промјена рН вриједности сигурно не води нарушавању стабилности процеса. У овом случају, потребно је смањити или потпуно обуставити довод супстрата у ферментор, како би бактерије метаногене фазе имале времена за разградњу насталих киселина. Настали међупродукти анаеробне ферментације, као што су сирћетна киселина, пропионска и изобутерна киселина, имају великог утицаја на вриједности рН.

#### 8.4. Супстрати за производњу биогаза

*Супстрат* је термин који је прихваћен као назив за сировину од које се производи биогаз. У случају да се комбинује више супстрата, тада се сировина која се користи у мањем удјелу назива *косупстрат*.

Приликом проучавања могућности производње биогаза, прво се разматрају количине и цијене појединих супстрата, при чему је битно да се анализирају њихове карактеристике, којима се одређује потенцијал за производњу биогаза, а на тај начин и величина биогаз постројења. Принос биогаза изражава се по тони свјеже, суве или органске суве масе супстрата. Кад се говори о приносу биогаза из дефинисаног супстрата, каже се да је он потенцијални, пошто количина произведеног биогаза која се остварује у пракси зависи од погонских услова и стабилности процеса. Осим приноса, битно је да сваки инвеститор размотри и особине супстрата које утичу на конфигурацију потенцијалног биогаз постројења. Поред физичких особина, на конфигурацију постројења највише утицаја има поријекло супстрата јер је потребно да се одређена биомаса, у случају да се третира као отпад, збрине на одговарајући начин и да за то постоје одговарајући дијелови постројења.

У зависности од врсте супстрата који се користи, постоје и различити циљеви изградње постројења за производњу биогаза. То може бити децентрализована производња енергије и/или смањење негативних утицаја на животну средину, које се постиже збрињавањем отпада. У теоретском смислу, биогаз се може произвести из било ког супстрата органског поријекла (Angelidaki and Ahring 2000; Glamočlija et al. 2011; Glamočlija i sar. 2015). Такође, постоје могућности да се разне врсте супстрата комбинују у једном биогаз постројењу. Међутим, за то постоје ограничења техничке или економске природе, због чега је у пракси боље користити више врста супстрата различитог поријекла.

Међу најповољнијим супстратима за производњу биогаза јесте *стајњак*, чврсти или течни, јер се најчешће користи са властите фарме и бесплатан је.

Његовом прерадом у биогаз постројењу остварују се вишеструки позитивни ефекти и допринос заштити животне средине. Количине стајњака довољне за остварење биогаз постројења прихватљиве електричне снаге (150 kW и више) расположиве су на малом броју имања. Због тога се као супстрат додатно, најчешће, користе разни енергетски усјеви или секундарни остаци након бербе или жетве различитих гајених биљака (Martinov i sar. 2012).

*Енергетски усјеви* обухватају групу ратарских биљака, које се намјенски гаје и користе као органска биомаса, која се најчешће силира и на тај начин и складишти (Dandikas et al. 2014; Živanović et al. 2014).

*Кукурузовина*, као и *остали секундарни остаци након бербе кукуруза*, у значајној мјери могу да се користе као сировина за добијање биогаза (Gissén et al. 2014; Janković i sar. 2019). Међутим, кукурузовина се на фармама најчешће користи као чврсто биогориво, чијим се спаљивањем у котловским постројењима загријава вода. Такође, сагоријевањем суве биомасе кукурузовине добија се топлота која служи за сушење пољопривредних производа у сушарама. Сложенији поступак производње биогорива из кукурузовине подразумева разлагање ове биомасе на угљене хидрате који могу да послуже као сировина за добијање течних горива (алкохола) или биогаза (Ikanović i sar. 2019).

*Слама, односно жетвени остаци сирка*, према Икановић (2011), Ikanović et al. (2011) и Ikanović i sar. (2012, 2013, 2018) често се користе за добијање биогаза. Биомаса сирка шећерца, односно стабла после цијеђења шећерног сирупа, заједно са претходно одвојеним листовима, може се искористити за добијање биогаза. У својим истраживањима Cardoso et al. (2013) закључују да је, захваљујући високом садржају шећера који преостаје после издвајања растворљивих дисахарида, ова биомаса одлична сировина за производњу биоетанола у систему друге генерације, односно када се за биогорива користе нејестиве биљке и различити биљни отпади.

Од једне тоне *силаже кукуруза*, која има највећи потенцијал за производњу биогаза, добија се 350–400 Kwh (Szwarc D and Szwarc K 2021). Један хектар силажног кукуруза, са приносом 40–60 т/ха, може да обезбједи сировином биогазну електрану снаге 2–3 kW. То значи да би за биогазну електрану називне снаге 500 kWe била потребна производња 170–200 ха силажног кукуруза.

Потребне површине за производњу супстрата за биогаз могу да буду и двоструко мање остварењем *двје жетве*. На примјер, после косидбе тритикалеа за силажу, сије се кукуруз или сунцокрет, па се и друга биљна врста силира.



### 8.4.1. Производња биогаса

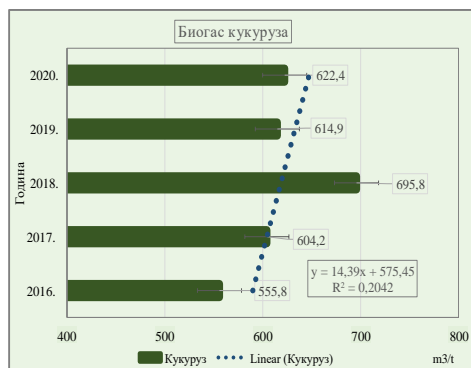
Почетком XXI вијека, укупна производња биоетанола у свијету значајно се повећала (IEA 2021). На тренд повећања производње биоетанола утицала је већа потражња за овим горивом, које има мањи негативан утицај на животну средину у поређењу са фосилним горивима (Glamočlija i sar. 2015). У посљедње вријеме све се више пажње посвећује гајењу кукуруза као биоенергетске биљке. Ако се томе дода чињеница да се остаци усјева који остају послије жетве кукуруза највише могу користити за производњу лигноцелулозне биомасе, кукуруз ће у најскорије вријеме бити најперспективнији извор сировина за биоенергетску индустрију (Janković i sar. 2017). Производња разних ратарских и енергетских биљака у великој мјери зависи од примијењене технологије производње (Popović et al. 2019a,б; Mladenović-Glamočlija et al. 2020), али изузетно много и од метеоролошких услова, првенствено од температуре и падавина током вегетационог периода (Popović et al. 2011, 2012a,б, 2013,а,б, 2015, 2016; Sikora et al. 2016, 2019; Živanović et al. 2012; Šarčević-Todosijeвић et al. 2016; Terzić i sar. 2017; Živanović i sar. 2017; Vožović et al. 2018, 2020; Terzić et al. 2018; Ugrenović et al. 2018; Rakašćan et al. 2019a, 2021; Terzić et al. 2019; Rajičić et al. 2020), због чега примијењена технологија и услови гајења значајно утичу на производњу биогаса (Janković i sar. 2017; Rakašćan et al. 2019b; Popović et al. 2020).

Према резултатима петогодишњих (2016–2020) истраживања Popović et al. (2020), температуре и падавине значајно су варирале, те је због тога и производња биогаса у истом периоду значајно варирала и у просјеку је из кукуруза износила  $618,62 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , из сирка  $580,54 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , док је производња биогаса из соје износила  $476,30 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  (Таб. 8.1, Граф. 8.1a,б и 8.2a,б).

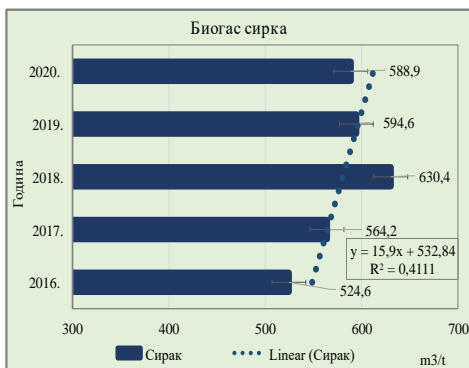
Таб. 8.1. Производња биогаса ( $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) из биомасе кукуруза, сирка и соје у фирми Biogas Energy (оригинални подаци аутора)

Tab. 8.1. Biogas production ( $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) from maize, sorghum and soybean biomass in the company Biogas Energy (Original data of the author)

Година	Ратарска биљка		
	Кукуруз	Сирак	Соја
2016.	555,8	524,6	361,1
2017.	604,2	654,2	426,0
2018.	695,8	630,4	561,4
2019.	614,9	594,6	536,2
2020.	622,4	588,9	496,8
Просјек	618,62	580,54	476,3



а.

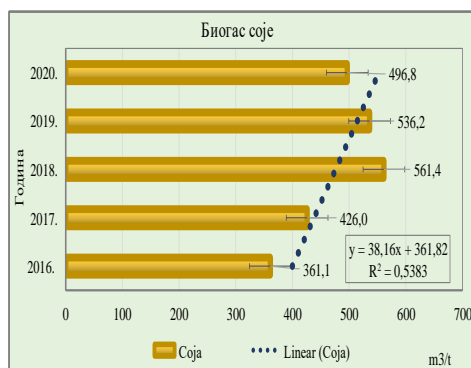


б.

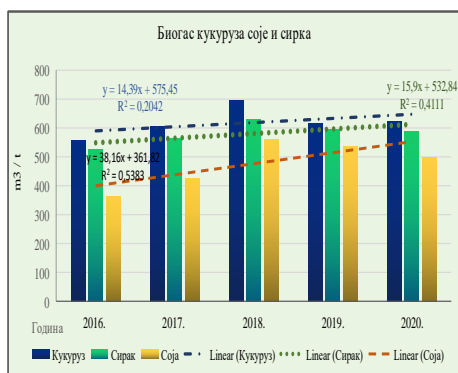
Граф. 8.1. Производња биогаза из кукуруза (а) и сирка (б) током петогодишњег периода (2016–2020) (оригинални подаци аутора)

Graph. 8.1. Production of corn biogas (a) and sorghum (b) in period 2016–2020 (original data of the authors)

Према резултатима петогодишњих истраживања истих аутора, производња биогаза од силаже кукуруза била је статистички значајно већа у односу на производњу биогаза од биомасе соје и већа у односу на сирак. Највећа производња биогаза остварена је у 2018. години за све три биљне врсте: кукуруз (695,80 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup>), сирак (630,40 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup>) и соју (561,40 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup>), док је најнижа производња била у 2016. години и износила је за кукуруз 555,80 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup>, сирак 524,60 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup> и соју 361,10 м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup> (Граф. 8.2б).



а.



б.

Граф. 8.2. Производња биогаза из соје (а) и кукуруза, сирка и соје (б) током петогодишњег периода (2016–2020) у Иланци, Србија

Graph. 8.2. Production of soybean biogas (a), and maize, sorghum and soybean biogas (b), 2016–2020, Ilandza, Serbia

Према резултатима петогодишњих истраживања Popović et al. (2020), производња биогаза из кукуруза, сирка и соје зависи од генотипа, године и њихове интеракције, при чему је производња биогаза из соје у појединим годинама варира од 361,1 до 561,4 м<sup>3</sup> ха<sup>-1</sup>.

Високе температуре ваздуха, дефицит падавина, као и појава болести и штеточина, јесу фактори стреса, који знатно смањују принос ратарских биљака (Поповић 2010, 2015; Popović i sar. 2015; Popović et al. 2011, 2012а,б, 2013а,б, 2015, 2016, 2020), чиме значајно утичу и на смањење производње биогаза (Janković i sar. 2017; Rakašćan et al. 2019б; Popović et al. 2020).

## 8.5. Економска исплативост постројења за производњу биогаза

Цијена силаже зависи од цијене пољопривредних производа, на примјер, зрна кукуруза. До реалне цијене долази се поређењем приноса и цијене зрна и трошкова производње (Milanović et al. 2020). Тако би, на примјер, цијена силаже била око 27 евра/т, уколико би цијена кукуруза била око 150 евра/т.

Уколико се ова цијена силаже упореди са произведеном електричном енергијом (380 kWh), без рачунања вриједности топлотне енергије, то би у цијени представљало око 7,1 ctkW h<sup>-1</sup>.

То значи да би трошак за набавку супстрата чинио око 46% од прихода који се остварују продајом електричне енергије по фид-ин тарифи (*Feed-in Tariff*) за биогазно постројење снаге 500 kWe. Фид-ин тарифе су предвиђене подстицајне откупне цијене по произведеном kWh<sup>-1</sup> из обновљивих извора енергије (Rakašćan et al. 2019б).

С енергетског аспекта, биогаз се сматра најповољнијим горивом. Моторно возило које као гориво користи биогаз добијен коришћењем супстрата произведеног на једном хектару, може да пређе више километара него када би користило друга горива, произведена с исте површине. Разматрање енергетског потенцијала биогорива произведених на пољопривредним површинама од посебног је значаја јер су оне ограничене, а води се рачуна и о томе да се тиме не угрози производња хране (Martinov i sar. 2012).

## 8.6. Индустијска постројења за производњу биогаза

Органски отпад из прехранбене индустрије настаје као нуспроизвод технолошког процеса производње шећера, алкохола, уља, пива, прераде

воћа и поврћа итд. У ову групу нуспроизвода сврставају се чврсти отпад и отпадне воде из прехранбене индустрије. У случају да на истој локацији настају и чврсти органски отпад и отпадне воде, они се збрињавају у истом биогаз постројењу.

### **8.6.1. Збрињавање органског отпада**

Циљ изградње биогаз постројења на прехранбеним индустријским објектима најчешће је производња електричне или топлотне енергије. Тиме се остварује уштеда у енергентима потребним за одвијање процеса производње. Сљедећи, а често и приоритетни циљ изградње биогаз постројења јесте збрињавање органског отпада – нуспроизвода. Биогаз постројења која користе овакве супstrate сврставају се у индустријска биогаз постројења. Да би се споредни производи из прехранбене индустрије користили као супстрат за производњу биогаза, потребно је да буде испуњено неколико услова, међу којима су најважнији да не постоји други повољнији начин његовог коришћења, односно да они представљају органски отпад који треба да се збрине, те да су за то предвиђени одређени трошкови (Јанковић и сар. 2017). Како у производњи шећера остају репини резанци, као споредни производ, а повољни су за производњу биогаза, они се могу искористити и као сточна храна или у прехранбеној индустрији. Тржишна цијена осушених репиних резанаца је 100–150 евра/т, тако да се коришћење за производњу биогаза не исплати.

Са техничког аспекта, потребно је да има довољно органског отпада за изградњу биогаз постројења одговарајућег капацитета, да се произведе количина енергије која ће подмирити потребе и тиме остварити економски исплатив рад биогаз постројења.

Прерадом других ратарских биљака остају различити споредни производи, као што су пивски троп, меласа и др. У поређењу са силажом енергетских усјева, меласа даје знатно већи принос биогаза по јединици свјеже масе супстрата, јер садржи пуно органске материје, али се меласа може искористити и за додатну производњу шећера, ако у фабрици постоји за то одговарајућа технологија. Остали потенцијални супстрати дају знатно мање биогаза у поређењу са силажом енергетских усјева. Будући да се рјеђе користе у друге сврхе, ипак су погодни да се користе као супстрат за биогаз (Јанковић и сар. 2017). То нарочито важи за троп који остаје послје производње алкохола, чији је принос биогаза приближно на нивоу стајњака.

### 8.6.2. Опрема у постројењима за производњу биогаса

Под опремом подразумијевамо скуп техничко-технолошких објеката у оквиру постројења за биогас којима се омогућује складиштење, припрема и манипулација супстратима, затим опрема у којој се производи и складишти биогас, као и опрема којом се прерађује и складишти остатак послије ферментације. Ова опрема је конципирана да омогућава потпуну аутоматизацију рада постројења, што значи да обухвата и опрему за контролу и управљање процесом (Јанковић и сар. 2017).

У опрему за производњу биогаса убрајају се све компоненте осим оних за коришћење произведеног биогаса. Опрема која се користи у постројењима за производњу биогаса веома је разноврсна, тако да постоји више могућности комбинација. Конфигурација биогас постројења највише зависи од врста и својстава апликованих супстрата. Произвођачи опреме инвеститорима најчешће нуде постројења по систему „кључ у руке“, што значи да спроводе послове од планирања, пројектовања, изградње, па све до пуштања у погон постројења и обуке руковалаца.

### 8.6.3. Припрема, манипулација и складиштење супстрата

У циљу реализације технолошких поступака припреме, манипулације и складиштења супстрата, неопходно је да се обезбиједи одговарајућа опрема у зависности од агрегатног стања (чврсто, течно) апликативног супстрата. У течне супстрате убрајају се осока и отпадне воде, са знатним садржајем органске супстанце. Ови супстрати могу да се транспортују пумпама (Јанковић и сар. 2017). Чврсти супстрати су: стајњак, разне врсте силаже, отпад прехранбене индустрије и чврсти органски комунални отпад.

*Течни супстрати* се на постројењу привремено складиште у предјама. То је резервоар чија је запремина довољна да прима једнонедјељну количину супстрата којом се пуни ферментор. Најчешће се изграђују од бетона и постављају у земљу. Течни супстрати се са удаљеног мјеста до биогас постројења транспортују цистернама. У случају да је њихово мјесто настајања релативно близу биогас постројења, транспортују се пумпама и цјевоводима. Како би се пумпама продужио вијек трајања и како би се оне сачувале од могућих хаварија, прије уласка у пумпу, супстрати се уситњавају (Јанковић и сар. 2017), а по потреби се из њих одвајају чврста тијела, као што су то нпр. камење и пијесак.

*Чврсти супстрати* најчешће се привремено складиште у тренч силосима. Прије силирања, биомаса се транспортује до тренч силоса и припрема,

односно сабија и прекрива фолијом како би се спријечила оксидација и на тај начин аеробно разлагање органске супстанце, чиме се смањује потенцијални принос биогаза из супстрата. Из тренч силоса силажа се помоћу универзалног манипулатора или трактора са предњим утоваривачем са уређајем за изузимање силаже прихвата и убацује у дозатор за чврсте супstrate (Јанковић и сар. 2017), који пужним транспортером ову биомасу убацује у ферментор.

*Ферментори* су херметички затворени резервоари у којима се обезбјеђују оптимални услови за процес анаеробне ферментације. Могу да се класификују према погонским условима у којима раде или према облику (цилиндрични или правоугаони), врсти материјала (бетонски или челични) и оријентацији (хоризонтални или вертикални). Уколико се све четири фазе одвијају у једном ферментору, онда је биогаз постројење *једностепено*, док уколико се у првом ферментору одвијају хидролиза и киселинска фаза, а друге фазе су просторно раздвојене и одвијају се у наредном ферментору, онда је биогаз постројење *двостепено*. У двостепеном постројењу боље се подешавају услови за одређене групе бактерија и постиже се већа разградивост супстрата. Ферментори су најчешће редно везани и најчешће су у употреби постројења која раде у мезофилном режиму (Јанковић и сар. 2017). Постројења са термофилним режимом рада најчешће садрже и један ферментор са мезофилним режимом.

Подјелу на мокру и суву ферментацију одређује садржај суве супстанце супстрата. *Мокра ферментација* примјењује се када супстрат може да се транспортује пумпама, а садржај суве супстанце износи максимално 20%. Ферментори са мокром ферментацијом раде у континуалном погону, а типични супстрати који се тада користе јесу чврсти и течни стајњак, енергетски усјеви и отпад из прехранбене индустрије. *Сува ферментација* примјењује се када је садржај суве масе у супстрату изнад 35%, при чему се користе шаржни ферментори. Начин дозирања супстрата у великој мјери утиче на процес анаеробне ферментације. Овај ферментор се у потпуности испуњава свјежим супстратима, који се у њему задржавају до завршетка процеса ферментације. Након тога, уклања се цјелокупна маса остатка ферментације, осим минималне количине која служи за инокулацију. Велики недостатак је временски неуједначена продукција и квалитет биогаза (Јанковић и сар. 2017), као и отежано прање ферментора.

Већина биогаз постројења има континуални тип ферментора у који се супстрат дозира више пута у току дана из предјама за стајњак или дозера за чврсте супstrate. Иста количина супстрата која се уноси у ферментор из њега и излази, што се обезбјеђује испуњењем супстрата у ферментору до преливног нивоа. У овим ферменторима се постиже уједначена продукција и квалитет биогаза.

Ферментори треба да се загријавају како би се одржала константна температура. До промјене температуре може доћи услед различитих спољних фактора. Супстрат који се уноси у ферментор често је хладнији од неопходне температуре ферментације, а садржај ферментора хлади се његовим уношењем. У циљу да се смање температурна одступања користи се отпадна топлотна енергија из когенеративног простора, због чега је потребно ферментор са спољашне стране термички изоловати. На највећем броју постројења за производњу биогаза, унутрашњост ферментора се загријава помоћу топловодних цијеви, док се свјеж супстрат прије уношења предгријева у екстерном размјешивачу топлоте. Ово је и најефикаснији систем, са којим се постижу минималне осцилације. Познато је да се у процесу анаеробне ферментације може појавити самозагријавање, због чега је у љетним мјесецима, због високе спољне температуре, неопходно хлађење унутрашњости ферментора, што се постиже протоком хладне воде кроз цијевовод у унутрашњости ферментора, који се иначе користи и за гријање. Мијешање садржаја у ферментору остварује се убацивањем свјежег супстрата конвекционим струјањем супстрата и подизањем мјехурића произведеног биогаза. Ово није довољно па се примјењује активно мијешање, које може бити механичко, хидраулично и пнеуматско (Јанковић и сар. 2017). Већина постројења примјењује механичко мијешање.

#### **8.6.4. Складиштење биогаза**

Током ферментације, често се догађа да продукција биогаза није константна, што може бити проблем са потребама когенеративног постројења, због чега произведени биогаз треба привремено складиштити. Депои за складиштење биогаза треба да буду херметички затворени, отпорни на више температуре и притисак, као и УВ зрачење и остале природне утицаје. Такође, неопходна је и уградња система за осигурање натпритиска и потпритиска (Јанковић и сар. 2017).

Капацитет резервоара мора бити довољан за складиштење најмање четвртине дневне производње биогаза. Биогаз се може складиштити на режиму ниског, средњег или високог притиска. Чување при ниском притиску изводи се као гасна хауба изнад ферментора или као ваздушни јастук. Ваздушни јастуци се због заштите од спољних фактора обично смјештају под настрешницама. Резервоари за чување биогаза при вишим притисцима (5–250 бара) израђују се од челика. Овај начин чувања је скуп, па се зато на пољопривредним биогаз постројењима рјеђе изграђују.

### **8.6.5. Надзор и управљање процесом**

Неопходно је да буду обезбијеђени услови за сигуран и стабилан рад постројења под анаеробним условима. Континуитет анаеробне ферментације постиже се редовним лабораторијским анализама, као и праћењем параметара процеса. Главни параметри који се прате јесу:

- 1) врста и количина унесеног супстрата;
- 2) рН вриједност, количина и састав биогаса;
- 3) концентрација нижих органских киселина и
- 4) ниво ферментора.

За успјешан рад постројења за производњу биогаса неопходна је константна контрола. Потпуна аутоматизација постројења омогућава успостављање оптималних вриједности набројаних параметара. По правилу, већи степен аутоматизације омогућава бољу ефикасност, али су потребна већа улагања у постројење.

## **8.7. Остаци од ферментације**

Остаци од ферментације привремено се складиште у посебним резервоарима, на период од шест мјесеци до годину дана, тј. када се створе услови за њихову примјену као органског ђубрива. Најчешће су у примјени бетонски резервоари или издвојене лагуне. Бетонски резервоари слични су вертикалним реакторима у које се уграђују мјешалице за хомогенизацију до изузимања. Органска маса у овом случају није у потпуности разграђена, тако да се у овим депоима још увијек одвија ферментација и производња биогаса. Из наведених разлога депои се покривају, а добијене количине биогаса сакупљају се и користе (Јанковић *i* сар. 2017). Осим тога, покривањем се смањује распрострањење непријатног мириса по околном простору.

### **8.7.1. Употреба остатака од ферментације**

Само мањи дио течне и чврсте биомасе у постројењу за ферментацију буде трансформисан у биогас, док је остатак од овог процеса неопходно збринати на адекватан начин. Неопходно је да се од ових остатака створи нова вриједност, а тиме и приход. Веома се често овај споредни производ износи на пољопривредне површине као органско-минерално ђубриво. Састав остатка врло је сличан стајњаку и директно зависи од



састава употребијеног супстрата. Враћање овакве биомасе на пољопривредне површине вишеструко је корисно кад је ријеч о заштити животне средине и повећању плодности земљишта. Уношењем значајних количина ове органске супстанце повећава се плодност земљишта (Јанковић и сар. 2017).

У практичном смислу, сепарација остатака од ферментације на чврсту и течну фазу спроводи се пресама. Течна фаза богата је микроорганизмима и враћа се у ферментор, што доприноси стабилности процеса и остваривању задовољавајуће структуре супстрата, док чврста фаза обично има висок садржај воде, тако да садржај суве супстанце често не прелази 25%. Вискозитет супстрата у процесу ферментације смањује се као посљедица разградње чврсте органске масе од које настаје биогаз. Поступак ферментације стајњака утиче на смањење садржаја органских киселина, које су главни узрок настајања непријатних мириса. Ферментацијом се повећава количина  $\text{NH}_4$  за 5%–10%, док се укупна количина азота знатно мијења, при чему наступају процеси трансформације органских азотних једињења у неорганске соли које су непосредно доступне биљкама. То исто важи за једињења фосфора, калијума и магнезијума. Концентрација водоникових јона прије ферментације је око неутралне, док је по завршетку процеса рН око 8,5. По завршетку ферментације, садржај тешких и штетних метала се не мијења (Јанковић и сар. 2017). Анаеробни услови и повишена температура утичу на одумирање патогених организама, што је важно ако се ова биомаса користи за заоравање на њивама.

## **8.8. Прочишћавање биогаза**

Удио метана у произведеној маси биогаза важан је за његов квалитет, због чега из крајњег производа треба да се уклоне водоник-сулфид, водена пара и угљен-диоксид. Квалитет биогаза, до нивоа до ког се пречишћава, утиче на његову цијену, док је неопходан квалитет у директној вези са технологијом за његову примјену.

За дистрибуцију биогаза у мрежу природног гаса, али и прије примјене у моторним возилима, неопходно је да се из њега уклони  $\text{CO}_2$  и изврши његово компримовање. Уклањањем угљен-диоксида добија се гориво врло слично природном гасу, па је његова дистрибуција могућа у гасовод, а тиме и његова свестрана употреба. Овакав гас могуће је користити и као гориво у моторима са унутрашњим сагоријевањем (Јанковић и сар. 2017) који имају одговарајуће техничке могућности за трошење гаса метана.

## 8.9. Закључак

Биогас је производ који се добија анаеробном разградњом органске супстанце уз помоћ комплекса микроорганизама. За добијање биогаса могу послужити сви типови биомасе која као основне састојке садржи угљене хидрате, протеине, масти, целулозу и хемицелулозу.

Поступак производње биогаса одвија се у четири фазе, и то: хидролиза, киселинска, сирћетна и метаногена фаза. Приликом проучавања могућности производње биогаса, прије свега се разматрају количине и цијене појединих супстрата. Битно је да се анализирају њихове карактеристике којима се одређује потенцијал за производњу биогаса, а на тај начин и величина биогас постројења. Конфигурација биогас постројења највише зависи од врста и својстава апликованих супстрата. Произвођачи опреме инвеститорима нуде постројења по систему „кључ у руке“, што значи да спроводе послове од планирања, пројектовања, изградње, па све до пуштања у погон и обуке руковалаца.

Квалитет биогаса, до нивоа до којег се пречишћава, утиче на његову цијену, док је неопходан квалитет у директној вези са технологијом за његову примјену. Биогорива постају популарна због раста цијена нафте, потребе за сигурнијим извором енергије, забринутости због штетних емисија стакленичких гасова. Посљедњих деценија, због пораста потражње за обновљивим изворима енергије, влада велико интересовање за биљне врсте које имају велику годишњу продукцију биомасе.

Биомаса је највећи обновљиви извор енергије, а Република Србија и Република Српска спадају у врх европских земаља по количини расположиве а неискоришћене биомасе. Технологије за њено коришћење расположиве су и еколошки прихватљиве. Тренутно стање сектора обновљивих извора енергије у Републици Српској означава се као категорија неискоришћености.

Захваљујући развоју нових технологија прераде биолошког отпада у енергенте, стопа пораста употребе алтернативних горива значајно расте.

## Литература

- Angelidaki I, Ahring BK (2000) Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *Water Sci Technol* 41(3):189–194. doi.org/10.2166/wst.2000.0071
- Babović N, Dražić G, Đorđević A (2012) Могућности коришћења биомасе пореклом од брзорастуће трске *Miscanthus x giganteus*. *Хемијска индустрија* 66(2):223–233

- Božović D, Živanović T, Popović V, Tatic M, Gospavić Z, Miloradović Z, Stanković G, Đokić M (2018) Assessment stability of maize lines yield by GGE–biplot analysis. *Genetika* 50(3):755–770
- Božović D, Popović V, Rajičić V, Kostić M, Filipović V, Kolarić Lj, Ugrenović V, Spalević V (2020) Stability of the expression of the maize productivity parameters by AMMI models and GGE–biplot analysis. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 48(3):1387–1397
- Glamočlija Đ, Janković S, Maletić R, Rakić S, Ikanović J, Lakić Ž (2011) Effect of nitrogen and mowing time on the biomass and the chemical composition of Sudanese grass, foder sorghum and their hybrid. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35(2):127–138
- Gissén C, Prade T, Kreuger E, Nges IA, Rosenqvist H, Svensson S-E, Lantz M, Mattsson JE, Börjesson P, Björnsson L (2014) Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass and Bioenergy* 64:199–210
- Glamočlija Đ, Janković S, Popović V, Kuzevski J, Filipović V, Ugrenović V (2015) Alternativne ratarske biljke u konvencionalnom i organskom sistemu gajenja. Monografija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, str 1–355
- Dandikas V, Heuwinkel H, Lichti F, Drewes JE, Koch K (2014) Correlation between biogas yield and chemical composition of energy crops. *Bioresource Technology* 174:316–320
- Дражић Г, Икановић Ј, Витас А (2014) Енергетски биланс продукције агроенергетског усева *Miscanthus giganteus* на плодном и деградираним земљишту. XXX Међународно саветовање, Енергетика 2014, Златибор 25-28.03.2014, Зборник радова, стр 224–229
- Živanović Lj, Ikanović J, Popović V, Kajgana M, Rakić S, Milutinović M (2012) The effect of nitrogen fertilization on yield of maize. *Book of Proceedings of the III International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2012”*, pp 215–219
- Živanović Lj, Ikanović J, Popović V, Simić, Kolarić Lj, Maklenović V, Bojović R, Stevanović P (2014) Effect of planting density and supplemental nitrogen nutrition on the productivity of miscanthus. *Romanian Agricultural Research* 31:291–298
- Živanović Lj, Savić J, Ikanović J, Kolarić Lj, Popović V, Novaković M (2017) Uticaj sorte i hibrida na prinose zrna pšenice, soje, kukuruza i suncokreta. XXXI Savetovanje agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista. *Zbornik naučnih radova 2017. Instituta PKB Agroekonomik* 23(1–2):39–49
- IEA (2021), *Renewables 2021*, IEA, Paris Доступно на: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>. Приступљно: 16. фебруар 2022
- Икановић Ј (2011) Генотипска и фенотипска специфичност сорти сирка, суданске траве и њиховог интерспециес хибрида. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, стр 1–137

- Ikanović J, Glamočlija Đ, Maletić R, Popović V, Sokolović D, Spasić M, Rakić S (2011) Path analysis of the productive traits in *Sorghum* species. *Genetika* 43(2):253–262
- Ikanović J, Janković S, Dražić G, Lakić Ž, Tošić I, Rakić S, Veljović T (2012) Značaj gajenja miskantusa (*Miskantus x giganteus*) u integralnoj zaštiti bilja kao potencijalnog bioenergetskog useva na području Republike Srpske. IX Simpozijum o zaštiti bilja u BiH, Teslić, Zbornik radova, str 114–115
- Ikanović J, Popović V, Trkulja V, Živanović Lj, Lakić Ž, Pavlović S (2013) Morfološke karakteristike interspecies hibrida sirka i sudanske trave u uslovima intenzivne ishrane azotom. *Genetika* 45(1):31–40
- Ikanović J, Popović V, Janković S, Rakić S, Dražić G, Živanović Lj, Kolarić Lj, Lakić Ž (2015) Produkcija biomase miskantusa gajenog na degradiranom zemljištu. XXIX Savetovanje agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista. Zbornik naučnih radova 2015. Instituta PKB Agroekonomik 20(1–2):115–124
- Ikanović J, Živanović Lj, Popović V, Kolarić Lj, Dražić G, Janković S, Čurović M, Pavlović S (2018) Mogućnost većeg korišćenja kukuruza kao bioenergenta. XXXII Savetovanje agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista. Zbornik naučnih radova 2019. Instituta PKB Agroekonomik 24(1–2):49–58
- Ikanović J, Popović V, Janković S, Živanović Lj, Kolarić Lj, Lončar M, Kulić G, Dražić N (2019) Sekundarni proizvodi žita kao energenti. XXXIII Savetovanje agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista. Zbornik naučnih radova 2019. Instituta PKB Agroekonomik 25(1–2):99–110
- Janković S, Glamočlija Đ, Prodanović S (2017) Energetski usevi – tehnologija proizvodnje i prerade. Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd, str 1–272
- Janković S, Glamočlija Đ, Ikanović J, Rakić S (2019) Sekundarni ratarski proizvodi. Monografija. Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd, str 1–385
- Martinov M, Kovacs K, Đatkov Đ (2012) Biogas tehnologija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, str 1–81
- Milanović T, Popović V, Vučković S, Popović S, Rakašćan N, Petković Z (2020) Analysis of soybean production and biogas yield to improve eco-marketing and circular economy. *Economics of Agriculture* 67(1):141–156
- Mladenović-Glamočlija M, Popović V, Janković S, Glamočlija Đ, Čurović M, Radović M, Đokić M (2020) Nutrition effect to productivity of bioenergy crop *Miscanthus X giganteus* in different environments. *Agriculture and Forestry* 62(2):67–77
- Поповић В (2010) Агротехнички и агроеколошки утицаји на производњу семена пшенице, кукуруза и соје. Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, стр 1–145
- Поповић В (2015) Појам, подела и значај биолошких ресурса у пољопривреди. У: Миловановић Ј, Ђорђевић С (уредници) Очување и унапређење биолошких ресурса у служби екоремедијације. Монографија. Универзитет Сингидунум, Београд, Факултет за примењену екологију, стр 29–50

- Popović V, Glamočlija Đ, Malešević M, Ikanović J, Dražić G, Spasić M, Stanković S (2011) Genotype specificity in nitrogen nutrition of malting barley. *Genetika* 43(1):197–204
- Popović V, Vidić M, Jocković Đ, Ikanović J, Jakšić S, Cvijanović G (2012a) Variability and correlations between yield components of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Genetika* 44(1):33–45
- Popović V, Jaksic S, Glamočlija Đ, Djekić V, Grahovac N, Mickovski Stefanovic V (2012b) Variability and correlations between soybean yield and quality components. *Romanian Agricultural Research* 29:131–138
- Popović V, Glamočlija Đ, Sikora V, Đekić V, Červenski J, Simić D, Ilin S (2013a) Genotypic specificity of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] under conditions of foliar fertilization. *Romanian Agricultural Research* 30:259–270
- Popović V, Malešević M, Miladinović J, Marić V, Živanović Lj (2013b) Effect of agroecological factors on variations in yield, protein and oil contents in soybean grain. *Romanian Agricultural Research* 30:241–247
- Popović V, Miladinović J, Vidić M, Vučković S, Dražić G, Ikanović J, Đekić V, Filipović V (2015) Determining genetic potential and quality components of NS soybean cultivars under different agroecological conditions. *Romanian Agricultural Research* 32:35–42
- Popović V, Miladinović J, Vidić M, Vučković S, Dolijanović Ž, Ikanović J, Živanović Lj, Kolarić Lj (2015) Suša limitirajući faktor u proizvodnji soje. Efekat navodnjavanja na prinos i kvalitet soje [*Glycine max* (L.) Merr.]. XXIX Savetovanje agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista. Zbornik naučnih radova 2015. Instituta PKB Agroekonomik 20(1–2):11–21
- Popović V, Mihailović V, Vučković S, Ikanović J, Rajčić V, Terzić D, Simić D (2019a) Prospects of *Glycine max* production in the world and in the Republic of Serbia. Janjev I (ed) Serbia: Current issues and challenges in the areas of natural resources, agriculture and environment. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, USA, pp 171–194
- Popović V, Stevanović P, Vučković S, Ikanović J, Rajčić V, Bojović R, Jakšić S (2019b) Influence of CAN fertilizer and seed inoculation with NS Nitragin on *Glycine max* plant on pseudogley soil type. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 84(2):165–171
- Popović V, Jovović Z, Mirecki N, Lakić Ž (2019) Trend organske proizvodnje. „Organska proizvodnja i biodiverzitet“, Otvoreni dani biodiverzita, Pančevo, Zbornik referata, str 3–32
- Popović V, Vučković S, Jovović Z, Ljubičić N, Kostić M, Rakašćan N, Glamočlija-Mladenović M, Ikanović J (2020) Genotype by year interaction effects on soybean morpho-productive traits and biogas production. *Genetika* 52(3):1055–1073
- Popović V, Tatić M, Sikora V, Ikanović J, Dražić G, Djukić V, Mihailović B, Filipović V, Dozet G, Jovanović Lj, Stevanović P (2016) Variability of yield and chemical

- composition in soybean genotypes grown under different agroecological conditions of Serbia. *Romanian Agricultural Research* 33:29–39
- Raja IA, Wazir S (2017) Biogas Production: The Fundamental Processes. *Universal Journal of Engineering Science* 5(2):29–37
- Rakašćan N, Dražić G, Popović V, Milovanović J, Živanović Lj, Remiković-Aćimić M, Malanović T, Ikanović J (2021): Effect of digestate from anaerobic digestion on *Sorghum bicolor* L. production and circular economy. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 49(1):1–13
- Rakašćan N, Dražić G, Živanović Lj, Ikanović J, Jovović Z, Bojović R, Popović V (2019a) Effect of genotypes and locations on wheat yield components. *Agriculture and Forestry* 65(1):233–242
- Rakašćan N, Popović V, Dražić G, Ikanović J, Popović S, Popović B, Milanović T (2019b) Circular economy in function of obtaining the biogas. XXIII International Eco-Conference® 2019 and XIII Environmental Protection of Urban and Suburban, Settlements, 25.09.2019, Novi Sad, Serbia, pp 320–329
- Rajičić V, Popović V, Perišić V, Biberdžić M, Jovović Z, Gudžić N, Mihailović V, Čolić V, Đurić N, Terzić D (2020) Impact of nitrogen and phosphorus on grain yield in winter triticale grown on degraded vertisol. *Agronomy* 10(6):1–15
- Szwarc D, Szwarc K (2021) Use of a Pulsed Electric Field to Improve the Biogas Potential of Maize Silage. *Energies* 14:119. doi.org/10.3390/en14010119
- Sikora V, Popović V, Zoric M, Latkovic D, Filipovic V, Tatic M, Ikanovic J (2016) An agro-technological characterization of south-eastern European broomcorn landraces. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 53(3):567–576
- Sikora V, Maksimović L, Brdar-Jokanović M, Koren A (2019) Sorghum in conditions of abiotic stress. Stress caused by extreme temperatures and soil reactions. *Alternative Crops and Cultivation Practicess* 1:18–26
- Simon RO, Hülsbergen K-J (2021) Energy Balance and Energy Use Efficiency of Annual Bioenergy Crops in Field Experiments in Southern Germany. *Agronomy* 11:1835. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091835>
- Terzić D, Radović J, Marković J, Popović V, Milenković J, Vasić T, Filipović V (2017) Uticaj načina setve i združivanja na energetske i proteinske vrednosti kukuruza i soje u postranoj setvi. XXXI Savetovanje agronoma, veterinarara, tehnologa i agroekonomista. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik 23(2):19–24
- Terzić D, Djekić V, Jevtić S, Popović V, Jevtić A, Mijajlović J, Jevtić A (2018) Effect of long-term fertilization on grain yield and yield components in winter triticale. *Journal of Animal and Plant Sciences* 28(3):830–836
- Terzić D, Popović V, Malić N, Ikanović J, Rajičić V, Popović S, Lončar M, Lončarević V (2019) Effects of long-term fertilization on yield of siderates and organic matter content of soil in the process of recultivation. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 29(3):790–795

- Trypolska G, Kyryziuk S, Krupin V, Was A, Podolets R (2022) Economic Feasibility of Agricultural Biogas Production by Farms in Ukraine. *Energies* 15:87. doi.org/10.3390/en15010087
- Ugrenović V, Bodroža Solarov M, Pezo L, Đisalov J, Popović V, Marić B, Filipović V (2018) Analysis of spelt variability (*Triticum spelta* L.) grown in different conditions of Serbia by organic conditions. *Genetika* 50(2):635–646
- Calbry-Muzyka A, Madi H, Rüsç-Pfund F, Gandiglio M, Biollaz S (2022) Biogas composition from agricultural sources and organic fraction of municipal solid waste. *Renewable Energy* 181:1000-1007
- Cardoso GCR, Garcia AL, De Souza OG, Pereira CM, De Andrade Pires S, Bernardino FS (2013) Performance of Simental steers fed sorghum silage, sugar cane and straw rice treated or not with anhydrous ammonia. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33(6):2132–2139
- Šarčević-Todosijević Lj, Živanović Lj, Janjić S, Popović V, Ikanović J, Popović S, Dražić G (2016) The influence of nitrogen fertilizer on the total number of microorganisms and aminoautotroph dynamics under "ugar" and sown maize. *Agriculture and Forestry* 62(3):185–196

## **Use of biomass for biofuel production**

Nikola Rakašćan, Jela Ikanović, Ljubiša Živanović,  
Igor Milunović, Vera Popović

### **Summary**

Plant biomass is the largest renewable energy source. Republic of Srpska and the Republic of Serbia are among the top European countries in terms of the amount of available and unused biomass. Biogas is a product obtained by anaerobic decomposition of organic matter with the help of a complex of microorganisms in biogas power plants. All types of biomass which contains carbohydrates, proteins, fats, cellulose and hemicellulose can be used to obtain biogas. In theoretical terms, biogas can be produced from any substrate of organic origin. Also, there are possibilities to combine different types of substrates in one biogas plant. However, there are technical or economic limitations to this, which is why it is best to use several types of substrates of different origins in practice. Depending on the physical state, substrates are divided into solid and liquid. Liquid substrates include sewage and various wastewaters with a significant content of organic matter, while solid substrates include manure, various types of silage, food waste, solid organic municipal waste and other types of organic waste.

The special importance of the production and use of biogas, as a type of renewable energy source, is the prevention of emissions of methane, a gas that increases the greenhouse effect (the intensity is 23 times higher than carbon dioxide). Also, the use of biogas as a fuel, most often produces electricity, and thus contributes to the realization of the set goals of greater use of renewable energy sources. An additional positive impact is the reduction of the spread of unpleasant odors, prevention of soil and groundwater pollution. Positive socio-economic effects are also being achieved, rural development is being encouraged, and human and material resources are being used better at the local level.

When studying the possibilities of biogas production, the quantities and prices of individual substrates are first considered. Their characteristics are analyzed, which determine the potential for biogas production, and thus the size of the biogas plant. Only a small part of the liquid and solid biomass in the fermentation plant is transformed into biogas. The rest of this process needs to be taken care of and used in an adequate way. The rest of the fermentation is a



by-product in the production of biogas, and it is most often used as a fertilizer. It contains plant nutrients and organic matter, and by returning to agricultural areas, it contributes to preserving the fertility of the land. One of the ways to use the rest of the fermentation is to produce pellets or briquettes after separation and drying, and to use it as a solid fuel.

Thanks to the development of new technologies for processing bio-waste into energy, the rate of increase in the use of alternative fuels is growing significantly.

*Keywords:* Biomass, biogas, energy, substrate, fermentation, alternative fuels

**Монографија**

УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА У ПРОИЗВОДЊИ И ПРЕРАДИ БИОМАСЕ

**Издавач**

Академија наука и умјетности Републике Српске  
78000 Бања Лука, Ул. Бана Лазаревића 1

**За издавача**

Академик Рајко Кузмановић

**Лектор**

Др Игор Симановић

**Дизајн корица**

Академик Миливоје Унковић  
Академик Ново Пржуљ

**Графичко обликовање**

Даниел Грујић

**Штампа**

Граформарк Лакташи

**За штампарију**

Јелена Милинчић

**Тираж**

250 примјерака

CIP – Каталогизација у публикацији  
Народна и универзитетска библиотека  
Републике Српске, Бања Лука

620.95(082)

УПРАВЉАЊЕ ресурсима у производњи и преради биомасе : монографија / главни уредник Рајко Кузмановић ; одговорни уредник Драго Бранковић ; уредник Бранко Шкундрић ; уредници монографије Војислав Тркуља, Зоран Говедар, Ново Пржуљ ; рецензенти Драган Шкорић, Рудолф Кастори. - Бања Лука : Академија наука и умјетности Републике Српске, 2023 (Лакташи : Графомарк). - XXXVIII, 827 стр. : илустр. ; 24 cm. - (Едиција Одрживи развој и управљање природним ресурсима Републике Српске) (Академија наука и умјетности Републике Српске, Научне монографије ; књ. 52, Одјељење природно-математичких и техничких наука. Одбор за биотехничке науке ; књ. 50)

На спор. насл. стр.: Resource managemet in biomass production and processing. - Тираж 250. - Подаци о ауторима текстова у монографији = Contributors contact details: стр. XI-XVIII. - Стр. XXXI-XXXVIII: Рецензије / Драган Шкорић, Рудолф Кастори. - Напомене и библиографске референце уз текст. - Библиографија уз поглавља. - Сажети на енгл. језику.

ISBN 978-99976-42-66-0

ISSN 2831-1132

COBISS.RS-ID 138659073

Одбор за издавачку дјелатност Академије наука и умјетности Републике Српске дао је сагласност да се штампа монографија Управљање ресурсима у производњи и преради биомасе – Одлука број 01-678-2/22 од 12.11.2022. године.

Публиковање ове монографије финансијски су подржали Кабинет предсједника Републике Српске, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске и Министарство за научнотехнолошки развој, високо образовање и информационо друштво Републике Српске.

Аутори појединих поглавља одговорни су за садржај текста који су написали.