

Proizvodnja bioplina, njegova upotreba i potencijal u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj

Pavičić, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:880339>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**PROIZVODNJA BIOPLINA, NJEGOVA UPOTREBA I POTENCIJAL U
EUROPSKOJ UNIJI I REPUBLICI HRVATSKOJ**

Diplomski rad

Josipa Pavičić

N 345

Zagreb, 2021.

ZAHVALA

Zahvaljujem se prije svega svojim roditeljima i Tomislavu koji su uvijek isticali važnost obrazovanja i bili puni razumijevanja tijekom mog studiranja.

Veliko hvala mojoj mentorici, doc. dr. sc. Karolini Novak Mavar dipl. ing., na brojnim savjetima i trudu koji je uložila. Također želim zahvaliti gospodinu Robertu Kovaču na stručnim savjetima koji su uvelike doprinijeli ovom diplomskom radu.

I na kraju mojim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali dane studiranja, ali i bili velika potpora i motivacija.

PROIZVODNJA BIOPLINA, NJEGOVA UPOTREBA I POTENCIJAL U EUROPSKOJ
UNIJI I REPUBLICI HRVATSKOJ

JOSIPA PAVIČIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Bioplin je plinovito gorivo proizvedeno iz biomase, koje se ubraja u obnovljive izvore energije. Proizvodi se procesom anaerobne digestije u fermentoru, bez prisutnosti kisika i provodi se kroz četiri faze: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza. Ulazni supstrat u fermentor može biti stajski gnoj, gnojnica, organski komunalni otpad, mulj iz pročišćivača voda, silaža i dr. Zbog svojstva ulaznog supstrata nužno ga je obraditi prije ulaska u fermentor što znači da se mora pročistiti od plastike, pijeska, metala i ostalih nečistoća. Zatim se provodi sanitacija kako bi se uništile neželjene tvari u supstratu te se provodi mehanička obrada. Kada je supstrat obrađen i usitnjen slijedi proces anaerobne digestije iz koje kao nusprodukti izlaze bioplin i digestat. Prema niskougličnoj strategiji očekuje se da će do 2050. godine EU biti klimatski neutralna, stoga se ulažu veliki naponi kako bi se povećala proizvodnja energije iz obnovljivih izvora. Kao najveći proizvođači bioplina u Europi ističu se Njemačka, Velika Britanija, Francuska i Italija, dok je u Republici Hrvatskoj njegova upotreba još uvijek u nezreloj fazi. Proizvodnja i upotreba bioplina ima brojne prednosti u odnosu na fosilna goriva između kojih su pozitivan učinak na okoliš, iskorištavanje komunalnog otpada, ulaganja u ruralna područja i drugo.

Ključne riječi: bioplin, obnovljivi izvori energije, anaerobna digestija, digestat.

Diplomski rad sadrži: 44 stranica, 5 tablica, 23 slike, 1 prilog i 43 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditeljica: dr. sc. Karolina Novak Mavar, docentica RGNf

Pomoć pri izradi: Robert Kovač, dipl. ing.

Ocjenjivači: dr. sc. Karolina Novak Mavar, docentica RGNf
dr. sc. Lidia Hrnčević dipl. ing., izvanredna profesorica RGNf
dr. sc. Vladislav Brkić dipl. ing., izvanredni profesor RGNf

Datum obrane: 28. rujna 2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

BIOGAS, PRODUCTION, USE AND ITS POTENTIAL IN THE EUROPEAN UNION
AND THE REPUBLIC OF CROATIA

JOSIPA PAVIČIĆ

Master's thesis completed at the University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Biogas is a gaseous fuel produced from biomass, which is a renewable energy source. It is produced by the process of anaerobic digestion in the fermenter. The process itself is anaerobic and it is carried out in four phases: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis. The input substrate in the fermenter can be manure, slurry, organic household waste, sludge from water treatment plants, silage, as well as many others sources. The input to the fermenter is usually the mixture of different substrates. Due to the properties of the input substrate, it is necessary to process it before entering it into the fermenter. That means that it must be cleaned from plastic, sand, metal and other impurities. Sanitation is then performed to destroy unwanted substances in the substrate and mechanical treatment follows. After the substrate is processed and crushed, it is subjected to process of anaerobic digestion. In the previously mentioned process, biogas and digestate emerge as by-products. According to the low-carbon strategy, EU is expected to be climate-neutral by 2050. Great efforts are made to increase energy production from renewable sources. Germany, Great Britain, France and Italy stand out as the largest producers of biogas in Europe, while in the Republic of Croatia its use is still in an early phase. The production and use of biogas have numerous benefits in comparison to fossil fuels, such as positive effect on the environment, the utilization of municipal waste, investments in rural areas and many others.

Keywords: biogas, renewable energy sources, anaerobic digestion, digestate.

Thesis contains 44 pages, 5 tables, 23 figures, 1 attachment and 43 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Supervisor: Assistant Professor. Karolina Novak Mavar, PhD.

Developmental help: Robert Kovač BSc

Reviewers: Assistant Professor. Karolina Novak Mavar, PhD.
Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD.
Associate Professor Vladislav Brkić, PhD.

Date of defense: September 28th, 2021, Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	III
POPIS PRILOGA.....	IV
POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....	V
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA.....	VI
1. UVOD	1
2. OPĆENITO O BIOMASI I BIOGORIVIMA	4
2.1. Generacije biogoriva.....	4
2.2. Prednosti upotrebe biogoriva	6
3. SASTAV I SVOJSTVA BIOPLINA	7
3.1. Anaerobna digestija	8
<u>3.1.1. Kemijski procesi anaerobne digestije</u>	<u>8</u>
3.2. Supstrat koji ulazi u AD.....	10
4. OPIS BIOPLINSKOG POSTROJENJA	12
4.1. Elementi tipskog bioplinskog postrojenja.....	12
4.1.1. <i>Prihvatna jedinica i skladištenje supstrata</i>	<i>13</i>
4.1.2. <i>Fermentor (digestor, bioreaktor)</i>	<i>13</i>
4.1.3. <i>Spremnici bioplina i digestata.....</i>	<i>14</i>
4.1.4. <i>Kontrolna jedinica.....</i>	<i>16</i>
4.2. Proces proizvodnje bioplina.....	16
5. PRIMJENA BIOPLINA	20

5.1. Povezanost proizvodnje biodizela, bioplina, električne energije, toplinske energije i hrane	21
6. UTJECAJ BIOPLINA NA OKOLIŠ.....	23
6.1. Metodologija za izračunavanje emisija stakleničkih plinova	24
7. PROIZVODNJA I POTENCIJAL BIOPLINA U EU	27
7.1. Mjere za promicanje bioplina u EU	31
8. PROIZVODNJA I POTENCIJAL BIOPLINA U RH.....	32
9. ZAKLJUČAK	37
10. LITERATURA	40
PRILOG 1	44

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Kruženje ugljika u prirodi	6
Slika 3-1. Odnos stope rasta metanogena u odnosu na temperaturu.....	9
Slika 3-2. Faze u procesu AD	9
Slika 3-3. Proizvodnja bioplina ovisno o vrsti supstrata.....	10
Slika 3-4. Ulazna sirovina u bioplinsko postrojenje	11
Slika 4-1. Shematski prikaz elementa postrojenja	12
Slika 4-2. Prikaz bioplinskog postrojenja	12
Slika 4-3. Supstrat dopremljen u prihvatnu jedinicu u bačvama (lijevo) i u kontejnerima (desno)	13
Slika 4-4. Sustav za miješanje (lijevo) i sustav za grijanje (desno)	14
Slika 4-5. Spremnik za bioplin na vrhu fermentora	15
Slika 4-6. Skladištenje digestata u laguni	15
Slika 4-7. Monitoring bioplinskog postrojenja preko računala iz centralne sobe.....	16
Slika 4-8. Shema proizvodnog procesa.....	17
Slika 4-9. Mehanička obrada ulaznog supstrata i vijčani transporteri	18
Slika 5-1. Mogućnosti korištenja bioplina	20
Slika 6-1. Kruženje ugljika u procesu proizvodnje i upotrebe bioplina.....	23
Slika 7-1. Najveći proizvođači bioplina u EU prema proizvedenoj energiji u TJ	28
Slika 7-2. Ukupna proizvodnja bioplina u EU u TJ	29
Slika 7-3. Najveći proizvođači (potrošači) u EU	29

Slika 7-4. Proizvodnja bioplina u EU ovisno o metodi pridobivanja u TJ	30
Slika 8-1. Udio u proizvodnji primarne energije u RH 2013. (gore) i 2018. (dolje) godine	32
Slika 8-2. Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz OIE u RH.....	35
Slika 8-3. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH	32

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Sastav bioplina	7
Tablica 7-1. Broj bioplinskih postrojenja u EU za razdoblje 2009. - 2019.....	29
Tablica 8-1. Ukupna potrošnja energije u RH.....	33
Tablica 8-2. Proizvodni kapaciteti RH za proizvodnju električne energije.....	34
Tablica 8-3. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH 2018. god.....	34

POPIS PRILOGA

Prilog 1.....44

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

RH – Republika Hrvatska

EU – Europska unija

UN – Ujedinjeni narodi

UNFCCC – Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime

OIE – Obnovljivi izvor energije

NECP – Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan

AD – Anaerobna digestija

MZOE – Ministarstvo zaštite okoliša i energetike

tCO_{2e} – Tona ekvivalenta ugljikovog dioksida

CO₂ – Ugljikov dioksid

CH₄ – Metan

N₂O – Didušikov oksid

SF₆ – Sumporov heksafluorid

HFC, PFC – Fluorirani ugljikovodični spojevi

EK – Europska komisija

EP – Europski parlament

EIHP – Energetski institut Hrvoje Požar

FAO – Organizacija za hranu i poljoprivredu (engl. *Food and Agriculture Organization*)

EBA – Europska organizacija za bioglin (engl. *European Biogas Association*)

EEA – Europska agencija za okoliš (engl. *European Environment Agency*)

IEA – Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*)

LCA – Analiza životnog ciklusa (engl. *Life Cycle Analysis*)

HGK – Hrvatska gospodarska komora

INA d.d.– Industrija nafte d.d.

CCS – Hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida (engl. *Carbon Capture and Sequestration*)

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA

V – volumen (m^3)

E – energija (J) ($1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$; $1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J}$)

E – energija (MWh)

P – snaga (W) ($1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$; $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$)

m – masa (kg) ($1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$)

p – tlak (Pa) ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)

E - ukupne emisije od uporabe goriva, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_{ec} - emisije od ekstrakcije ili uzgoja sirovina, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_l - godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene promjenom uporabe zemljišta, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_p - emisije od obrade, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_{td} - emisije od prijevoza i distribucije, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_u - emisije koje nastaju pri uporabi goriva, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_{sca} - uštede emisija iz akumulacije ugljika u tlu zbog boljeg poljoprivrednoga gospodarenja, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_{ccs} - uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2 , ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

e_{ccr} - uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2 , ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

$EC_{h,el}$ - ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

E - ukupne emisije stakleničkih plinova iz tekućeg biogoriva prije krajnje pretvorbe, ($\text{g CO}_2\text{e/MJ}$)

η_{el} - električna učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja električne energije podijeljena s godišnjom potrošnjom tekućeg biogoriva na temelju njegova energetskog sadržaja (-)

η_h - toplinska učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja korisne topline podijeljena s godišnjom potrošnjom tekućeg biogoriva na temelju njegova energetskeg sadržaja (-)

$EC_{h,el}$ - ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskeg proizvoda, (g CO_{2e}/MJ)

η_{el} - električna učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja električne energije podijeljena s godišnjim unosom goriva na temelju njegova energetskeg sadržaja (-)

η_h - toplinska učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja korisne topline podijeljena s godišnjim unosom goriva na temelju njegova energetskeg sadržaja (-)

C_{el} – udio eksergije u električnoj i/ili mehaničkoj energiji, zadan kao 100 % ($C_{el} = 1$) (-)

C_h - Carnotova učinkovitost (udio eksergije u korisnoj toplini) (-)

E_B - ukupne emisije iz biogoriva, (g CO_{2e}/MJ)

$E_{F(t)}$ - ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za promet, (g CO_{2e}/MJ)

$EC_{B(h\&c,el)}$ - ukupne emisije od toplinske ili električne energije, (g CO_{2e}/MJ)

$EC_{F(h\&c,el)}$ - ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za korisnu toplinu ili električnu energiju, (g CO_{2e}/MJ)

1. UVOD

Biogoriva su tekuća i plinovita goriva koja se proizvode iz biomase i ostalih vrsta otpada. Povijesno imaju značajnu ulogu, služeći uglavnom za dobivanje toplinske energije iz drva. Tijekom industrijske revolucije, ukazana potreba za pozicioniranjem industrijskih pogona u blizini izvora sirovina i radne snage zahtijevala je promijene u dotadašnjem načinu korištenja energije, koje su se odnosile na mogućnost lakšeg transporta, veću učinkovitost i jednostavnost rukovanja i sl. Potreba za pokretljivošću, komercijalnom i osobnom, dovela je do sve većeg korištenja nafte, a želja za postizanjem kvalitetnijeg načina života rezultirala je sve većom upotrebom prirodnog plina i električne energije (Domac, 2001). Nakon dugo vremena korištenja fosilnih goriva, putem energetske tranzicije, koja u konačnici podrazumijeva dekarbonizaciju energetskog sustava, želi se postaviti put prema održivom konkurentnom gospodarstvu. U takvim okolnostima biogoriva dobivaju na značaju. Njihova upotreba danas se proširila i na proizvodnju električne energije, a koriste se i kao gorivo u transportu. Sličnost biogoriva s fosilnim gorivima omogućuje njihovu zajedničku upotrebu, ali i njihovu izravnu zamjenu te tako i mogućnost smanjenja njihovog korištenja u budućnosti.

Republika Hrvatska (dalje: RH) kao članica Europske Unije (dalje: EU) ima obvezu uskladiti svoje nacionalno zakonodavstvo sa zakonodavnim okvirom EU. Također, kao stranka Okvirne konvencije UN-a o promjeni klime (dalje: UNFCCC), te potpisnica globalnih sporazuma na području smanjenja emisija, Kyotskog protokola i Pariškog sporazuma, mora težiti ispunjenju zadanih kratkoročnih i dugoročnih ciljeva smanjenja emisija, odnosno postizanja ugljične neutralnosti do 2050. godine.

U zadnjem, „Sedmom nacionalnom izvješću i trećem dvogodišnjem izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime“, objavljenom 2018. godine od strane Ministarstva zaštite okoliša i energetike (dalje: MZOE), dane su informacije o trendu emisija stakleničkih plinova, gospodarskog i socijalnog kretanja te stanju u području zaštite okoliša. Glavne onečišćujuće tvari u zraku, za koje je proveden proračun jesu: ugljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), didušikov oksid (N_2O), sumporov heksafluorid (SF_6) i fluorirani ugljikovodični spojevi (HFC-i, PFC-i). Kao reprezentativna godina za usporedbu emitiranih količina navedenih tvari u zrak u tonama ekvivalenta ugljikovog dioksida (dalje: tCO_{2e}) uzima se 1990. g. Količine emisija u zrak variraju kroz godine, pa je tako, nakon razdoblja Domovinskog rata, od 1995. do 2007. godine zabilježen

njihov porast, dok je u razdoblju od 2008. do 2014. godine, djelomično zbog provedenih mjera za smanjenje emisija, a najvećim dijelom zbog smanjenja gospodarskih aktivnosti, zabilježen značajan pad (MZOE, 2018). Kada je riječ o ostvarenju definiranih ciljeva na području smanjenja emisija CO₂ po stanovniku i udjelu obnovljivih izvora energije (dalje: OIE) u bruto neposrednoj potrošnji energije (engl. *Gross Final Energy Consumption*), RH je trenutačno iznad prosjeka EU. Naime, već u 2017. godini ostvarila je tadašnje ciljeve za 2020. godinu, s udjelom OIE od 27,5 % u bruto neposrednoj potrošnji energije, a ukupne emisije u energetske sektoru RH u 2016. godini su smanjenje s 21,8 10⁶ t CO_{2e} u 1990. godini na 17,1 10⁶ t CO_{2e}, što je za 21,5 10⁶ t CO_{2e} manje od postavljenog nacionalnog cilja za 2020. godinu (Strategija energetskeg razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu, 2020, NN 25/20).

Međutim, Europska komisija (dalje: EK) je krajem 2019. godine predstavila Europski zeleni plan, kojim su postavljeni još ambiciozniji ciljevi za 2030. i 2050. godinu kako bi se osiguralo znatnije smanjenje emisija i održavanje porasta globalne temperature daleko ispod 2°C, u usporedbi s predindustrijskim razdobljem i ulaganje napora za dostizanje 1,5°C (NECP, 2019). Trenutni cilj, potvrđen sporazumom 21. travnja 2021. između Europskog parlamenta i Europskog vijeća, iznosi najmanje 55 % smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2030. godine, dok se do 2050. godine želi postići klimatska neutralnost.

Kako bi se ostvarili navedeni ciljevi, nužno je napraviti preokret u gospodarstvu, ali i u društvu. Ulaganjem u „zeleno“ tehnologije, inovacijama i razvojem postojećih tehnologija omogućit će se veća konkurentnost na zajedničkom EU tržištu, osigurati će se opskrba energijom iz OIE s malim emisijama te će se osigurati klimatska neutralnost do 2050. godine (Strategija niskougljičnog razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu, NN 63/21).

Kvaliteta goriva je važan čimbenik za smanjenje emisija u sektoru prometa, što će se djelomično provesti i većom upotrebom biogoriva. Tako nova nacionalna strategija energetskeg razvoja RH predviđa dvostruko veće korištenje biogoriva u prometu (Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, NN 25/20). Korištenjem biogoriva doprinosi se ostvarenju nacionalnog cilja od najmanje 14 % OIE u neposrednoj potrošnji u prijevozu do 2030. godine. Međutim, upotreba biogoriva ima značajnu ulogu i u socijalno-ekonomskom pogledu. Uz gospodarske učinke, poput sigurnosti opskrbe, izvozni potencijal, zapošljavanje, povećanje konkurentnosti i dr., postoji cijeli niz socijalnih učinaka u smislu povećanja kvalitete života, očuvanja okoliša i zdravlja,

smanjenja napuštanja ruralnih područja (otvaranjem novih radnih mjesta) i dr. (Domac, 2001).

Ovaj diplomski rad obuhvaća opis tipskog bioplinskog postrojenja i procesa proizvodnje bioplina i njegove upotrebe. Cilj je dati reprezentativan pregled sveukupnog procesa od ulazne sirovine do konačnog proizvoda (bioplin i digestat) te sliku o ulozi bioplina u ostvarenju klimatski neutralne Europe. Također je opisano koliko i kako se iskorištava bioplin u energetsom miks u RH i u EU, ali i kakve su mogućnosti njegove upotrebe u budućnosti.

2. OPĆENITO O BIOMASI I BIOGORIVIMA

Prema Direktivi EU 2018/2001 o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora, biomasa je definirana kao: „*biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostatka biološkog podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnog i životinjskog podrijetla), šumarstva i s njima povezanih djelatnosti uključujući ribarstvo i akvakulturu te biorazgradivi udio komunalnog i industrijskog otpada*“. To je npr. ogrjevno drvo, grane i drveni otpad iz šumarstva, piljevina, kora i drveni ostatak iz drvne industrije, slama, kukuruzovina, stabljike biljaka, životinjski izmet i ostaci iz stočarstva, komunalni i industrijski otpad (<https://eko.zagreb.hr>, 2021). Biomasa se općenito može razvrstati u tri kategorije prema vrsti biorazgradivog otpada:

- a) šumska ili drvena biomasa (otpad iz šumarstva i drvne industrije),
- b) nedrvna biomasa (otpad iz poljoprivrede, energetske nasadi),
- c) biomasa životinjskog podrijetla (životinjski otpad i ostaci).

Sukladno već ranije navedenoj definiciji iz Direktive EU 2018/2001, biogoriva su tekuća ili plinovita goriva proizvedena iz biomase i ostalih vrsta otpada, a biopljin je „plinovito gorivo proizvedeno iz biomase“.

2.1. Generacije biogoriva

Ovisno o sirovini, koja ulazi u proces njihove proizvodnje, biogoriva se mogu svrstati u četiri kategorije (Aro, 2016):

1. biogoriva prve generacije- tzv. „konvencionalna biogoriva“
2. biogoriva druge generacije- tzv. „napredna biogoriva“
3. biogoriva treće generacije
4. biogoriva četvrte generacije.

Biogoriva prve generacije se proizvode iz prehrambenih sirovina kao što su žitarice, kukuruz, škrob, šećer, biljno ulje, životinjska mast i dr (<https://letstalkscience.ca>, 2019). Najraširenije u upotrebi su kukuruz, pšenica i šećerna trska, a najzastupljenija biogoriva su bioetanol i biodizel (INA d.d., 2017). Bioetanol prve generacije se proizvodi iz prehrambenih sirovina poput šećerne repe i žitarica, a biodizel iz uljarica.

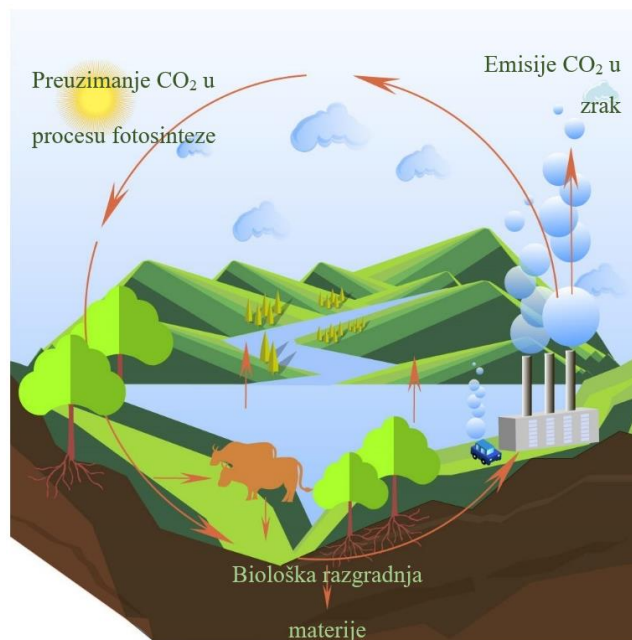
Biogoriva druge generacije proizvode se od sirovina kao što su drvo, slama, poljoprivredni otpad, drvena sječka, otpadno jestivo ulje i tehničke (otpadne) masnoće. Ulazna sirovina u procesu proizvodnje je neprehrambeni materijal, što čini glavnu prednost i razliku ove generacije biogoriva u odnosu na prethodnu. Od ostalih prednosti ističe se to da za proizvodnju druge generacije biogoriva, odnosno za proizvodnju ulazne sirovine u proces proizvodnje, nije potrebno gnojiti, navodnjavati ili bilo kako obrađivati poljoprivrednu površinu te se iskorištava otpad (EEA, 2017). Neka od biogoriva druge generacije su: bioetanol proizveden od lignoceluloznih materijala, biodizel proizveden od otpadnih ulja, bioplin proizveden iz komunalnog otpada i dr.

Danas su biogoriva prve i druge generacije najraširenija, a tehnologija njihove proizvodnje dobro je poznata. Još u 19. st. etanol se koristio kao gorivo u motoru s unutarnjim izgaranjem. Kasnije, potaknuto energetske krize 70-ih i 80-ih godina 20. st., javlja se potreba za alternativnim gorivima koja će konkurirati fosilnim gorivima. Povećanjem proizvodnje počelo se isticati pitanje: „*Hrana ili gorivo?*“, pa s ciljem sprječavanja negativnog utjecaja proizvodnje biogoriva prve generacije na cijenu i dostupnost hrane, EK 2018. godine donosi „*Strategiju održivog biogospodarstva za Europu*“. Pojam bioekonomija se odnosi na koncept održivog razvoja kojemu je cilj ostvariti održivo gospodarstvo i održivo korištenje obnovljivih bioloških resursa u industrijske svrhe, osiguravajući pri tom raznolikost i zaštitu okoliša sa što manjim emisijama (Valentin, 2020). S obzirom na to da se populacija povećava, a poljoprivredna površina u Europi smanjuje, nužno je osigurati sigurnu opskrbu hranom i energijom te se upravo zbog vrste supstrata (neprehrambeni materijal) za proizvodnju biogoriva druge generacije prednost daje upravo njima.

Danas su komercijalno dostupna biogoriva prve i druge generacije, dok su biogoriva treće generacije i dalje komercijalno nedostupna, a biogoriva četvrte generacije prolaze kroz istražnu fazu. Biogoriva treće i četvrte generacije karakteristična su po tome što se proizvode iz algi, a neka od njih su bioetanol, bioplin, biodizel i dr. (Aparico et al., 2020). Iako daju velike prinose biogoriva, njihov nedostatak je velika potrošnja vode kod njihovog uzgoja. No, bez obzira što još uvijek nisu komercijalno dostupna, goriva treće i četvrte generacije predstavljaju veliki potencijal za budućnost.

2.2. Prednosti upotrebe biogoriva

Upotrebom biogoriva, odnosno njihovim izgaranjem, također se emitiraju staklenički plinovi, premda u manjoj mjeri u odnosu na fosilna goriva te se stvaraju manje količine otpadnih voda. Upotrebom biogoriva uspostavlja se kruženje ugljika, što znači da je količina emitiranih emisija CO₂ prilikom izgaranja biogoriva približno jednaka količini apsorbiranog CO₂ tijekom rasta biljke. Na slici 2-1 je prikazano kruženje ugljika u prirodi, odnosno ciklus ugljika od njegove potrošnje u procesu fotosinteze tijekom rasta biljke do ispuštanja iz raznih izvora ugljikovog dioksida poput izgaranja fosilnih goriva u industriji i prometu.



Slika 2-1. Kruženje ugljika u prirodi (<https://hr.izzi.digital>, 2021)

Razlika između oslobođenih i apsorbiranih emisija CO₂, koje nastaju prilikom proizvodnje i distribucije biogoriva može se izračunati pomoću tzv. analize životnog ciklusa (engl. *Life Cycle Analysis*, LCA). Ona podrazumijeva izračun oslobođenog CO₂ u cijelom procesu proizvodnje i korištenja biogoriva, tj. od početka rasta biljke, pa do oslobođenog plina tijekom izgaranja u motoru. Brojne LCA studije su pokazale da se upotrebom biogoriva smanjuju emisije u usporedbi s upotrebom fosilnih goriva (Kaltschmitt et al., 1997; Sobrino et al., 2011; Hill, 2013; Møller et al., 2014). Dodatne prednosti korištenja biogoriva su u zbrinjavanju i iskorištavanju otpada za proizvodnju energije, ulaganja u poljoprivredu i nerazvijena područja te poticanju domaće proizvodnje energije, što posljedično smanjuje ovisnost o uvozu energenata.

3. SASTAV I SVOJSTVA BIOPLINA

Bioplin je zapaljivi plin bez boje, čiji miris podsjeća na jaja (bez obzira što je uklonjen H₂S), a nastaje razgradnjom organskog materijala u anaerobnim uvjetima (Korbag et al., 2020). Ubraja se u alternativna goriva. Ekološki je prihvatljiv i relativno povoljan energent, koji se može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije u plinskim turbinama te kao gorivo u transportu. Kao sirovina za proizvodnju bioplina koriste se životinjski otpad, stajski gnoj, otpadna jestiva ulja, kao i neki prehrambeni proizvodi, koji više nisu za upotrebu (istek roka i sl.), kanalizacijski mulj i dr. (Al Seadi et al., 2008). Proces, kojim se dobiva bioplin, zove se anaerobna digestija (dalje: AD). U narednim poglavljima su opisani proces AD i postrojenja u kojima se on odvija.

Bioplin se većinskim udjelom sastoji od metana (CH₄, 50-75 %) i ugljikovog dioksida (CO₂, 25-50 %), dok manji udio čine spojevi poput vodika (H₂), dušika (N₂), vodene pare (H₂O_(g)), sumporovodika (H₂S) i dr. Točan sastav i svojstva plina ovise o raznim čimbenicima, kao što su tip supstrata, vrsta postrojenja i uvjeti procesa AD (Korbag et al., 2020). U Tablici 3-1 je prikazan sastav bioplina ovisno o tipu supstrata koji ulazi u proces anaerobne digestije. Treba napomenuti da se iznosi pojedinih volumnih udjela u manjoj mjeri razlikuju ovisno o izvoru literature (Korbag et al., 2020; Moya et al., 2021).

Tablica 3-1. Sastav bioplina (prema Korbag et al., 2020)

Spoj	Kemijski simbol	Volumni udio (%)
Metan	CH ₄	50-75
Ugljikov dioksid	CO ₂	25-50
Vodena para	H ₂ O	5-10
Kisik	O ₂	<2
Dušik	N ₂	<10
Amonijak	NH ₃	<1
Vodik	H ₂	<1
Sumporovodik	H ₂ S	<3

Osim navedenih tvari, u tragovima se još može naći željezo, nikal, kobalt, selen, molibden i volfram (EIHP, 2018). O kemijskom sastavu bioplina ovisit će i njegova svojstva, ali i postupci koji se moraju primijeniti kako bi se ta svojstva optimizirala za korištenje. Pa tako na primjer CO₂ i N₂ negativno utječu na ogrjevnu vrijednost plina, a CO₂, H₂S i vodena para uzrokuju stvaranje korozije, koja može dovesti do oštećenja opreme (Korbag et al., 2020).

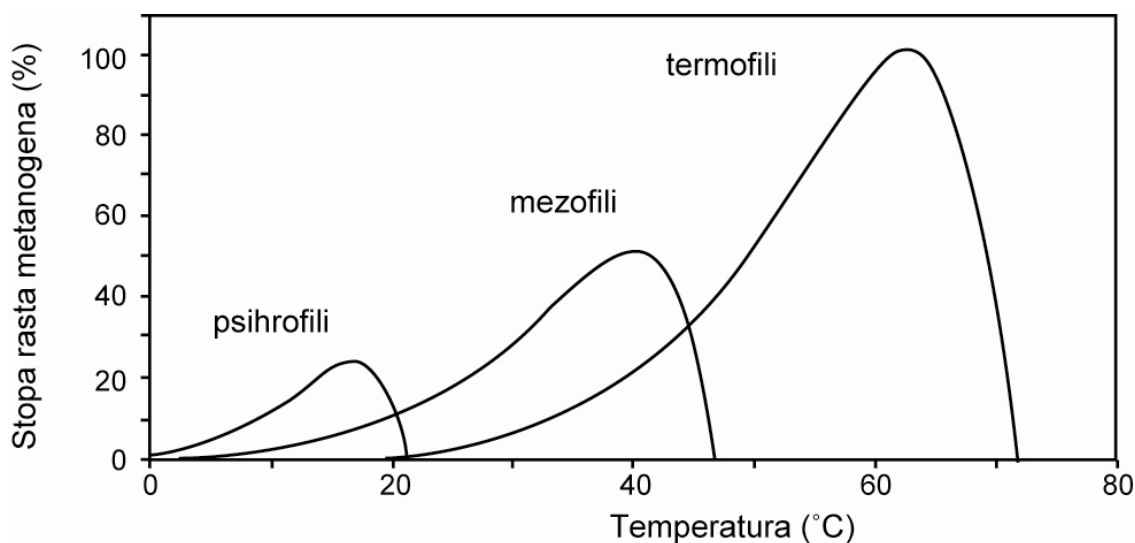
3.1. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je biokemijski proces razgradnje organskih spojeva pod djelovanjem bakterija u anaerobnim uvjetima. Sam proces je zapravo sličan nekim prirodnim procesima, kao npr. procesu nastanka treseta ili procesu koji se odvija u probavnom sustavu preživača (Al Seadi et al., 2008). No, bitno je napomenuti da se u bioplinskim postrojenjima proces AD odvija u kontroliranim uvjetima (tlak, temperatura, pH, ulazni supstrat), čime se utječe na svojstva bioplina. Glavne komponente, koje nastaju u procesu AD, su bioplin i digestat. Digestat se može primjenjivati kao gnojivo na poljoprivrednim površinama, a zbog svoje homogenosti i zbog postignutog omjera ugljika i dušika posjeduje prednosti u odnosu na neobrađeni stajski gnoj. Provedena su istraživanja na području primjene tekućeg digestata i mineralnog gnojiva u proizvodnji silažnog kukuruza, a rezultati su pokazali da je, na parcelama na kojima se primjenjivao digestat, prinos bio veći za 33 % (<https://www.consultare.hr>, 2021).

3.1.1. Kemijski procesi anaerobne digestije

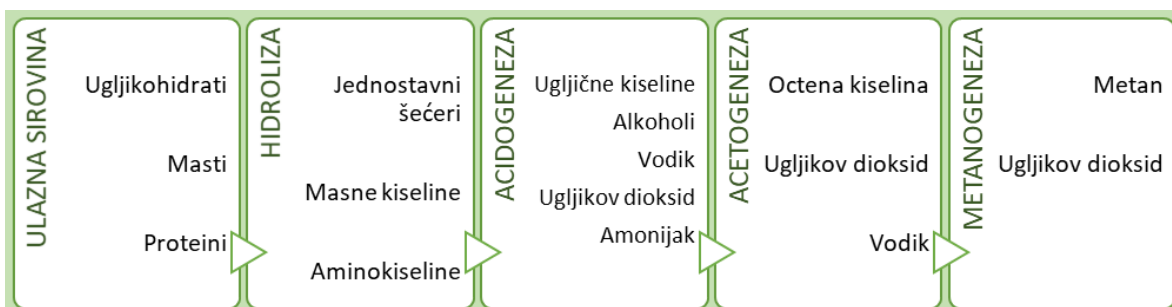
Neki od čimbenika, koji utječu na proces AD, su veličina čestica supstrata (podešava se mljevenjem ulazne sirovine), temperatura i pH. Manje čestice bit će brže razgrađene, što pogoduje brzini stvaranja bioplina. U procesu AD, raspon pH vrijednosti je u granicama od 5,5 do 8,5, s time da se optimalni rezultati dobivaju kod viših vrijednosti (od 7 do 8). Ovisno o temperaturi na kojoj se proces odvija postoje tri režima AD: psihrofilni, mezofilni i termofilni režim. Svaki režim je pogodan za određenu vrstu mikroorganizama. Psihrofilni proces se odvija na temperaturi manjoj od 30 °C, mezofilni proces se odvija u temperaturnom rasponu od 30 do 42 °C, dok je raspon temperature u termofilnom procesu od 43 do 55 °C (EIHP, 2018). Preniske ili previsoke temperature nisu pogodne, jer usporavaju proces AD, a provedena istraživanja su pokazala da optimalna temperatura iznosi 35 °C (Korbag et al., 2020). Mezofilni i termofilni režimi su češće u upotrebi, a temperatura u tim procesima se

održava dodatnim zagrijavanjem pomoću ugrađenih izmjenjivača topline u fermentoru. Neke od prednosti proizvodnje bioplina termofilnim režimom su viša stopa metanogenih bakterija (Slika 3-1), kraće vrijeme digestije, veća učinkovitost i bolja iskoristivost supstrata (Al Seadi et al., 2008). Općenito se može reći da će pri višoj temperaturi biti i veća proizvodnja bioplina i kraće vrijeme retencije, no potrebno je uzeti u obzir da je u takvim sustavima potrebno utrošiti više energije za održavanje temperature, tako da je za svako pojedino postrojenje potrebno definirati optimalne uvjete s tehničkog, ali i s ekonomskog aspekta.



Slika 3-1. Odnos stope rasta metanogena u odnosu na temperaturu (Al Seadi et al., 2008)

Prije ulaska supstrata u sam proces AD nužno ga je obraditi i usitniti. Potrebno je odstraniti onečišćenja poput stakla, plastične ambalaže, metala i sl. Zatim slijedi proces AD, koji se može podijeliti u četiri faze: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza (Slika 3-2).

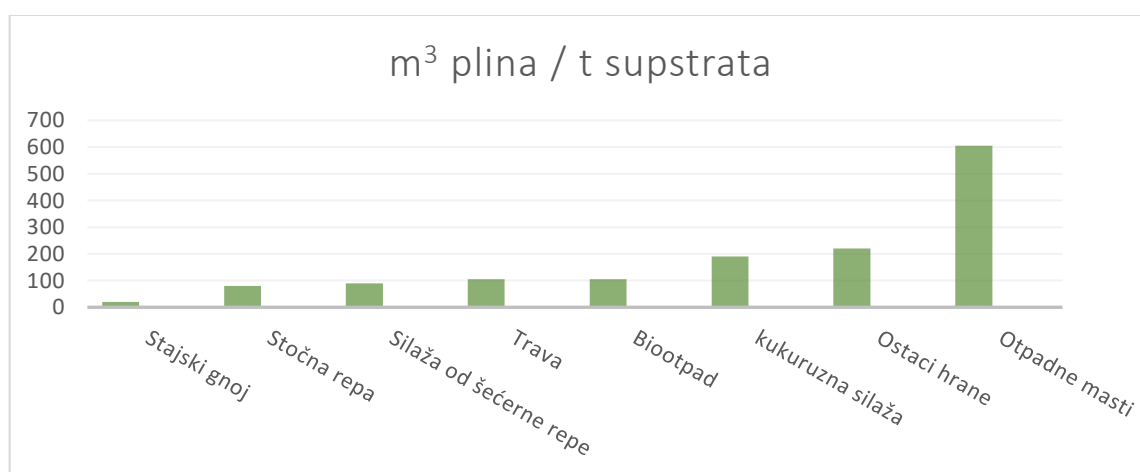


Slika 3-2. Faze u procesu AD (prema Al Seadi et al., 2008)

U prvoj fazi, odnosno hidrolizi, kompleksne organske komponente poput masti, proteina i ugljikohidrata se rastavljaju na jednostavnije molekule, aminokiseline, masne kiseline i šećere. Kemijske reakcije se događaju unutar fermentora (digestora) uz pomoć bakterija, koje razgrađuju ulaznu sirovinu. Za acidogenezu, ili drugu fazu, karakteristično je da se kemijski spojevi, nastali hidrolizom, u toj fazi uz pomoć acidogenih bakterija razlažu u metanogene spojeve, tj. jednostavni šećeri, masne kiseline i amino kiseline se transformiraju u vodik, alkohole, ugljikov dioksid, ugljične kiseline i amonijak. Acetogeneza i metanogeneza se često odvijaju paralelno. Tijekom acetogeneze nastaje ugljikov dioksid, vodik i octena kiselina. Zadnja faza, ili metanogeneza, je najvažnija u cijelom procesu, jer se u toj fazi dobiva metan. Na uspješnost proizvodnje bioplina, osim veličine čestica supstrata, temperature i pH, bitno utječe i kontinuiranost dopune fermentora te sastav i vrsta supstrata. Kako bi proces AD bio uspješan, promjena bilo kojih od navedenih čimbenika mora biti unutar određenih granica. Također se mora osigurati da u fermentor ne ulazi kisik, jer je proces anaeroban, tj. metanske bakterije su isključivo anaerobne. Nastali bioplin je potrebno pročistiti od neželjenih spojeva poput vodene pare i sumpora kako bi se mogao upotrebljavati za daljnje procese (Hrvatske vode, 2020).

3.2. *Supstrat koji ulazi u AD*

Sirovine, koje ulaze u proces AD iz kojeg se dobiva bioplin su raznovrsne. O njihovom sastavu će uvelike ovisiti i udio metana u proizvedenom bioplinu te prinos bioplina, što je prikazano na slici 3-3. U prošlosti se AD provodila samo za jedan ulazni supstrat, a kasnije se kao ulaz u proces počela koristiti mješavina različitih supstrata, tzv. ko-digestija, koja je dovela do veće proizvodnje plina po toni supstrata (Kovačić, 2017).



Slika 3-3. Proizvodnja bioplina ovisno o vrsti supstrata (EIHP, 2018)

Supstrat može biti organski dio komunalnog otpada, gnoj i gnojnica, otpadni muljevi, ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne i prehrambene proizvodnje, energetski usjevi, mikroalge, otpad iz klaonica, otpad iz ugostiteljstva, otpadna jestiva ulja i dr. (Slika 3-4). Od svega navedenog, stajski gnoj i mulj iz otpadnih voda predstavljaju najčešći izvor ulazne sirovine (80 %), dok se u novije vrijeme sve više postrojenja orijentira prema korištenju komunalnog i industrijskog otpada (Korbag et al., 2020).



Slika 3-4. Ulazna sirovina u bioplinsko postrojenje (Agroproteinka d.d., 2021)

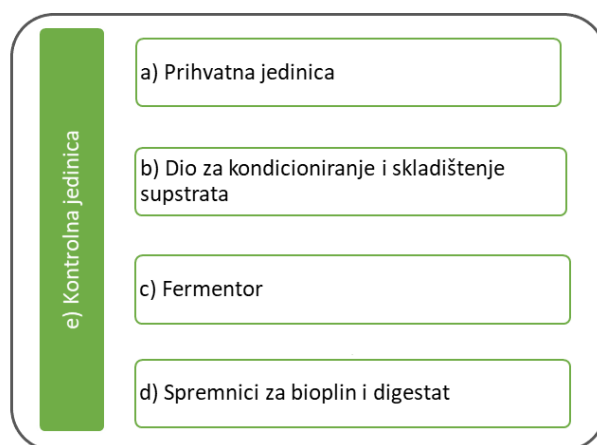
Ostaci i nusproizvodi životinjskog podrijetla predstavljaju veliki izazov u pogledu zbrinjavanja otpada, budući da, kao izvor infektivnog materijala, predstavljaju potencijalnu opasnost te njihovo neadekvatno zbrinjavanje može dovesti do širenja zaraze. Stoga je korištenje životinjskog otpada kao ulaznog supstrata sve češće. Trenutno je u EU aktivno više od 750 takvih bioplinskih postrojenja (Korbag et al., 2020).

4. OPIS BIOPLINSKOG POSTROJENJA

Bioplinska postrojenja mogu varirati svojim kapacitetom, veličinom i dizajnom, ali je princip rada sličan u svim postrojenjima.

4.1. Elementi tipskog bioplinskog postrojenja

Tipsko bioplinsko postrojenje se sastoji od sljedećih jedinica: a) prihvatne jedinice, b) dijela za kondicioniranje sirovine i skladišni prostor, c) glavnog dijela postrojenja tj. fermentora (digestor), d) spremnika za bioplin i digestat te e) kontrolne jedinice (Slika 4-1). Primjer jednog takvog postrojenja prikazan je na slici 4-2.



Slika 4-1. Shematski prikaz elementa postrojenja



Slika 4-2. Prikaz bioplinskog postrojenja (www.energetika-net.com, 2018)

4.1.1. *Prihvatna jedinica i skladištenje supstrata*

U prihvatnoj jedinici se prihvaća i privremeno skladišti dopremljena sirovina te se bilježe potrebni podaci (datum, vrsta sirovine, količina itd.). S obzirom na to da uspješnost samog procesa AD zahtijeva kontinuiranu opskrbu, određenu količinu sirovine potrebno je skladištiti. Vrsta skladištenja ovisi o vrsti supstrata, primjerice energetski usjevi se skladište u bunker silose, dok se tekući supstrat mora skladištiti u nepropusne i zatvorene spremnike (Al Seadi et al., 2008). Na slici 4-3 prikazani su veći i manji spremnici supstrata koji se uglavnom sastoji od otpada iz kantina, restorana, škola i bolnica.

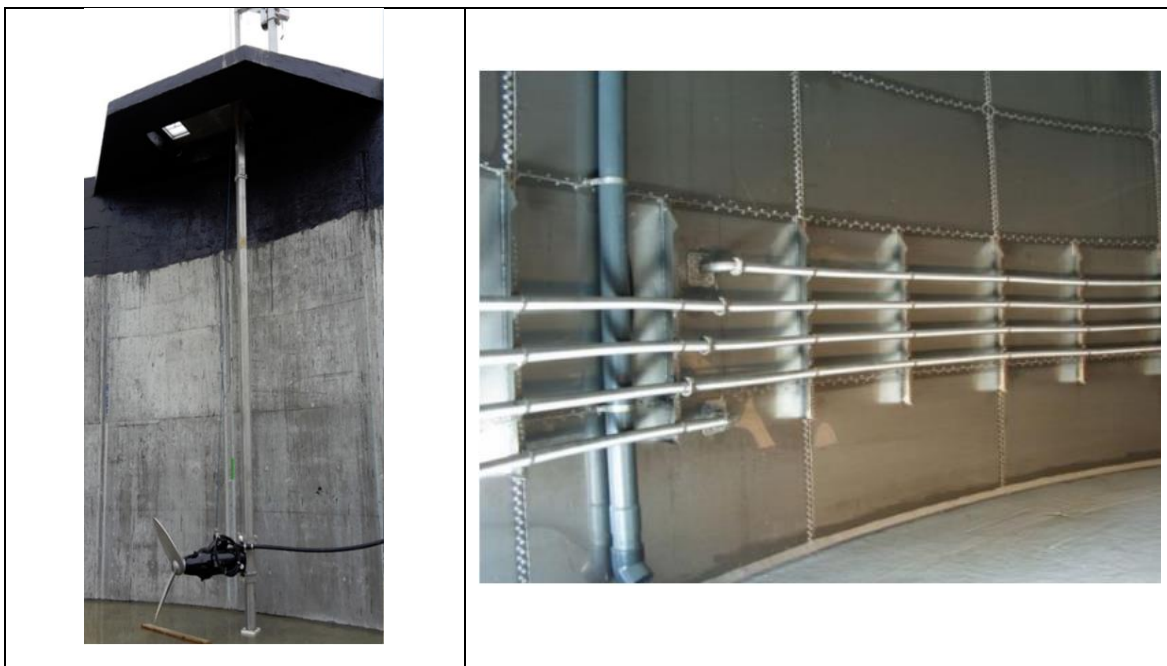


Slika 4-3. Supstrat dopremljen u prihvatnu jedinicu u bačvama (lijevo) i u kontejnerima (desno) (Agroproteinka d.d., 2021)

4.1.2. *Fermentor (digestor, bioreaktor)*

Fermentor je glavni dio bioplinskog postrojenja i u njemu se odvija proces AD. Postoje različite vrste fermentora, ovisno o veličini (od nekoliko m^3 do preko par tisuća m^3), o mjestu izgradnje (nadzemni, podzemni, djelomično ukopani), o položaju (horizontalni, vertikalni), njihovom obliku (pravokutni, cilindrični) ili ovisno o materijalu od kojeg je izgrađen (metalni, betonski, cigleni, plastični) (Hrvatske vode, 2020). Kod složenijih, većih sustava, u fermentorima određenih tehničkih karakteristika nalaze se instalirani sustav za miješanje i izmjenjivači topline (Slika 4-4). Kako bi se osigurao optimalan rad fermentora nužno je

pratiti proces digestije kroz niz čimbenika kao što su temperatura, pH, razina digestata i drugo te je potrebno njegovo redovito održavanje.



Slika 4-4. Sustav za miješanje (lijevo) i sustav za grijanje (desno) (Bedoić, 2018; Knežević 2016)

Fermentor također ima i sustav za punjenje te sustav za izlaz bioplina i digestata. Prosječno vrijeme retencije u fermentoru je 20 do 40 dana (Al Seadi et al., 2008).

4.1.3. Spremnici bioplina i digestata

Neophodan dio bioplinskog postrojenja su spremnici, kako bi se za vrijeme manje potražnje bioplin, odnosno digestat privremeno skladištio. Spremnik za bioplin može biti u sklopu fermentora, postavljen na njegovom vrhu (Slika 4-5) ili može biti instaliran poseban spremnik ukoliko se očekuje proizvodnja većih količina bioplina. Spremnici bioplina i digestata moraju biti projektirani s obzirom na tlakove te moraju biti adekvatno izolirani kako ne bi došlo do propuštanja. Pa tako postoje: niskotlačni (od 0,05 do 0,5 mbar), srednjetačni (od 5 do 250 bar) i visokotlačni (do 300 bar) spremnici (Al Seadi et al., 2008).



Slika 4-5. Spremnik za bioplin na vrhu fermentora (Agroproteinka d.d., 2021)

Digestat se iz fermentora ispumpava u spremišta, koja mogu biti otvorenog tipa poput laguna (Slika 4-6) ili zatvorenog tipa kao spremnici s krovom. Volumen spremnika mora biti takav da se u njemu može skladištiti digestat nekoliko mjeseci, jer se gnojenje poljoprivrednih zemljišta obavlja u određenim propisanim intervalima (<https://www.consultare.hr>, 2021). Kako bi se spriječio gubitak bioplina, koji se oslobađa naknadno iz digestata, bolji izbor za spremište, i s ekonomskog i s ekološkog stajališta, je zatvoreni tip s plino-nepropusnom membranom.



Slika 4-6. Skladištenje digestata u laguni (EIHP, 2018)

4.1.4. Kontrolna jedinica

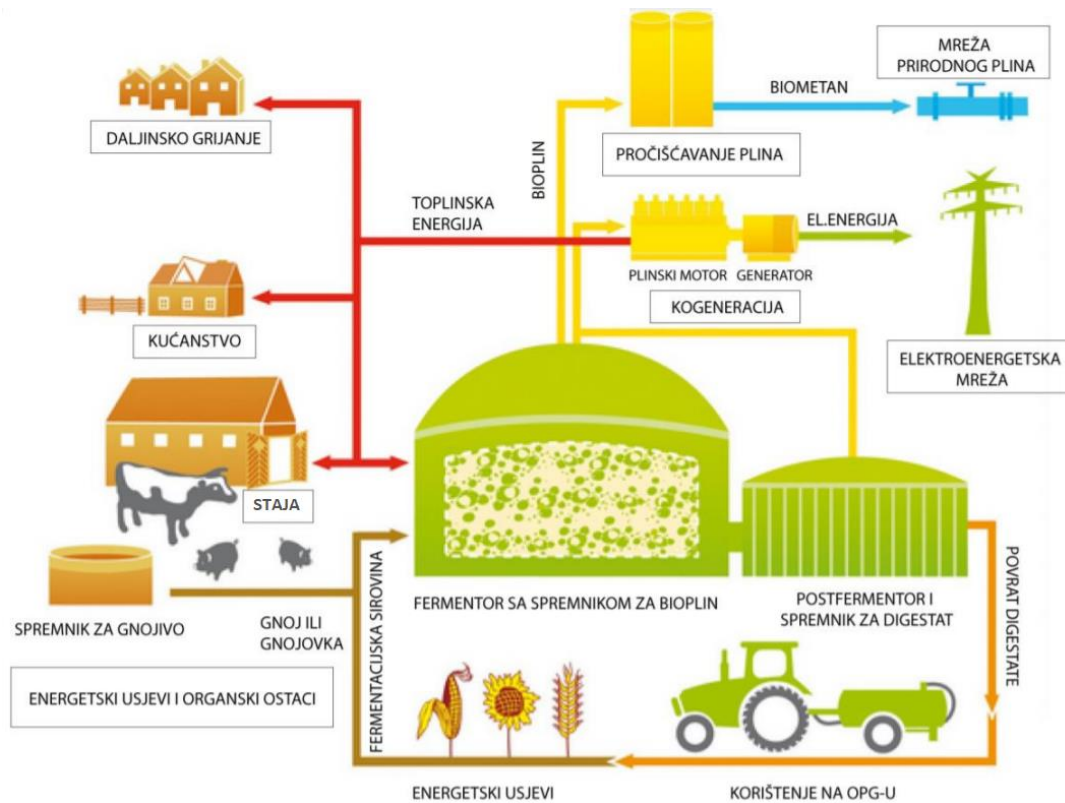
Svako složeno bioplinsko postrojenje mora imati mjesto s kojeg se prate parametri u sustavu. Kontrolna jedinica je neizostavan dio postrojenja s kojeg se nadzire postrojenje i podešavaju komponente u sustavu preko računala (Slika 4-7), a u novije vrijeme se može pratiti i preko mobitela. Osim praćenja parametara, potrebno provoditi i određene analize redovnim testiranjem, kako bi se mogli optimizirati parametri koji će omogućiti maksimalnu proizvodnja bioplina. Od parametara se uobičajeno prate vrsta i količina ulaznog supstrata, radna temperatura procesa (mjerena na više mjernih točaka), pH (mjeri se na uzorcima), količina bioplina i njegov sastav, razine fluida u spremnicima i dr. Moderniji sustavi su uglavnom automatizirani te je monitoring olakšan (Al Seadi et al., 2008).



Slika 4-7. Monitoring bioplinskog postrojenja preko računala iz centralne sobe
(<https://prigorski.hr>, 2016)

4.2. Proces proizvodnje bioplina

Ovisno o sadržaju suhe tvari u supstratu, razlikuju se tzv. „mokra“ i „suha“ digestija. Kod mokre digestije udio suhe tvari je manji od 15 %, dok je kod suhe digestije udio suhe tvari veći od 15 % (u različitim izvorima udio se razlikuje te iznosi do 20 % za suhu digestiju i više od 35 % za mokru digestiju). Supstrati za mokru digestiju su stajski gnoj, gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije s visokim udjelom vode, dok je supstrat za suhu digestiju dobivena iz energetskih usjeva (Al Seadi et al., 2008). Proces AD se može izvoditi kontinuirano ili obročno (EIHP, 2018). Na slici 4-8 prikazan je tijek proizvodnje bioplina.



Slika 4-8. Shema proizvodnog procesa AD (EIHP, 2018)

Ulazna sirovina najprije dolazi u prihvatnu jedinicu gdje se provodi predobrada ili kondicioniranje supstrata, a o sastavu supstrata uglavnom će ovisiti vrsta predobrade (mehanička, kemijska). To je važan korak u procesu, jer se na taj način ubrzava i povećava učinkovitost AD (veća proizvodnja bioplina i udio metana u njemu) te poboljšava kvaliteta digestata (Kasinath et al., 2021). Supstrat, koji ulazi u bioplinsko postrojenje, je različit kao što je ranije opisano u poglavlju 3.2. (poljoprivredni ostatci, komunalni otpada, gnoj i sl.), a često je i kombinacija više vrsta supstrata. Takav heterogeni materijal potrebno je homogenizirati kako bi sastav plina i njegove karakteristike bile približno jednake. To se postiže mljevenjem i miješanjem ulazne sirovine, odnosno mehaničkom obradom (Slika 4-9). Usitnjavanjem supstrata postiže se brža kemijska reakcija u fermentoru zbog povećane dodirne površine supstrata s bakterijama, što za posljedicu ima bržu proizvodnju plina, odnosno učinkovitiji proces AD (Kovačić, 2017).



Slika 4-9. Mehanička obrada ulaznog supstrata i vijčani transporteri (Agroproteinka d.d., 2021)

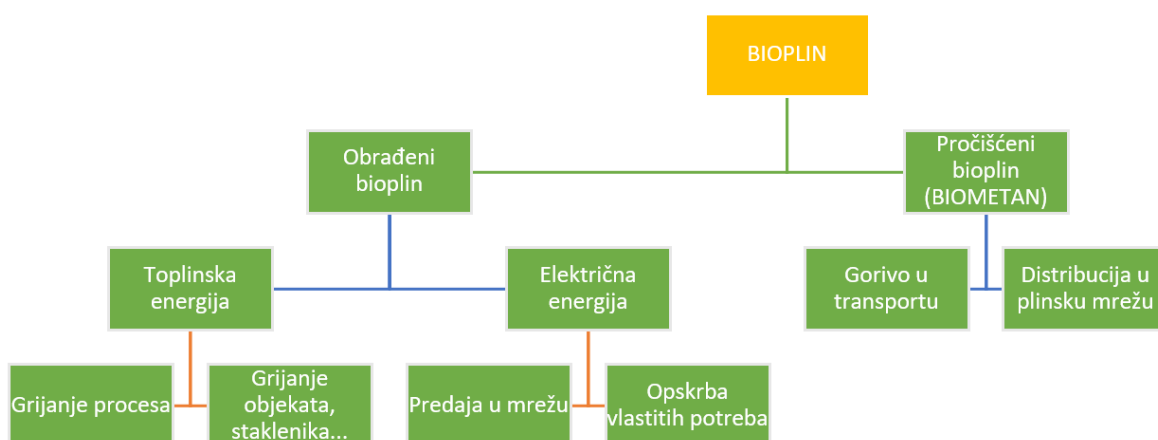
Odabir predtretmana supstrata ovisit će o ekonomskoj isplativosti i tipu ulazne sirovine u proces. Nakon kondicioniranja, supstrat ulazi u fermentor u kojem se odvija AD proces kroz četiri faze koje su ranije opisane u poglavlju 3.1. Održavanje temperature u sustavu iznimno je važno za proces, jer promjene u temperaturi (dodavanje nove sirovine, ekstremne vanjske temperature i sl.) mogu dovesti do potpunog prekida procesa. Također je nužno osigurati miješanje supstrata u fermentoru kako bi se osigurao ispravan proces, pa je u fermentoru instaliran sustav za miješanje. U fermentoru će se proizvedeni plin apsorbirati u gornjem dijelu fermentora, dok će se digestat zbog svoje gustoće skupljati na dnu i po potrebi ispuštati iz njega. Nakon proizvodnje bioplina proces nije gotov, jer je plin potrebno kondicionirati, odnosno pročistiti i optimizirati mu sastav i svojstva. Najprije je potrebno izdvojiti H_2S i H_2O , jer su to spojevi koji djeluju izrazito korozivno pa se iz tog razloga provodi desumporizacija i sušenje bioplina. Osim toga, ovisno o njegovoj daljnjoj namjeni, potrebno je podesiti i druga svojstva plina (Al Seadi et al., 2008).

Proizvedeni plin se preusmjerava na plinske turbine, gdje će se pridobivati električna i toplinska energija u kogeneraciji ili će se na najjednostavniji način iskorištavati samo toplinska energija izgaranjem bioplina. Električna energija se najčešće predaje u mrežu, dok se toplinska iskorištava za potrebe postrojenja ili u obližnjim objektima, a ukoliko se bioplin distribuirati u plinsku mrežu potrebno ga je pročistiti, tj. ukloniti CO_2 i ostale

primjese kako bi se povećao udio CH₄. Bioplin s visokim udjelom metana naziva se biometan i kao takav se može koristiti kao zamjena prirodnom plinu, što znači da ga se može distribuirati u plinski sustav i koristiti kao gorivo u transportu (Lovrak, 2020).

5. PRIMJENA BIOPLINA

Prvi primjeri korištenja bioplina datiraju iz 10. st. prije Krista, s područja Asirije, gdje se plin, dobiven razgradnjom organskog materijala, koristio za zagrijavanje vode. Kemičar i liječnik Jan Baptista van Helmont uveo pojam „plin“ 1630. godine kako bi ga definirao (Kasinath et al., 2021). Nakon 18. st. je počelo intenzivnije istraživanje bioplina i njegovih svojstva te ga se predlagalo za korištenje kao energenta za uličnu rasvjetu, a kako se danas bioplin može koristiti i za druge energetske potrebe (Slika 5-1) u posljednjih nekoliko godina predstavlja značajnu ulogu kao energent (Scarlat et al., 2018).



Slika 5-1. Mogućnosti korištenja bioplina (prema Al Seadi et al., 2008)

Zbog visokog udjela CH_4 u svom sastavu smatra se alternativnim gorivom koje bi moglo biti zamjena prirodnim plinu te na taj način doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i osigurati opskrbu energijom u EU koja većinu svojih potreba za plinom zadovoljava iz uvoza (Moya et al., 2021). Primjena bioplina ima brojne prednosti u odnosu na fosilna goriva, jer doprinosi: zaštiti okoliša, „zelenom“ energetskom sektoru, učinkovitom gospodarenju otpadom i sl.

Upotreba bioplina je uglavnom za proizvodnju električne energije, toplinske energije, odnosno za njihovu kombiniranu proizvodnju (kogeneracija, engl. *Combined Heat and Power*, CHP), a ukoliko je dehidriran i pročišćen od H_2S i CO_2 , koristi se i kao gorivo u transportu (Scarlat et al., 2018). Direktno izgaranje bioplina u kotlovima je najjednostavniji i najrašireniji način njegovog korištenja. Dok se dio dobivene topline koristi za grijanje digestata, ostatak se uglavnom koristiti *in situ* za grijanje radnog prostora, grijanje potrošne tople vode, grijanje staklenika i sl. Bioplin se može i transportirati plinovodima do krajnjih

korisnika i koristiti kao energent za grijanje. No prije utiskivanja u plinsku mrežu mora se pročistiti od kiselih plinova i dehidrirati kako ne bi došlo do stvaranja korozije i oštećenja opreme. Da bi plin bio pogodan za transport plinovodom ili kao gorivo u transportu, udio metana mora biti najmanje 85 %, a ugljikovog dioksida najviše 2,5 % (Opći uvjeti opskrbe plinom, NN 50/2018). Stoga proces kondicioniranja bioplina ima dva cilja, prvo je ukloniti štetne spojeve (H_2S , NH_3 ...), a drugo je ukloniti CO_2 kako bi se poboljšala kvaliteta bioplina, odnosno biometana (Maya et al., 2021).

Upotreba bioplina u kogeneracijskim postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije smatra se visokoučinkovitim. Dobivena električna energija se može koristiti za pogon postrojenja i na taj način postiže se energetska neovisnost. No, često se u slučaju, kada je propisana povlaštena cijena za otkup električne energije iz OIE, proizvedena električna energija predaje u mrežu, a iz mreže se preuzima električna energija po nižoj cijeni.

Očekuje se da bi se s tehnološkim razvojem mogli smanjiti troškovi proizvodnje bioplina, posebice biometana i na taj način ga komercijalizirati (Kasinath et al., 2021). Pročišćeni bioplin, tj. biometan se može koristiti kao transportno gorivo na isti način kao što se koristi i prirodni plin u vozilima i na taj način doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova u odnosu na konvencionalna vozila na benzin ili dizel.

Ne treba zanemariti i dobiveni digestat, čija su svojstva bolja u odnosu na klasičnu primjenu stajskog gnoja. Digestat je homogena smjesa dobivena kao nusprodukt AD. Procesom AD se uništavaju virusi, paraziti i bakterije, a učinkovitost sanitacije ovisi o temperaturi AD (najbolja pri temperaturama od 50 do 55 °C) i vremenu retencije. Ovisno o vrsti supstrata primjenjuje se i prikladna metoda sanitacije. Osim toga, proces AD uništava sjemenje korova te postiže bolju hranjivu sposobnost gnojenja zbog nižeg omjera ugljika i dušika (Al Seadi et al., 2008).

5.1. Povezanost proizvodnje biodizela, bioplina, električne energije, toplinske energije i hrane

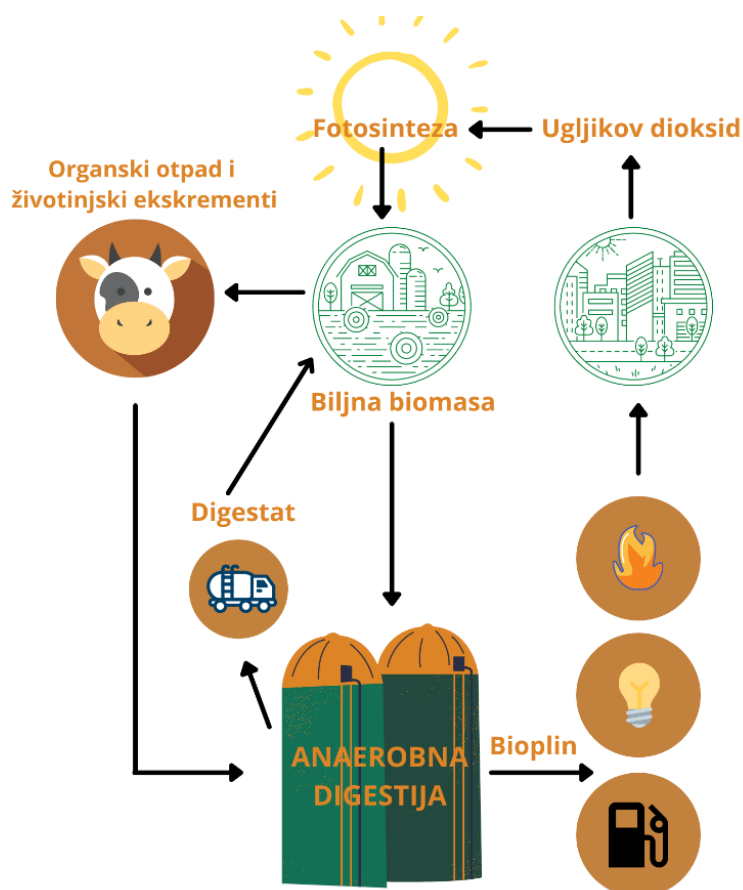
U Prilogu 1 dan je primjer povezanosti proizvodnje biodizela i bioplina u kružnom, zatvorenom ciklusu s vrijednostima količina na ulazu u proces i iz izlaza iz procesa. Glavni ulazni supstrati za proizvodnju biodizela su otpadna ulja mase 50 000 t i otpadne životinjske masti mase 50 000 t. Te količine na ulazu u proces daju 100 000 t biodizela na izlazu, koji

se može koristiti u transportu, i oko 12 000 t glicerina koji ulazi u bioplinsko postrojenje snage 5 MW. Osim glicerina u bioplinsko postrojenje ulazi i biomasa (npr. silaža) mase 75 000 t i gnojnica mase 7 500 t. Iz bioplinskog postrojenja kao produkti izlaze bioplin i digetstat. Nakon što se dobiveni bioplin iskoristi u kogeneracijskoj jedinici dobiva se 40 000 MWh električne energije koji se može predati u mrežu ili koristiti za vlastite potrebe, a višak plasirati u mrežu. Toplinske energije se dobije oko 60 000 MWh, koja se opet može koristiti za vlastite potrebe grijanja u postrojenju ili se njome mogu zagrijavati staklenici. Zagrijavanjem staklenika u kojima se proizvodi voće i povrće dobije se jedna zaokružena cjelica, jer se tako proizvodi hrana, čiji ostaci u konačnici čine organski otpad, koji može biti ulazni supstrat u bioplinsko postrojenje.

6. UTJECAJ BIOPLINA NA OKOLIŠ

Globalne, klimatske promjene koje se događaju u svijetu postale su jedan od ključnih vodilja za oblikovanje politike EU, ali i drugih zemalja koje nisu njene članice. Kako bi se postigla klimatska neutralnost nužna je tranzicija s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije ili ekološki prihvatljiva upotreba fosilnih goriva, npr. uz primjenu tehnologija hvatanja i trajnog skladištenja ugljika (eng. *Carbon capture and sequestration, CCS*).

Izgradnja bioplinskih postrojenja ide u korist smanjenja utjecaja na okoliš, prije svega stakleničkih plinova, CH₄ i CO₂ zbog uspostavljenog kruženja ugljika u procesu proizvodnje i upotrebe bioplina (Slika 6-1). Najveći emiteri metana su sektori energetike, poljoprivrede i gospodarenja otpadom. U sektoru poljoprivrede značajne emisije metana nastaju fermentacijom u procesu probave preživača i prilikom gospodarenja gnojem (skladištenje te primjena organskih gnojiva) (MZOE, 2018).



Slika 6-1. Kruženje ugljika u procesu proizvodnje i upotrebe bioplina

Ugljikov dioksid je najznačajniji staklenički plin, njegove najznačajnije antropogene emisije vežu se uz izgaranje fosilnih goriva u prometu, proizvodnji električne i toplinske energije te u industriji (npr. cementare). U sektoru prometa, koji sudjeluje s gotovo 30 % u ukupnoj količini emisija CO₂, najveći udio emisija dolazi iz cestovnog prometa (72 %) (EP, 2019). Važno je staviti naglasak i na potrebu za kružnim gospodarenjem otpadom. Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu (engl. *Food and Agriculture Organization*, FAO) UN-a trećina ukupne proizvedene hrane za prehranu ljudi završi u otpadu, a takav organski otpad predstavlja dobar ulazni supstrat u proces AD (Kasinath et al., 2021).

Slijedom navedenog, upotreba biogoriva, pa tako i bioplina, dobiva na važnosti. Proces AD smatra se jeftinom i ekološki prihvatljivom metodom pridobivanja bioplina i metodom gospodarenja otpada. Dakle, pogoduje smanjenju emisija, zbrinjavanju otpada i njegove uporabe. Na taj način je uspostavljeno kruženje ugljika u prirodi, što predstavlja prvotnu i glavnu ulogu proizvodnje bioplina kao OIE. Također, i proizvodnja električne energije izgaranjem bioplina se smatra OIE, pa i na taj način doprinosi očuvanju okoliša ukoliko dođe do povećane elektrifikacije prometnog sektora.

6.1. Metodologija za izračunavanje emisija stakleničkih plinova

Prema Direktivi EU 2018/2001 o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora određena su pravila za izračun emisija stakleničkih plinova koje nastaju prilikom upotrebe i proizvodnje biogoriva i tekućih biogoriva. Staklenički plinovi uzeti u proračun su CO₂, CH₄ i N₂O, čije se emisije za proračun svode na ekvivalent ugljikova dioksida (CO_{2e}). Donesenom metodologijom se mogu izračunati emisije stakleničkih plinova za biogoriva, prema jednadžbi (6-1) (Direktiva (EU) 2018/2001, 2018):

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} \quad (6-1)$$

gdje je:

E - ukupne emisije od uporabe goriva, (g CO_{2e}/MJ)

e_{ec} - emisije od ekstrakcije ili uzgoja sirovina, (g CO_{2e}/MJ)

e_l - godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene promjenom uporabe zemljišta, (g CO_{2e}/MJ)

e_p - emisije od obrade, (g CO_{2e}/MJ)

e_{td} - emisije od prijevoza i distribucije, (g CO_{2e}/MJ)

e_u - emisije koje nastaju pri uporabi goriva, (g CO_{2e}/MJ)

e_{sca} - uštede emisija iz akumulacije ugljika u tlu zbog boljeg poljoprivrednoga
gospodarenja, (g CO_{2e}/MJ)

e_{ccs} - uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO₂, (g CO_{2e}/MJ)

e_{ccr} - uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO₂, (g CO_{2e}/MJ).

U proračun ne ulaze emisije koje nastaju tijekom proizvodnje strojeva i opreme.

Emisije nastale proizvodnjom i upotrebom tekućih biogoriva računaju se kao i za biogoriva, ali je formula proširena za emisije koje nastaju pretvorbom energije u električnu energiju (formula 6-2) i/ili energiju za grijanje ili hlađenje prema formuli 6-3 za energetska postrojenja koja isporučuju samo toplinsku energiju formulom (Direktiva (EU) 2018/2001, 2018):

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \quad (6-2)$$

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h} \quad (6-3)$$

gdje je:

$EC_{h,el}$ - ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda, (g CO_{2e}/MJ)

E - ukupne emisije stakleničkih plinova iz tekućeg biogoriva prije krajnje pretvorbe, (g CO_{2e}/MJ)

η_{el} - električna učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja električne energije podijeljena s godišnjom potrošnjom tekućeg biogoriva na temelju njegova energetskog sadržaja (-)

η_h - toplinska učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja korisne topline podijeljena s godišnjom potrošnjom tekućeg biogoriva na temelju njegova energetskog sadržaja (-)

Za energetska postrojenja koja isporučuju toplinsku i električnu ili mehaničku energiju zajedno dodaje se formula 6-4, odnosno 6-5, koje glase (Direktiva (EU) 2018/2001, 2018):

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \cdot \left(\frac{C_{el} \cdot \eta_{el}}{C_{el} \cdot \eta_{el} + C_h \cdot \eta_h} \right) \quad (6-4)$$

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h} \cdot \left(\frac{C_h \cdot \eta_h}{C_{el} \cdot \eta_{el} + C_h \cdot \eta_h} \right) \quad (6-5)$$

gdje je:

$EC_{h,el}$ - ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda, (g CO_{2e}/MJ)

E - ukupne emisije stakleničkih plinova iz tekućeg biogoriva prije krajnje pretvorbe, (g CO_{2e}/MJ)

η_{el} - električna učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja električne energije podijeljena s godišnjim unosom goriva na temelju njegova energetskog sadržaja (-)

η_h - toplinska učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja korisne topline podijeljena s godišnjim unosom goriva na temelju njegova energetskog sadržaja (-)

C_{el} – udio eksergije u električnoj i/ili mehaničkoj energiji, zadan kao 100 % ($C_{el} = 1$) (-)

C_h - Carnotova učinkovitost (udio eksergije u korisnoj toplini) (-)

Konačne uštede emisija stakleničkih plinova od biogoriva (formula 6-6) i tekućih biogoriva (formula 6-7) računaju se kao (Direktiva (EU) 2018/2001, 2018):

$$U\check{S}TEDA = (E_{F(t)} - E_B) / E_{F(t)} \quad (6-6)$$

$$U\check{S}TEDA = (EC_{F(h\&c,el)} - EC_{B(h\&c,el)}) / EC_{F(h\&c,el)} \quad (6-7)$$

Gdje je:

E_B - ukupne emisije iz biogoriva, (g CO_{2e}/MJ)

$E_{F(t)}$ - ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za promet, (g CO_{2e}/MJ)

$EC_{B(h\&c,el)}$ - ukupne emisije od toplinske ili električne energije, (g CO_{2e}/MJ)

$EC_{F(h\&c,el)}$ - ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za korisnu toplinu ili električnu energiju, (g CO_{2e}/MJ).

7. PROIZVODNJA I POTENCIJAL BIOPLINA U EU

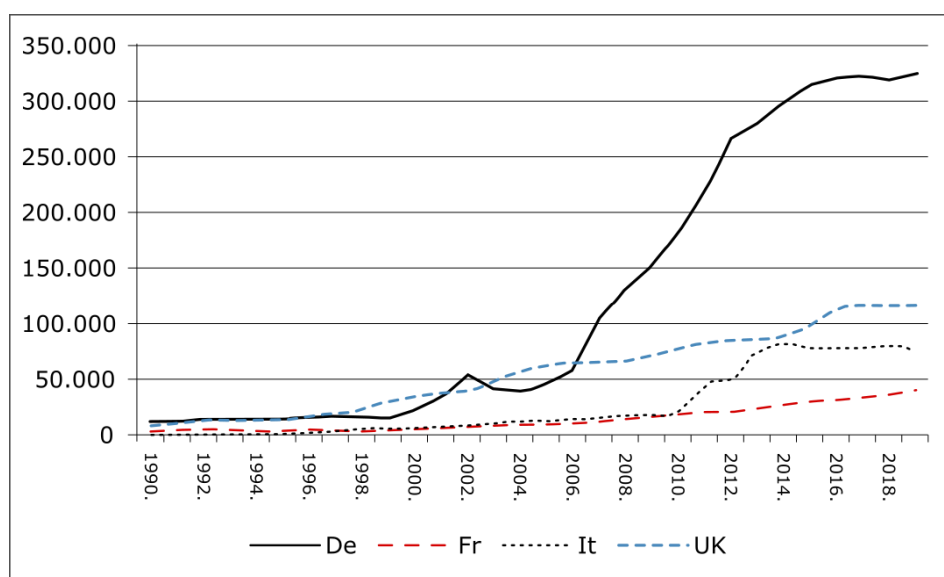
U Europi je tehnologija proizvodnje bioplina AD razvijena još u vrijeme Drugog svjetskog rata, kada je zbog nestašice energenata bilo nužno pronaći alternativu. Kasnije se upotreba bioplina smanjila zbog njegove tržišne nekonkurentnosti u odnosu na fosilna goriva, ali sa sve većom osviještenošću o globalnim promjenama i utjecaju fosilnih goriva na okoliš, interes za bioplinom je u porastu (Hrvatske vode, 2020). EU je predvodnik u korištenju i promoviranju OIE. Zbog manjka vlastitih izvora nafte i plina prisiljena je okrenuti se drugim, alternativnim izvorima energije i na taj način osigurati svoju energetske neovisnost. Jedna od ključnih vodilja energetske strategije EU je energija iz obnovljivih izvora. Donošenjem Zelene knjige (1996. god.) i Bijele knjige (1997. god.) stvoren je temelj za daljnji razvoj „zelene politike“ Europe. Kasnije 2009. godine, donošenjem Direktive 2009/28/EZ, postavljeni su ciljevi za 2020. godinu koji propisuju povećanje udjela OIE od 20 % u finalnoj bruto potrošnji energije i 10 % OIE u prometu. EU u svojoj strategiji navodi bioekonomiju kao jednu od ključnih faktora u energetske tranziciji, koja će omogućiti zamjenu fosilnih goriva s obnovljivom energijom. Napredna bioenergija, isključujući konvencionalnu upotrebu biomase, odgovara čak polovici potrošnje OIE u 2017. god. te je osigurala četiri puta veći doprinos od vjetra i solara zajedno (Banja et al., 2019). Novi, ambiciozniji ciljevi EU zahtijevaju da najmanje 14 % goriva za potrebe prometa do 2030. godine dolazi iz obnovljivih izvora. Također, prve generacije biogoriva s visokim rizikom od "neizravne promjene korištenja zemljišta" (kada se travnjaci i šume pretvaraju u površine za proizvodnju hrane, što povećava emisiju CO₂) neće se više računati u ciljeve EU-a za OIE. Udio prve generacije biogoriva u tim ciljevima postupno će se ukidati, sve dok ne dosegne nulu - 2030. godine (Direktiva (EU) 2018/2001).

Bez obzira što su doneseni zakonski okviri i što se promiče upotreba OIE u EU, postoje određene prepreke koje utječu na njihovu veću upotrebu, kao što su ekonomske, tehničke i sociokulturne. Kako bi se osiguralo ulaganje u OIE, bilo je nužno osigurati poticaje koji bi takvu energiju učinili pristupačnijom na tržištu. Provedene su i brojne analize u različitim državama članicama EU, iz kojih se može zaključiti o pozitivnoj korelaciji između visine potpora i proizvodnje električne energije iz OIE. Ipak, sve veća konkurentnost pojedinih obnovljivih izvora dovodi do postupnog ukidanja subvencija (Banja et al., 2019). Osim toga, od velike važnosti je i angažiranje neprofitnih organizacija poput Europske udruge za bioplin (engl. *European Biogas Association*, EBA). Udruga je osnovana 2009. godine s ciljem da

u suradnji s različitim europskim institucijama, industrijom, partnerima u poljoprivredi, nevladinim organizacijama i akademskim krugovima, radi na razvoju politika koje omogućuju opsežno korištenje bioplina. Putem izrade godišnjih izvješća pruža informacije o projektima i statusu bioplinskih postrojenja u EU (Kasinath et al., 2021).

EU bilježi porast upotrebe bioenergije, što je uglavnom posljedica veće upotrebe bioplina, a ne krute biomase. Udio bioplina, koji se koristi za proizvodnju električne energije te za grijanje i hlađenje, bio je 8,3 % (394,5 PJ) bioenergije u 2017. godini, što je čak pet puta više nego u 2005. godini. Za proizvodnju električne energije korišteno je 58 % bioplina, a oko 40 % (163,7 PJ) bioplina se koristi u sektoru grijanja i hlađenja (Banja et al., 2019).

Kao najveći proizvođači, ali i potrošači bioplina, u Europi se ističu Njemačka, Francuska, Italija i Ujedinjeno Kraljevstvo, što je i prikazano na slici 7-1.



Slika 7-1. Najveći proizvođači bioplina u EU prema proizvedenoj energiji u TJ (Ivanković, 2020)

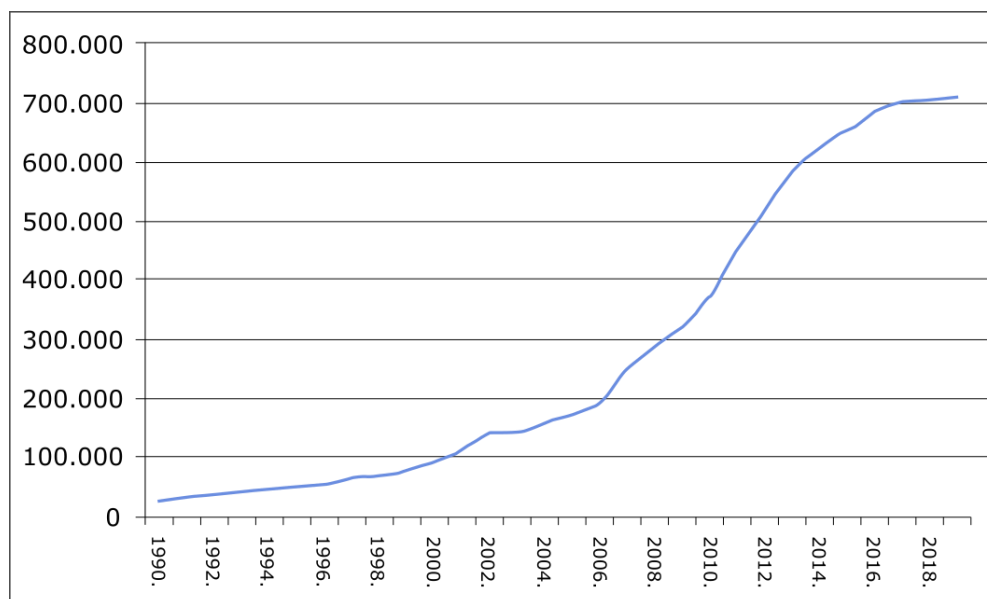
Što se tiče veličine instaliranog kapaciteta za proizvodnju bioplina, on je već 2017. godine veći od planiranog za 2020. godinu, te je utrostručen od 2005. godine. U tablici 7-1 je prikazan ukupan broj bioplinskih postrojenja u EU za razdoblje od 2009. do 2019. godine., iz čega se vidi da je broj bioplinskih postrojenja porastao s 6227 na 18 943 postrojenja. Od toga najveći broj postrojenja koristi poljoprivredni supstrat, nakon čega slijede bioplinska

postrojenja, čiji je ulazni supstrat stajski gnoj, zatim postrojenja koja koriste komunalni otpad, a potom postrojenja koja koriste druge vrste otpada. (IEA, 2019).

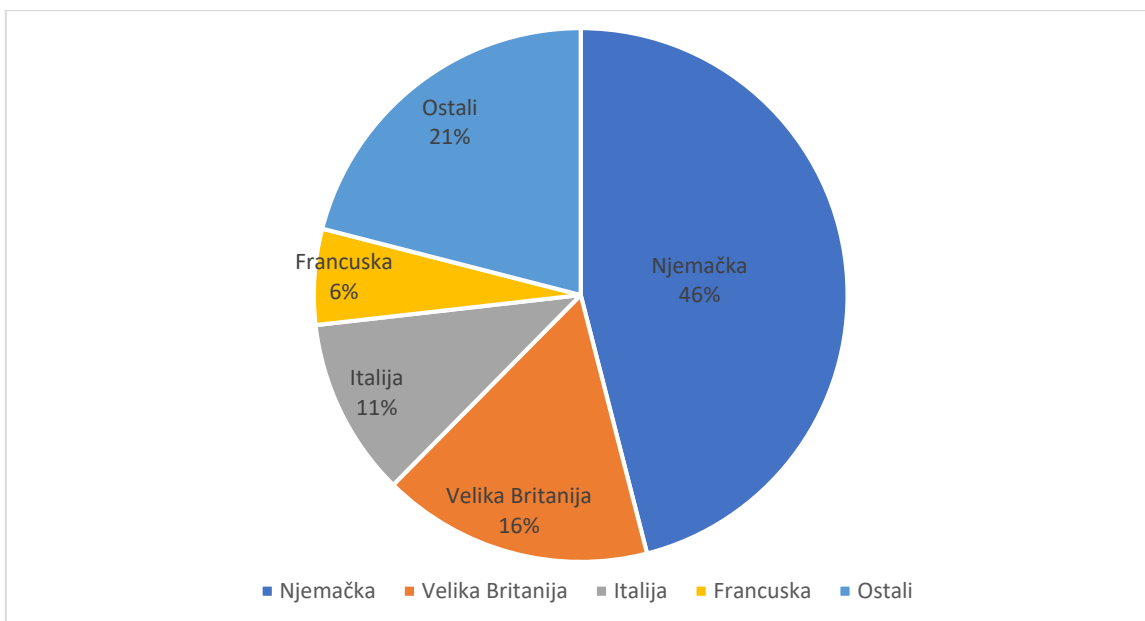
Tablica 7-1. Broj bioplinskih postrojenja u EU za razdoblje 2009. - 2019. (prema Banja et al., 2019)

Godina	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2019.
Broj bioplinskih postrojenja	6 227	10 508	12 397	13 812	14 661	16 834	17 439	17 432	17 783	18 943

U izvješću Europske bioplinske organizacije iz 2020. godine navedeno je da je krajem 2019. godine bilo instalirano 18 943 postrojenja za bioplin i 729 postrojenja za proizvodnju biometana. Porast broja postrojenja prati i porast proizvodnje bioplina, što je grafički prikazano na slici 7-2. Njemačka ima udio proizvodnje u EU od 46 %, zatim slijedi Velika Britanija, Italija i Francuska (slika 7-3). Njemačka je također predvodnik i u proizvodnji biometana u EU s 232 postrojenja, a slijedi je Francuska s 131. U Ujedinjenom Kraljevstvu u pogonu je 80 postrojenja (EBA, 2020).

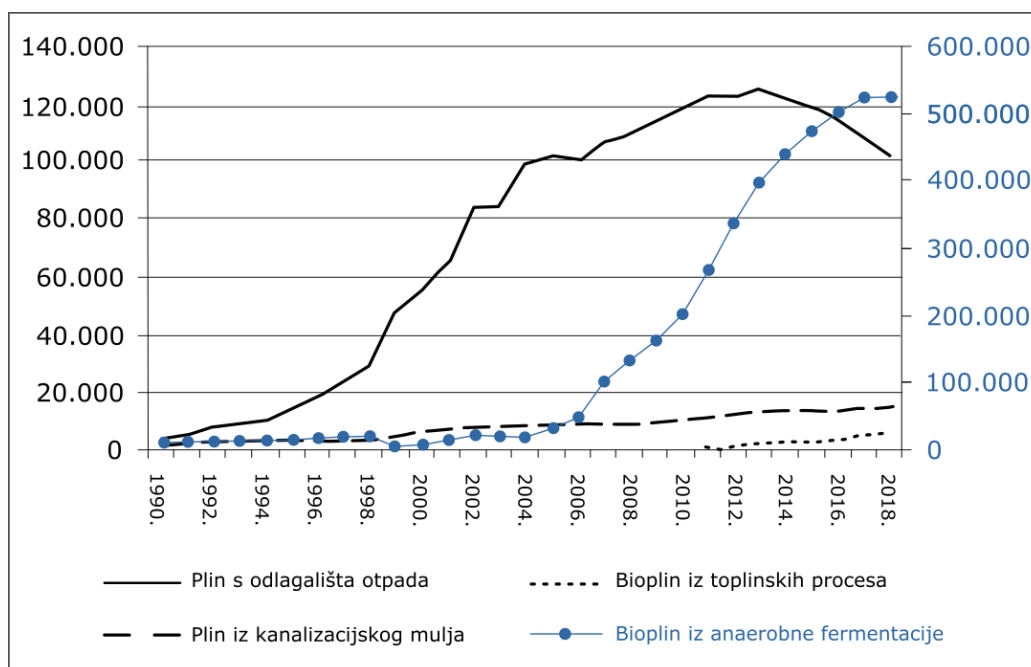


Slika 7-2. Ukupna proizvodnja bioplina u EU u TJ (Ivanković, 2020)



Slika 7-3. Najveći proizvođači (potrošači) u EU (prema Ivanković, 2020)

Države poput Njemačke, Češke, Danske, Austrije, Italije i Grčke proizvode bioplin AD, dok se u Estoniji, Irskoj, Portugalu i Ujedinjenom Kraljevstvu koristi tzv. odlagališni plin, dok je iskorištavanje otpadnih voda za proizvodnju bioplina zastupljeno je u Litvi, Poljskoj i Švedskoj. Na slici 7-4 prikazane su količine bioplina ovisno o metodi proizvodnje iz koje se vidi da je bioplin proizveden AD bio najzastupljeniji 2018. godini.



Slika 7-4. Proizvodnja bioplina u EU ovisno o metodi pridobivanja u TJ (Ivanković, 2020)

7.1. Mjere za promicanje bioplina u EU

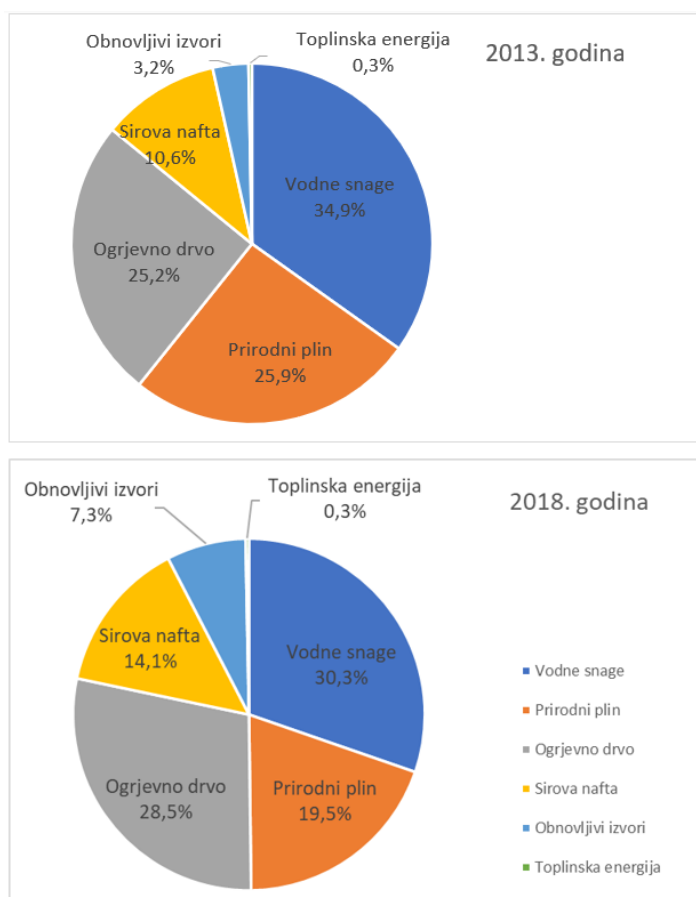
Korištenje bioplina za proizvodnju električne energije uglavnom je povezano uz poticaje i potpore koje pruža EU. U razdoblju od 2005. do 2017. godine doneseno je gotovo 700 mjera na području primjene bioenergije, koje su uglavnom vezane uz financiranje i potpore. Oko 150 mjera doneseno je za sektore proizvodnje električne energije, toplinarstva i transporta (Banja et al., 2019).

U elektroenergetskom sektoru, bioplin bilježi najveći udio u financijskim i regulatornim mjerama, koje su donesene u razdoblju od 2005. do 2017. godine, dok se u sektoru grijanja i hlađenja najveći broj poticaja odnosi na biomasu, a nakon čega slijedi bioplin. Što se tiče donesenih mjera u sektoru prometa, tu se ističu biogoriva (biodizel i bioetanol). Donesene regulatorne mjere se razlikuju od zemlje do zemlje, pa je tako RH donijela mjere vezane uz zahtjev za većom energetsom učinkovitošću bioplinskih postrojenja, Slovačka je usmjerila svoje mjere u olakšavanje pristupa plinskoj mreži za biometan, Njemačka donosi mjere koje će pojednostaviti izdavanje dozvola za bioplinska postrojenja, a Belgija o izgradnji bioplinskih postrojenja u sklopu kružnog gospodarstva. Kod financijskih poticaja ističe se Francuska, koja je putem javnih natječaja poticala na izgradnju bioplinskih postrojenja, a osim toga dodjeljuje dodatak na otkupnu cijenu biometana utisnutog u plinsku mrežu. Italija svoje financijske mjere usmjeruje u proizvodnju biometana za utiskivanje u plinsku mrežu, Češka ulaže u mala bioplinska postrojenja do 500 kW, Finska pomaže u financiranju proizvodnje bioplina, a Slovačka jamči obveznu kupnju električne energije proizvedenu iz biometana (Banja et al., 2019).

8. PROIZVODNJA I POTENCIJAL BIOPLINA U RH

Republika Hrvatska potrošnju energije djelomično zadovoljava vlastitom proizvodnjom, a djelomično je uvozi, pa je tako 2018. godine RH zadovoljila 54 % svojih potreba za energijom iz vlastite proizvodnje, dok je ostalih 46 % uvozila. Postotak uvezene energije upućuje na to da RH uvelike ovisi o uvozu. Upravo zbog toga ključno je u energetske politiku uključiti mjere kojima bi se poticala domaća proizvodnja i iskorištavanje potencijala koje pruža RH i time smanjila ovisnost o uvozu. Većina biogoriva, koja se trenutno koriste, odnose se na krutu biomasu, npr. ogrjevno drvo, dok se manji dio odnosi na tekuća i plinovita biogoriva.

Iako bioplin ima široku primjenu i postoje određene prednosti njegove primjene u odnosu na ostale energente, njegov udio u proizvodnji je još uvijek izrazito nizak. Udjeli pojedinih energenata u proizvodnji primarne energije su prikazani komparativno na slici 8-1 za 2013. godinu i 2018. godinu (MZOE, 2019).



Slika 8-1. Udio u proizvodnji primarne energije u RH 2013. (gore) i 2018. (dolje) godine (prema MZOE, 2019)

Iz dijagrama se može zaključiti da vodne snage zauzimaju najveći postotak od 30,3 % u proizvodnji primarne energije, a odmah nakon toga je ogrjevno drvo s 28,5 %, dok je energija iz OIE na zadnjem mjestu s 7,3 %. Udijeli se uglavnom nisu puno promijenili te je sveukupna slika iz 2013. godine vrlo slična onoj u 2018. godini. No, može se primijetiti određeni pomak kod OIE.

Ukupna potrošnja energije u RH 2018. godine je smanjena za 1,2 % u odnosu na prethodnu godinu. Pri tome je potrošnja biomase povećana za 2,1 %. Potrošnja energije iz OIE povećana je za 7,5 %, a potrošnja energije vodnih snaga je veća za 24,5 %, dok je potrošnja energije koja se dobiva iz ostalih izvora smanjena. Za razdoblje od 2013. godine do 2018. godine vrijedi padajući trend potrošnje ugljena, koksa i energija vodnih snaga dok se potrošnja OIE povećava, što je prikazano u tablici 8-1 (MZOE, 2019).

Tablica 8-1. Ukupna potrošnja energije u RH (prema MZOE, 2019)

	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2018./17.	2013.-18.
	PJ						%	
Ugljen i koks	32,18	31,59	29,86	32,14	21,65	20,36	-5,9	-8,7
Drvo i biomasa	51,67	46,12	52,69	52,47	52,09	53,20	2,1	0,6
Tekuća goriva	128,37	125,80	130,92	130,78	139,83	134,52	-3,8	0,9
Prirodni plin	95,54	84,62	87,16	91,08	104,67	96,43	-7,9	0,2
Vodne snage	84,92	88,99	61,63	65,63	53,81	66,98	24,5	-4,6
Električna energija	13,93	14,23	24,44	19,91	25,03	19,40	-22,5	6,8
Toplinska energija	0,63	0,52	0,62	0,66	0,67	0,63	-5,4	0,1
Obnovljivi izvori	7,80	10,52	11,36	12,90	16,11	17,32	7,5	17,3
Ukupno	415,04	402,40	398,68	405,56	413,86	408,85	-1,2	-0,3

U RH se do sada bioplin uglavnom koristi za proizvodnju električne energije, dok je primjena biometana značajna u sektoru prometa. No bioplin u ukupnom elektroenergetskom sektoru zauzima samo manji udio u proizvodnji, za razliku od drugih izvora poput vodnih

snaga ili prirodnog plina (Ivanković, 2020). U tablici 8-2 je prikazan ukupni proizvodni kapacitet električne energije u RH za 2018. godinu, a u tablici 8-3 dani se podaci o instaliranim kapacitetima za proizvodnju toplinske i električne energije iz OIE.

Tablica 8-2. Proizvodni kapaciteti RH za proizvodnju električne energije (prema MZOE, 2019)

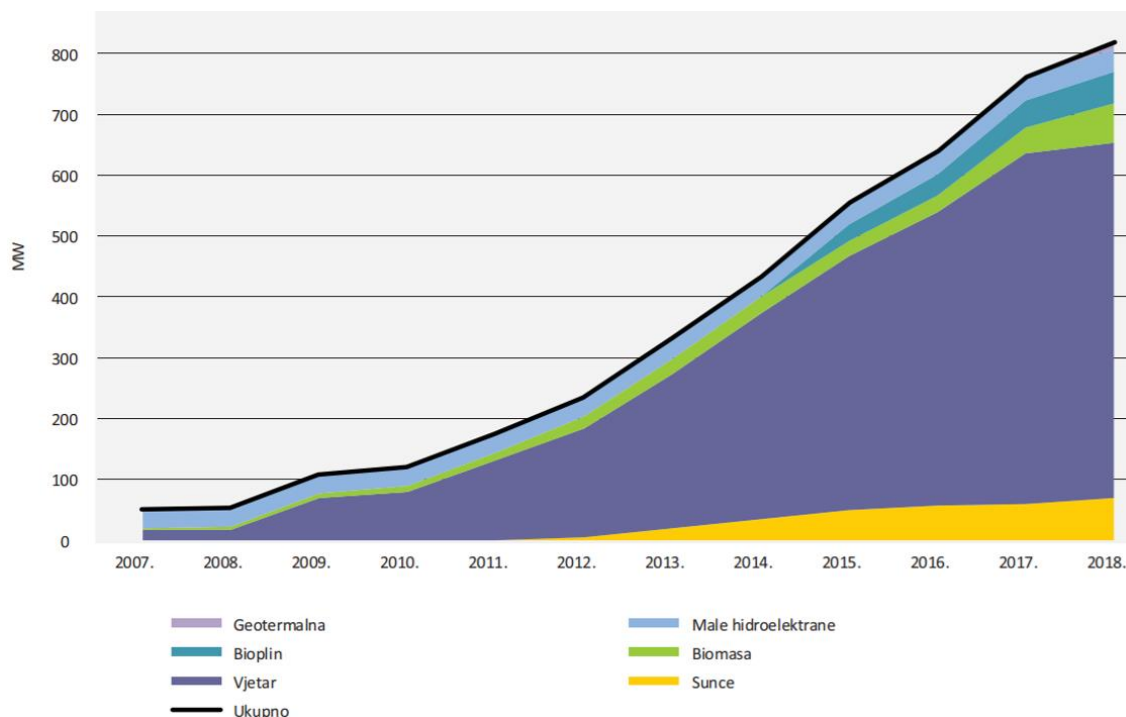
Kapaciteti za proizvodnju električne energije	Raspoloživa snaga (MW)	Proizvedena električna energija u 2018. godini (na generatoru) (GWh)
Hidroelektrane	2 199,5	7 784,9
Akumulacijske	1 485,7	5 449,1
Crpne	275,4	458,3
Protočne	405,3	1 763,10
Male HE	33,1	114,4
Termoelektrane	2 152,0	4 453,4
Ugljen	320,0	1 452,6
Prirodni plin, loživo ulje	1 363,1	2 245,3
Loživo ulje	343,5	68,6
Biomasa	64,8	313,2
Bioplin	10,0	2,0
Vjetroelektrane	586,3	1 335,4
Sunčane elektrane	67,7	74,9
Ukupno	5 005,4	13 631,7

Tablica 8-3. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH 2018. god. (prema MZOE, 2019)

Vrsta izvora	Proizvodnja električne energije
Sunce	74,9 GWh
Vjetar	1 335,4 GWh
Biomasa	313,2 GWh
Bioplin	354,8 GWh
Male hidroelektrane	118,4 GWh
Geotermalna	2
UKUPNO	2198,7 GWh

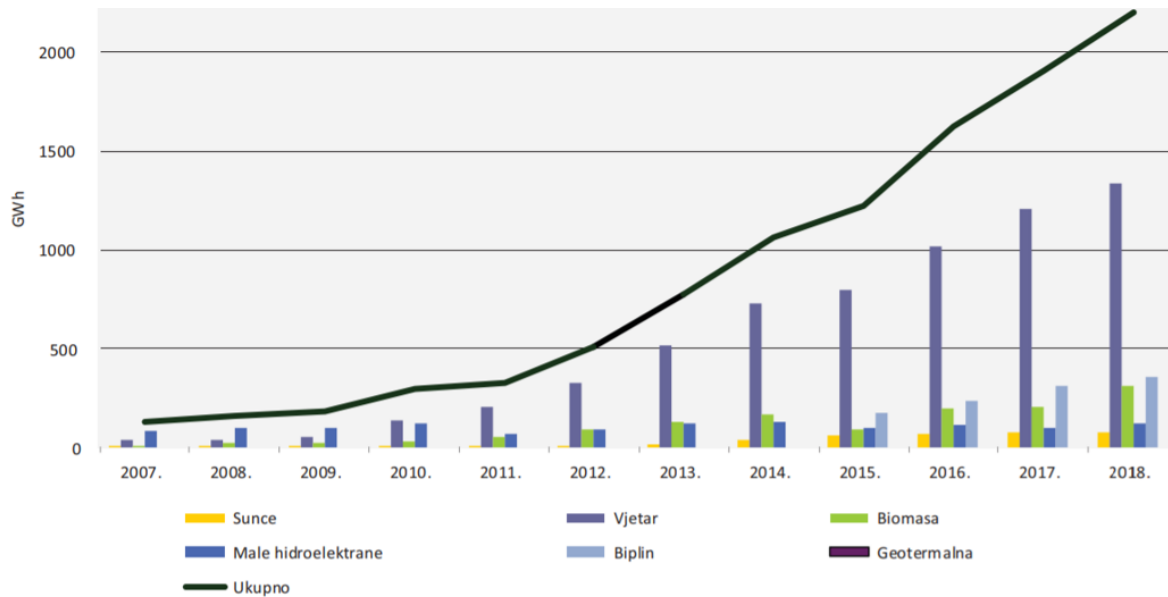
Iz podataka u tablici 8-2 se vidi da bioplin zauzima svega 10 MW raspoložive snage, dok su vjetroelektrane za usporedbu imale 586,3 MW raspoložive snage iste godine. Ako se uspoređuje OIE, onda za proizvodnju toplinske energije prevladava upotreba biomase, a za

električnu energiju je predvodnik vjetar (Slika 8-2). U RH se čak 77 % bioplina koristi za proizvodnju električne energije (Banja et al., 2019).



Slika 8-2. Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz OIE u RH (MZOE, 2019)

Glavni mehanizam za poticanje primjene bioplina za proizvodnju električne energije i izgradnju kogeneracijskih bioplinskih postrojenja upravo su povlaštene tarife, a njihov iznos ovisi o nekoliko čimbenika poput veličini elektrane i količini proizvedene električne energije. Na slici 8-3 grafički je prikazana proizvodnja električne energije iz OIE, između ostalog i bioplina, iz koje se vidi blagi trend porasta proizvodnje električne energije iz bioplina. U RH su 2017. godine bile instalirane 32 bioplinske elektrane ukupne instalirane snage 36,73 MW, a do 31. prosinca 2019. godine bilo je 44 sklopljenih ugovora za elektrane na bioplin, ukupne instalirane snage 49 922 kW (HROTE, 2019).



Slika 8-3. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH (MZOE, 2019)

S ciljem povećavanja svjesnosti o utjecaju bioplinskih postrojenja na okoliš osnovana je Radna skupina za bioplin koja ima ulogu educirati i promovirati dobru praksu u RH. Od ukupno 70 bioplinskih postrojenja u RH u 2021. godini, njih 21 ima dozvolu za gospodarenjem otpadom, a njih 6 koristi biootpad iz komunalnog otpada. Na što se posebno stavlja naglasak jer se još uvijek velika količina otpada usmjerava na odlagališta (HGK, 2021).

Obzirom na veličinu hrvatskih stočarskih farmi, za njih više od 3 600 postoji mogućnost izgradnje mikro bioplinskih postrojenja (10-50 kW), na razini grada ili općine kao koncept energetske zajednice, gdje bi se također mogle uključiti i komunalne djelatnosti s ciljem ostvarivanja kružne ekonomije (<http://www.energetika-net.com>, 2018).

9. ZAKLJUČAK

Svjedoci smo promjena koje se događaju u okolišu. Većina znanstvenika se slaže da su uzroci tih događaja potaknuti djelovanjem čovjeka tj. aktivnostima koje uključuju korištenje fosilnih goriva, masovnu sječu šuma i sl. Iz tog razloga, mnogobrojne zemlje, između kojih je i RH kao članica EU, su odlučile krenuti u kreiranje nove zelene ere. Postavljanjem zakonskih okvira i donošenjem strategija i planova postavljeni su ciljevi koje se teži postići, ponajprije u svrhu zaštite okoliša. Prema Direktivi EU 2018/2001 promicanje OIE ima ključnu ulogu u opskrbi energijom po pristupačnim cijenama, smanjuje ovisnost o uvozu, potiče tehnološki razvoj i inovativnost te stavlja Europu na vodeću poziciju u sektoru proizvodnje iz OIE. Također se pri prelasku na OIE osiguravaju okolišni, zdravstveni i društveni doprinosi te se omogućava veća zaposlenost u ruralnim dijelovima, koji su često nisko naseljeni, što je slučaj u RH. Iako bioenergija često nailazi na prepreke, smatra se važnim OIE te se očekuje se da će bioplina i biometan imati bitnu ulogu u postizanju zadanih ciljeva do 2050. godine (Kasinath et al., 2021).

Bioplina ima nekoliko značajnih uloga, kao energent, gorivo u transportu, ali prvenstveno kao OIE, koji doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova. Tehnologija proizvodnje bioplina je već dugu godinu poznata, što znači da postoji mogućnost povećanja broja bioplinskih postrojenja bez prepreke u tehnološkoj izvedivosti. Naime kao prepreka uglavnom se postavljaju ekonomski aspekti njegove proizvodnje. Bioplina ima dovoljan potencijal za barem djelomično pokrivanje energetske potrebe za proizvodnju električne i toplinske energije te pročišćen kao biometan u transportu. Nije vjerojatno da će samo jedan OIE, koji god on bio, biti dovoljan za pokrivanje ukupne potrošnje energije, stoga je nužno donijeti pravu odluku u kreiranju ispravnog energetskog miksa. Naravno, udjeli pojedinih OIE u njemu će varirati od države do države. Gledajući s ekonomskog, ali i tehničkog i praktičnog aspekta, države koje su pogodne za iskorištavanje bioenergije trebale bi iskoristiti njihov maksimum.

Ruralni se dijelovi posebno ističu kao područja s velikim potencijalom za proizvodnju bioplina, budući da je ulazna sirovina (gnoj, gnojovka, poljoprivredni ostaci i sl.) pristupačna. Također se osim bioplina može aplicirati i digestat (koji nastaje kao nusprodukt u AD) na poljoprivredne površine, toplinska energija se može iskorištavati u lokalnoj sredini za grijanje postrojenja, staja, obližnjih objekata (škola, vrtić, kućanstva i dr.), a pruža i mogućnost otvaranja novih radnih mjesta, koja bi potaknula veću naseljenost u takvim

krajevima. Važnost bioplina očituje se i kroz druge aspekte; bioplin primjerice doprinosi kružnom gospodarenju otpada na način da se iskorištava organski materijal iz otpada i tako smanjuju ukupne količine otpada na odlagalištima, koja predstavljaju veliki problem današnjice. Pa tako neke firme u RH imaju sklopljene ugovore o prikupu otpadnih jestivih ulja i ostataka iz kantina, bolnica, restorana i slično te na taj način sudjeluju u zaštiti okoliša, a pri tom iskorištavaju dobivenu sirovinu.

Još jedna važna uloga bioplina je i u bržem ostvarenju zadanih ciljeva koji su doneseni za 2030. i 2050. godinu. Do 2050. godine se očekuje klimatski neutralna Europa, što znači da će svaka država članica morati za sebe donijeti najbolji energetska i klimatski plan kojim će zadane ciljeve i ostvariti. Prema Programu ruralnog razvoja Republike Hrvatske 2014.-2020. donesene su visine potpora, koje se mogu ostvariti za korištenje obnovljivih izvora energije te koji su prihvatljivi troškovi kod ulaganja, između kojih je navedeno ulaganje u građenje i opremanje objekata za proizvodnju energije, objekata za prihvaćanje, obradu i skladištenje sirovina, za obradu, preradu, skladištenje, transport i primjenu izlaznog digestata. Slijedom navedenog, RH bi trebala iskoristiti svoje maksimume u područjima za koje ima potencijala, a određeni dio će svakako zauzeti bioplin. U RH postoje brojna ruralna područjima u kojima bi se subvencijama potaknula izgradnja manjih bioplinskih postrojenja do 1 MW instalirane snage.

Kao zaključno, neke od pozitivnih strana upotrebe bioplina su:

- Bioplin je OIE, dakle većom proizvodnjom bioplina smanjuju se emisije stakleničkih plinova
- Smanjuje se ovisnost o uvozu energenata
- Koristi se za dobivanje toplinske, električne ili toplinske i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima
- Pročišćeni bioplin (biometan) koristi se kao gorivo u transportu
- Proizvodnjom bioplina kao nusproizvod se dobiva i visoko kvalitetni digestat, koji se može iskoristiti za gnojenje poljoprivrednih zemljišta
- Korištenje digestata (dobivenog AD) povećava veterinarsku sigurnost u odnosu na netretirani stajski gnoj i gnojnicu
- Digestat se smatra nutritivno boljim gnojivom za razliku od stajskog gnoja i gnojnice

- Smanjuje se pojava neugodnih mirisa primjenom digestata, koji ima blaži miris od stajskog gnoja i gnojnice
- Iskorištavanje komunalnog otpada pogoduje kružnom gospodarenju otpada
- U usporedbi s ostalim biogorivima, za proizvodnju bioplina je potrebna najmanja količina vode
- Poznata tehnologija proizvodnje
- Relativno jeftin energent za proizvodnju
- Ulazna sirovina je raznovrsna i lakodostupna
- Mogućnost otvaranja novih radnih mjesta (pogotovo u ruralnim sredinama)

10. LITERATURA

1. AL SEADI, T., RUTZ, D., PRASSL, H., KOTTNER, M., FINSTERWALDER, T., VOLK, S., JANSSEN, R., 2008. Bioplin priručnik.
2. APARICIO, E., RODRIGUEZ – JASSO, R. M., LARA, A., LOREDO – TREVINO, A., AGUILAR, C. N., KOSTAS, E. T., RUIZ, H. A., 2020. Chapter 15 - Biofuels production of third generation biorefinery from macroalgal biomass in the Mexican context: An overview. *Sustainable Seaweed Technologies*, str. 393 – 446.
3. ARO, E. - M., 2016. From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *TY - JOUR*, Volume 45, str. 24 – 31.
4. BANJA, M., JEGARD, M., MOTOLA, V., SIKKEMA, R., 2019. Support for biogas in the EU electricity sector – A comparative analysis. *Biomass and Bioenergy*, Volume 128.
5. BEDOIC, R., 2018. Modeliranje anaerobne razgradnje organske tvari. Diplomski rad, Zagreb.
6. DOMAC, J., 2001. Socijalno-ekonomski učinci primjene energije biomase. *Socijalna ekologija: časopis za ekološku misao i sociologijska istraživanja okoline*, Volume 10, str. 171 – 181.
7. HILL, J., 2013. Life Cycle Analysis of Biofuels. *Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition*, str. 627 – 630.
8. KALTSCHMITT, M., REINHARDT, G.A., STELZER, T., 1997. Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*, Volume 12, Issue 2, 1997, str. 121 – 134.
9. KASINATH, A., FUDALA-KSIAZEK, S., SZOPINSKA, M., BYLINSKI, H., ARTICHOWICZ, W., REMISZEWSKA-SKWAREK, A., LUCZKIEWICZ, A., 2021. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 150.
10. KNEŽEVIĆ, M., 2016. Pogonske karakteristike bioplinских elektrana. Diplomski rad, Osijek.
11. KORBAG, I., OMER, S. M. S., BOGHAZALA, H., ABOUBAKR ABUSASIYAH, M. A., 2020. Support for biogas in the EU electricity sector – A comparative analysis.
12. KOVAČIĆ, Đ., 2017. Razvoj procesa predobrade lignoceluloznih materijala toplinom i električnim poljem u svrhu primjene u proizvodnji bioplina anaerobnom kodigestijom s goveđom gnojovkom. Doktorska disertacija, Osijek.

13. MOLLER, F., SLENTO, E., FREDERIKSEN, P., 2014. Integrated well-to-wheel assessment of biofuels combining energy and emission LCA and welfare economic Cost Benefit Analysis. *Biomass and Bioenergy*, Volume, str. 41 – 49.
14. MOYA, C., SANTIAGO, R., HOSPITAL-BENITO, D., LEMUS, J., PALOMAR, J., 2021. Design of biogas upgrading processes based on ionic liquids. *Chemical Engineering Journal*, Volume 428.
15. SCARLAT, N., DALLEMAND, J. F., FAHL, F., 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, Volume 129, Part A, , str. 457 – 472.
16. SOBRINO, F. H., MONROY, C. R., PEREZ, J. L. H., 2011. Biofuels and fossil fuels: Life Cycle Analysis (LCA) optimisation through productive resources maximisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 6, str. 2621 – 2628.
17. VALENTIN I., 2020. Analiza stanja bioekonomije u Europskoj uniji. Diplomski rad, Zagreb.

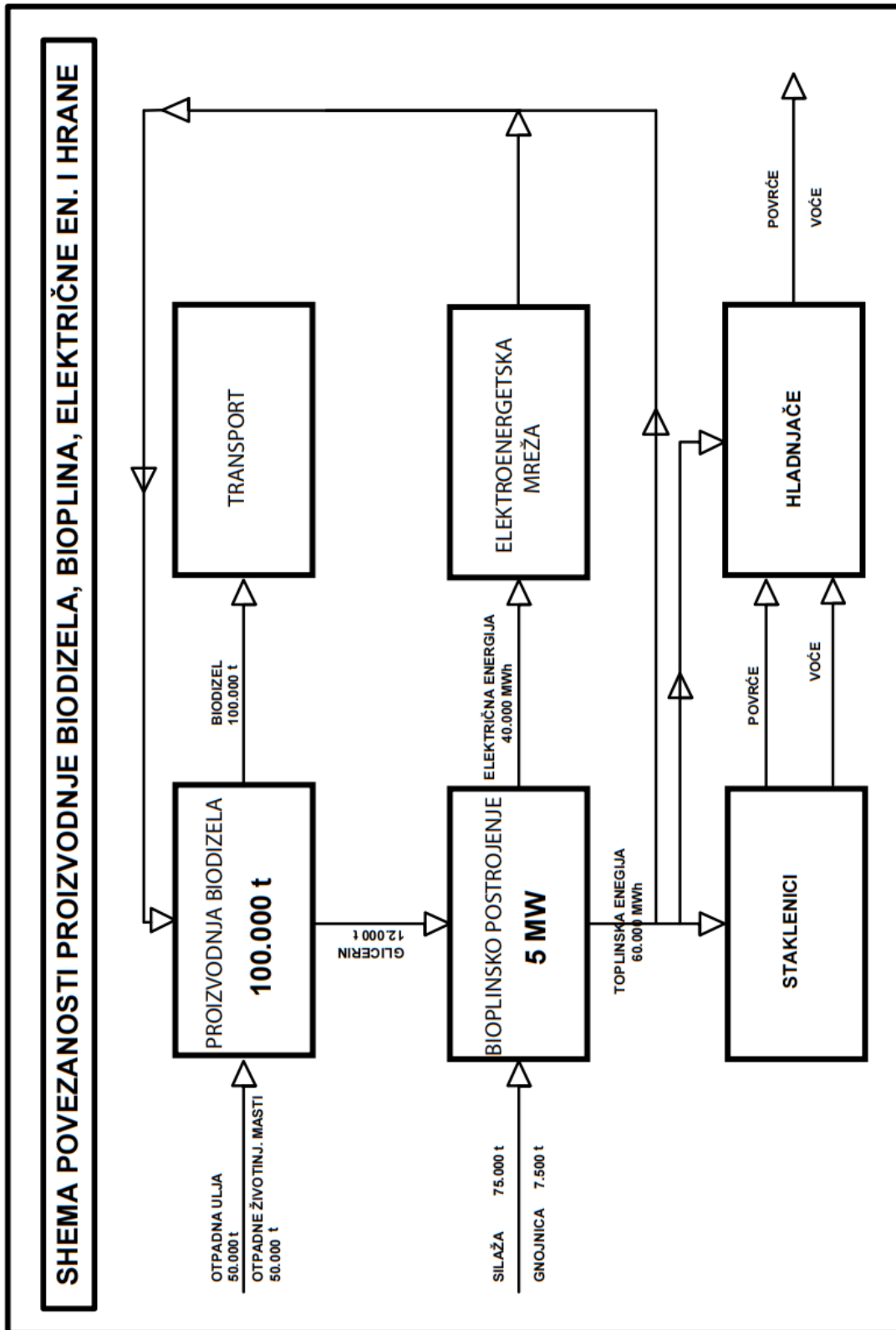
Internetski izvori:

18. CONSULTARE, 2021 (URL: <https://www.consultare.hr/hr/strucni-clanci-i-literatura/kako-pravilno-gospodariti-digestatom>) (15.9.2021.)
19. DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA, 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=LV>) (15.9.2021.)
20. EBA - Statistical report, 2020. (URL: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2021/01/EBA_StatisticalReport2020_abridged.pdf) (15.9.2021.)
21. EEA, 2017 (URL: <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/eea-signali-2017-oblikovanje-buducnosti/graficki-informacije/biogoriva-u-europi/view>) (11.3.2021.)
22. EIHP, 2018. Obnovljivi izvori energije bioplin. (URL: http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2018/03/BiogasAction-ViroExpo-prezentacija_EIHP.pdf) (15.9.2021.)
23. EK, 2018 (URL: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/youth/docs/youth_magazine_hr.pdf) (15.9.2021.)
24. ENERGETIKA-NET, 2018 (URL: <http://www.energetika-net.com/u-fokusu/res-publica/bioplinska-postrojenja-jos-uvijek-ne-mogu-bez-potpora-27870>) (15.9.2021.)

25. EP, 2019 (URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20190313STO31218/emisije-co2-u-prometu-eu-a-cinjenice-i-brojke>) (15.9.2021.)
26. GRADSKI URED ZA GOSPODARSTVO, ENERGETIKU I ZAŠTITU OKOLIŠA, 2021. (URL: <https://eko.zagreb.hr/biomasa/90>) (24.4.2021.)
27. HGK, 2021 (URL: <https://www.hgk.hr/bioplina-ce-imati-vaznu-ulogu-u-energetskoj-tranziciji>) (15.9.2021.)
28. HROTE, 2020. (URL: https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI_%202019_HROTE_OIEIK%2020200224_final.pdf, URL: <https://www.hrote.hr/poticajne-cijene>) (11.5.2021.)
29. HRVATSKE VODE, 2020. Anaerobnom digestijom do visokovrijednog organskog gnojiva. (URL: <https://hrcak.srce.hr/237116>) (15.9.2021)
30. IEA, (URL: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>) (18.8.2021.)
31. INA. d.d., 2017. (URL: https://www.ina.hr/wp-content/uploads/2020/01/NOVO-bio-goriva-broja1ura_4_1_2017_v01.pdf) (15.9.2021.)
32. MZOE, 2019. (URL: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/04/Energija2018.pdf>) (15.9.2021.)
33. MZOE, 2018. Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC). (URL: <https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/KLIMA/SZOR/7%20Nacionalno%20izvje%C5%A1%20prema%20UNFCCC.pdf>) (15.9.2021.)
34. NECP, 2019. (URL: https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Integrirani%20nacionalni%20energetski%20i%20klimatski%20plan%20Republike%20Hrvatske%20%20_final.pdf) (15.9.2021.)
35. IVANKOVIĆ, M., 2020. Bioplin u kružnoj ekonomiji Europske unije. (URL: https://www.researchgate.net/publication/344905290_BIOPLIN_U_KRUZNOJ_EKONOMIJI_EUROPSKE_UNIJE_BIOGAS_IN_CIRCULAR_ECONOMY_OF_THE_EUROPEAN_UNION) (15.9.2021.)
36. LETS TALK SCIENCE, 2019. (URL: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/biofuels-alternative-energy-source>) (18.8.2021.)

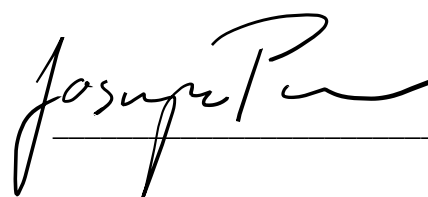
37. LOVRAK, A., 2020. Biometan – obnovljiva zamjena za prirodni plin (URL: <https://supeus.hr/wp-content/uploads/2020/05/Biometan-obnovljiva-zamjena-za-prirodni-plin.pdf?x92590>) (15.9.2021.)
38. OPĆI UVJETI OPSKRBE PLINOM, 2018 (URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_06_50_1003.html) (15.9.2021.)
39. STRATEGIJA ODRŽIVG BIOGOSPODARSTVA ZA EUROPU: JAČANJE VEZE GOSPODARSTVA, DRUŠTVA I OKOLIŠA, 2018. (URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0673&from=EN>) (15.9.2021.)
40. PROGRAM RURALNOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE ZA RAZDOBLJE 2014. – 2020., 2015 (URL:https://ruralnirazvoj.hr/files/documents/MPS_program-ruralnog-razvoja-RH_200x275_v6-LQ.pdf) (18.9.2020)
41. STRATEGIJA ENERGETSKOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE DO 2030. S POGLEDOM NA 2050. GODINU, 2020. (URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_25_602.html) (15.9.2021.)
42. STRATEGIJA NISKOUGLJIČNOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE DO 2030. S POGLEDOM NA 2050. GODINU, 2021. (URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_06_63_1205.html) (15.9.2021.)
43. PRIGORSKI.HR, 2016. (URL: <https://prigorski.hr/foto-svecano-otvorena-bioplinska-postrojenja-gregurovcu/>) (15.9.2021.)

PRILOG 1



IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom „Proizvodnja bioplina, njegova upotreba i potencijal u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj“ izradila samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Josipa Pavičić', written over a horizontal line.

Josipa Pavičić



KLASA: 602-04/21-01/77
URBROJ: 251-70-12-21-2
U Zagrebu, 23.9.2021.

Josipa Pavičić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/77, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 15.4.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

PROIZVODNJA BIOPLINA, NJEGOVA UPOTREBA I POTENCIJAL U EUROPSKOJ UNIJI I REPUBLICI HRVATSKOJ

Za voditeljicu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Karolina Novak Mavar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditeljica:

(potpis)

Doc.dr.sc. Karolina Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)