

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Jakov Karić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izvr. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:

Jakov Karić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru izv. prof. dr. sc. Tomislavu Pukšecu na ukazanoj prilici za pisanje ovog rada i na izdvojenom vremenu. Posebna zahvala asistentici dr. sc. Ani Kodbi na iznimnoj pomoći i strpljenu koju mi je ukazala prilikom cijelog procesa izrade ovog rada.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom svih ovih godina studija. Za kraj, zahvala svim kolegama i profesorima koji su ovo iskustvo učinili nezaboravnim.

Jakov Karić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur. broj: 15 - 23 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Jakov Karić** JMBAG: 0035218038

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza prenamjene bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic analysis of converting biogas plants into biomethane production facilities**

### Opis zadatka:

Biometan je obnovljivi plin koji se proizvodi pročišćavanjem bioplina proizvedenog iz organskih materijala kao što su kukuruzna silaža, stajnjak, otpadna hrana i sl. Budući da je biometan sastavom i energetskom vrijednošću sličan prirodnom plinu, isti se može koristiti u postojećoj infrastrukturi za prirodni plin. Uloga biometana u supstituciji prirodnog plina je prepoznata u raznim strateškim planovima EU, kao što je REPowerEU plan koji obvezuje države članice na deseterostruko povećanje proizvodnje biometana do 2030.

### U radu je potrebno:

1. Prikazati pregled literature na temu trenutne prakse u proizvodnji i korištenju biometana u državama članicama EU te pregled strateških planova.
2. Analizirati tehničku i ekonomsku izvedivost prenamjene bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana. Uključiti detaljnu analizu postojećih sustava, procesa i opreme za pročišćavanje bioplina i utiskivanje biometana u mrežu prirodnog plina.
3. Izračunati nivelirani trošak proizvodnje biometana za različite uvjete utiskivanja u mrežu prirodnog plina te za različite slučajeve korištenja supstrata.
4. Provesti analizu osjetljivosti niveliranog troška proizvodnje biometana uzimajući u obzir varijabilne cijene sirovina, troškove pročišćavanja bioplina i troškove utiskivanja biometana u mrežu.
5. Provesti analizu osjetljivosti ekonomske isplativosti prenamjene bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana uzimajući u obzir varijabilne cijene prirodnog plina.
6. Preporučiti i kvantificirati mjere za povećanje proizvodnje biometana u Republici Hrvatskoj.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2023.

Datum predaje rada:

30. studenoga 2023.

Predviđeni datum obrane:

4. – 8. prosinca 2023.

Zadatak zadao:

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Pukšec

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ</b> .....	I
<b>POPIS TABLICA</b> .....	III
<b>POPIS SLIKA</b> .....	IV
<b>POPIS OZNAKA</b> .....	V
<b>SAŽETAK</b> .....	VI
<b>SUMMARY</b> .....	VII
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. ZAKONODAVNI OKVIR ZA BIOMETAN</b> .....	3
<b>2.1 REPowerEU</b> .....	3
<b>2.2 Direktiva o promicanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora (Renewable Energy Directive)</b> .....	4
<b>2.3 Trenutna stanje biometana u Europi</b> .....	4
<b>2.4 Biometan u Hrvatskoj</b> .....	8
<b>2.5 Poticaji za širenje proizvodnje biometana</b> .....	9
<b>3. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE BIOMETANA</b> .....	12
<b>3.1 Postupak proizvodnje bioplina</b> .....	12
<b>3.2 Biometan</b> .....	15
<b>3.3 Postupci „Biogas upgrading-a“</b> .....	15
3.3.1 Fizikalni proces ispiranja vodom poznatiji kao „Scrubbing“ .....	16
3.3.2 Fizikalna apsorpcija korištenjem organskog otapala .....	17
3.3.3 Postupak adsorpcije s varijacijama tlaka (PSA) .....	18
3.3.4 Postupak temeljen na membranskoj separaciji .....	19
3.3.5 Postupak temeljen na različitim temperaturama isparavanja .....	20
<b>3.4 Utiskivanje biometana u plinsku mrežu</b> .....	20
3.4.1 Kisik u biometanu .....	24
<b>4. METODA</b> .....	27
<b>4.1 Tehno-ekonomska analiza</b> .....	27
4.1.1 Neto sadašnja vrijednost .....	27
4.1.2 Interna stopa povrata .....	28

---

4.1.3 Nivelirani trošak energije .....	29
<b>4.2 Potrebne količine supstrata .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Investicijski troškovi .....</b>	<b>32</b>
4.3.1 Životni vijek bioplinskog postrojenja .....	32
<b>4.4 Troškovi vođenja proizvodnje biometana .....</b>	<b>33</b>
<b>5. STUDIJA SLUČAJA .....</b>	<b>36</b>
<b>6. REZULTATI I DISKUSIJA .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Izračun niveliranog troška proizvodnje biometana .....</b>	<b>40</b>
6.1.1 Novčani tokovi i interne stope povrata za različite cijene biometana .....	42
<b>6.2 Promijena troška u ovisnosti o cijeni supstrata .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3 Preporuke mjera za povećanje proizvodnje biometana u Hrvatskoj .....</b>	<b>52</b>
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>56</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>58</b>

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Mjere kojima Europske države podupiru biometan [9], [13].....	11
Tablica 2. Zahtjevi za kvalitetu biometana koji se utiskuje u plinsku mrežu [9], [26].....	23
Tablica 3. Potencijal proizvodnje biometana iz različitih supstrata.....	31
Tablica 4. Investicijski troškovi postupka pročišćavanja bioplina.....	32
Tablica 5. Troškovi godišnje proizvodnje.....	34
Tablica 6. Gubitak Feed-in tarife.....	37
Tablica 7. Ukupni investicijski troškovi u ovisnosti o supstratu.....	39
Tablica 8. Nivelirani trošak biometana u ovisnosti o supstratu.....	40

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Prikaz svih biometanskih postrojenja u Europi [8] .....	6
Slika 2. Proizvodnja bioplina i biometana u Europi [5].....	7
Slika 3. Specifični volumen dobivenog bioplina ovisno o supstratu [16].....	13
Slika 4. Bioplinsko postrojenje u Pisarovini (1.5 MW <sub>el</sub> i 1.5 MW <sub>top</sub> ) [20].....	14
Slika 5. Postrojenje za pročišćivanje bioplina uz pomoć PSA tehnologije [23].....	16
Slika 6. Shema postrojenja za ispiranje vodom [25].....	17
Slika 7. Shema postrojenja za fizikalnu apsorpciju korištenjem organskog otapala [25] .....	18
Slika 8. Shema postrojenja za postupak adsorpcije s varijacijama tlaka [25].....	19
Slika 9. Shema postrojenja za membransku separaciju [25].....	20
Slika 10. Plinski kromatograf [29].....	21
Slika 11. Mjerači protoka u stanicama za ubrizgavanje [29].....	21
Slika 12. Odorizacijski sustav [29].....	22
Slika 13: Dijelovi tlačne kontrole [29].....	23
Slika 14. Postrojenje za isporuku biometana u plinsku mrežu [9].....	26
Slika 15. Godišnje potrebe za supstratom.....	38
Slika 16. Nivelirani trošak biometana u ovisnosti o supstratu.....	41
Slika 17. Prikaz razlike niveliranog troška biometana i cijene prirodnog plina.....	42
Slika 18. Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 100 €/MWh.....	43
Slika 19. Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 100 €/MWh.....	43
Slika 20. Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 110 €/MWh.....	45
Slika 21. Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 110 €/MWh .....	45
Slika 22. Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 120 €/MWh.....	46
Slika 23. Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 120 €/MWh.....	47
Slika 24. Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem kravlje gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže .....	48
Slika 25. Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem svinjske gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže .....	48
Slika 26. Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem pileće gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže .....	49
Slika 27 . Nivelirani trošak u ovisnosti o Gate-fee naknadi.....	50
Slika 28. Promjena IRR-a u ovisnosti o Gate-fee naknadi i cijeni biometana.....	51
Slika 29. Nivelirani trošak proizvodnje u ovisnosti o cijeni supstrata.....	52
Slika 30. Promjena niveliranog troška u ovisnosti o iznosu subvencije za investiciju.....	54
Slika 31 Promjena niveliranog troška za kombinaciju gnojovke i silaže u ovisnosti o iznosu subvencije za investiciju.....	54



**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
EU	–	Europska unija
CH <sub>4</sub>	–	metan
CO <sub>2</sub>	–	ugljikov dioksid
H <sub>2</sub>	–	vodik
H <sub>2</sub> S	–	sumporovodik
NH <sub>3</sub>	–	amonijak
O <sub>2</sub>	–	kisik
PSA	–	postupak adsorpcije s varijacijama tlaka
MEA	–	monoetanolamin
DEMA	–	dimonoetanolamin
OIE	–	obnovljivi izvori energije
CNG	–	stlačeni prirodni plin
LCOE	[€]	nivelirani trošak energije
NPV	[€]	neto sadašnja vrijednost
IRR	[%]	interna stopa povrata
R <sub>t</sub>	[€]	budući novčani tok u godini t
i	[%]	diskontna stopa
t	–	vremensko razdoblje
C <sub>t</sub>	–	neto novčani priljev u razdoblju t
C <sub>o</sub>	–	ukupni investicijski trošak
CAPEX	–	kapitalni trošak investicije
OPEX	–	operativni trošak investicije
I <sub>t</sub>	–	investicijski trošak u razdoblju t
M <sub>t</sub>	–	operativni trošak u godini t
UTP	[€]	ukupni trošak proizvodnje
Tel.eng	[€]	godišnja trošak električne energije
Tsup	[€]	godišnji trošak supstrata
Tinv	[€]	ukupni početni investicijski trošak
nrad	–	ukupan broj zaposlenik
Tplac	[€]	godišnja plaća po zaposlenom
Tprih	[€]	godišnji prihodi od prodaje biometana

**SAŽETAK**

U okviru energetske politike Europske unije (EU) vrlo važnu ulogu imaju alternativna obnovljiva goriva kojima bi se mogla zamijeniti postojeća goriva fosilnog porijekla. Kao jedno od takvih goriva koje ima potencija zamijeti dio postojeće potrošnje prirodnog plina te u budućnosti ga možda i zamijeniti u potpunosti nameće se biometan. Ovaj diplomski rad predstavlja temeljitu tehno-ekonomsku analizu prenamjene konvencionalnog bioplinskog postrojenja u visokoučinkovito postrojenje za proizvodnju biometana. Fokusiran je na integraciju takvog biometanskog postrojenja na postojeću plinsku mrežu. S obzirom na aktualne smjernice energetske politike, posebno u kontekstu planova Europske unije, analiziraju se ključni aspekti poput REPower EU, koji pridonose širem okviru tranzicije prema obnovljivim izvorima energije. Smjernice će bit temelj da se predlože mjere sufinanciranja kojima bi se postigao rast proizvodnje biometana. Kako bi se provjerila potrebna visina naknade za povećanje proizvodnje biometana, izračunat je nivelirani trošak proizvodnje. On se koristi kao temelj kojim bi se definirala isplativost ulaganja u prenamjenu postojećih bioplinskih postrojenja u biometanska. Rezultati dobiveni u ovom radu pokazuju da bi uvođenje „Feed-in“ premije od 120 €/MWh polučilo rast proizvodnje biometana. Budući da su pri toj visini premije svi supstrati ostvarili profitabilnost, izuzev isključivog korištenja kukuruzne silaže, dok niže razine premije ne ostvaruju isplativost za sve supstrate i samim time nije postignut maksimalan rast proizvodnje. Potreba za navedenom visokom tržišnom premijom proizlazi iz korištenja silaže koja ima visoku cijenu na tržištu zbog mogućnosti korištenja u druge svrhe. Stoga ukoliko se želi postići trenutni rast proizvodnje, potrebna je premija koja omogućuje djelomično korištenje silaže. Ova visina naknade ne bi osigurala mogućnost samostalnog korištenja silaže, već isključivo kao dodatka budući da je dugoročni cilj prestanak njezine upotrebe. Ukoliko izuzmemo silažu, ostali supstrati bi već na vrijednosti „Feed-in“ premije od 110 €/MWh ostvarili profit. Budući da, izuzmemo li silažu, najveći nivelirani trošak proizvodnje, od supstrata koji su navedeni u ovom radu, ima svinjska gnojovka i on iznosi 105.2 €/MWh.

Ključne riječi: bioplin, biometan, supstrati, plinska mreža, gnojovka, silaža

## **SUMMARY**

Within the framework of the European Union's energy policy, alternative renewable fuels play a crucial role in replacing existing fossil fuels. One such fuel that has the potential to substitute a portion of the current natural gas consumption and possibly replace it entirely is biomethane. This master's thesis provides a comprehensive techno-economic analysis of converting a conventional biogas plant into a high-efficiency biomethane production facility. The focus is on integrating such a biomethane plant into the existing gas network. Considering the current guidelines of the energy policy, particularly in the context of the European Union's plans, we analyse key aspects such as REPower EU, contributing to the broader transition towards renewable energy sources. These guidelines will serve as the foundation for proposing co-financing measures to achieve an increase in biomethane production. To determine the required premium height for boosting biomethane production, the levelized cost of production has been calculated. It serves as a basis to define the profitability of investing in the conversion of existing biogas plants into biomethane facilities. The results obtained in this study indicate that the introduction of a Feed-in premium of €120/MWh would lead to an increase in biomethane production. Given this premium level, all substrates proved to be profitable, except for the exclusive use of corn silage. Lower premium levels did not result in profitability for all substrates, thus failing to achieve maximum production growth. The need for such a high premium arises from the use of silage, which has a high market price due to its potential use for other purposes. Therefore, if the aim is current production growth, a premium allowing partial use of silage is necessary; however, not exclusively given that the long-term goal is to phase out its usage. This premium would not enable independent silage utilization but only as an additive. Excluding silage, the remaining substrates would already achieve profitability at a Feed-in premium of €110/MWh. Considering that, excluding silage, the highest levelized cost of production among the substrates mentioned in this study is pig manure, amounting to €105.2/MWh.

Keywords: biogas, biomethane, substrates, gas network, manure, silage

## 1. UVOD

U kontekstu rastuće globalne potrebe za održivim izvorima energije i smanjenjem emisija stakleničkih plinova, obnovljivi izvori energije postaju ključni element tranzicije prema ekološki prihvatljivijem energetsom sustavu. Među tim izvorima, bioplinska postrojenja su se istaknula kao značajan čimbenik u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora, koristeći organske materijale za proizvodnju bioplina.

U cilju postizanja daljnjeg napretka u održivosti i efikasnosti ovih postrojenja, nužno je razmatrati inovativne pristupe, a jedan od njih je prenamjena bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana. Implementiranjem biometanskih postrojenja dobiva se alternativni izvor metana koji danas gotovo u potpunosti dolazi iz prirodnog plina koji je fosilno gorivo, a koji se koristi za širok spektar namjena kako u kućanstvima tako i u industriji.

U današnjem društvenom kontekstu, klimatske promjene postale su jedno od ključnih pitanja koje potiče napore cijele međunarodne zajednice prema postizanju održivog razvoja i smanjenju negativnih utjecaja na okoliš. Europska unija (EU) se ističe kao predvodnik u postavljanju ambicioznih ciljeva i implementaciji mjera usmjerenih prema održivom energetsom sektoru. Njezina klimatska politika, izražena kroz europski REPower EU sporazum, postavlja ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova, povećanja udjela obnovljivih izvora energije te poboljšanja energetske učinkovitosti.

U tom širem kontekstu, biometan igra ključnu ulogu kao obnovljiv izvor energije koji doprinosi postizanju tih ciljeva. Biometan, proizveden putem anaerobne digestije organskih materijala u bioplinskim postrojenjima, predstavlja visoko održivu alternativu fosilnim gorivima. Procesom prenamjene bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana, ne samo da se poboljšava energetska učinkovitost, već se također smanjuje ukupna emisija stakleničkih plinova i povećava sigurnost opskrbe energijom. Također se daje alternativa za prirodni plin, koji je iznimno važno gorivo u Europi, a koji je većinom dospijeva na tržište Europske unije iz uvoza. Stoga, povećanjem proizvodnje biometana se povećava i energetska sigurnost svih zemalja članica Europske unije, pa tako i Hrvatske.

Ovaj diplomski rad posvećen je detaljnoj tehno-ekonomskoj analizi prenamjene konvencionalnog bioplinskog postrojenja u nadograđeno postrojenje za pročišćivanje bioplina i proizvodnju biometana koji se kasnije može utiskivati u plinsku mrežu. Biometan, kao oblik obnovljivog plina, predstavlja značajan potencijal u diversifikaciji izvora energije i smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima. Proučavanjem ovog konkretnog aspekta prenamjene, cilj je ocijeniti ekonomske i tehničke aspekte ovog prijelaza, uzimajući u obzir kompleksnost inženjerskih, zakonodavnih i ekonomskih komponenti.

Kroz ovu analizu, želi se pridonijeti razumijevanju potencijala prenamjene bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana kao održive alternative u proizvodnji energije. Također nam je cilj odrediti potrebne subvencije od strane države kojima bi se potaknula ekspanzija proizvodnje biometana. Kako bismo definirali moguće mjere za sufinanciranje proizvodnje

---

biometana, odredit će se nivelirani trošak proizvodnje. Određivanjem tog troška definirat će se potrebna visina naknade kojom bi proizvodnja ovog obnovljivog izvora energije bila isplativa investitorima. Na taj način se može očekivati značajnije ulaganje u ovu tehnologiju.

## 2. ZAKONODAVNI OKVIR ZA BIOMETAN

Europska unija prepoznala je sve prednosti koje donosi korištenje biometana, stoga u svojim političkim odlukama snažno podupire širenje njegove proizvodnje i upotrebe. Potpora može se razaznati iz svih temeljnih energetske dokumenata u kojima se velika važnost pridaje biometanu, postavljajući ga kao jednu od temeljnih tehnologija buduće zelene energetike u Europi.

### 2.1 REPowerEU

REPower EU predstavlja novu i progresivnu inicijativu usmjerenu na transformaciju europskog energetske sektora, gdje se među ostalim stavlja naglasak na promicanje biometana kao ključnog resursa. Ova ambiciozna inicijativa postavlja smjernice koje su osmišljene kako bi ostvarile dvostruke koristi – smanjenje ovisnosti o prirodnom plinu i smanjenje emisija stakleničkih plinova, dok istovremeno podržava održivo gospodarenje resursima. REPower EU prepoznaje potencijal biometana da unaprijedi energetske sektor Europe. Glavna novina REPower EU je drastičan skok kad su u pitanju proizvodnja biometan u Europi. Prema planu „Fit-for.55“ cilj, kada je u pitanju proizvodnja biometana, je 18 milijardi metara kubnih biometana godišnje do 2030. godine [1]. Taj cilj je povećan ovom novom inicijativom, donesenom 2022. godine, na gotovo dvostruko već razinu i iznosi 35 milijardi metara kubnih do 2030. godine. Za ostvarivanje ovog cilja, EU će osigurati potpore za izgradnju i modernizaciju postrojenja za proizvodnju biometana i poticati će na iskorištavanje svim trenutno neostvarenih potencijala za proizvodnju biometana [1].

Povećanje proizvodnje biometana namjerava se postići implementacijom nekoliko ključnih politika. Dvije su najvažnije metode kojom EU namjerava postići povećanje proizvodnje biometana. Prva je smanjenje administrativnih i ostalih birokratskih barijera koje usporavaju priključivanje biometaniskih postrojenja na plinsku mrežu te barijera koja usporavaju izgradnju novih postrojenja. Nužno je ubrzanje postupka dodjeljivanja dozvola za prenamjenu postojećih bioplinskih postrojenja u postrojenja za proizvodnju biometana. Potiče se zemlje članice da osnuju „One-stop“ modela za dodjeljivanje svih potrebnih dozvola za izgradnju infrastrukture i priključivanje na mrežu, na taj način očekuje se ubrzanje svih potrebnih procedura [1]. Druga glavna metoda je osiguravanje dodatnih izvora sufinanciranja ovakvih postrojenja i smanjenje postojećih troškova koji smanjuju isplativost prenamijene bioplina u biometan. Kada je u pitanju sufinanciranje EU će povećati sredstva koja su dostupna putem EU dotacijama i kredita Europske unije [1]. Uz to daje potporu državama članicama u kreiranju vlastiti politika kojima se trebaju izraditi modeli potpora u obliku „Feed-in“ naknada ili drugih oblika sufinanciranja za snažan rast proizvodnje [1].

Također, u dokumentu se navodi i veće potpore za razvoj novih i boljih tehnologija, potreba za ujednačavanjem standarda kvalitete biometana između zemalja članica i podupiranje inicijativa koje stvaraju partnerski odnos između proizvođača biometana i potrošača na tržištu [2].

## 2.2 Direktiva o promicanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora (Renewable Energy Directive)

Direktiva o promicanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora Europske unije, koja je usvojena 2018. godine, postavlja obvezujuće ciljeve i smjernice za korištenje obnovljivih izvora energije (OIE) u energetske sektoru. Iako, direktiva ne spominje izravno biometan, već se odnosi na širok spektar obnovljivih izvora energije, uključujući biometan, i postavlja okvir za njihovo korištenje [3].

Direktiva postavlja obvezujuće ciljeve za države članice EU-a u pogledu udjela obnovljive energije u ukupnoj potrošnji energije i u transportnom sektoru. To znači da države članice moraju povećati udio obnovljive energije u svojim energetske mješavinama, uključujući biometan. EU je postavila cilj da do 2030. godine, 32% ukupno potrošene energije potječe iz obnovljivih izvora. Kada se radi o sektoru prometa cilj je osigurati da se do 2030. godine najmanje 14% energije koja se koristi u prometu dolazi iz obnovljivih izvora. Ovo uključuje korištenje biometana u obliku BIO-CNG motora, prvenstveno autobusa, ali i drugog prijevoza [3].

Direktiva sadrži i smjernice o održivosti biometana te drugih biogoriva, uključujući kriterije za praćenje i izvješćivanje o emisijama stakleničkih plinova i utjecaju na okoliš. To je važno kako bi se osiguralo da se biometan proizvodi i koristi na održiv način.

Također, sadrži obveze za djelomično supsticioniranje konvencionalnih goriva (fosilnih) biogorivima, uključujući biometan. To znači da države članice moraju osigurati određeni udio biogoriva u ukupnoj sumi goriva koja se potroši na godišnjoj razini. Direktiva potiče države članice da uspostave poticaje i financijske instrumente kako bi potaknule korištenje obnovljive energije, uključujući biometan, u različitim sektorima, uključujući transport [3].

Ukratko, direktiva o obnovljivoj energiji stavlja naglasak na promicanje obnovljivih izvora energije, uključujući biometan, kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova, poboljšala energetska sigurnost i potaknula održiva energetska budućnost u EU-u. Države članice EU-a obvezuju se provoditi odredbe ove direktive u svojim nacionalnim zakonodavstvima kako bi postigle ciljeve u pogledu obnovljive energije [3].

Prema nacrtu nove Direktive o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (RED III), koji je izvorno predstavljen 2021. godine, ali još nije izglasana dolazi do revizije zahtjeva iz trenutno važeće direktive. Tako je zahtjev o postizanju 32% obnovljivih izvora u ukupno potrošenoj energiji do 2030. godine povišen na 40%. Naknadno su 2023. godine dodatno povećani zahtjevi, prema nacrtu zahtjevi su postavljen na razinu od 42.5% do 2023. godine, a cilj je postizanje čak 45% obnovljivih izvora energije u ukupno potrošenoj energiji [4].

## 2.3 Trenutna stanje biometana u Europi

Prema podacima iz 2021. godine najveći proizvođači biometana u Europi su Njemačka (12753 GWh), Ujedinjeno kraljevstvo (6183 GWh), Danska (5683 GWh), Francuska (4337 GWh), Nizozemska (2374 GWh) i Italija (2246 GWh) [5]. No sva ta proizvodnja nije ni blizu dovoljna kako bi se ostvarili ambiciozni ciljevi Europske unije, prema kojima bi se do 2030. godine u Europi trebalo proizvoditi 35 milijardi metara kubnih biometana [1]. To bi bilo dovoljno da se zamijeni otprilike 20 % potrebe za prirodnim plinom na razini Europe. Kao još ambiciozniji plan navodi se

povećanje proizvodnje na gotovo nevjerojatnih 100 milijardi kubnih metara biometana godišnje do 2050. godine [1]. Prema podacima iz 2021. godine, proizvodnja biometana u Europskoj uniji je na razini od 3.5 milijardi kubnih metara godišnje, stoga nije teško zaključiti da su potrebne hitne mjere kako bi se ostvarili ti visoko zadani ciljevi [5]. Procjene su da je za ostvarenje navedenih ciljeva potrebno izgraditi do 5000 novih postrojenja ili nadograditi postojeća bioplinska postrojenja kako bi se ostvario navedeni cilj [6].

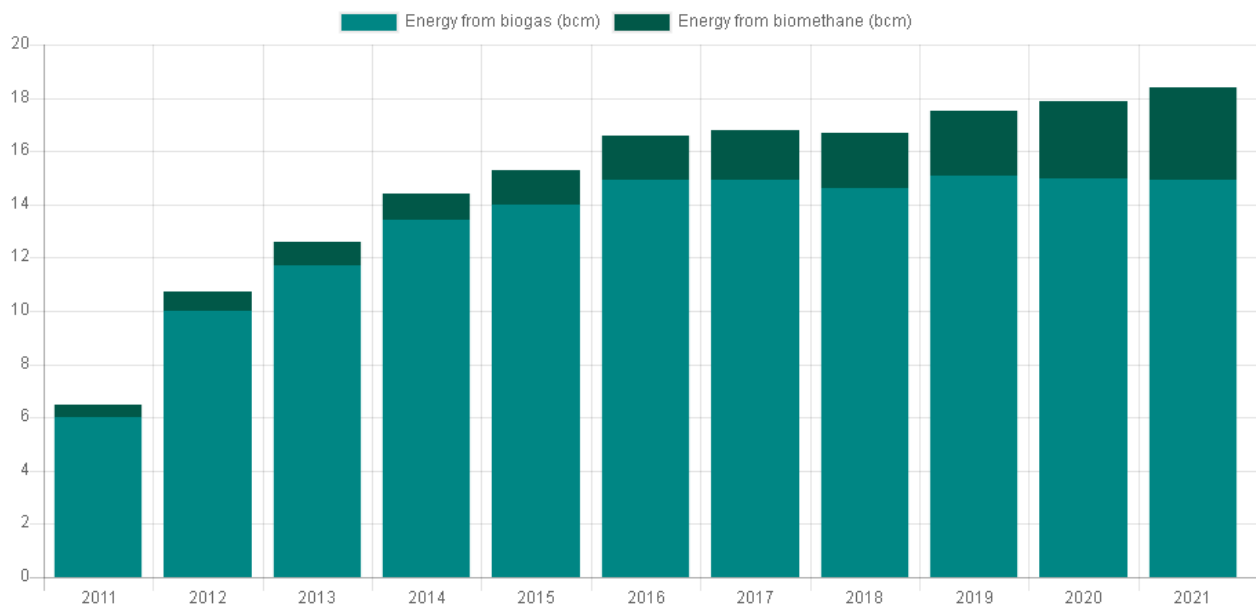
Prema podacima iz 2023. godine u Europi su aktivna bila 1322 biometanska postrojenja i to predstavlja porast od gotovo 30 % u odnosu na 2021. godinu, točnije u periodu od dvije godine otvorena su nova 299 proizvodna postrojenja [5]. Tako je broj postrojenja u Europi rastao s 483 u 2018., na 729 u 2020. te 1023 u 2021. godini. Zemlje koje su imale najveći porast proizvodnje u 2021. godini su Francuska (2130 GWh), Danska (1642 GWh) i Njemačka (1553 GWh) [7]. Na slici 1 nalazi se prikaz svih biometanskih postrojenja u Europi koja su danas aktivna.





Slika 1: Prikaz svih biometanskih postrojenja u Europi [8]

Čak ni uz značajan porast u zadnjih nekoliko godina, proizvodnja nije ni blizu dovoljna da se zadovolje ciljevi koje si je zadala EU. Važno je dodatno poticati rasprave na ovu temu kako bi porast proizvodnje bio još snažniji. Posebno je važno dodatno poticati , postrojenja koja trenutno proizvode bioplina, na dodatna ulaganja i tranziciju prema proizvodnji biometana.



Slika 2: Proizvodnja bioplina i biometana u Europi [5]

Kao pozitivan primjer koji može biti uzor Hrvatskoj za povećanje proizvodnje biometana možemo uzeti Njemačku. Godinama najveći proizvođač u Europi, trenutno oko dvjestotinjak postrojenja u Njemačkoj proizvode i utiskuju biometan u njihov plinski sustav[5]. Za razliku od ostalih država, Njemačka ne koristi „Feed-in“ tarife kojima bi poticala proizvodnju biometana i učinila ga konkurentnijim na tržištu. Umjesto toga oni koriste indirektnu sustave potpora te obaveze distributera plina o udjelima biometana u prirodnom plinu koji se prodaje kupcima na tržištu [9].

Jedna od najvažnijih politika koja je dovela do velikog porasta proizvodnje biometana u Njemačkoj je priključivanje biometanskih postrojenja na postojeće plinske sustave [9]. Postavljen je temelj o podjeli troškova priključka na mrežu između operatora plinske mreže i proizvođača biometana. Operator plinske mreže dužan je sufinancirati troškove priključivanja biometanskog postrojenja na plinsku mrežu u iznosu do 75 % investicije, s maksimalnim iznosom subvencije od 250000 € [9].

Druga ključna politika je osigurati da sav biometan proizveden bude integriran u plinsku mrežu. To se postiže davanjem prioritetnog statusa biometanu, što znači da uvijek može biti utisnut u plinsku mrežu i ima prednost u odnosu na prirodni plin [9]. Ukoliko trenutna proizvodnja biometana premašuje potrebu, operator plinske mreže je dužan smanjiti dopremu prirodnog plina kako bi omogućio veći prijenos biometana.

Kada govorimo o konkretnim financijskim poticajima u Njemačkoj oni su bili najsnažniji u periodu od 2004. do 2014. godine, što je dovelo do velikog porasta proizvodnje biometana [9]. Subvencije su se dodjeljivale za biometan koji se koristio za proizvodnju električne energije. U tom razdoblju subvencije su se davale temeljem veličine postrojenja. Tako su za postrojenja koja su proizvodila do 350 metara kubnih biometana na sata subvencije iznosile otprilike 23 centa po kWh<sub>el</sub> [9]. Dok su za postrojenja s proizvodnjom do 700 metara kubnih biometan na sat subvencije iznosile 21 cent po kWh<sub>el</sub>. Te subvencije su se izdavale do 2014. godine s rokom trajanja od 10 godina nakon

izdavanja [9]. Danas se Njemačka okrenula drugim metodama kao bi učinila biometana povoljnijim na tržištu. Financijsko poticanje se danas postiže snižavanjem stope poreza koji se plaća na prodanu električnu energiju proizvedenu iz biometana u usporedbi s električnom energijom dobivenom iz prirodnog plina. Druga važna metoda kojom se koristi država je povećanje cijene trgovanja emisijama ugljika te smanjenjem dopuštenih kvota za njegovo emitiranje. Budući da se biometan računa kao obnovljivi izvor energije supstituiranjem dijela prirodnog plina biometanom moguće je smanjiti emisije koje se postižu u proizvodnom procesu [9].

## 2.4 Biometan u Hrvatskoj

U Hrvatskoj, do sada biometan nije bio u fokusu kada su u pitanju obnovljivi izvori energije. To je čist i obnovljiv izvor energije koji može biti ključni dio energetske portfelja Hrvatske. Međutim, trenutno u Hrvatskoj ne postoji niti jedno postrojenje za preradu bioplina u biometan, a to predstavlja veliki problem i priliku koja se ne koristi.

Iako postoje bioplinska postrojenja u Hrvatskoj, podaci iz 2022. godine pokazuju da u su u Hrvatskoj bilo aktivno 41 bioplinskih postrojenja koja su proizvodila električnu energiju i tu energiju prodavala na tržištu. Ukupno je bilo 53,03 MW instalirane snage u tim postrojenjima [10]. Međutim, nijedno od tih bioplinskih postrojenja nije bilo usmjereno na proizvodnju biometana. Ova situacija odražava propuštenu priliku za korištenje potencijala biometana kao obnovljivog izvora energije u Hrvatskoj.

Da bi se potaknula proizvodnja biometana u Hrvatskoj, država treba uspostaviti regulativu i poticaje koji će podržati izgradnju biometanskih postrojenja te prenamjenu postojećih bioplinskih u biometanska postrojenja. To uključuje financijske poticaje, porezne olakšice i regulatorni okvir koji će olakšati investicije u ovu održivu tehnologiju. Proizvodnja biometana može biti ključna za energetske tranziciju Hrvatske prema održivijoj budućnosti. Potrebno je uložiti napore kako bi se potaknuo razvoj biometanske industrije i iskoristio bogat potencijal koji organski otpad nudi kao izvor obnovljive energije.

Prema nacrtu „Energetske razvojne strategije“, koji je prezentiran 2020. godine, a u kojem se navodi strategija energetske razvoja Hrvatske u razdoblju od 2030. do 2050. godine, biometan se vrlo malo spominje te se uglavnom navodi kao dio prirodnog plina. Općenito govoreći, prema prijedlogu strategije, biometan će se koristiti, [11]no nije jasno definirano kada, gdje ili koja je ekonomska osnova za njegovu širu implementaciju [11]. Jedino je jasno da je prema smjernicama biometan dio plana diverzifikacije plinskih izvora u Hrvatskoj te da bi se trebao koristiti kao zamjena za dio prirodnog plina [12].

Jedan od glavnih problema ove strategije je nedostatak konkretnih mjera usmjerenih na poticanje proizvodnje biometana. Dok se spominje biometan kao zamjena jednog djela prirodnog plina, nedostaje precizno definirani plan koji bi poticao razvoj i proizvodnju biometana kao obnovljivog izvora energije. Ovo ostavlja prostora za neizvjesnost i može smanjiti poticaj za ulaganje u ovu održivu tehnologiju [11].

Drugi značajan nedostatak strategije je odsustvo jasnih smjernica za izgradnju potrebne infrastrukture za integraciju biometana u plinsku mrežu. Biometan, kao čist i obnovljiv izvor

energije, ima potencijal da značajno doprinese smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećava energetska neovisnost zemlje. Međutim, nedostatak specifičnih planova za izgradnju i razvoj infrastrukture, uključujući mreže za prikupljanje bioplina i postrojenja za pročišćavanje, čini teškim ostvarivanje tog potencijala.

## 2.5 Poticaji za širenje proizvodnje biometana

Kako bi se u Hrvatskoj potaklo ulaganje u proizvodnju i distribuciju biometana potreban je sustav mjera kojima bi se stimulirao ulaganje. Brojne države u Europi već danas imaju programe kojima stimuliraju ulaganje i širenje korištenje biometana kao alternativnog obnovljivog izvora energije. Za primjer Hrvatskoj, prezentirat ćemo neke od ključnih mjera kojima se države služe za poticanje proizvodnje i distribucije biometana.

- Feed in tarife i premije

Feed-in tarifa za biometan predstavlja regulatorni mehanizam kojim se potiče proizvodnja, distribucija i upotreba biometana, koji se naknadno može utiskivati i u plinsku mrežu. Radi se o obliku poticaja koji se nudi proizvođačima biometana kako bi se potaknula njihova proizvodnja. Ova tarifa uključuje fiksnu cijenu po jedinici proizvedenog biometana (npr. €/MWh), koja je obično garantirana tijekom određenog vremenskog razdoblja, na primjer, 15 godina. To daje proizvođačima financijsku sigurnost i potiče ih da ulažu u proizvodnju biometana.

Također se koriste i „Feed-in“ premije. Ključna prednost korištenja „Feed-in“ premija je mogućnost da proizvođači biometana iskoriste mogući porast cijena na tržištu prirodnog plina. Primjer su tržišne premije u Italiji koje su stupile na snagu 2022. godine. Talijanskim pravilnikom je definirana zajamčena cijena po kojoj se prodaje biometan i ona iznosi od 110 € do 115 € po MWh, ovisno o veličini postrojenja. Premija se isplaćuje kao razlika između navedene visine naknade i trenutne cijene prirodnog plina na tržištu. Ukoliko su cijene plina više, proizvođači biometana mogu ostvariti dodatnu zaradu. Uz napomenu da za svaki € koji zarade iznad 110 € odnosno 115 €/MWh plaćaju naknadu, koja iznosi postotak dodatne zarade [13].

- Prioritetni status

Prioritetni status biometana u plinskoj mreži predstavlja posebno priznanje i podršku koju ovaj obnovljivi plin dobiva u energetskom sektoru. Ovaj status omogućava biometanu prednost u pristupu i korištenju plinske infrastrukture. Pojednostavljeno, ukoliko u istom trenutku u mrežu možemo utisnuti samo biometan ili prirodni plin prednost se dodjeljuje biometanu te se on utiskuje u mrežu [9]. Time se osigurava da se sav proizvedeni biometan proda na tržištu i potiče se njegovo daljnje širenje. Uključivanjem biometana u plinsku mrežu postiže se veća raznolikost u izvorima energije te smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i pomaže u osiguranju stabilnosti opskrbe energijom.

- Kvota

Sustav kvota kojima se definira odnos biometana u plinskoj mreži je regulatorni mehanizam koji se koristi kako bi se potaknula proizvodnja i upotreba biometana. Ovaj sustav kvota postavlja obvezujuće ciljeve za postotak biometana koji se mora utiskivati u plinsku mrežu ili koristiti kao obnovljivi plin u određenim sektorima kao što su transport, industrija i grijanje. Vlasti ili

regulatorna tijela postavljaju ciljeve za postotak biometana koji se mora koristiti u plinskoj mreži ili u određenim sektorima. Ovi ciljevi često se postavljaju kao postotak ukupne potrošnje plina ili goriva u određenom razdoblju, na primjer, 20% biometana do određene godine u plinskoj mreži. Sustav kvota obično postavlja obvezujuće kvote za distributere plina i proizvođače biometana. Distributeri moraju osigurati da određeni postotak plina u njihovoj mreži bude biometan, dok proizvođači biometana moraju proizvesti dovoljnu količinu kako bi ispunili kvote. Distributeri i proizvođači suočavaju se s kaznama ako ne ispune svoje kvote, dok se mogu nagrađivati ako premaše ciljeve. To stvara financijski poticaj za ispunjavanje kvota za biometan.

- Poticaji za investiranje

Poticaji za ulaganje u biometan igraju ključnu ulogu u promicanju održivih energetskih izvora, smanjenju emisije stakleničkih plinova i poticanju ekonomske održivosti. Mnoge vlade i regulatorna tijela nude financijske poticaje za tvrtke koje ulažu u proizvodnju biometana. To može uključivati subvencije, povlastice za oporezivanje dobiti, poticaje za kapitalne investicije i druge financijske olakšice koje smanjuju troškove ulaganja. U nekim slučajevima, vlade ili financijske institucije nude garancije za povrat investicija kako bi privukle investitore u projekte biometana. Ove garancije osiguravaju da će investitori dobiti određeni povrat na svoj kapital, čime se smanjuje rizik ulaganja [13].

- Porezne olakšice

Porezne olakšice predstavljaju posebne povlastice ili olakšice koje država pruža poreznim obveznicima u cilju promocije određenih aktivnosti ili sektora ekonomije. One se često koriste kako bi potaknule investicije, inovacije ili održivu praksu. U kontekstu proizvodnje i utiskivanja biometana u plinsku mrežu, porezne olakšice igraju ključnu ulogu u podršci povećanja proizvodnje biometana i njegovog korištenja kao supstituta za prirodni plin. Porezne olakšice često omogućuju smanjenje poreza na dobit za tvrtke koje se bave proizvodnjom biometana. Države nude olakšice za tvrtke koje ulažu u infrastrukturu potrebnu za proizvodnju i transport biometana do plinske mreže. To može uključivati smanjenje poreza na kapitalne dobitke ili druge povlastice za ulaganje u postrojenja za proizvodnju i distribuciju biometana.

Tablica 1 prikazuje kojim skupinama mjera se koriste pojedine zemlje u Europi za podupiranje proizvodnje biometana. Ključno je uvidjeti koji su dobri primjeri iz zemalja koje su već implementirale metode potpore te na temelju toga odabrati one koji bi najsjajnije potaknule proizvodnju biometana u Hrvatskoj.

Tablica 1: Mjere kojima Europske države podupiru biometan [9], [13]

Europska država	Prioritetni status	„Feed-in“ tarife	Kvote	Poticaji za investiranje	Porezne olakšice	„Feed-in“ premije
Njemačka	*		*			
Austrija	*	*	*			
Danska		*	*	*	*	
Finska			*	*	*	
Francuska	*	*	*	*	*	
Italija	*	*	*	*		
Norveška				*	*	
Velika Britanija		*	*		*	
Švedska		*	*	*	*	
Švicarska		*	*	*		
Luksemburg	*	*		*		
Italija		*		*		*

### 3. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE BIOMETANA

U sklopu plan Europske unije o postizanju klimatske neutralnosti do 2050. godine važno je drastično smanjiti potrošnju svih ugljikovodika koji su fosilnog porijekla. Prirodni plin, koji se pretežito sastoji od metana, jedan je od najvažnijih fosilnih goriva na svijetu. Njegovim izgaranjem emitiraju se velike količine stakleničkih plinova stoga su potrebne alternative njegovoj upotrebi, a kao najpovoljnija zamjena nameće se korištenje bioplina, odnosno kasnijom pretvorbom biometan, koji se dobiva iz organskih ostataka. Bioplin je obnovljiv izvor energije koji se proizvodi putem procesa anaerobne digestije iz biološkog materijala. Ovaj proces omogućuje pretvaranje organske tvari u metan ( $\text{CH}_4$ ) i ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), uz manje količine drugih plinova kao što su vodik ( $\text{H}_2$ ), sumporovodik ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonijak ( $\text{NH}_3$ ) i kisik ( $\text{O}_2$ ).

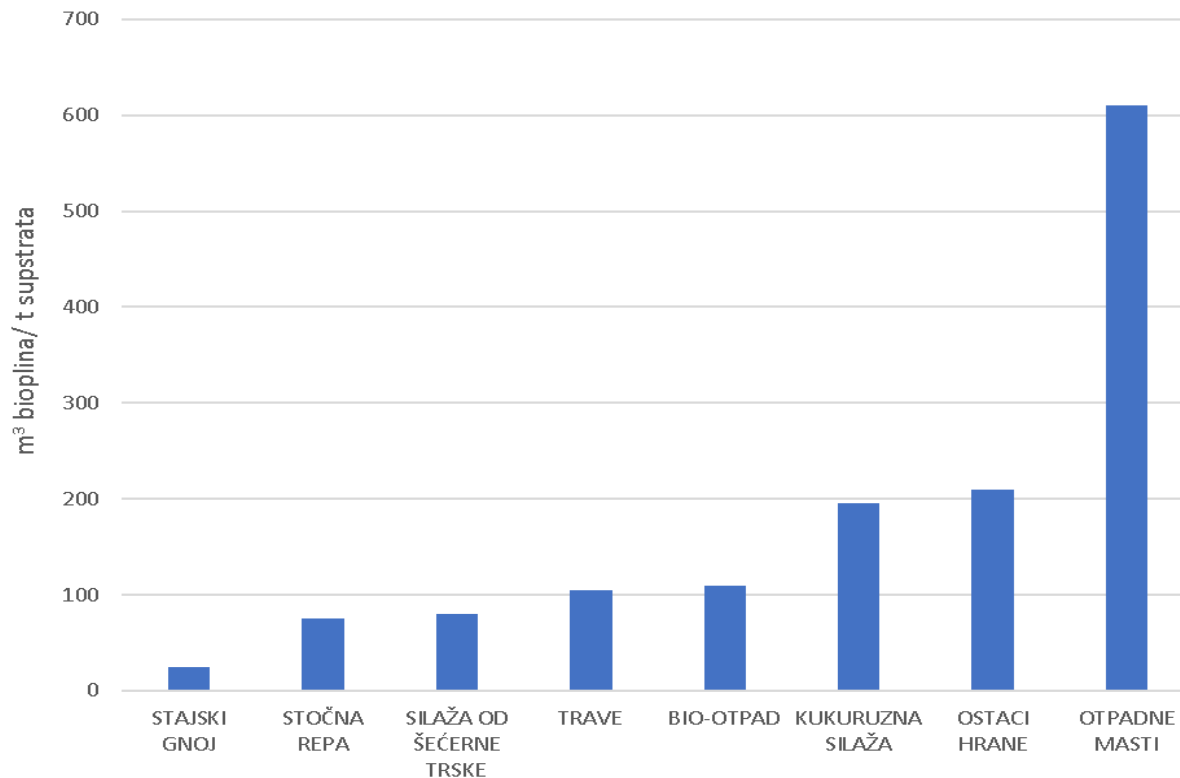
#### 3.1 Postupak proizvodnje bioplina

Prvi korak u procesu proizvodnje bioplina je sakupljanje biološkog materijala podobnog za anaerobnu fermentaciju. Važno je shvatiti da ne mogu svi biološki materijali biti korisni za ovu tehniku. U stvarnosti, postoje specifični zahtjevi i ograničenja na vrste materijala koji se mogu uspješno koristiti u anaerobnoj digestiji. Jedno od ključnih ograničenja je prisutnost celuloze u materijalu. Celuloza je složeni polisaharid prisutan u staničnim stijenkama biljaka, iako se radi o biološki materijalu, celulozu je teže razgraditi u procesu anaerobne fermentacije. Celuloza zahtijeva posebne enzime i uvjete kako bi se razgradila u biometan, a neki organizmi prisutni u anaerobnoj digestiji ne mogu učinkovito razbiti ovu tvar [14]. Osim toga, važno je paziti na to da biološki materijal koji se koristi u anaerobnoj digestiji nije bio tretiran pesticidima ili drugim kemikalijama koje bi mogle usporiti ili čak zaustaviti proces anaerobne fermentacije. Kemikalije poput pesticida mogu inhibirati aktivnost mikroorganizama u digestoru i ometati normalni tijek razgradnje organskog materijala [15]. Također, često je preferirano koristiti biološke materijale koji se inače ne koriste za prehranu ljudi ili životinja. Ovime se ostvaruju dodatne ekološke koristi, jer se otpadni materijali pretvaraju u vrijednu energiju umjesto da završe na odlagalištima ili u drugim oblicima nepotrebnog otpada.

Najvažniji supstrati koji se koriste u proizvodnji bioplina su [16]:

- Stajski gnoj
- Silaža od kukuruza, šećerne repe
- Bio-otpada
- Otpadne masti

Na slici 3, prikazani su supstrati u proizvodnji bioplina prema količini bioplina koja se dobije iz jedne tone supstrata u reaktoru za anaerobnu digestiju.



Slika 3: Specifični volumen dobivenog bioplina ovisno o supstratu [16]

Sakupljeni materijal se ubacuje u anaerobni digester ili bioplinski reaktor. U ovom reaktoru mikroorganizmi, obično bakterije, razgrađuju organsku tvar. Tijekom ovog procesa, proizvode se metan i ugljikov dioksid kao glavni plinovi. Proces čine niz biokemijskih reakcija koje se odvijaju u stanicama različitih mikroorganizama, a pojednostavljeno se može podijeliti u četiri faze: hidrolizu, acidogenezu, acetogenezu i metanogenezu [17].

Nakon fermentacije, bioplin se često mora proći kroz procese purifikacije kako bi se uklonile nečistoće poput H<sub>2</sub>S i drugih neželjenih plinova. Bioplin se zatim stlačuje i skladišti u spremnicima ili cjevovodima [18].

Sastav bioplina varira ovisno o sirovini koja se koristi za njegovu proizvodnju i procesima purifikacije. Međutim, uobičajeni sastav bioplina uključuje: Metan, ugljikov dioksid, vodena para, kisik, dušik, vodik, sumporovodik, amonijak [18].

Metan (CH<sub>4</sub>) je glavni sastojak bioplina i obično čini više od 45 % (do 75 %) njegove ukupne mase [19]. Ima visoki sadržaj energije po masi, što znači da može osigurati značajne količine energije pri relativno maloj masi goriva. Donja ogrjevna vrijednost metana iznosi otprilike 50 megadžula (MJ) po kilogramu. To je gorivo koje se koristi za proizvodnju toplinske i električne energije. Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) je nusproizvod fermentacije i obično čini značajan dio bioplina, često između 30 % i 50 % [19]. Vodik (H<sub>2</sub>) je prisutan u manjim količinama, obično manje od 5 %. Može se koristiti kao gorivo ili sirovina za kemijske procese. Sumporovodik (H<sub>2</sub>S) i amonijak (NH<sub>3</sub>) [9], ovi plinovi su često prisutni u tragovima u bioplinu i moraju se ukloniti tijekom procesa



purifikacije zbog svoje štetnosti i mogućih problema s opremom koje može uzrokovati njihova prisutnost.

Bioplin je važan izvor obnovljive energije jer pomaže smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima, smanjuje emisije stakleničkih plinova i promiče održivost u poljoprivredi i u postupanjima s otpadom.

Danas se uglavnom, bioplin dobiven iz procesa anaerobne digestije koristi na dva načina. Bioplin se može upotrebljavati direktnim izgaranjem za proizvodnju električne energije u plinskim motorima ili u kogeneracijskim postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije. Druga opcija je daljnja obrada dobivenog bioplina kako bi se dobio što čišći metan. Taj metan dobiven nakon obrade bioplina naziva se biometan i može se koristiti na identičan način kao i prirodni plin.

Slika 4 prikazuje kogeneracijsko postrojenje koje koristi bioplin. Postrojenje sa slike izgrađeno je 2020. godine i smješteno je u Pisarovini. Ovo postrojenje koristi kao supstrat kombinaciju gnojovke i silaže, pretežito se radi o kukuruznoj silaži. Iako bi u idealnom scenariju željeli isključiti silažu kao supstrat iz proizvodnog procesa, ovaj projekt već sada pruža značajne koristi. Korištenjem bioloških ostataka kao goriva, postrojenje proizvodi električnu energiju koja se može ponuditi na tržištu i toplinsku energiju koja se pametno koristi za grijanje plastenika u neposrednoj blizini postrojenja.



Slika 4: Bioplinско postrojenje u Pisarovini ( $1.5 \text{ MW}_{\text{el}}$  i  $1.5 \text{ MW}_{\text{top}}$ ) [20]

### 3.2 Biometan

Dobivanje biometana iz bioplina, također poznato kao pročišćavanje bioplina (biogas upgrading ili methane enrichment), proces je koji se koristi za poboljšanje kvalitete bioplina i konverziju u njegovu glavnu komponentu, gotovo čisti metan ( $\text{CH}_4$ ), čineći ga pogodnim za različite primjene kao obnovljivo gorivo [21]. Proizvedeni bioplin sadrži više plinova osim metana, uključujući ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonijak ( $\text{NH}_3$ ) i druge nečistoće. Pročišćavanje bioplina je ključni korak kako bi se uklonile ove nečistoće i poboljšala njegova čistoća i energetska vrijednost. Postupci pročišćavanja uključuju:

Desulfurizacija, to je jedan od najvažnijih koraka u procesu čišćenja bioplina. Uklanjanje sumpora iz bioplina je iznimno važno. Ukoliko se ne ukloni, sumpor može stvoriti velike probleme zbog svojih korozivnih svojstva [9]. U bioplinu nastaje vodikov sulfid koji uzrokuje koroziju na ugljičnim čelicima koji se nalaze u plinskim postrojenjima i značajno smanjuje životni vijek postrojenja. Postoje biološki postupci uklanjanja sumpora, najčešće se radi o ubacivanju struje čistog kisika u bioplin. Također mogući su i kemijski postupci čišćenja uz pomoć željeznog hidroksida ili drugih željeznih soli [9].

Drugi važni korak je sušenje, vlaga koja se nalazi u bioplinu može biti opasna za opremu u plinskim postrojenjima [9]. Vlaga pospješuje proces korozije i tako oštećuje opremu stoga je važno da se iz bioplina u procesu sušenja ekstrahira vlaga [22]. Najčešći postupak kojim se vlaga eliminira iz bioplina je hlađenjem, bioplin se ohladi na temperaturu rosišta u ovisnosti o sadržaju vlage unutar bioplina. Pri temperaturi rosišta dolazi do kondenzacije vlage koja se nalazi u bioplinu te kondenzat ostaje na stjenkama cijevi u kojima se odvija proces hlađenja [9].

### 3.3 Postupci „Biogas upgrading-a“

Zadnji i najvažniji korak procesa je pročišćavanje bioplina („biogas upgrading“), odnosno eliminiranje ugljikovog dioksida iz bioplina. Da bi se biometan mogao koristiti kao zamjena za prirodni plin unutar plinske mreže potrebno je povećati udio metana na razinu iznad 90 % [9]. Za to je najvažnije drastično smanjiti koncentraciju ugljikova dioksida koja nastaje u procesu anaerobne digestije. Za taj postupak koriste se neke od sljedeće navedenih metoda:

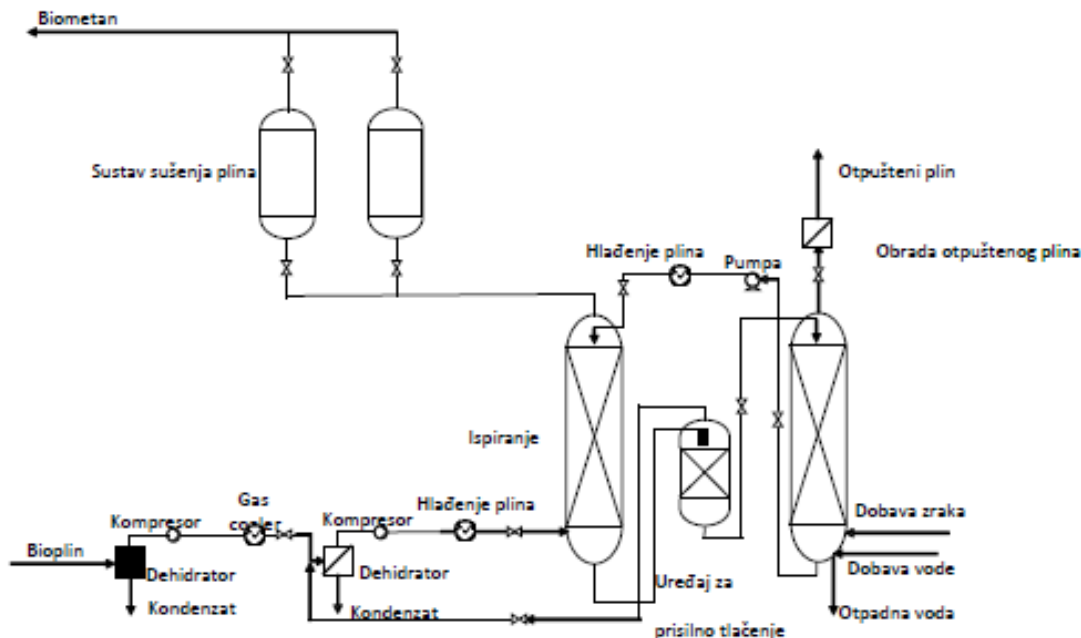


Slika 5: Postrojenje za pročišćivanje bioplina uz pomoć PSA tehnologije [23]

### 3.3.1 Fizikalni proces ispiranja vodom poznatiji kao „Scrubbing“

Ovo je najčešće korištena metoda za dobivanje biometana iz bioplina danas. U ovom postupku izdvajanje  $\text{CO}_2$  se temelji na Henryevom zakonu prema kojem se ugljikov dioksid bolje otapa od metana u vodi. Dobiveni bioplin u struji prolazi kroz kontra struju vodene otopine u kojoj se izdvaja ugljikov dioksid. Izdvajanjem ugljikova dioksida dobiva se biometan visoke kvalitete. Tekućina koja apsorbira ugljikov dioksid je uglavnom voda, ponekad se koristi i polietilen glikol kao dodatak ili kao jedini sastojak otopine [24].

Prednosti ovog procesa su njegova jednostavnost i jako visok udio metana u konačno dobivenom biometanu. Dolazi do malog gubitka metana u procesu te nisu potrebna velika sredstva za održavanje i pokretanje ovog procesa. S druge strane, nedostaci su velika potrošnja vode i visoki troškovi za energiju. Uz to postoji i šansa za biološko zagađenje te je potrebno konstantno dovođenje topline za ovaj proces [24]. Na slici 6 je prikazana shema postrojenja za pročišćavanje bioplina koja koristi tehnologiju ispiranja vodom.

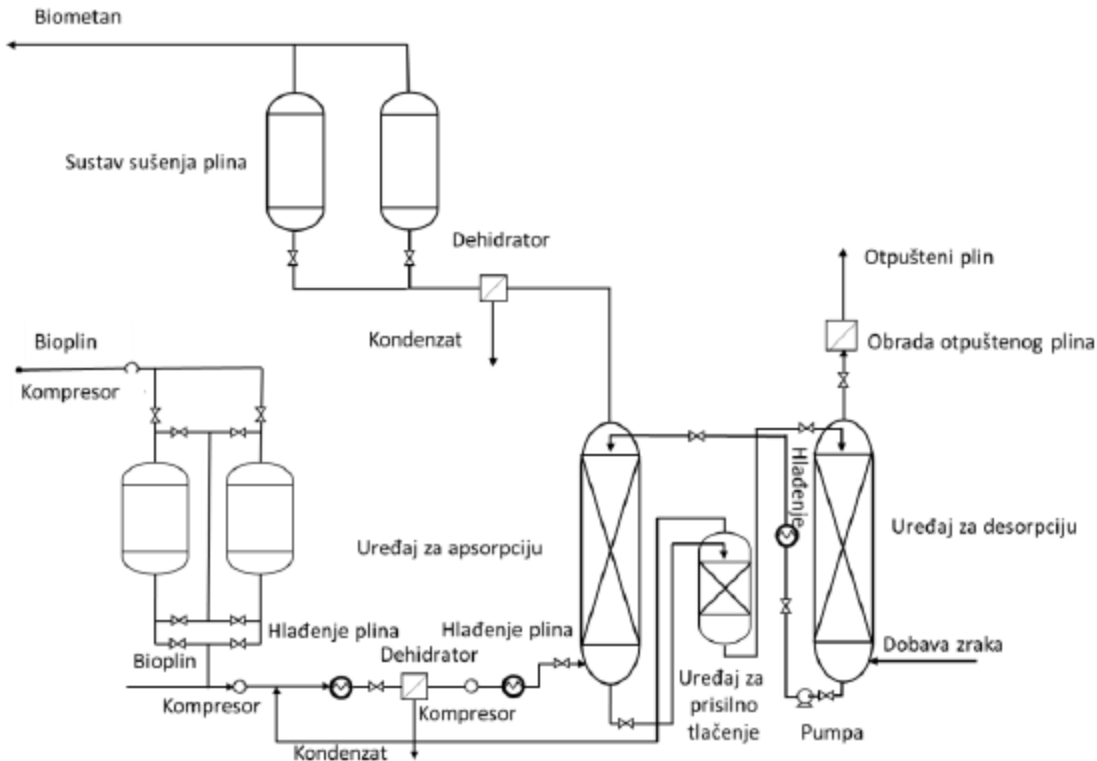


Slika 6: Shema postrojenja za ispiranje vodom [25]

### 3.3.2 Fizikalna apsorpcija korištenjem organskog otapala

Ovaj postupak ispiranja, temelji se na većoj reaktivnosti ugljikovog dioksida u odnosu na metan. Bioplin se u struju provodi kroz struju kemijske smjese. Reakcijom između ugljikova dioksida i kemijske otopine dolazi do apsorbaranja ugljikova dioksida te na taj način iz bioplina dobivamo biometan visoke čistoće. Reaktivnost između ugljikova dioksida i kemijske otopine proporcionalna je temperaturi u samom trenutku njihova kontakta. Za kemijske otopine koristi se monoetanolamin (MEA) ili dimonoetanolamin (DMEA) [24]. Uz to mogu se koristiti i druge alkalijske otopine za anorgansko otapanje. Različite otopine dovode i do različitog sadržaja metana u konačnom proizvodu.

Prednosti ovakvog postupka su veće količine apsorbaranog ugljikovog dioksida po volumenu otopine u usporedbi s postupkom ispiranja vodom te mogućnost dobivanja biometana s visokim udjelom  $\text{CH}_4$  uz male gubitke. Također se radi o bržem postupku zbog veće reaktivnosti samog procesa u odnosu na postupak s vodom. Glavni minus ovog procesa su visoki energetska zahtjevi, potreba za prethodnom obradom samog otapala i problemi u korištenju otopine u usporedbi s vodenom otopinom iz prvog postupka. Zbog toga je postupak ispiranja u kojem se koristi voda rašireniji i češće korišten postupak [24]. Na slici 7 se nalazi shema postrojenja koje koristi organsko otapalo za ispiranje bioplina.

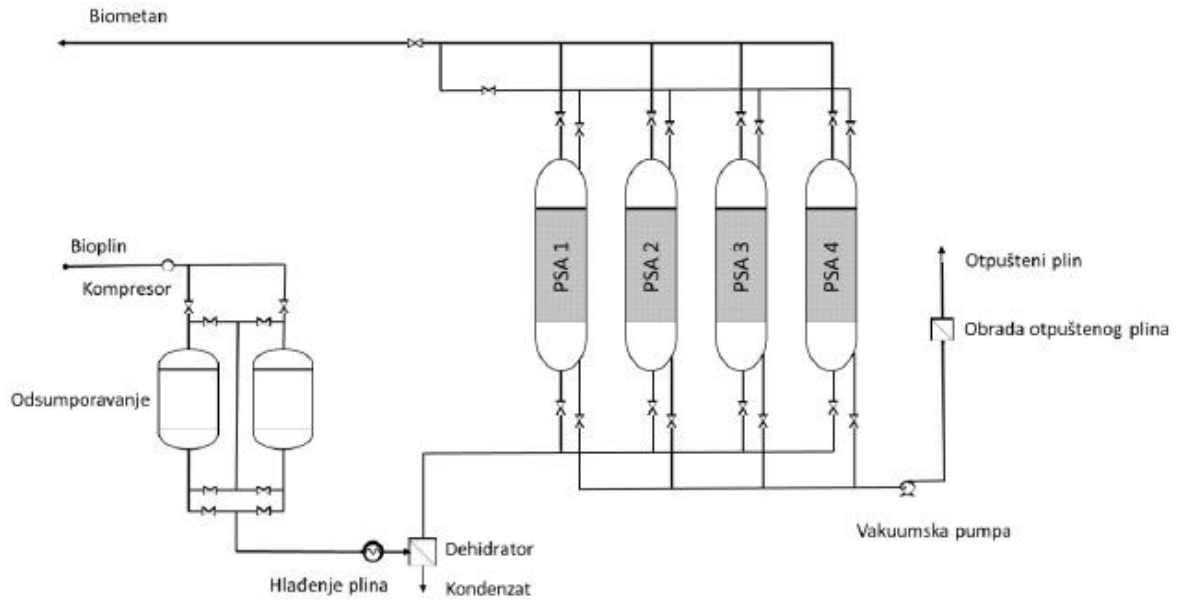


Slika 7: Shema postrojenja za fizikalnu apsorpciju korištenjem organskog otapala [25]

### 3.3.3 Postupak adsorpcije s varijacijama tlaka (PSA)

Postupak adsorpcije s varijacijama tlaka, temelji se na apsorpciji ugljikovog dioksida na površini pod utjecajem van der Waals-ovih sila [24]. Porast tlaka dovodi do apsorpcije plinova, stoga je za uspješnost ovog procesa potrebno povisiti tlak struj bioplina, za što se koriste značajne količine električne energije. Postupak se sastoji se od četiri koraka: adsorpcija, spuštanje tlaka, deapsorpcija i povišenje tlaka. Adsorpcija može biti uzrokovana pomoću tri metode: porastom tlaka, porastom temperature ili korištenjem električnog luka. Ovakav postupak pročišćivanja bioplina troši u prosjeku oko  $0.24 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^3_{\text{bioplina}}$  [26].

Prednosti ove metode su visoki udio metana u biometanu koji se dobije u ovom postupkom te maleni gubici metana u procesu. Također, za razliku od prve dvije metode ovdje se radi o suhoj metodi, odnosno ne koristi se nikakva tekućina za ispiranje. Ne koriste se niti kemikalije u samom postupku, što ima pozitivan utjecaj na okoliš. Problem ovog postupka je njegova složenost i potreba za prethodnom obradom. Za dobivanje najboljih konačnih rezultata u procesu se mora koristiti nekoliko struja bioplina što čitavi proces poskupljuje [24]. Shema postrojenja prikazana je na slici 8.

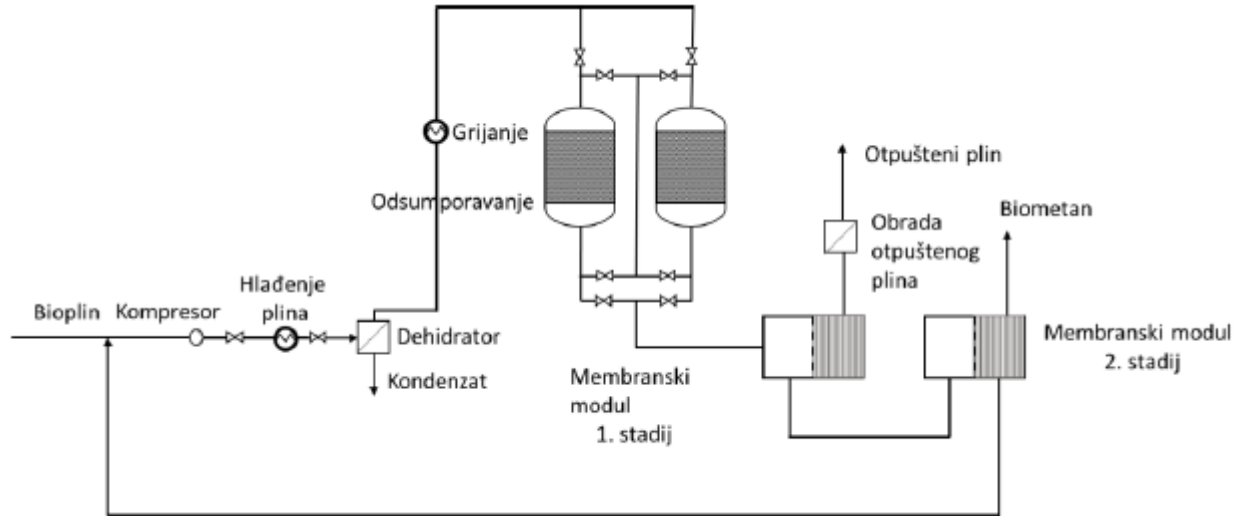


Slika 8: Shema postrojenja za postupak adsorpcije s varijacijama tlaka[25]

### 3.3.4 Postupak temeljen na membranskoj separaciji

Ovaj postupak se temelji na korištenju određenih materijala kao polupropusne membrane, ključ uspjeha postupka su svojstva membrane. Prije prolaska kroz membranu potrebno je izdvojiti  $H_2S$  iz bioplina i bioplinu povisiti tlak, nakon čega struja bioplina prolazi kroz polupropusnu membranu i iz nje se izdvajaju plinovi, prvenstveno ugljikov dioksid. Membrane su obično izrađene od poliamidnih vlakana ili od celuloznog materijala [24].

Prednosti ovog postupka je njegov nizak trošak i jednostavnost samog postupka. Također, ovaj postupak se smatra i vrlo ekološki prihvatljivim budući da se troši vrlo malo energije i postoje minimalni rizici od ekološkog zagađenja. Glavni nedostatak je slaba separacija plinova na membrani, dobiva se biometan s nižim udjelom metan te zbog toga se ne može koristiti na jedan način kao biometan iz ostalih postupaka [24]. Na slici 9 se nalazi shema jednog tipičnog postrojenja koje koristi polupropusnu membranu za izdvajanje ugljikovog dioksida iz bioplina.



Slika 9: Shema postrojenja za membransku separaciju[25]

### 3.3.5 Postupak temeljen na različitim temperaturama isparavanja

Različiti plinovi koji se nalaze unutar bioplina imaju različite temperature pri kojima mijenjaju agregatna stanja. Temperatura isparavanja ugljikova dioksida je viša u odnosu na metan, ta činjenica omogućuje njihovu separaciju. Biometan se proizvodi postepenim snižavanjem temperature bioplina te izdvajanjem tekućeg ugljikova dioksida. Za provođenje ovog postupka koristi se rashladni uređaj koji ima mogućnost spuštavanja temperature do vrijednosti isparavanja ugljikova dioksida od  $-78\text{ °C}$  [24].

Prednosti ovog postupka je dobivanje biometana vrlo visoke kvalitete s minimalnim gubicima metana u procesu. Postupak je vrlo ekološki prihvatljiv, nije potrebno korištenje vode te postoje minimalne šanse od zagađenja okoliša. Glavni nedostatak je iznimno visoka potrošnja energije u ovom postupku. Također, potrebni su visoki investicijski troškovi za postavljanje postrojenja koje je u mogućnosti hladiti velike količine bioplina na tako nisku temperaturu u kratkom roku. Ova tehnologija još nije u širokoj primjeni te se dodatno radi na njezinom unaprjeđenju kako bi postala komercijalno isplativa i kako bi se snizili troškovi energije u procesu [24].

### 3.4 Utiskivanje biometana u plinsku mrežu

Nakon postupka „biogas upgrading“ dobiva se plin sa sadržajem metana koji je gotovo identičan onome koji se nalazi u prirodnom plinu. Postoje dvije glavne opcije za postupanjem s dobivenim biometanom. Može se iskoristiti na mjestu svoje proizvodnje u procesu za koji je potrebno imati plin s visokim udjelom metana ili ga se može koristiti kao supstitut za prirodni plin. Primjer zamjene prirodnog plina biometanom je korištenje biometana za pogon autobusa koji koriste stlačeni prirodni plin kao pogonsko gorivo [27]. Ipak, većina biometana koji se proizvede trebala bi se koristiti u kao supstitut za prirodni plin u plinskoj mreži. Utiskivanjem biometana u plinsku

mrežu moguće je supstituirati značajnu količinu prirodnog plina i time drastično smanjiti utjecaj na klimatske promjene koji je posljedica korištenja prirodnog plina.

Glavne komponente koje služe za utiskivanje biometana i plinsku mrežu su:

- Plinski kromatograf

Plinski kromatograf (PK) je analitički uređaj za razdvajanje i identifikaciju supstanci u plinovima. Uzorak plina, u ovom slučaju biometana, prolazi kroz kolonu s posebnim premazom, gdje se supstance razdvajaju prema svojim karakteristikama. Detektor na kraju kolone bilježi izlazne komponente, a računalo analizira podatke za identifikaciju i određivanje koncentracije supstanci. Ova uređaj se koristi u različitim područjima poput farmaceutske industrije, medicine, ekologije i prehrambene industrije zbog svoje visoke razlučivosti i brzine analize [28].



Slika 10: Plinski kromatograf [29]

- Mjerač protoka

Mjerač protoka je uređaj ili instrument koji se koristi za mjerenje protoka fluida, bilo da se radi o tekućinama, plinovima ili parama. U stanicama koje služe za ubrizgavanje biometana u plinsku mrežu glavnom se radi o mjeračima protoka koji rade na principu mjerenja protoka uz pomoću ultrazvučnih valova ili na principu „Coriolis-ove“ sile [29].



Slika 11: Mjerači protoka u stanicama za ubrizgavanje[29]



- Odorizacijski sustav

Odorizacijski sustav za biometan je uređaj koji dodaje karakterističan miris u biometan kako bi se omogućila detekcija curenja ili problema u distribucijskoj mreži plina. Ovaj uređaj osigurava prepoznatljiv miris plinu, poboljšava sigurnost te omogućuje brzu identifikaciju eventualnih propusta u sustavu. Princip rada odorizacijskog sustava za biometan može uključivati automatsko ili ručno doziranje mirisnih spojeva u plin, ovisno o potrebama i uvjetima sustava. Sustav treba biti dovoljno precizan kako bi se postigla odgovarajuća koncentracija mirisa koja je dovoljna za prepoznavanje, ali ne i preintenzivna. Osim toga, važno je osigurati ravnomjernu distribuciju mirisa kako bi se postigla dosljednost u cijeloj mreži [30].



Slika 12: Odorizacijski sustav[29]

- Tlačna kontrola

Tlačni senzori su skup tehnoloških uređaja i sustava dizajniranih za održavanje i kontrolu tlaka biometana tijekom procesa ubrizgavanja u plinsku distribucijsku mrežu. Ovaj sustav ima ključnu ulogu u osiguravanju stabilnog i sigurnog prijenosa biometana kroz plinsku mrežu. Njegova funkcija uključuje regulaciju tlaka biometana kako bi se održala konzistentna isporuka plina korisnicima, minimizirali rizici curenja ili prekomjernog tlaka te osiguralo ispunjavanje specifičnih tehničkih zahtjeva distribucijskog sustava. Tlačna kontrola obično uključuje regulator tlaka, senzore tlaka, ventile i ponekad automatizirane sustave za kontrolu procesa. Ovi uređaji zajedno rade kako bi održali tlak biometana unutar definiranih granica i prilagodili ga prema potrebama trenutačnih uvjeta u distribucijskoj mreži [29].



Slika 13: Dijelovi tlačne kontrole[29]

Plinske mreže pružaju mogućnosti za pohranu i distribuciju velike količine biometana. Da bi postrojenje za pročišćavanje bioplina spojilo na plinsku mrežu potrebno je da zadovolji određene uvjete. Prvenstveno je potrebno osigurati da je biometan koji se isporučuje jednake kvalitete kao i prirodni plin koji se nalazi u mreži. Države u kojima se danas biometan utiskuje u lokalnu plinsku mrežu definirale su zahtjeve koje treba zadovoljiti biometan kako bi se mogao utisnuti u plinsku mrežu. U tablici 2 definirani su ti zahtjevi u izdvojenim europskim državama. Zahtjevi uključuju postizanje zadane ogrjevne vrijednost, udio metana te definiranje dopuštene visine koncentracije štetnih tvari. Poštivanje zadanih zahtjeva je potrebno da bi se osigura nesmetano iskorištavanje plina bez obzira na udio biometana u plinu koji se u tom trenutku nalazi unutar mreže.

Tablica 2: Zahtjevi za kvalitetu biometana koji se utiskuje u plinsku mrežu[9], [26]

	Švedska	Francuska	Švicarska	Njemačka	Nizozemska	Austrija
Bruto ogrjevna vrijednost (MJ/m <sup>3</sup> )	39.6 - 43	34.2 - 46.1	38.5 – 47.2	30.2 – 47.2	-	38.5 - 46
CH <sub>4</sub> (% vol)	≥ 97	≥ 86	≥ 96	≥ 96	≥ 85	≥ 86
CO <sub>2</sub> (% vol)	≤ 3	≤ 2.5	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 3
O <sub>2</sub> (% vol)	≤ 1	≤ 0.01	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
H <sub>2</sub> (% vol)	≤ 0.5	≤ 6	≤ 4	≤ 5	≤ 0.5	≤ 4
CO (% vol)		≤ 2			≤	
H <sub>2</sub> S (% vol)	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Ukupni sumpor (mg/Nm <sup>3</sup> )	≤ 23	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 16.5	≤ 10
NH <sub>3</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	≤ 20	≤ 3	≤ 20	-	≤ 3	0
H <sub>2</sub> O (mg/Nm <sup>3</sup> )	≤ 3	-	-	-	-	-

### 3.4.1 Kisik u biometanu

Jedan od problema koji se rijetko spominje a predstavlja ozbiljan izazov u primjeni biometana za utiskivanje u mrežu je prisutnost kisika biometanu, koji se potom utiskuje u mrežu i može uzrokovati značajne probleme. Oksigenacija biometana uglavnom nastaje kao posljedica odsumporavanja bioplina u postrojenju za proizvodnju biometana [31]. Ovaj problem, na prvi pogled, može izgledati manje značajan, no njegova prisutnost donosi niz problema koji zahtijevaju pažljivo rješavanje.

Jedan od najvećih problema s prisutnošću kisika u biometanu je što kisik može uzrokovati koroziju i oštećenja unutar plinskih mreža. Kisik reagira s metalima prisutnima u cjevovodima i komponentama za prijenos plina, što može dovesti do stvaranja korozivnih spojeva i smanjenja dugotrajnosti infrastrukture [31]. Osim toga, prisutnost kisika može dovesti do smanjenja energetske vrijednosti biometana, jer kisik smanjuje ogrjevnu vrijednost plina. To znači da bi se za postizanje iste razine energije trebalo prevoziti veće količine biometana, što dovodi do povećanih troškova pri prijenosu i skladištenju. Također smanjene ogrjevne vrijednosti biometana zbog prisutnosti kisika može natjerati proizvođača biometana na trošak dodavanja butana kako bi se postigla odgovarajuća energetska vrijednost plina koji se utiskuje u mrežu [9].

Kisik u biometanu može izazvati probleme prilikom uporabe biometana kao goriva u raznim sektorima. Goriva s visokim sadržajem kisika imaju tendenciju da gore lošije i nečisto, što može dovesti do emisije štetnih plinova i čestica. Također, prisutnost kisika može smanjiti učinkovitost motora i drugih uređaja koji koriste biometan, što smanjuje ekonomske i ekološke koristi korištenja ovog obnovljivog izvora energije [31].

Ukoliko se veća razina kisika pronađe u biometanu moguće ga je eliminirati u jednoj od dvije faze proizvodnje biometana. Moguće ga je eliminirati kad se veće količine biometana nalaze u spremniku za skladištenje ili ga je moguće eliminirati na samom početku u postrojenju gdje se proizvodi. Čišćenje biometana od kisika obavlja se postupkom katalitičkog čišćenja, čiji je glavni problem vrlo visoka cijena. Stoga je ekonomski puno isplativije izbjeći nastajanje kisika nego ga u kasnijem postupku eliminirati [31].

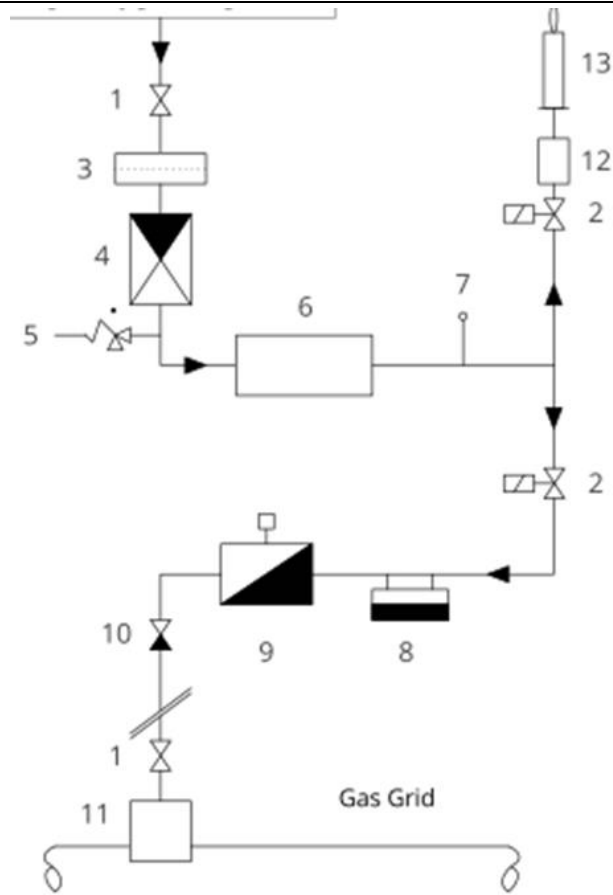
Srećom, gotovo sav kisik koji se može naći u biometanu nastaje tijekom postupka odsumporavanja. Najčešći postupak odsumporavanja je redukcija uz pomoć željeznog klorida te naknadno dodavanje struje čistog kisika i konačni prolazak kroz ugljični filter kojim se uklanja sumpor [31]. Ovaj postupak uzrokuje nastajanje značajne količine kisika koji se kasnije treba eliminirati iz biometana. Prilagodбом postupka moguće je drastično smanjiti količinu nastalog kisika. Dvije su ključne metode kojima se to postiže. Prva je korištenje filtera s aktiviranim ugljikom kojem u svojem djelovanju nije potreban kisik za eliminaciju sumpora. Tako se izbjegava uvođenje struje kisika i sprječava njegova pojava u biometanu [31]. Druga je korištenje eksternog biološkog čišćenja, uglavnom se radi o kemijskom čišćenju s biološkom regeneracijom kako bi se eliminirao sumpor. Prilagodбом standardne metode, korištenjem jedne od gore navedenih modifikacija moguće je gotovo u potpunosti eliminirati nastajanje kisika u procesu odsumporavanja [31]. Osim u postupku odsumporavanja kisik može dospjeti u biometan ukoliko postoji zazor u postrojenju gdje dolazi do prodora kisika iz atmosfere ili može nastati u određenim postupcima „upgradinga“ (uglavnom u procesu ispiranja vodom). Stoga je moguće prilagodбом

tog postupka drastično smanjiti količine kisika i tako zadovoljiti standarde za kvalitetu biometana koji se utiskuje u mrežu [32].

Nakon uklanjanja kisika potrebno je provesti mjerenja kako bi se utvrdilo da biometan zadovoljava sve kriterije postavljene za utiskivanje u mrežu. Ukoliko je biometan zadovoljavajućeg sastava on odlazi na postupak dodavanja mirisa. Kako je prirodni plin (uključujući biometan) plin bez boje i mirisa, prilikom ubrizgavanja u mrežu potrebno je dodavanje odoranata kako bi se što lakše identificirala popuštanja i oštećenja plinske mreže. Time se umanjuje mogućnost nastajanja požara uzrokovanih povišenom koncentracijom metana u zraku unutar prostora. Biometanu se dodaje miris prije ubrizgavanja u mrežu, udio odoranata (80% tetrabutil mercaptan, 20% dimetil sulfid) je oko  $6 \text{ mg/m}^3$ ,  $\pm 2 \text{ mg/m}^3$  [25].

Na kraju, prije samog utiskivanja u mrežu potrebno je osigurati da se biometan nalazi na odgovarajućem tlaku, jednakom onome koji se nalazi u plinskoj mreži. Tlakovi u plinovodima se razlikuju, kako među državama, tako i unutar same države. Primjerice u Njemačkoj plinovodi mogu varirati od lokalnih plinovoda s niskim tlakom, obično na oko 4 bara, dok se veliki magistralni plinovodi mogu nalaziti i na tlakovima do 85 bara [9].

Nakon što se biometan ubaci u mrežu, postaje integralni dio plinske smjese. Budući da su biometan i prirodni plin vrlo slični po svojim svojstvima i kvaliteti, mogu se miješati u gotovo svim omjerima, što čini biometan izvrsnom, klimatski prihvatljivijom zamjenom za prirodni plin [9]. Na slici 14 prikazana je shema s komponentama tipičnog postrojenja koje služi za utiskivanje biometana u plinsku mrežu.



Slika 14: Postrojenje za isporuku biometana u plinsku mrežu [9]

1. Zaporni ventil
2. Automatski zaporni ventil
3. Filter
4. Plinski kontroler tlaka
5. Sigurnosni ventil
6. Mjerna stanica za kvalitetu biometana
7. Senzor temperature
8. Stanica za dodavanje mirisa
9. Plinski brojač s električnim pretvaračem količine
10. Ventil
11. Regulator protoka
12. Armatura za baklju
13. Baklja

## 4. METODA

Cilj ovog rada je definirati ekonomsku isplativost korištenja biometana, dobivenog iz bioplina, kao zamjena ili dodataka za trenutno korišteni prirodni plin. Isplativost će biti provjerena pomoću tehno-ekonomske analize kojom se želi utvrditi stvarni trošak i isplativost samog projekta. Za izradu tehno-ekonomske analize koristit će se pomoćni izračuni kao što su nivelirani trošak energije (LCOE), neto sadašnja vrijednost (NPV) i interna stopa povrata novca (IRR). Konačni cilj ovog proračuna je definirati moguće poticaje za povećanje proizvodnje biometana, temeljene na pročišćavanju bioplina.

### 4.1 Tehno-ekonomska analiza

Tehno-ekonomska analiza je sustavna metoda procjene isplativosti i održivosti tehničkih projekata ili uvođenja promjena i prenamjena u postojećim tehničkim sustavima. Ova analitička metoda kombinira tehničke i ekonomske aspekte kako bi pružila cjelovitu sliku potencijalnih investicija u nove tehničke sustave ili prenamjene i unaprjeđenja u već postojećim sustavima. U sklopu ovog rada razmatrat će se kako tehno-ekonomska analiza može biti primijenjena za prenamjenu bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana [33].

Tehno-ekonomska analiza sastoji se od dva ključna koraka, to su tehnička i ekonomska analiza, koje u sinergiji daju konačan zaključak. Tehnička analiza uključuje procjenu tehničke izvedivosti projekta. To znači proučavanje postojećih tehničkih sustava, identificiranje potrebnih tehničkih resursa i analizu tehnologija koje će se koristiti u projektu. Odnosno davanja tehničke analize izvodljivosti projekta i najboljeg pristupa da se projekt provede u tehničkom smislu. Ekonomska analiza uključuje procjenu financijske isplativosti projekta. To podrazumijeva procjenu troškova i prihoda projekta, uzimajući u obzir troškove izgradnje ili prenamjene postrojenja, operativne troškove, očekivane prihode od prodaje biometana i ostale relevantne ekonomske faktore. Na temelju tehničke i ekonomske analize, donose se zaključci o isplativosti i održivosti projekta. Temeljem tih zaključaka, može se donijeti informirana odluka o daljnjem razvoju projekta ili njegovoj provedbi. Pojednostavljeno iz ekonomske analize se donosi odluka da li će navedeni projekt ostvariti financijsku i ekonomsku korist za investitora.

#### 4.1.1 Neto sadašnja vrijednost

Neto sadašnja vrijednost (NPV) je financijski koncept koji se koristi za procjenu isplativosti i vrijednosti projekata ili investicija. NPV omogućava analitičarima da utvrde razliku između ukupnih budućih novčanih tokova koji će proizići iz projekta i početnih investicija (troškova) potrebnih za realizaciju tog projekta. Ako je NPV pozitivan, projekt se smatra isplativim jer ukazuje na to da će projekt generirati više novca nego što će koštati. Obrnuto, ako je NPV negativan, projekt se može smatrati neprofitabilnim ili neučinkovitim. Ključni faktor u određivanju buduće vrijednosti novca je definiranje diskontne stope [34].

Diskontna stopa je kamatna stopa koja se koristi za sadašnju vrijednost budućih novčanih tokova u izračunu NPV-a. Ova stopa odražava vrijednost novca tijekom vremena, što znači da novac koji se dobije u budućnosti ima manju vrijednost nego novac koji se dobije danas. Diskontna stopa

koristi se za "diskontiranje" budućih novčanih tokova kako bi se odredila njihova ekvivalentna vrijednost u sadašnjem trenutku.

Za svaku godinu projekta, budući novčani tokovi se diskontiraju koristeći diskontnu stopu. To znači da se svaki budući novčani tok podijeli s faktorom diskontiranja za tu godinu. Zatim se sve diskontirane vrijednosti dodaju kako bi se dobila NPV za projekt. Ako je projekt povezan s visokim stupnjem rizika ili neizvjesnosti, investitori ili analitičari često primjenjuju više diskontne stope kako bi odražavale dodatni rizik koji nosi projekt. Viša diskontna stopa kompenzira potencijalne gubitke ili nesigurnosti u budućnosti.

Formula za izračun NPV izgleda ovako:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Gdje:

NPV - neto sadašnja vrijednost.

R<sub>t</sub> - budući novčani tok u godini t [€].

i - diskontna stopa[%].

t – vremensko razdoblje [godina].

#### 4.1.2 Interna stopa povrata

Interna stopa povrata (IRR), često nazivana i interna stopa donošenja odluka, je financijski pokazatelj koji se koristi za procjenu isplativosti projekata ili investicija. IRR je kamatna stopa koja čini neto sadašnju vrijednost (NPV) budućih novčanih tokova projekta jednaku nuli. Drugim riječima, IRR je stopa kamata koja balansira ukupne troškove i prihode projekta, tako da je NPV projekta nula. Kada je riječ o projektu ili investiciji, IRR predstavlja unutarnju stopu povrata koju bi projekt morao ostvariti kako bi bio isplativ. IRR se izražava kao postotak i može se interpretirati na sljedeći način.

Ako je IRR veća od diskontne stope, projekt se obično smatra isplativim. To znači da bi projekt trebao generirati povrat koji nadmašuje trošak kapitala, što sugerira da bi investitor mogao ostvariti pozitivan NPV. Ako je IRR manja od diskontne stope, projekt se obično smatra neprofitabilnim.. To ukazuje na to da projekt ne može generirati dovoljno povrata kako bi nadmašio troškove financiranja [35].

$$0 = NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} - C_0 \quad (2)$$

gdje je:

NPV – neto sadašnja vrijednost [€]

$C_t$  – neto novčani priljev u razdoblju  $t$  [€]

IRR – interna stopa povrata [%]

$C_0$  – ukupni investicijski troškovi [€]

$t$  – broj vremenskih razdoblja [god]

#### 4.1.3 Nivelirani trošak energije

Nivelirani trošak energije (LCOE) proizvodnje biometana iz bioplina je važan izračun koji se koristi za procjenu ekonomske isplativosti procesa proizvodnje biometana. Ovaj izračun omogućava analitičarima i investitorima da dobiju jasnu sliku o ukupnim troškovima proizvodnje biometana, uključujući sve faze i faktore koji su uključeni u taj proces. Nivelirani trošak proizvodnje biometana iz bioplina definira i izračunava [36].

Izračun LCOE-a za proizvodnju biometana iz bioplina uključuje sljedeće korake:

1. Izračun kapitalnih troškova (CAPEX), koji predstavljaju troškove povezane s inicijalnom investicijom u projekt, u ovom slučaju, u prenamjenu bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana. To uključuje troškove nabavke opreme, izgradnje postrojenja, inženjeringa, rada i materijala potrebnih za realizaciju projekta. CAPEX se često amortizira tijekom životnog vijeka postrojenja.
2. Izračun operativnih troškova (OPEX), koji obuhvaćaju troškove svakodnevnog upravljanja i održavanja postrojenja za proizvodnju biometana nakon što je projekt u funkciji. To uključuje troškove za energiju, sirovine, radnu snagu, održavanje opreme i ostale operativne troškove koji su potrebni za održavanje postrojenja u radnom stanju.
3. Nakon što se definiraju kapitalni i operativni troškovi projekta, potrebno je još definirati kolika je proizvodnja energije. Ukoliko su ta tri podatka izračunata, moguće je odrediti iznos niveliranog troška energije za navedeno postrojenje. Nivelirani trošak određuje se prema formuli [37]:



$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t}{1 + r^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{1 + i^t}} \quad (3)$$

gdje je:

LCOE – nivelirani trošak energije [€/MWh]

$I_t$  – investicijski trošak u razdoblju  $t$  [€]

$M_t$  – operativni trošak u razdoblju  $t$  [€]

$E_t$  – proizvedena energija u razdoblju  $t$  [MWh]

$i$  – diskontna stopa [%]

$t$  – broj vremenskih razdoblja [god]

4. Nakon što se izračuna nivelirani trošak, može se koristiti za usporedbu s cijenama biometana na tržištu i samim time za procjenu isplativosti projekta proizvodnje biometana iz bioplina. Ako je nivelirani trošak energije niži od tržišne cijene biometana, projekt bi mogao biti ekonomski održiv. Ovaj koncept pomaže investitorima i stručnjacima da bolje razumiju troškove i koristi proizvodnje biometana iz bioplina te donesu informirane poslovne odluke. U ovom slučaju služi kao temelj na za predlaganje potrebnih financijskih instrumenata za sufinanciranje postrojenja za prenamjenu bioplina u biometan.

#### 4.2 Potrebne količine supstrata

Za određivanje potrebnih količina supstrata u proizvodnji biometana, ključno je prvotno utvrditi energetske zahtjeve potrebne za generiranje električne energije iz bioplina. Da bismo odredili ove energetske potrebe, potrebno je poznavati električnu snagu postojećeg bioplinskog postrojenja i efikasnost koju posjeduje u proizvodnje električne energije, tj. koliko učinkovito postrojenje pretvara bioplin u električnu energiju. Nakon definiranja energetske potrebe, možemo procijeniti potencijal proizvodnje biometana. To uključuje analizu količine trenutno korištenog supstrata za proizvodnju bioplina koji se može pročititi i distribuirati u mreži kao zamjena za prirodni plin.

U ovom radu su izračunati nivelirani troškovi proizvodnje za 6 supstrata. Navedeni supstrati su odabrani iz razloga što su to danas najčešće korišteni supstrati za proizvodnju bioplina u postrojenjima koja se nalaze u Hrvatskoj [10]. Stoga, ukoliko želimo definirati potrebnu subvenciju za povećanje proizvodnje, koristimo one supstrate koji se danas uglavnom koriste u postojećim bioplinskim postrojenjima. Navedeni supstrati su:

- Kravlja gnojovka
- Svinjska gnojovka
- Pileća gnojovka
- Bio-otpad
- Kukuruzna silaža
- Trava

Kako bismo definirali troškove proizvodnje biometana, prvo je potrebno definirati koje su nam količine supstrata potrebne. Temeljem tog saznanja definirat ćemo i troškove nabave potrebne opreme te troškove pogona takvog postrojenja. U tablici 3 definirani su potencijali proizvodnje bioplina u ovisnosti o vrsti supstrata, te sadržaj metana koji se dobije u bioplinau.

Tablica 3: Potencijal proizvodnje biometana iz različitih supstrata

Supstrat	Potencijal bioplina [m <sup>3</sup> /t <sub>supstrata</sub> ]	Udio metana u bioplinau [%]	Referenca
Goveđa gnojovka	25	68.83	[34], [35]
Svinjska gnojovka	28	59.02	[34], [35]
Pileća gnojovka	140	64.2857	[34]
Bio-otpad	100	61	[36], [37]
Kukuruzna silaža	202	52	[34], [37]
Trava	172	54.44	[37]

Analizom tablice 3 uočava se da gnojovke ostvaruju manji prinos bioplina po toni supstrata, a ključni razlog tome leži u povećanom udjelu vlage, posebice u kravljim i svinjskim gnojovkama. Supstrati s nižim udjelom vlage, poput silaže koja pruža čak 202 m<sup>3</sup> bioplina po toni, pokazuju značajno veći prinos bioplina. U svjetlu toga, da bi se postigle jednake količine biometana, potrebno je koristiti različite količine supstrata. Općenito, smanjenje potrebnih količina supstrata za proizvodnju bioplina čini proces logistički povoljnijim, budući da se tako smanjuje potreba za nabavkom velikih količina supstrata, što često predstavlja izazov za bioplinska postrojenja.

Nakon što smo definirali potrebne mogućnosti proizvodnje biometana, odredit ćemo koliko nam je potrebno supstrata da se održava proizvodnja u takvom postrojenju. Količina supstrata koja nam je potrebna varira ovisno o vrsti koju koristimo za anaerobnu digestiju. U ovisnosti o sadržaju suhe tvari, te ostalim karakteristikama supstrata, potrebne su drastično različite količine supstrata.

### 4.3 Investicijski troškovi

Definiranjem energetskega zahtjeva i potencijala supstrata, moguće je odrediti koliko bioplina se mora proizvesti kako bi se zadovoljile energetske potrebe postojećeg bioplinskog postrojenja. Ukoliko želimo taj bioplin pretvoriti u biometan, potrebno ga je pročititi. A investicijski trošak opreme za pročišćavanje definiran je količinom bioplina koji je potrebno pročititi. Stoga će vrijednosti investiranja u pročišćavanje bioplina varirati u ovisnosti o količini bioplina, odnosno o supstratu iz kojeg je taj bioplin proizveden. Budući da je investicija trošak investicije u postrojenje definiran količinom bioplina kojeg je potrebno pročititi.

Temeljem potrebnih količina bioplina koje je potrebno pročititi, odredit će se troškovi za investiranje u prenamjenu postrojenja. Očekivani životni vijek postrojenja koje služi za nadogradnju bioplina u biometan je 25 godina. Naravno da pravi životni vijek postrojenja ovisi o velikom broju faktora kao što su kvaliteta održavanja, razina upotrebe i kvaliteta nabavljene opreme. Ključni podatak za određivanje investicijskog troška prenamjene bioplinskog postrojenja u biometansko je količina bioplina koju je potrebno pročititi. U tablici 4 prikazani su investicijski troškovi u postrojenje za pročišćavanje bioplina.

Tablica 4: Investicijski troškovi postupka pročišćavanja bioplina

Opis troška	Trošak investicije	Reference
Postrojenje za pročišćavanje	3000 [€/ m <sup>3</sup> bioplina]	[38]
Skladištenje bioplina	100000 €	[39]
Remont motora	485200 €	[39]
Stanica za ubrizgavanje	Aproksimacija, 15% vrijednosti troškova postrojenja za pročišćavanje	[25]
Cjevovod od 500m	Aproksimacija, 15% vrijednosti troškova postrojenja za pročišćavanje	[25]

#### 4.3.1 Životni vijek bioplinskog postrojenja

Tema ovog rada je tehno-ekonomska analiza prenamijene bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana. Stoga je u proračunu potrebno u obzir uzeti i zamjenu dijelova bioplinskog postrojenja koje je postavljeno prije postrojenja za pročišćavanja bioplina. Bioplinska postrojenja imaju ograničen vijek trajanja, te se očekuje potreba za zamjenom dijelova opreme nakon određenog perioda rada. U skladu s tim, proračuni uključuju planirane aktivnosti zamjene opreme kako bi se osiguralo dugoročno održavanje i učinkovitost bioplinskih postrojenja za pročišćavanje.

Zamjena dijelova u bioplinskim postrojenjima nije samo stvar održavanja, već i ključni korak u očuvanju okoliša i osiguranju stabilnog izvora obnovljive energije. Kako se tehnologija razvija, nove komponente i materijali postaju dostupni, omogućavajući postrojenjima da budu učinkovitija i pouzdanija. Zamjenom starijih dijelova novijim, postrojenja postižu bolje performanse i smanjuju emisiju stakleničkih plinova.

Međutim, važno je napomenuti da zamjena dijelova bioplinskog postrojenja može biti skupa investicija. Uglavnom je potrebno zamijeniti digester u kojem nastaje bioplin i svu popratnu elektroniku koja se koristi u njegovom radu, dok su dijelovi kao što su spremnik bioplina i sustavi koji pomažu u radu bioplinskog postrojenja, dužeg radnog vijeka

#### 4.4 Troškovi vođenja proizvodnje biometana

Nakon definiranja investicijskih troškova odredit ćemo troškove vođenja postrojenja. Godišnji troškovi za pogon postrojenja definirani su aproksimacijom koja se koristi za različite tipove postrojenja. Ova formula uzima u obzir operativne troškove, administrativne, distributivne i troškove prodaje. Radi se o općoj formuli koja se može koristiti za aproksimaciju troškova gotovo svakog tipa postrojenja [40].

$$UTP = 1.03 \times (T_{el.ene} + T_{sup}) + 0.186 \times (T_{inv}) + 2.13 \times (n_{rad} \times T_{plac}) + 0.025 \times T_{prijh} \quad (4)$$

Gdje je:

UTP – ukupni trošak proizvodnje [€/godišnje]

$T_{el.eng}$  – godišnja trošak električne energije [€/godišnje]

$T_{sup}$  – godišnji trošak supstrata [€/godišnje]

$T_{inv}$  – ukupni početni investicijski trošak [€]

$n_{rad}$  – ukupan broj zaposlenik

$T_{plac}$  – godišnja plaća po zaposlenom[€]

$T_{prijh}$  – godišnji prihodi od prodaje biometana [€/godišnje]

Kako bismo odredili ukupni godišnji trošak proizvodnje, potrebno je definirati ključne parametre kao što su potrošnja električne energije, troškovi za zaposlenike i troškovi supstrata. U tablici 5 su prikazani ključni podaci pomoću kojih je definiran ukupni godišnji trošak pogona postrojenja za proizvodnju biometana.

Tablica 5: Troškovi godišnje proizvodnje

Opis troška	Trošak proizvodnje	Referenca
Tehnologija pročišćavanja	PSA	[26]
Potrošnja električne energije	0.24 kWh/m <sup>3</sup> bioplina	[26]
Cijena električne energije	80 €/MWh	[41]
„Gate fee“	40 €/toni	
Cijena kukuruzne silaže	54 €/toni	[42]
Naknada za prijevoz supstrata	5 €/toni	
Broj radnika	5	
Trošak plaće radnika	18600 €/godišnje	[43]

Godišnji troškovi električne energije određeni su na temelju količine bioplina koji se mora pročititi, kao što se može vidjeti iz tablice 3, različiti supstrati daju različitu količinu bioplina s različitim udjelom metana. Iz navedenog razloga potrošnja električne energije varira od supstrata do supstrata, a potrebna količina električne energije za „Upgrading“ prema PSA tehnologiji iznosi 0.24 kWh/m<sup>3</sup> bioplina [26]. Glavni razlog za korištenje tehnologije PSA-a u ovom proračunu je postizanje viših tlakova biometana na kraju postupka. Naime, ukoliko je cilj utiskivati biometan u plinsku mrežu potrebno ga je stlačiti na viši tlak [26]. Ovim postupkom pročišćavanja biometan je u startu na višem tlaku i tako dolazi do smanjenja troškova. Također, ovom tehnologijom dobiva se biometan s viskom koncentracijom metana, a da za to nije potrebno koristiti vodu ili neko organsko otapalo, čime se postiže pozitivan utjecaj na okoliš [24]. Trošak električne energije je tržišna vrijednost koja oscilira. Oscilacije u cijeni se javljaju kako na dužem vremenskom razdoblju, tako i unutar jednog dana. U proračunu je uzeta vrijednost od 80 €/MWh kao očekivana prosječna cijena električne energije na tržištu tokom cijelog životnog vijeka postrojenja [41].

„Gate-fee“ predstavlja naknadu koju operatori postrojenja za obradu otpada naplaćuju onima koji isporučuju otpad ili sirovine na ulazu (na "vratima" ili "gate") postrojenja. Ova naknada se primjenjuje kako bi se pokrili troškovi obrade i upravljanja otpadom te osigurala održivost postrojenja. U našem proračunu uzeta je naknada od 40 € po toni bio-otpada koji se iskorištava u procesu proizvodnje biometana. S druge strane, ukoliko se u postrojenju koristi kukuruzna silaža, potrebno ju je nabaviti na tržištu. Cijena kukuruzne silaže je u porastu i danas je dosegla najvišu vrijednost u povijesti kada govorimo o proizvodnji bioplina. Trenutna cijena kukuruzne silaže iznosi 54 € po toni.

Supstrate kao što su gnojovke, stočari su uglavnom spremni ustupiti besplatno, pogotovo u dogovoru gdje u zamjenu dobiju digestat koji ostaje nakon procesa anaerobne digestije. Jedini

trošak koji postoji za gnojovke, travu i druge otpadne supstrate je transport od mjesta gdje oni nastaju do samog postrojenja. U našem proračunu taj trošak je definiran kao 5 € po toni, no naravno prava vrijednost tog troška ovisi o faktorima kao što su udaljenost, povezanost itd. Kako bi se osigurali od mogućeg poskupljenja nekih od ulaznih faktora u procesu proizvodnje biometana, u proračunu je korištena pretpostavka o godišnjem rastu ukupnih troškova proizvodnje od 1%.

Također, u proračunu su korišteni i dodatni troškovi kao što su porez na dobit te gubitak zarade od prodaje električne energije na tržištu po povlaštenoj cijeni definiranoj „Feed-in“ tarifom. Drugim riječima, to je gubitak koji se ostvari ukoliko proizvođač električne energije iz bioplina ranije napusti dogovoreni sustav Feed-in tarifa.

## 5. STUDIJA SLUČAJA

U ovom radu za primjer uzeto je prosječno bioplinsko postrojenje koje ima snagu električne energije od 1 MW. Ukoliko uzmemo u obzir da je prosječna električna učinkovitost bioplinskog postrojenja, ove veličine, u prosjeku oko 33 % [44], a donja ogrjevna vrijednost goriva iznosi 50 MJ/kg. Dobiva se iznos potrebe za metanom, u postrojenju koje daje električnu snagu od 1 MW, iznosi 218,18 kilograma metana po satu rada postrojenja.

Ukoliko bismo umjesto izgaranja navedeni bioplin pročistili iz njega bismo mogli dobiti biometan gotovo identičnih karakteristika kao i prirodni plin. Sadržaj metana u biometanu može iznositi do 98% [26]. Znamo da u procesu pročišćavanja dolazi do određenih gubitaka metana. Konkretno u pročišćavanju postupkom adsorpcije s varijacijama tlaka koji se koristi u našem primjeru dolazi do gubitka metana razini od otprilike 4 % [45]. Postrojenju su također potrebna i periodična odražavanja, uz to uvijek postoji mogućnost pojave problema koji uzrokuju neočekivani prekid u radu. Prema iskustvenim podacima postrojenja su godišnje na raspolaganju u prosjeku oko 94% od ukupnog vremena, u našem proračunu uzeta je vrijednost od 8200 sati rada godišnje [26].

U izračunu investicijski troškova u obzir su uzeti krediti u iznosu 80% vrijednosti investicije u postrojenje za pročišćavanje, u trajanju od 25 godina i 70% vrijednosti zamijene dijelova bioplinskog postrojenja, u trajanju od 15 godina. Kamatne stope na kredite su 6% za kredit na investiciju u postrojenje za pročišćavanje i kamatna stopa od 5% na kredit za zamjenu dijela bioplinskog postrojenja. Razlog za razliku u kamatnim stopama je vijek trajanja kredita, odnosno jedan kredit je u trajanju od 25 godina dok je drugi u trajanju od 15 godina. Također u izračunu je uzet u obzir trošak zbog gubitka sredstava za prodaju električne energije prema „Feed-in“ tarifi na koju imaju bioplinska postrojenja u prve tri godine rada novog unaprijeđenog postrojenja za pročišćavanje.

U ovom proračunu je za izračunavanje svih budućih novčanih vrijednosti korištena diskontna stopa u iznosu u 10 %. Korištenje diskontne stope od 10% u tehno-ekonomskoj analizi prenamjene bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana odražava niz faktora koji su od suštinske važnosti pri ocjeni održivosti i isplativosti ovakvog projekta. Diskontna stopa odražava osnovno načelo vremenske vrijednosti novca. Budući novčani tokovi imaju različitu težinu u različitim vremenskim razdobljima, a diskontna stopa od 10% uzima u obzir vrijednost novca danas u odnosu na buduće vrijednosti. Ova stopa odražava očekivanje investitora glede stope povrata koju bi mogli postići na alternativnim ulaganjima s sličnim rizikom. Diskontna stopa također uključuje premiju za rizik. Povećanje diskontne stope može odražavati veći rizik povezan s određenim projektom. U prenamjeni bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana, gdje su mogući tehnički, ekološki ili tržišni izazovi, diskontna stopa od 10% može odražavati adekvatan stupanj rizika. Prenamjena bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana često zahtijeva značajne početne investicije. Diskontna stopa od 10% uzima u obzir dugoročnu perspektivu projekta i pomaže u vrednovanju dugoročnih financijskih posljedica.

Bioplinska postrojenja u Hrvatskoj su uglavnom stara oko 10 godina, a očekivani radni vijek bioplinskog postrojenja je 20 godina [46]. Stoga je u proračun uključena i zamjena djela opreme bioplinskog postrojenja nakon 10 godina rada postrojenja za pročišćavanje.

Porez na dobit u Hrvatskoj iznosi 12 % profita, za dobit do jednog milijuna eura godišnje. Ukoliko je dobit veća od jednog milijuna eura godišnje stopa poreznog opterećenja povećava se na 18% [47]. S druge strane gubitak zarade od prodaje električne energije prema povlaštenoj „Feed-in“ tarifi uzet je za prve tri godine rada postrojenja za pročišćavanje. Budući da je u trenutku potpisivanje ugovora, uglavnom su ugovori potpisivani prije 10 godina, bila definirano razdoblje od 14 godina u kojima je dostupna povlaštena cijena za prodaju električne energije iz bioplina. Iznos povlaštene naknade za električnu energiju je iznosilo 160 €/MWh<sub>el</sub> [39]. U tablici 6 su prikazani gubitci uzrokovani prekidom naknade od“ Feed-in“ tarife.

Tablica 6: Gubitak Feed-in tarife

Gubici zbog Feed-in tarife	
FIT	160 €/MWh <sub>el</sub>
Isporučena električna energije	8200 MWh <sub>el</sub>
Gubitak FIT-a	1.312.000 €/godišnje

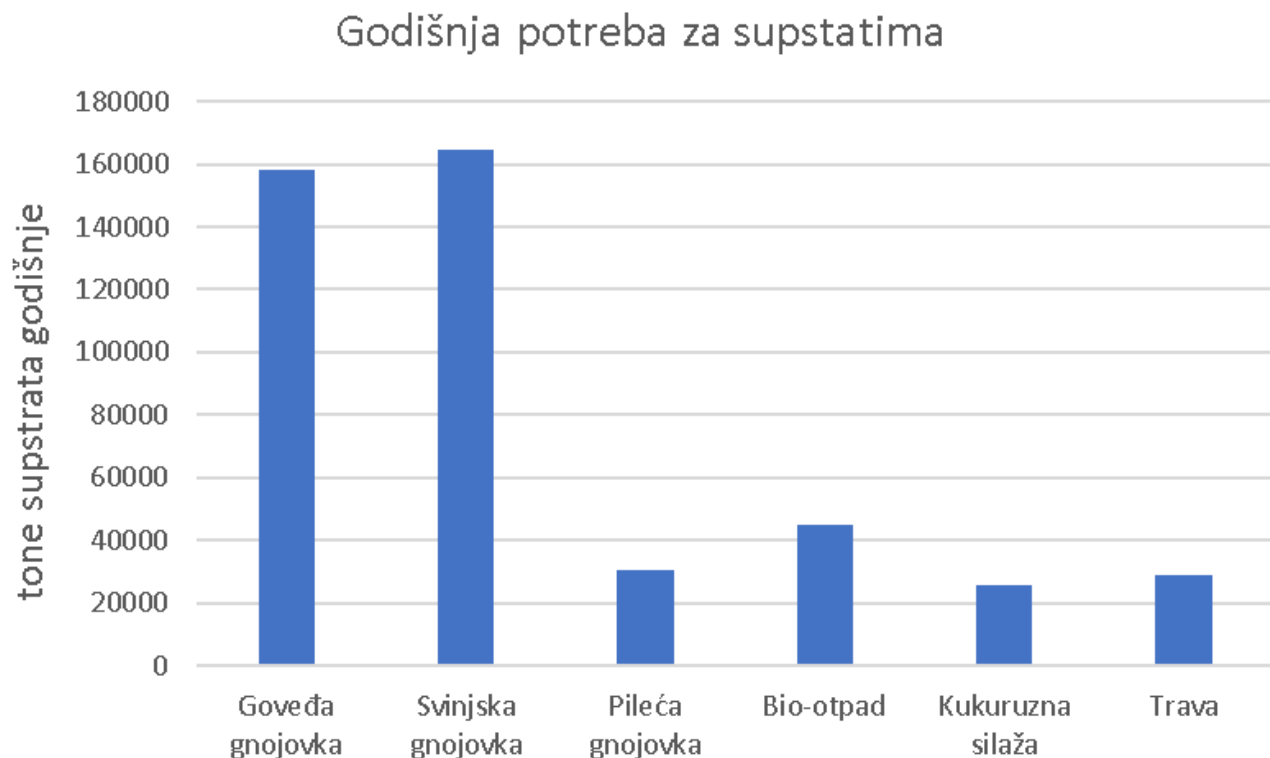


## 6. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako bismo odredili mjere kojima je potrebno stimulirati prenamjenu bioplinskih u biometanska postrojenja, odredit ćemo njihov trošak proizvodnje. U ovom radu trošak proizvodnje bioplina bit će definiran niveliranom cijenom biometana. Temelj toga dolazimo do potrebne cijene biometana kako bi ulaganje u ovakav tip postrojenja bilo isplativo.

Temeljem ranije definiranih parametara, izračunato je da je godišnja proizvodnja biometana, pročišćavanjem bioplina kojeg bi inače koristilo postrojenje električne snage od 1 MW, iznosi 23854.5 MWh. Ako znamo da prosječno kućanstvo, koje plin koristi za kuhanje, grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode, godišnje potroši 12728 kWh plina [48]. Možemo izračunati da bi navedeno postrojenje zadovoljilo kompletne potrebe za nešto manje od 2000 kućanstava.

Temeljem podataka iz tablice 3 možemo definirati kolike su godišnje potrebe za supstratima kako bi se proizvela godišnja količina biometana u iznosu od 23854.5 MWh. Na slici 15 prikazane su razlike u godišnjim potrebama među supstratima da bi se osigurala godišnja proizvodnja biometana.



Slika 15: Godišnje potrebe za supstratom

Iz slike se može uvidjeti da korištenje gnojovki zahtijeva značajno veće količine u odnosu na druge supstrate, pogotovo u usporedbi sa silažom koja se danas vrlo često koristi. Tako je potrebno gotovo osam puta veća količina kravlje i svinjske gnojovke u usporedbi sa silažom da se dobiju jednake količine biometana.

Krave u prosjeku dnevno daju od 37 kilograma gnojovke, ako se radi o kravama koje se uzgajaju za meso, do 62 kilograma ukoliko se radi o kravama koje daju mlijeko. Naravno količina gnojovka koju krava daje ovisi o brojnim faktorima kao što su dob, spol, prehrana itd. [49]. Ukoliko uzmemo vrijednost od 46 kilograma gnojovke [50], jednostavnim proračunom možemo izračunati da za bioplinski postrojenje koje koristi isključivo gnojovku kao supstrat je potrebno 9425 krava čija bi se gnojovka dovozila do bioplinskog postrojenja. Prosječna svinja dnevno daju u prosjeku oko 5 kilograma gnojovke, naravno i kod svinja postoji veliki broj faktora koji utječu na količine koje individualna svinja daje. Ako uzmemo navedeni prosjek lako je izračunati da za bioplinsko postrojenje koje proizvodi električnu energiju snage 1 MW je potrebno dobavljati gnojovku od preko 90000 svinja. Ukoliko primijenimo istu metoda da izračunamo koliko nam je pilića potrebno da se zadovolje energetske potrebe bioplinskog postrojenja od 1 MW električne snage, uzmemo li u obzir da prosječno pile dnevno daje 100 grama gnojovke, dolazimo do brojke od preko 820000 pilića.

Iz ovog jednostavnog izračuna lako je uočiti koliki su zahtjevi da bi se osigurale dovoljne količine gnojovke za ovakva postrojenja. Međutim, unatoč brojnim prednostima korištenja gnojovke, organskog otpada životinjskog porijekla, postoji važan logistički problem koji zahtijeva pažnju. Taj problem leži u potrebi stalnog prijevoza i dostave gnojovke do postrojenja za proizvodnju bioplina, dok se silaža, alternativni izvor, može prevoziti samo jednom godišnje s farme nakon odrađene žetve. To je jedan od ključnih razloga zašto se još uvijek koristi kombinacija gnojovke i nekog drugog supstrata, uglavnom se radi o silaži. Također je potrebno osigurati dovoljan broj životinja koje bi davale navedene potrebe gnojovke. Iz svega navedenog lako se zaključuje zašto danas i dalje gotovo sva postrojenja koriste barem jedan dio silaže za svoju proizvodnju bioplina.

Nakon što se odredi potrebna količina supstrata, može se izračunati i količina bioplina koju je potrebno pročititi. Razlike u količini bioplina su temelj za razliku investicijskim troškovima među supstratima. Supstrati koji daju bioplin s manjim udjelom metana zahtijevaju obradu veće količine bioplina, samim time je potrebna i veća investicija u opremu. U tablici 7 su prikazani investicijski troškovi ovisno u supstratu koji se koristi za proizvodnju bioplina.

Tablica 7: Ukupni investicijski troškovi u ovisnosti o supstratu

Supstrat	Investicijski trošak
Kravlja gnojovka	2.423.432 €
Svinjska gnojovka	2.728.974 €
Pileća gnojovka	2.553.375 €
Bio-otpad	2.659.389 €
Kukuruzna silaža	3.018.383 €
Trava	2.909.328 €

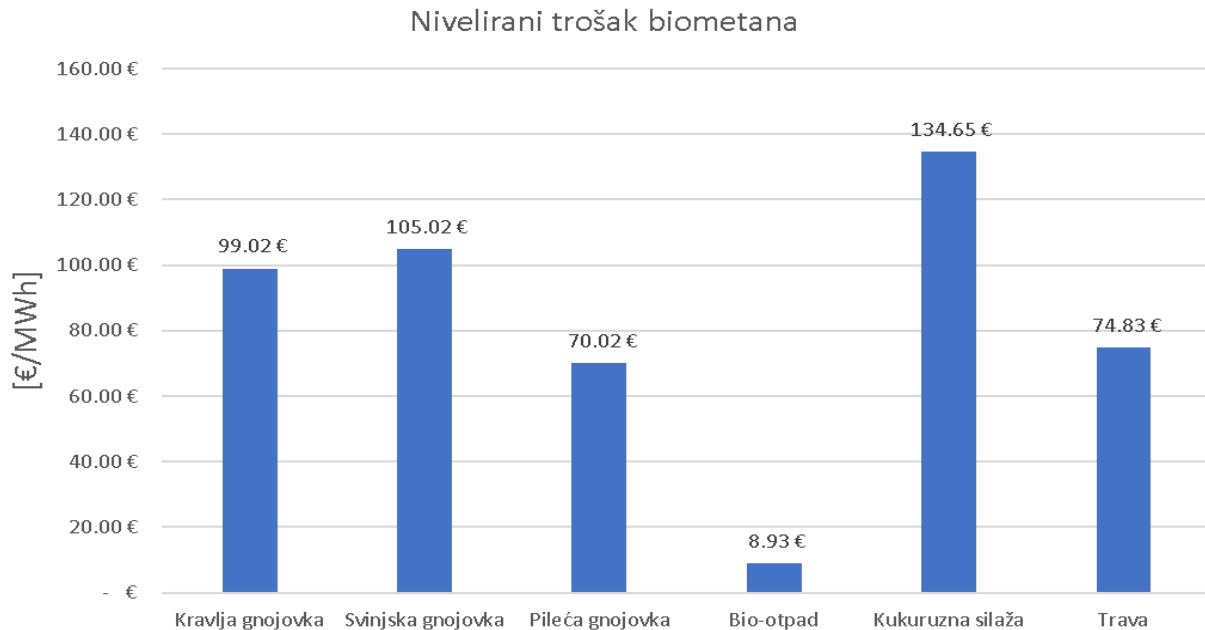
Uz investicijski trošak za pročišćavanje bioplina, potrebno je zamijeniti dijelove bioplinskog postrojenja nakon 20 godina [40]. Procijenjeni trošak takvog projekta zamjene digestora i elektronike može iznositi otprilike 1.5 milijuna eura za digesor koji daje otprilike 500 m<sup>3</sup> bioplina po satu, naravno trošak ovisi o veličini postrojenja i opsegu zamjene [25].

### 6.1 Izračun niveliranog troška proizvodnje biometana

Definiranje investicijskih troškova i izračunavanje operativnih troškova uz unaprijed određene parametre proizvodnje biometana omogućuje određivanje niveliranih troškova biometana. Nivelirani troškovi predstavljaju minimalnu cijenu biometana potrebnu za postizanje ekonomske održivosti proizvodnje, osiguravajući da investitor ostvari dobit. U tablici 8 prikazani su iznosi niveliranih troškova proizvodnje biometana, a ovi podaci ovise o vrsti supstrata koji se koristi u proizvodnom procesu.

Tablica 8: Nivelirani trošak biometana u ovisnosti o supstratu

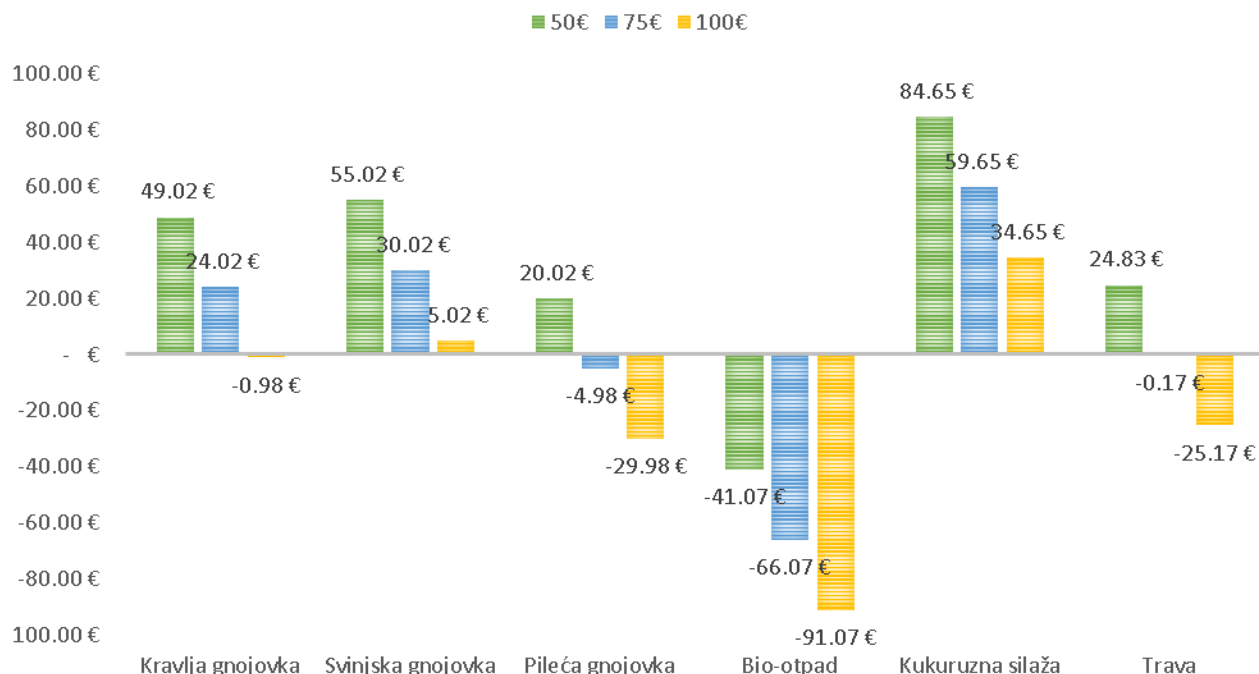
Supstrat	Nivelirani trošak	Mjerna jedinica
Kravlja gnojovka	99.02	€/MWh
Svinjska gnojovka	105.02	€/MWh
Pileća gnojovka	70.02	€/MWh
Bio-otpad	8.93	€/MWh
Kukuruzna silaža	134.65	€/MWh
Trava	74.91	€/MWh



Slika 16: Nivelirani trošak biometana u ovisnosti o supstratu

Postoje značajne razlike u niveliranoj cijeni biometana ovisno o supstratu koji se koristi u proizvodnji bioplina, koji je temelj za proizvodnju biometana. Prvi i najvažniji razlog su cijene supstrata jer određeni supstrati poput kukuruzne silaže su vrijedni proizvodi koji se mogu koristiti i za druge namjene osim za proizvodnju bioplina zbog čega je njihova cijena na tržištu viša.

Drugi ključni razlog za razlike u cijeni su količine supstrata koje je potrebno obraditi i dobiveni bioplina iz tih supstrata. Za proizvodnju biometana potrebno je obraditi različite količine supstrata ovisno o vrsti, prvenstveno je uzrok tome razlika u udjelima suhe tvari među supstratima. Oni koji imaju viši udjel suhe tvari zahtijevaju manju količinu supstrata za dobivanje iste količine biometana. Drugi razlog je razlika u udjelima metana u bioplina koji se dobije anaerobnom digestijom. Ovisno o supstratu koji smo koristili u procesu proizvodnje bioplina sadržaj metana može značajno varirati, u našim primjerima sadržaj varira od otprilike 52 % do 69 % metana u bioplina. Stoga da bi se dobilo jednako biometan potrebno je obraditi različite količine bioplina. Investicijski trošak postrojenja za pročišćavanje je definirano količinom bioplina koju je potrebno obraditi, stoga supstrati koji imaju viši udio metana u bioplina su ekonomski isplativiji od onih s nižim udjelima.

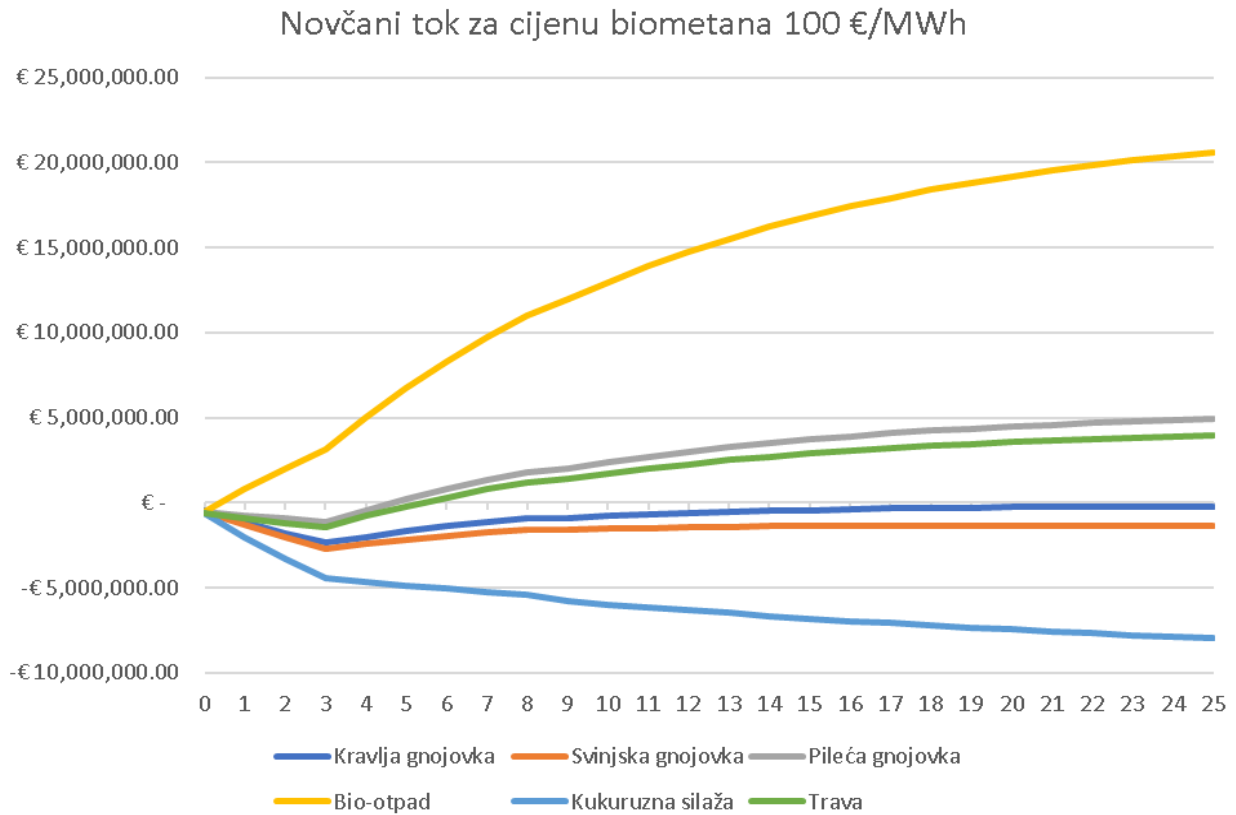


Slika 17: Prikaz razlike niveliranog troška biometana i cijene prirodnog plina

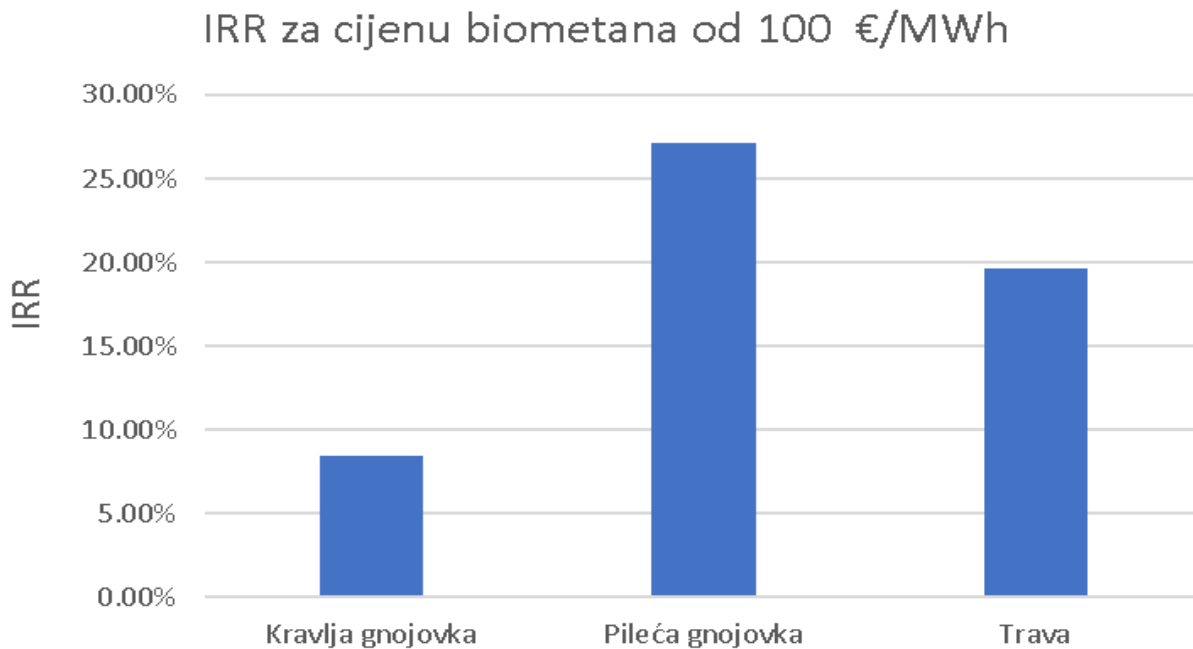
Iz prikaza sa slike 17 može se uočiti pri kojoj cijeni prirodnog plina na tržištu supstrati ostvaruju profitabilnost, odnosno ukoliko je na slici vrijednost negativna, to znači da je viša navedena cijena prirodnog plina od niveliranog troška proizvodnje. Samim time je i postupak proizvodnje biometana za navedenu cijenu prirodnog plina na tržištu ekonomski isplativa. U ovom izračunu nije korištena niti jedna mjera kojom bi se subvencionirala proizvodnja biometana.

#### 6.1.1 Novčani tokovi i interne stope povrata za različite cijene biometana

U ovom radu korištene su različite vrijednosti po kojoj bi se prodavao biometan, kako bi se definiralo koja od njih bi ostvarila ekonomsku isplativost za koji tip supstrata. Uzete su tri cijene u vrijednostima od 100 €/MWh, 110 €/MWh i 120 €/MWh. Razlog za korištenje navedenih cijena je pronalaženje minimalne zagarantirane cijene biometana, kojom bi proizvođači biometana mogli opstati. Temeljem pronalaska te vrijednosti mogu se predložiti mjere kojima bi se postiglo povećanje proizvodnje biometana. Cilj kod predlaganja mjera je osigurati visinu naknade kojom proizvođači biometana imaju dovoljne prihode da mogu održavati proizvodnju bez obzira na cijene prirodnog plina na tržištu. Potrebno je osigurati da investitori uvide sve prednosti ove tehnologije, najbolji način za to je inicijalno ih sufinancirati kako bi krenula proizvodnja. Dodjeljivanjem „Feed-in“ premija osigurava se isplativost postrojenja dok se ne povrate inicijalna ulaganja, nakon toga su postrojenja isplativa i po puno nižim cijenama biometana na tržištu. Na slici 18 prikazni su diskontirani novčani tokov za slučaj prodajne cijene biometana u iznosu od 100 €/MWh, dok slika 19 prikazuje pozitivne interne stope povrata za one supstrate koji to ostvaruju.



Slika 18: Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 100 €/MWh



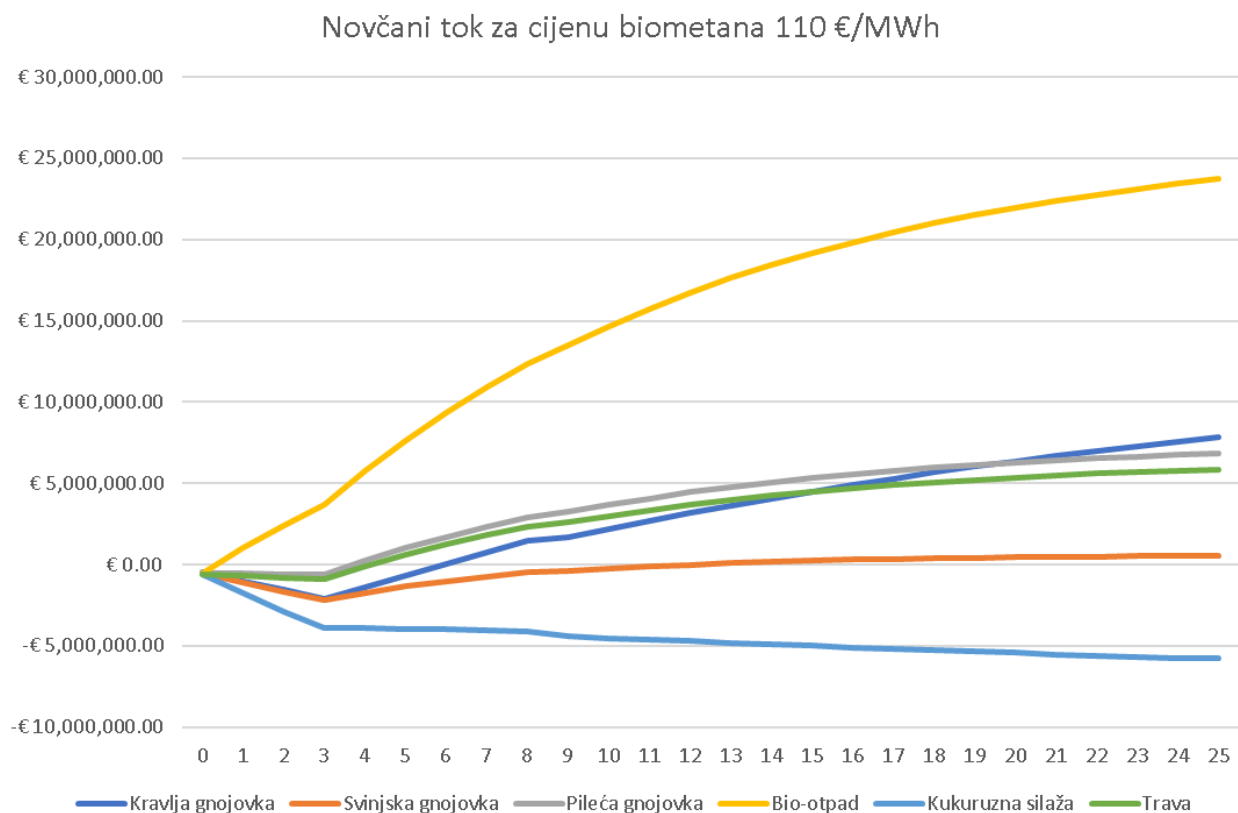
Slika 19: Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 100 €/MWh

Iz grafa je vidljivo da su da samo tri supstrata imaju ekonomsku osnovu za prodaju pri ovoj cijeni. Bio-otpad je najisplativiji, kao što je ranije navedeno to je temeljeno izdašnom naknadom za zbrinjavanje takvog otpada u visini od 40 € po toni, uz njega isplativi su još pileća gnojovka i trava. Ostali supstrati pri ovaj visini cijene nemaju ekonomskog smisla. Također, iz grafa je kod svih supstrata moguće uočiti dodatni pad u prve tri godine koji je uzrokovan gubitkom sredstava od prodaje električne energije po „Feed-in“ tarifi.

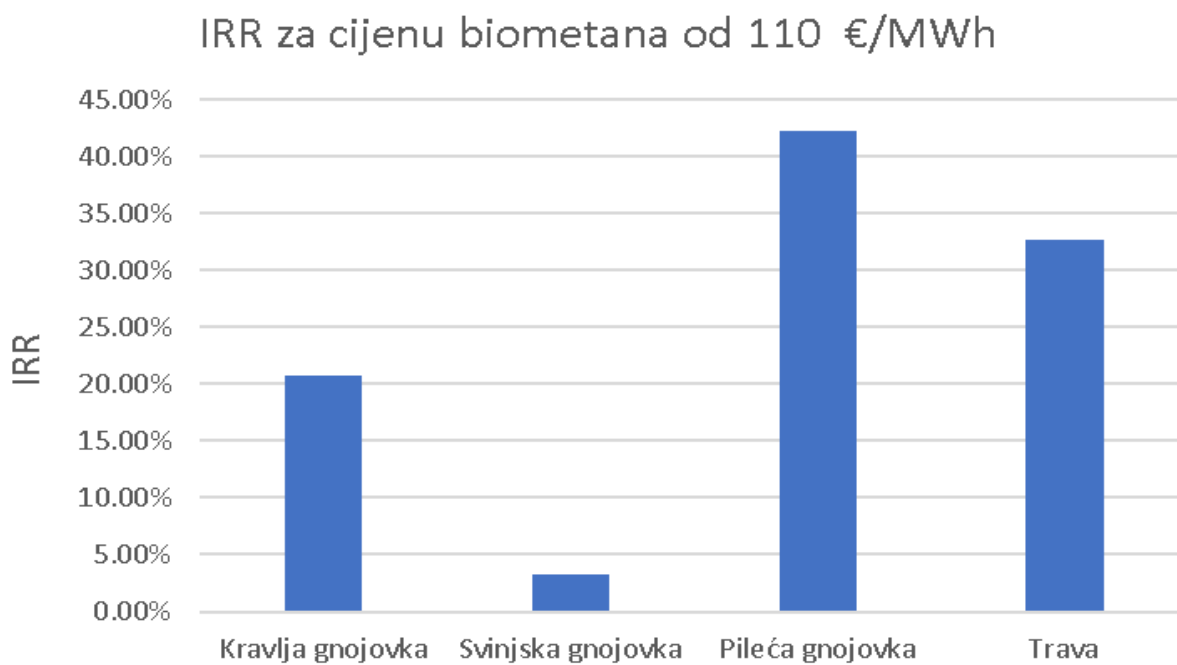
Za određivanje isplativosti određenog supstrata u proizvodnji biometana služimo se i internom stopom povrata (IRR). Ona predstavlja stopu koja čini neto sadašnju vrijednost (NPV) investicije jednaku nuli. Drugim riječima, ako je IRR veća od odabrane diskontne stope, to ukazuje na to da je projekt isplativ, što znači da je stopa povrata, koja čini NPV jednakim nuli, veća od diskontne stope koja se koristi za izračun NPV-a. U ovom proračunu je korištena diskontna stopa od 10% kako bi se osigurali od visokih kamatnih stopa te ostalih mogućih rizika u poslovanju. Na slikama 19, 21 i 23 su prikazane interne stope povrata. Radi bolje preglednosti i lakšeg razumijevanja prikazane su vrijednosti samo za supstrate koji ostvaruju pozitivne vrijednosti.

Cijena biometana 100 €/MWh nam donosi isplativost za samo dva supstrata, ukoliko pratimo internu stopu povrata, to su pileća gnojovka i trava. Kao što smo ranije naveli problem kod ovih supstrata je njihova nedostatnost i sezonalnost. Odnosno količine pileće gnojovke često nisu dostatne da se zadovolji postrojenje, budući da je potrebna gnojovka od preko osamsto tisuća pilića koju je potrebno redovito prevoziti do postrojenja. S druge strane problem s travom je njezina sezonska dostupnost, odnosno trave za proizvodnju biometana ima najviše u proljeće dok u ostalim godišnjim dobiva njezina količine je limitirana ili je uopće nema.

Iz ovoga možemo donijeti isti zaključak kao iz proračuna novčanog toka da i da prodajna cijena biometana od 100 €/MWh ne bi imala gotovo nikakav utjecaj na povećanje proizvodnje biometana u Hrvatskoj. Stoga je potrebno povisiti cijenu ukoliko želimo polučiti značajni porast u proizvodnji biometana.



Slika 20: Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 110 €/MWh



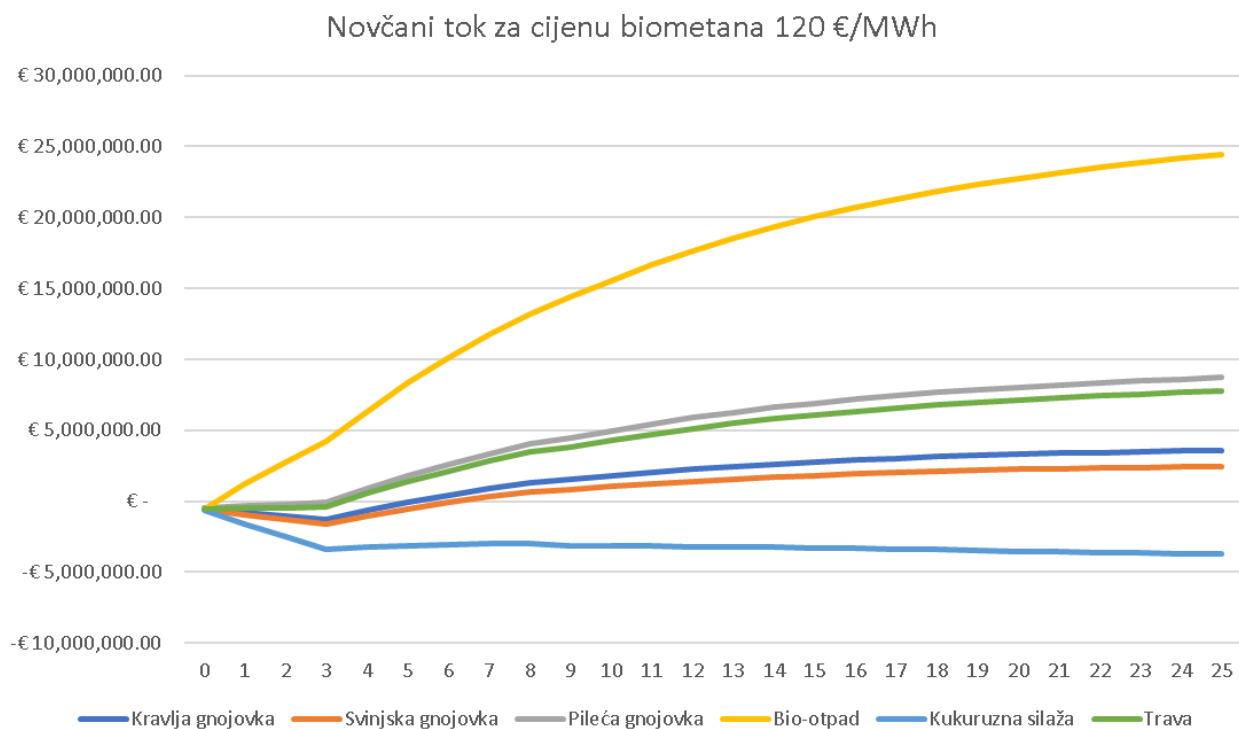
Slika 21: Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 110 €/MWh



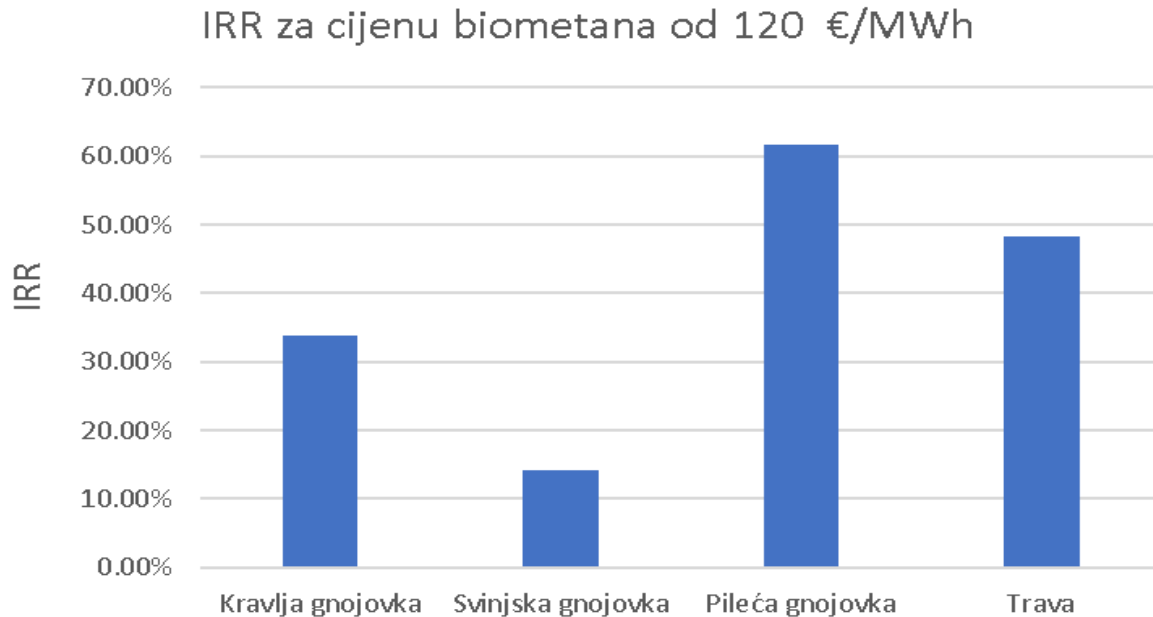
Ukoliko umjesto 100 €/MWh, prodajna cijena biometna iznosi 110 €/MWh dolazi do promjena u isplativosti određeni supstrata, kao što možemo vidjeti sa slika 20 i 21. U ovom slučaju jedini supstrati koji još uvijek nemaju ekonomsku isplativost su kukuruzna silaža i kombinacija kukuruzne silaže i gnojovke. Ta kombinacija supstrata je danas najkorištenija u proizvodnji bioplina u Hrvatskoj. Svi ostali supstrati su pri ovoj visini premije isplativi i moglo bi se očekivati širenje njihove upotrebe ukoliko se koristi ova visina naknade.

Interna stopa povrata pokazuje da bi svi supstrati, osim svinjske gnojovke, pri ovoj visini prodajne cijene biometna ostvarili internu stopu povrata veću od diskontne stope. Stoga, možem se reći da ni ova naknda nije dostatna kako bi se potaknulo širenje proizvodnje biometana u maksimalnom obujmu. No može se zaključiti da bi ova cijena bila dostatna da se potakne proizvodnja biometana iz supstrata koji nemaju visoku cijenu, odnosno supstrati koji su besplatni. Prvenstveno ova naknada bi potaknula široku uporabu gnojovke te raznih vrsta otpada za proizvodnju biometana. Uvođenje ove cijene biometna imalo bi pozitivan utjecaj na proizvodnju biometana, ali ne i dovoljno snažan rast da bi se ostvarili zahtjevi koje je postavila EU.

Na slikama 22 i 23 su prikazani diskontirani novčani tokovi te interne stope povrata za prodajnu cijenu biometana u iznosu od 120 €/MWh.



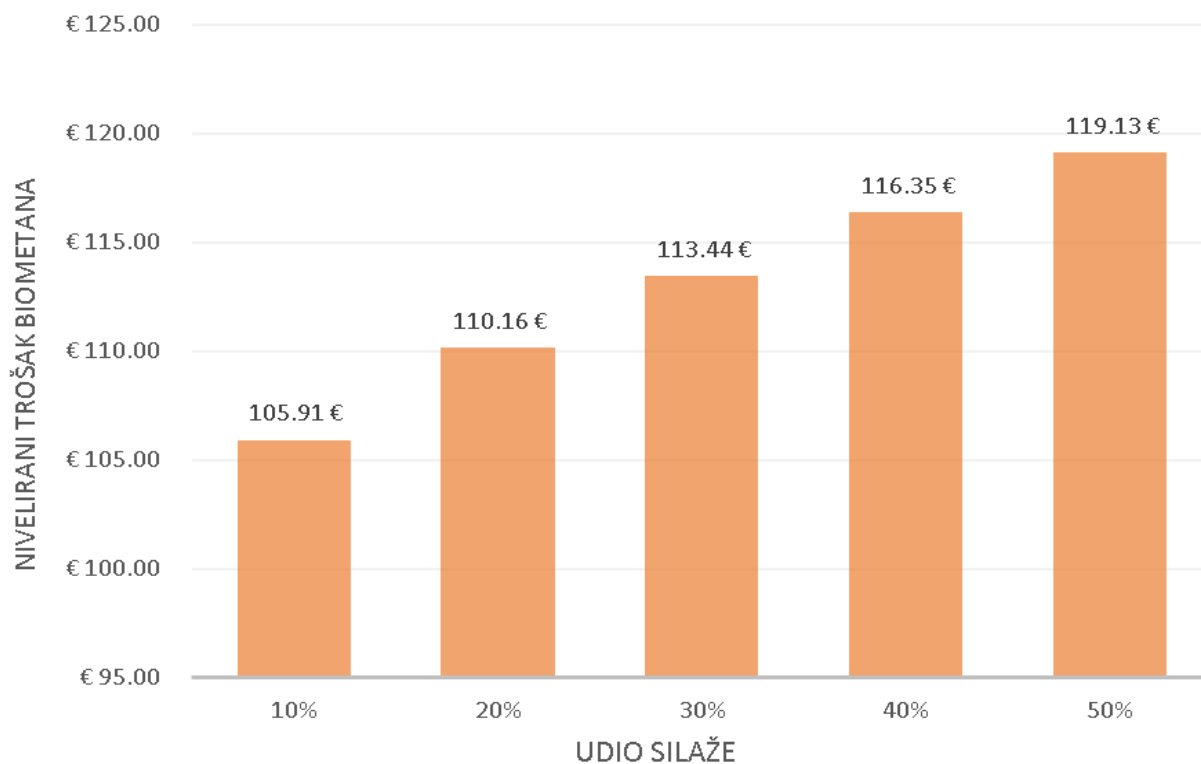
Slika 22: Novčani tok o ovisnosti o supstratu za cijenu biometana od 120 €/MWh



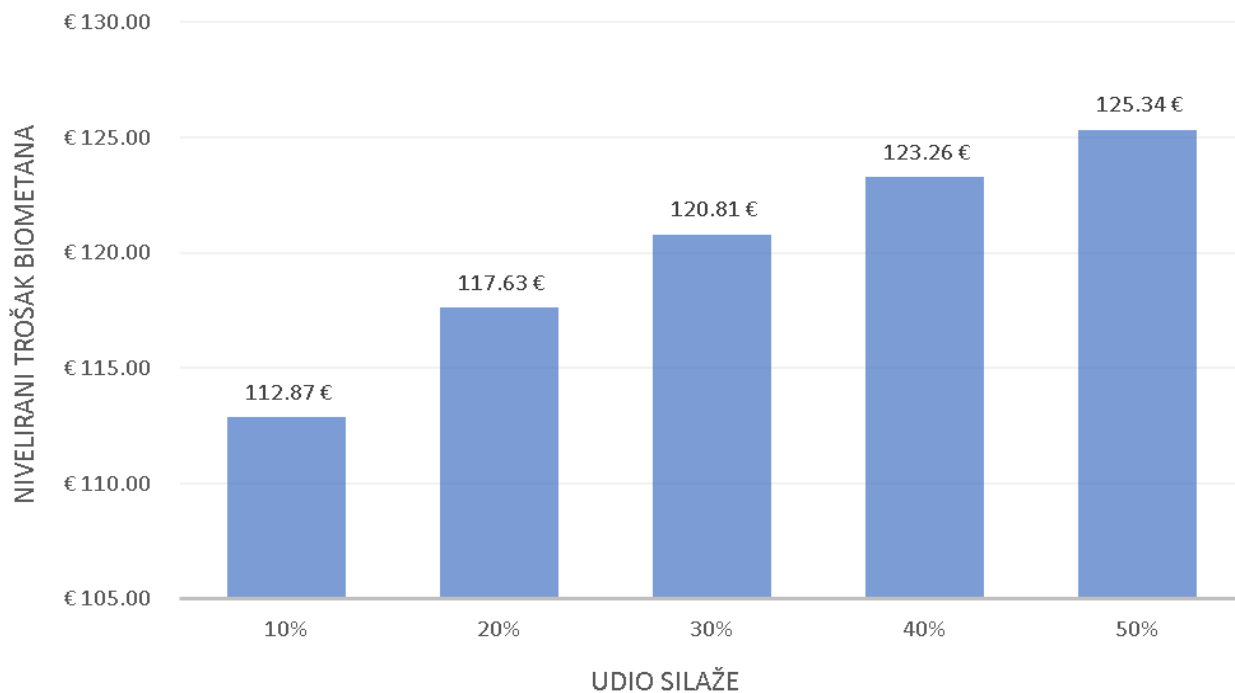
Slika 23: Razlika u IRR-u po supstratima za cijenu biometana od 120 €/MWh

Uvođenjem cijene biometana od 120 €/MWh dolazi do povećane isplativosti za sve supstrate koji su bili isplativi i pri nižim cijenama. Jedina razlika je što pri ovoj cijeni i svinjska gnojovka ostvaruje internu stopu povrata veću od 10%. Jedini supstrat koji ni pri ovoj cijeni ne ostvaruje profitabilnost u proizvodnji je kukuruzna silaža. Kako smo već ranije izračunali, njezin nivelirani trošak iznosi 134.65 €/MWh. Stoga ukoliko želimo povećati proizvodnju na maksimalni mogući obujam bilo bi potrebno dodatno povisiti cijenu biometana. Jedino pitanje koje ostaje je opravdanje visine cijene koja bi bila toliko viša od trenutne tržišne cijene prirodnog plina. Moramo uzeti u obzir da jedino korištenje kukuruzne silaže kao supstrata zahtjeva ovako visoku cijenu biometana. Kukuruzna silaža se kupuje na tržištu i za nju se plaća visoka cijena zbog mogućnosti korištenja silaže za prehranu. Mora se postići dogovor na razini države je li prihvatljivo korištenje silaže kao izvora za biometan. Uvođenjem cijena viših od 135.65 €/MWh došlo bi do najvećeg porasta proizvodnje biometana, ali bi se uglavnom povećalo korištenje silaže koja se može koristiti i za druge vrijedne namjene.

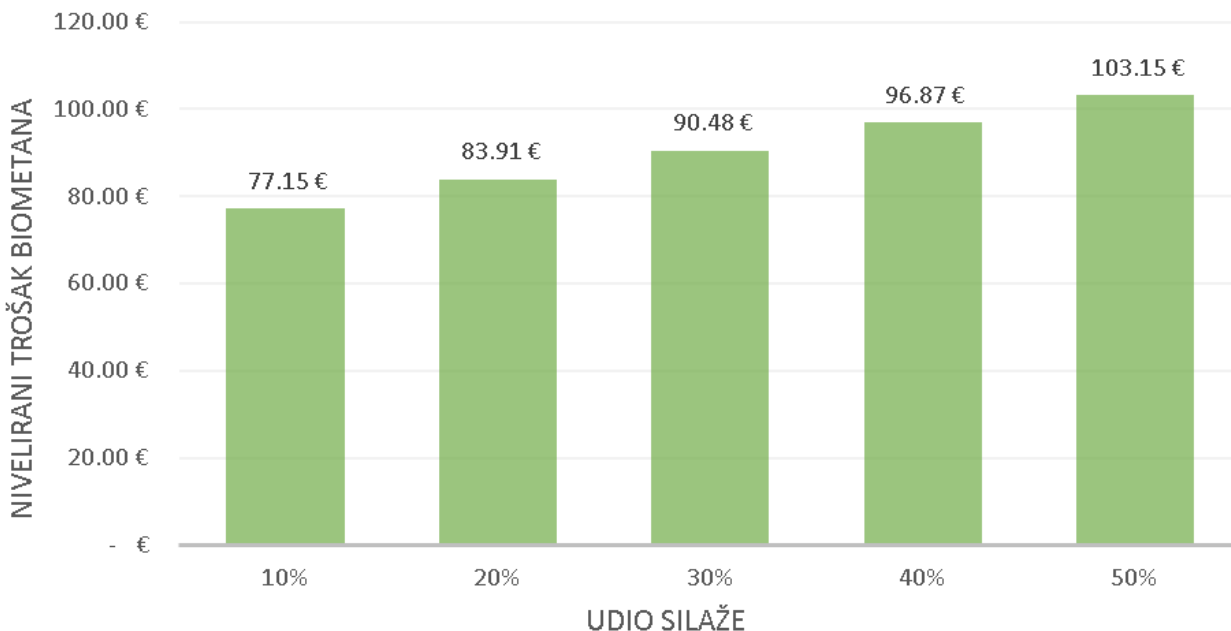
Kako bismo definirali potrebnu razinu subvencije za ostvarivanje povećanja proizvodnje, odredit će se nivelirani trošak proizvodnje u kojem je supstrat kombinacije kukuruzne silaže i gnojovke. Iako je dodavanje silaže nepoželjno te se prema zahtjevima iz EU direktive o obnovljivim izvorima energije navodi da je potrebno prestati s njezinim korištenjem za proizvodnju biometana do 2030. godine [4], bez njezine upotrebe danas nije moguće ostvariti zadane ciljeve o povećanju proizvodnje biometana. Na slikama 24, 25 i 26 prikazani su nivelirani troškovi biometana u ovisnosti o postotku silaže u kombinaciji supstrata.



Slika 24: Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem kravlje gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže



Slika 25: Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem svinjske gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže



Slika 26: Promjena niveliranog troška biometana za korištenjem pileće gnojovke i kukuruzne silaže, u ovisnosti o udjelu silaže

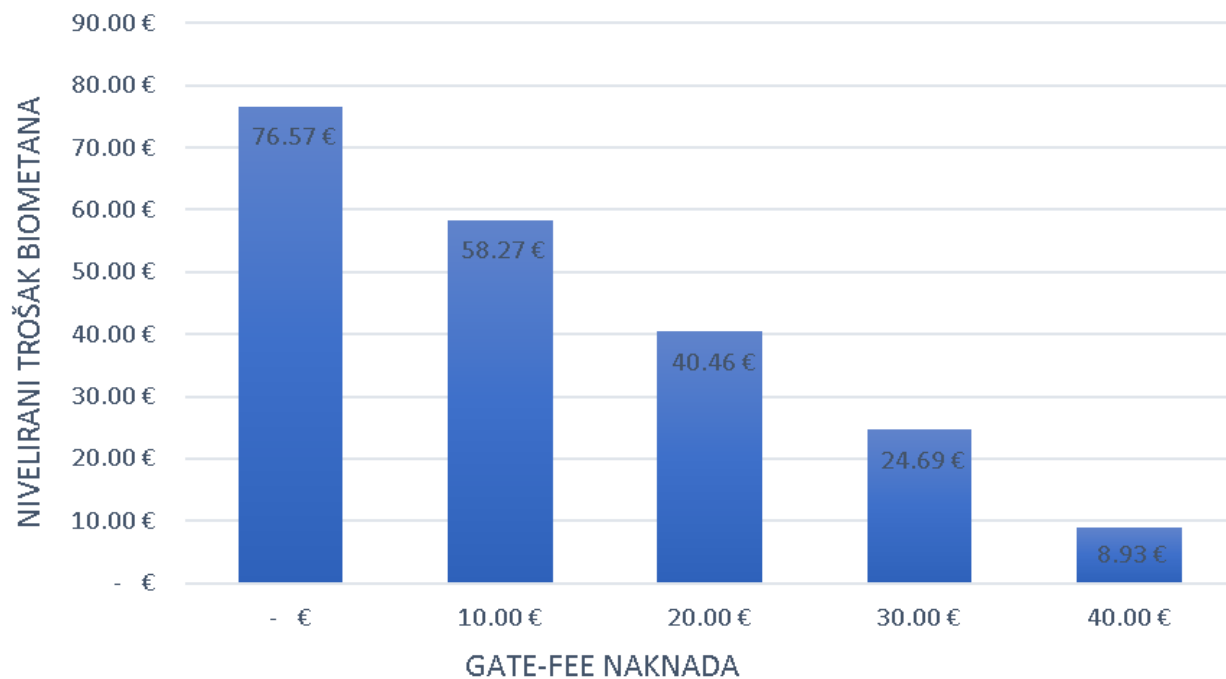
Iz slika 24, 25 i 26 može se primijetiti da je u ovom prijelaznom razdoblju, dok se još smije koristiti kukuruzna silaža, moguće koristiti kombinaciju kukuruzne silaže i gnojovke, a da nivelirani trošak proizvodnje ostane ispod razine od 120 €/MWh. Važno je da se prati koliko udio silaže se stavlja u koji tip gnojovke, pileća gnojovka je ekonomski najpovoljnija stoga ona može podnijeti veće udjele silaže. Dok je svinjska najmanje povoljna, stoga u koliko koristimo svinjsku gnojovku udio silaže može biti maksimalno 20%. Temeljem ovih prikaza može se zaključiti da bi cijena biometana od 120 €/MWh osigurala značajan rast proizvodnje ukoliko se koristi kombinacija gnojovke i silaže. Čime bi se polučio veći porast proizvodnje biometana u odnosu na slučaj gdje zagarantirana cijena biometana iznosi 110 €/MWh.

## 6.2 Promijena troška u ovisnosti o cijeni supstrata

Kao jedinu anomaliju o ovom dijelu izračuna izvučen je bio-otpad. Temelje za to su „Gate-fee“ naknade koje su uračunate u njegov proračun. Stoga ćemo detaljnije definirati povrat ulaganja u bio-otpad za različite vrijednosti „Gate-fee-a“ i cijene biometana i kako one utječu na njegovu isplativost.

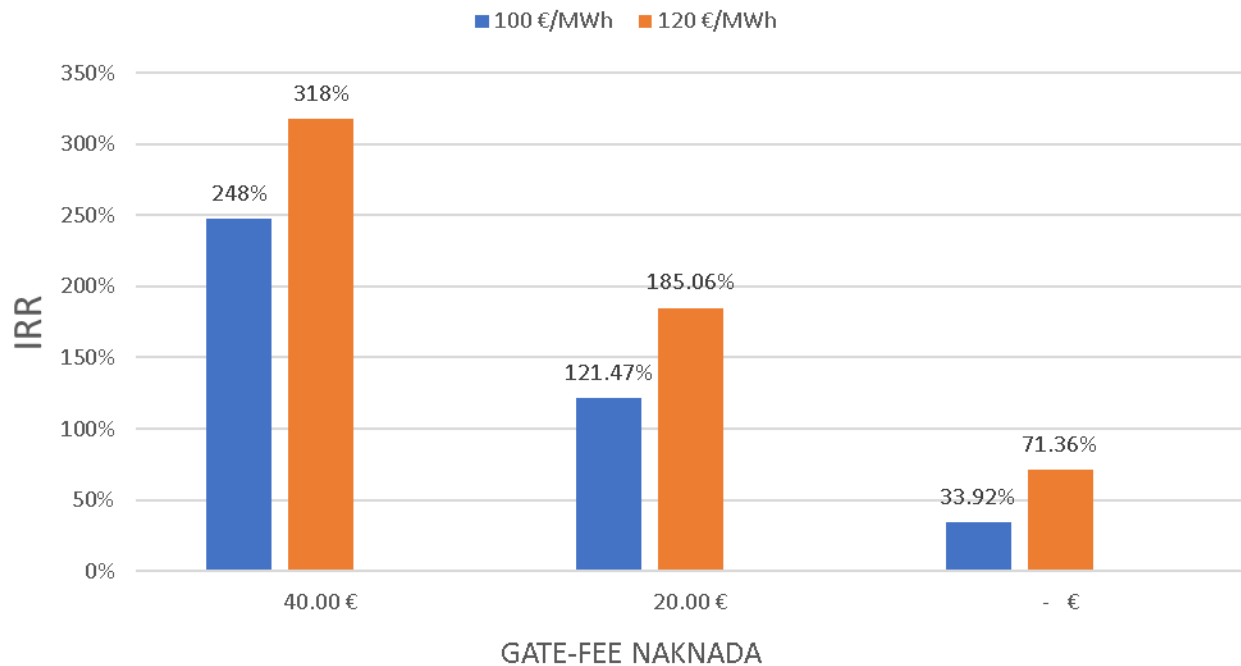
Iz slike 16 i tablice 8 možemo vidjeti značajne razlike u niveliranom trošku među supstratima. Kao najpovoljniji slučaj ističe se bio-otpad, kod kojeg je nivelirani trošak samo 8.93 €. Ključ za tako nisku cijenu je „Gate fee“ kojeg dobije proizvođač biometana kao naknadu za zbrinjavanje komunalnog bio-otpada. Time je bio-otpad posebno izdvojeni supstrat budući da svi ostali zahtijevaju trošak kako bi se nabavio potrebnii supstrat. No treba uzeti u obzir da su limitirane količine bio-otpada, ovdje se prvenstveno radi o bio-otpadu kao frakciji miješanog komunalnog otpada koji nastaje u kućanstvima. Važno je napomenut da korištenjem bio-otpada za proizvodnju biometana pridonosimo korištenju alternativnih sirovina, te samim time i cirkularnoj ekonomiji.

Budući da umjesto da taj otpad završi na odlagalištu, možemo ga iskoristiti i dobiti vrlo vrijedan obnovljivi plin koji ima brojne primjene.



Slika 27 : Nivelirani trošak u ovisnosti o Gate-fee naknadi

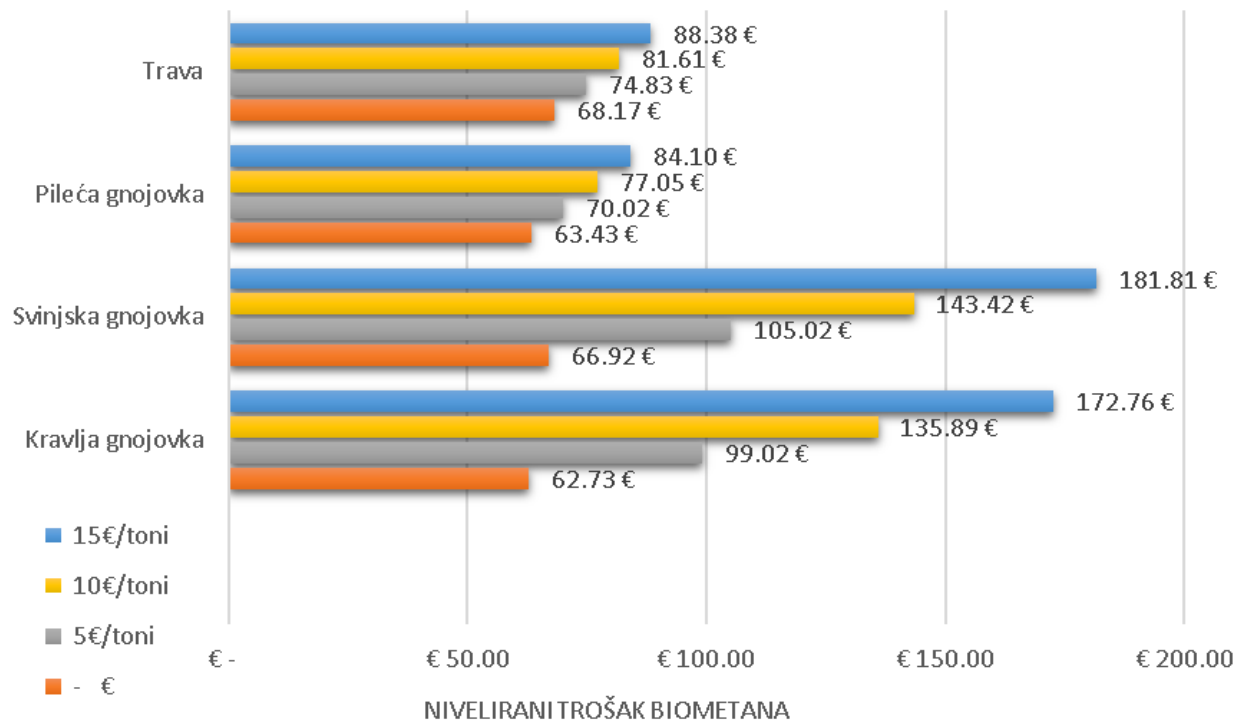
Na slici 27 je prikazana promjena niveliranog troška u ovisnosti o promjeni naknade za zbrinjavanje bio-otpada. Uočljivo je da je nivelirani trošak proizvodnje uvelike ovisi o naknadi koja se dobije za zbrinjavanje bio-otpada. No čak i pri nižim naknada za zbrinjavanje ostvaruju se nivelirani troškovi koji su ekonomski vrlo povoljni.



Slika 28: Promjena IRR-a u ovisnosti o Gate-fee naknadi i cijeni biometana

Trenutna naknada za zbrinjavanje otpada, poznatije kao „Gate-fee“, iznosi u prosjeku otprilike 40 € za bio-otpada. Ova razina naknade donosi iznimno visoke interne stope povrata za svaku od navedenih cijena biometna. Na slici 28 možemo vidjeti promjenu interne stope povrata u ovisnosti o visini naknade za „Gate-fee“ i cijeni biometna. Smanjivanjem navedene naknade za zbrinjavanje bio-otpada i dalje se dobivaju vrlo visoke interne stope povrata zbog dobrih karakteristika, kada je u pitanju proizvodnja biometna.

Temeljni problem korištenja bio-otpada su njegove vrlo limitirane količine. Primjera radi grad Zagreb godišnje generira otprilike 22.500 tona bio-otpada [51]. To je dovoljno za otprilike 50% količina otpada koja bi bila nužna da se zadovolje potrebe postrojenja u ovom radu. Naravno to je uz uvjet da je navedeni otpad pravilno sortirani. Realno je za očekivati da će taj otpad biti potrebno dodatno sortirati, tako da je prava količina bio-otpada vjerojatno još manja. Stoga je potrebno povećati prikupljanje bio-otpada, pogotovo kod subjekata koji imaju veće količine bio-otpada kao što su industrijski proizvođači. Moguće je stimulirati takve subjekte vrlo niskim naknadama za zbrinjavanje i tako osigurati veće količine, a i te niske naknade su dostatne da se ostvarila zadovoljavajuća nivelirana cijena proizvodnje biometana.



Slika 29: Nivelirani trošak proizvodnje u ovisnosti o cijeni supstrata

Supstrati koji su prikazani na slici 29 uglavnom se ustupljaju proizvođačima biometana za male naknade, a često i bez naknade. Stoga, trošak koji je potrebno podmiriti kako bi se koristili ovi supstrati uglavnom se temelji na trošku transporta, te eventualno obrade navedenih supstrata. Na slici 29 možemo primijetiti da postoje razlike u niveliranim troškovima za malena povećanja u cijeni supstrata, što je pogotovo drastično izraženo kod svinjske i kravlje gnojovke. To je temeljeno iz velikih količina tih supstrata koje je potrebno obraditi kako bi se dobile potrebne količine bioplina. Stoga, je potrebno osigurati da proizvođači biometana navedene supstrate koriste uz osiguravanje da trošak tih supstrata ostane na dovoljno niskoj razini. Drugim riječima, nužna je suradnja između proizvođača kojima ostaje supstrat kao višak u proizvodnji i proizvođača biometana koji koriste taj supstrat za proizvodnju biometana.

### 6.3 Preporuke mjera za povećanje proizvodnje biometana u Hrvatskoj

Ukoliko uzmemo da je trenutna cijena prirodnog plina koji se prodaje na tržištu 50 €/MWh, možemo vrlo lako zaključiti da bez subvencija proizvodnja biometana iz ovakvih postrojenja nije ekonomski isplativa, za navedenu cijenu prirodnog plina. Zbog toga je potrebno sufinanciranje od strane države kako bi investitorima bilo ekonomski isplativo ulagati u ovakva postrojenja.

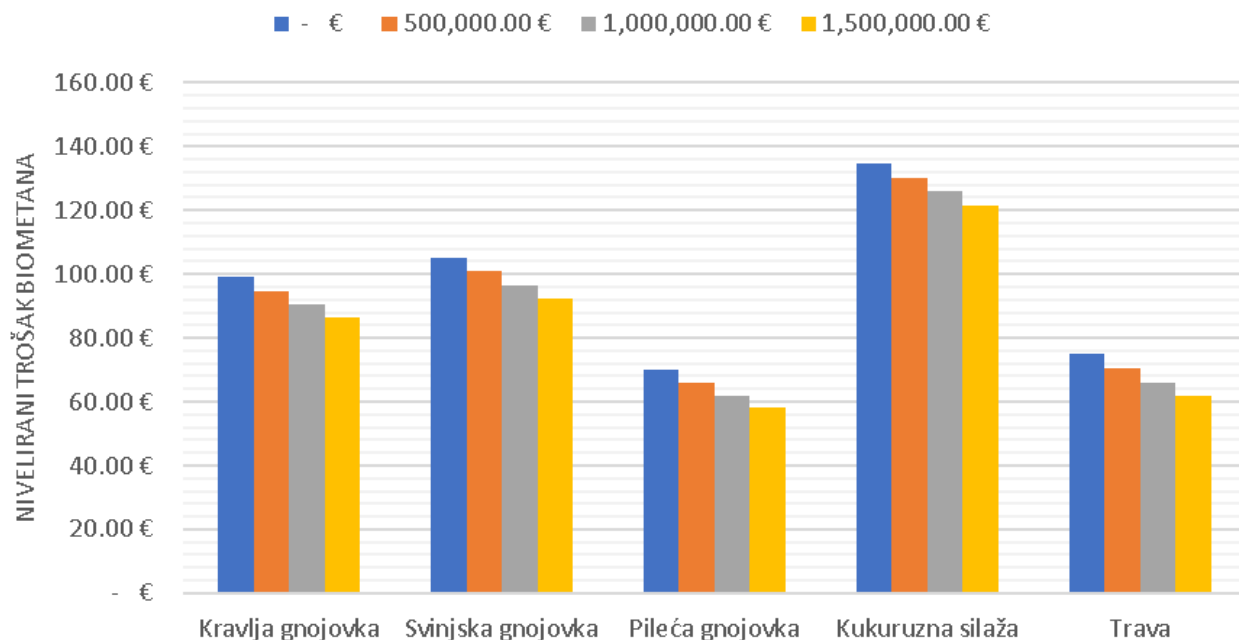
Države lako mogu opravdati dodjeljivanje sredstava za ovakav tip projekata, budući da su koristi za društvo značajne. Dobiva se alternativni izvor metana koji ne dolazi iz fosilnog goriva, smanjuje se utjecaj na klimatske promjene i zbrinjava se supstrat koji bi u bilo kojem drugom načinu zbrinjavanja predstavlja veći problem. Također, ostatak procesa anaerobne digestije je vrlo vrijedna sirovina digestat, koji se koristi u poljoprivredi kao zamjena za gnojivo.

Postoji nekolicina mjera, navedenih ranije u radu, kojima se države služe za poticanje proizvodnje biometana. Kada je riječ o ekonomskoj isplativosti, ključna mjera kojom se države služe je davanje povlaštenih naknada proizvođačima biometana. Radi se o iznosu kojeg bi proizvođači dobili za prodaju biometana, poznatije kao „Feed-in“ premija.. To je naknada koju bi proizvođači dobivali, a radi se o razlici između tržišne cijene prirodnog plina i određene definirane cijene biometana. Ona daje sigurni izvor prihoda za proizvođače biometana, uz ostavljanje prostora za ostvarivanje dodatne zarade ukoliko cijene prirodnog plina budu na razini iznad dogovorene cijene biometana.

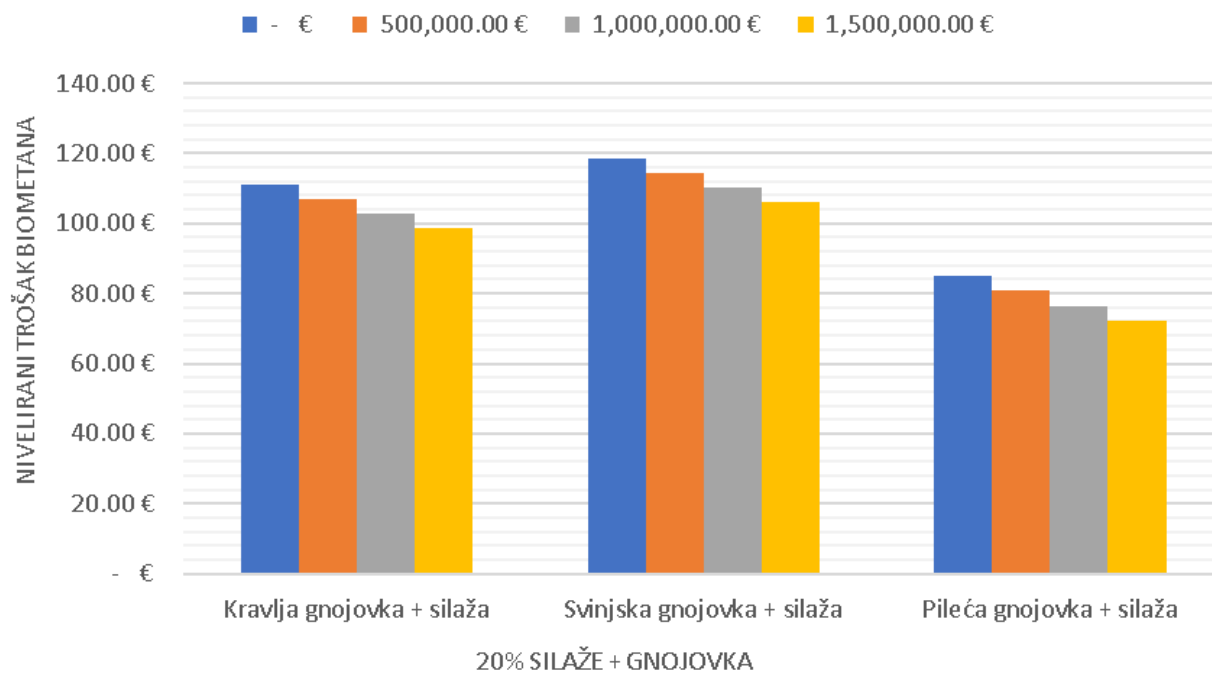
U cilju poticanja povećane proizvodnje biometana u Hrvatskoj, predlaže se implementacija „Feed-in“ premije koja bi osigurala proizvođačima cijenu biometana u visini od 120 €/MWh. Cilj uvođenja premije je postizanje ekonomske isplativosti za sve supstrate koji su izračunati u ovom radu, uz iznimku kukuruzne silaže. Važna napomena u vezi s kukuruznom silažom, kao što je ranije prikazano u radu, je da ona postaje ekonomski isplativa kada se koristi u kombinaciji s gojovkama i pri visini cijena biometana od 120 €/MWh ukoliko njezin sadržaj unutar te mješavine ostane na dovoljno niskim razinama. Implementacijom ove premije osigurala bi se isplativost proizvodnje biometana i s korištenje silaže, ukoliko je ona samo manji izvor bioplina, što je ključno da se postignu ciljevi o povećanju proizvodnje biometana. Dugoročno je potrebno izbaciti silažu iz proizvodnje, a samim time će se moći smanjiti i visina premija kad se ona neće koristiti. Povećanje nakade na razinu koja bi učinila korištenje kukuruzne silaže kao jedinog supstrat isplativim, bi dovelo do problema gdje bi se značajno povećala proizvodnja iz tog supstrata kojeg dugoročno se želi prestati koristiti.

Druga mjera sufinanciranja koja je kojom se Hrvatska može poslužiti za povećanje proizvodnje biometan je sufinanciranje investicijskih troškova. U ovom radu su uzeta tri iznosa sufinanciranja. Na slikama 30 i 31 je prikazan njihov utjecaj na visinu niveliranog troška biometana.





Slika 30: Promjena niveliranog troška u ovisnosti o iznosu subvencije za investiciju



Slika 31: Promjena niveliranog troška za kombinaciju gnojovke i silaže u ovisnosti o iznosu subvencije za investiciju

Uspoređujući različite mjere poticanja proizvodnje biometana, sufinanciranje investicijskih troškova nije pokazalo istu učinkovitost kao "Feed-in" premija. Iako je namijenjeno olakšavanju početnih ulaganja u biometansku proizvodnju, sufinanciranje nije pružilo istu razinu ekonomske stimulacije i održivosti kao što to čini „Feed-in“ premija.

Jedan od izazova koji sufinanciranje donosi jest to što, unatoč početnom financijskom poticaju, ne pruža dugoročno stabilan model poticaja koji bi održao kontinuiranu proizvodnju biometana. Visoki inicijalni troškovi sufinanciranja mogli bi biti teško opravdani od strane države, s obzirom na dugoročni vremenski okvir povrata ulaganja u biometansku proizvodnju.

S druge strane, premija pruža redovite, visoke poticaje tijekom vremena, što dugoročno potiče održivost proizvodnje. Iako može zahtijevati značajna početna sredstva, ova premija se često pokazuje kao efikasan model poticaja jer pruža stabilnost i predvidljivost investitorima.

U konačnici, dok sufinanciranje investicijskih troškova može biti korisno u određenim situacijama, "Feed-in" premija se čini preferiranim instrumentom za poticanje proizvodnje biometana, pružajući snažniji poticaj koji podržava dugoročni rast sektora proizvodnje biometana.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio provesti tehno-ekonomsku analiza prenamjene bioplinskog postrojenja u postrojenje za proizvodnju biometana. Analiza je istražila ključne aspekte transformacije energetskeg postrojenja za proizvodnju električne energije iz bioplina u postrojenje za proizvodnju biometana koji se može koristiti kao zamjena za prirodni plin i utiskivati se u plinsku mrežu. Cilj ovog diplomskog rada bio je definirati nivelirane troškove proizvodnje biometana iz različitih supstrata te na temelju tih spoznaja predložiti mjere sufinanciranja od strane države s ciljem poticanja snažnije proizvodnje.

Korištenje biometana u Hrvatskoj donosi niz značajnih koristi koje se protežu kroz ekonomske, ekološke i energetske aspekte. Prva ključna prednost proizlazi iz činjenice da biometan predstavlja klimatski prihvatljiviju alternativu konvencionalnim fosilnim gorivima, čime pridonosi smanjenju ukupnih emisija stakleničkih plinova. Također, diversifikacija plinskih izvora postoji kao jedna od temeljnih energetskeg politika kako Hrvatske tako i Europske unije. Korištenjem biometana, Hrvatska smanjuje svoju ovisnost o uvozu prirodnog plina, čime se povećava energetska sigurnost zemlje. Ne samo da se postiže veća neovisnost, već i smanjuje osjetljivost na fluktuacije cijena i dostupnosti plina na globalnom tržištu.

Posebno značajna prednost biometana u hrvatskom kontekstu proizlazi iz sposobnosti iskorištavanja poljoprivrednih ostataka i drugih bioloških otpadaka. Ova praksa rješava dva ključna pitanja: prvo, omogućava ekološko zbrinjavanje otpada koji bi inače predstavljali potencijalni ekološki problem, a drugo, stvara dodatnu vrijednost kroz proizvodnju obnovljive energije.

Otpad iz poljoprivrede i drugi biološki ostaci, ako se ne obrade ispravno, mogu postati ozbiljan ekološki izazov. Korištenje biometana kao energenta omogućava učinkovito iskorištavanje tih ostataka, smanjujući negativne ekološke utjecaje. Ovaj pristup ne samo da čisti okoliš, već i potiče održivost u sektoru poljoprivrede.

Analiza je pokazala da sukladno sadašnjim tržišnim uvjetima, trenutna tržišna cijena prirodnog plina iznosi 50 €/MWh, nije dostatna da se ostvari ekonomska profitabilnost proizvodnje biometana pročišćavanjem bioplina. Stoga su nužne mjere sufinanciranja od strane države kako bi se potaknula proizvodnja ovog obnovljivog izvora energije i zadovoljile obaveze preuzete iz energetskeg politika Europske unije. Izračunato je da najveći nivelirani trošak proizvodnje biometan ima kukuruzna silaža, taj nivelirani trošak iznosi 134,65 €/MWh.

Ostali supstrati imaju značajno niži nivelirani trošak proizvodnje, s maksimalnom vrijednošću od 105,2 €/MWh koji ima svinjska gonojevka. Temeljem navedenih podataka može se sumirati da ukoliko nam je cilj maksimalno povećanje proizvodnje biometana, potrebno je uvesti tržišnu premiju koja bi bila dostatna da osigura profitabilnost proizvodnje biometana iz svih supstrata, izuzev samostalnog korištenja kukuruzne silaže. Budući da je silaža vrlo vrijedan resurs koji se može koristiti u prehrambene svrhe, postoji plan za prestanak njezine upotrebe u proizvodnji biometana.

Iz provedenog izračuna niveliranog troška može se zaključiti da ukoliko nam je cilj povećati proizvodnju biometana, a time i osigurati ostvarivanje zadanih ciljeva iz klimatskih i energetskeg

politika Europske unije, je potrebno uvesti „Feed-in“ premiju u iznosu od 120 €/MWh. Postavljanjem ove visine naknade bi se osigurao zagarantirani prihod od prodaje biometana kojim bi postrojenja bila ekonomski isplativa. Uz to ostaje moguće da povećanjem cijene prirodnog plina na veću razinu, proizvođači mogu ostvariti dodatni prihod od prodaje biometana.

Iz svega navedenog može se donijeti zaključak da ukoliko je želja snažan rast proizvodnje, koji je neophodan da bi se na razini Europske unije postigne cilj, postavljen u REPower EU iz 2022. godine, o proizvodnji 35 milijardi kubnih metara biometana do 2030. godine. Potrebna je tržišna premija koja bi potaknula povećanje proizvodnje iz svih supstrata. Konkretno u Hrvatskoj bi ta premija trebala osigurati cijenu biometana u iznosu od barem 120 €/MWh. Ovom cijenom biometana bi korištenje silaže, u kombinaciji s drugim supstratima, bilo trenutno isplativo. Svi drugi supstrati s kojima bi proizvođači biometana oplemenjivali svoju proizvodnju bi samo dodatno povećali njihovu profitabilnost. Iz navedenog, može se zaključiti da bi došlo do povećanog korištenja i svih ostali supstrata, naravno u ovisnosti o njihovoj dostupnosti.

Dugoročni cilj je sniziti visinu premija, čime bi se smanjilo korištenje silaže u proizvodnji biometana. Niže premije osigurale bi i niže cijene biometana na tržištu. Niži troškovi energije, pogotovo metana koji je jedan od ključnih energenata kako za kućanstva tako i za industriju, jedna je od najvažnijih politika Europske unije. Može se zaključiti da pametna politika u pogledu tržišnih premija može kratkoročno dovesti do snažnog rasta proizvodnje biometana, čime bi se osigurale dostatne količine alternativnog i klimatski prihvatljivog metana. Također, postigao bi se i dugoročni cilj je smanjivanja cijena plina za sve u Europi.

---

**LITERATURA**

- [1] “REPowerEU Affordable, secure and sustainable energy for Europe,” European Commission. Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)
- [2] *IMPLEMENTING THE REPOWER EU ACTION PLAN: INVESTMENT NEEDS, HYDROGEN ACCELERATOR AND ACHIEVING THE BIO-METHANE TARGETS*. 2022. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD%3A2022%3A230%3AFIN>
- [3] C. of the E. U. European Parliament, *Renewable Energy Directive (2009/28/EC)*. 2009. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0028>
- [4] C. of the E. U. European Parliament, “Renewable Energy Directive.” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)
- [5] European Biogas Association, “EBA Statistical Report 2022.” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.europeanbiogas.eu/SR-2022/EBA/>
- [6] European Biogas Association, “„EBA Biomethane Map 2022-2023“, .” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.europeanbiogas.eu/strongnew-record-for-biomethane-production-in-europebrshows-eba-gie-biomethane-map-2022-2023-strong/>
- [7] “New record for biomethane production in Europe shows EBA/GIE Biomethane Map 2022-2023,” European Biogas Association. Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.europeanbiogas.eu/strongnew-record-for-biomethane-production-in-europebrshows-eba-gie-biomethane-map-2022-2023-strong/>
- [8] European Biogas Association, “The European Biomethane map 2022.” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2022/01/GIE\\_EBA\\_BIO\\_2021\\_A0\\_FULL\\_3D\\_253\\_online.pdf](https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2022/01/GIE_EBA_BIO_2021_A0_FULL_3D_253_online.pdf)
- [9] Y. Yuxia, M. Ryssel, F. Scholwin, J. Grope, A. Clinkscales, and S. Bowe, “Biomethane Production and Grid Injection: German Experiences, Policies, Business Models and Standards,” 2020. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user\\_upload/china/media\\_elements/publications/Biomethane\\_German\\_Experience\\_Study\\_EN\\_Final.pdf](https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/Biomethane_German_Experience_Study_EN_Final.pdf)
- [10] “Izveščje\_Bioplinska postrojenja\_2017-2021”, Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available:

- [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/022\\_reg\\_onescivaca/Izvjesca/Izvj%C5%A1%C4%87e\\_Bioplinska%20postrojenja\\_2017-2021.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/022_reg_onescivaca/Izvjesca/Izvj%C5%A1%C4%87e_Bioplinska%20postrojenja_2017-2021.pdf)
- [11] *STRATEGIJA ENERGETSKOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE DO 2030. S POGLEDOM NA 2050. GODINU*. 2020.
- [12] Renewable Gas Trade Center in Europe, “Mapping the state of play of renewable gases in Europe,” 2020. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.regatrace.eu/wp-content/uploads/2020/02/REGATRACE-D6.1.pdf>
- [13] “New Incentives for the Biomethane Sector,” DENTONS. Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.dentons.com/en/insights/guides-reports-and-whitepapers/2022/november/14/new-incentives-for-the-biomethane-sector>
- [14] J. Struckmann Poulsen, N. de Jonge, W. Vieira Macêdo, F. Rask Dalby, A. Feilberg, and J. Lund Nielsen, “Characterisation of cellulose-degrading organisms in an anaerobic digester,” *Bioresour Technol*, vol. 351, p. 126933, May 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2022.126933.
- [15] E. F. Khalil, T. N. Whitmore, H. Gamal-El-Din, A. El-Bassel, and D. Lloyd, “The effects of pesticides on anaerobic digestion processes,” *Environ Technol*, vol. 12, no. 6, pp. 471–475, Jun. 1991, doi: 10.1080/09593339109385032.
- [16] I. Ivić, D. Đurđević, and M. Perović, “OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE BIOPLIN,” Energetski institut Hrvoje Požar. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2018/03/BiogasAction-ViroExpo-prezentacija\\_EIHP.pdf](https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2018/03/BiogasAction-ViroExpo-prezentacija_EIHP.pdf)
- [17] J. Meegoda, B. Li, K. Patel, and L. Wang, “A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 15, no. 10, p. 2224, Oct. 2018, doi: 10.3390/ijerph15102224.
- [18] T. Al Sadi *et al.*, *Biogas handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- [19] International Energy Agency, “An introduction to biogas and biomethane.” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>
- [20] “Postrojenje na bioplin u Pisarovini.” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.enerkon.hr/postrojenje-na-bioplin-pisarovina-1200-kwel/>
- [21] F. Ardolino, G. F. Cardamone, F. Parrillo, and U. Arena, “Biogas-to-biomethane upgrading: A comparative review and assessment in a life cycle perspective,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 139, p. 110588, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110588.
- [22] H. Praßl, “Biogas purification and assessment of the natural gas grid in Southern and Eastern Europe,” 2008.

- [23] “The Requirement of Natural Gas Today.” Accessed: Nov. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.jogwte.com/natural-gas-upgradation-system-purification-plant/>
- [24] Adnan, Ong, Nomanbhay, Chew, and Show, “Technologies for Biogas Upgrading to Biomethane: A Review,” *Bioengineering*, vol. 6, no. 4, p. 92, Oct. 2019, doi: 10.3390/bioengineering6040092.
- [25] N. Duić, F. Canjer, T. Pukšec, and A. Lovrak, “Knjižica s trenutnim primjerima korištenja bioplina/biometana.” [Online]. Available: [www.fsb.hr](http://www.fsb.hr)
- [26] I. Ullah Khan *et al.*, “Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage,” *Energy Convers Manag*, vol. 150, pp. 277–294, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.08.035.
- [27] S. Achinas, V. Achinas, and G. J. W. Euverink, “A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste,” *Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 299–307, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.ENG.2017.03.002.
- [28] D. Turner, “Gas Chromatography – How a Gas Chromatography Machine Works, How To Read a Chromatograph and GCxGC,” Technology Networks. Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/gas-chromatography-how-a-gas-chromatography-machine-works-how-to-read-a-chromatograph-and-gcxc-335168>
- [29] “Biomethane to Grid Injection Solutions,” EMERSON. Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/biomethane-to-grid-injection-solutions-flier-en-177358.pdf>
- [30] S. Bender, “What is natural gas odorization?,” Linc Energy Systems. Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.lincenergysystems.com/blog/what-is-natural-gas-odorization/>
- [31] A. Münther, *Cost-efficient handling of oxygen from bio-methane in the European gas grid*. 2022. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [www.dgc.dk](http://www.dgc.dk)
- [32] A. Münther, *Cost-efficient handling of oxygen from bio-methane in the European gas grid*. 2022. [Online]. Available: [www.dgc.dk](http://www.dgc.dk)
- [33] “Introduction to Techno-Economic Analysis,” DOE Advanced Manufacturing Office. Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: [https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/2022-01-19%20-%20Intro%20to%20TEA%20-%20Slides%20and%20Transcript\\_compliant\\_1\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/2022-01-19%20-%20Intro%20to%20TEA%20-%20Slides%20and%20Transcript_compliant_1_0.pdf)
- [34] “Net Present Value (NPV).” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/net-present-value-npv/>
- [35] T. Vipond, “Internal Rate of Return (IRR).” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/internal-rate-return-irr/>

- [36] “Levelized Cost of Energy (LCOE).” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/levelized-cost-of-energy-lcoe/>
- [37] M. Papapetrou and G. Kosmadakis, “Resource, environmental, and economic aspects of SGHE,” in *Salinity Gradient Heat Engines*, Elsevier, 2022, pp. 319–353. doi: 10.1016/B978-0-08-102847-6.00006-1.
- [38] F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, and D. Tamm, “Biogas upgrading-Review of commercial technologies (Biogasupgradering-Granskning av kommersiella tekniker) SGC Rapport 2013:270 ‘Catalyzing energygas development for sustainable solutions.’” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [www.sgc.se](http://www.sgc.se).
- [39] R. Bedoić, F. Jurić, B. Čosić, T. Pukšec, L. Čuček, and N. Duić, “Beyond energy crops and subsidised electricity – A study on sustainable biogas production and utilisation in advanced energy markets,” *Energy*, vol. 201, p. 117651, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117651.
- [40] E. Barbera, S. Menegon, D. Banzato, C. D’Alpaos, and A. Bertucco, “From biogas to biomethane: A process simulation-based techno-economic comparison of different upgrading technologies in the Italian context,” *Renew Energy*, vol. 135, pp. 663–673, May 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.12.052.
- [41] “Hrvatska burza električne energije,” CROPEX. Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.cropex.hr/hr/>
- [42] M. List, “Hoće li bioplinska postrojenja preživjeti visoke cijene sirovina?,” *Balkan green energy news*, 2022, Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://balkangreenenergynews.com/rs/hoce-li-bioplinska-postrojenja-prezivjeti-visoke-cijene-sirovina/>
- [43] Državni zavod za statistiku, “Prosječna neto plaća,” 2023. Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://dzs.gov.hr/vijesti/prosjecna-neto-placa-u-svibnju-1-133-aura/1616>
- [44] M. Pöschl, S. Ward, and P. Owende, “Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways,” *Appl Energy*, vol. 87, no. 11, pp. 3305–3321, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.05.011.
- [45] P. Collet *et al.*, “Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology,” *Appl Energy*, vol. 192, pp. 282–295, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.181.
- [46] L. X. Zhang, C. B. Wang, and B. Song, “Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China,” *J Clean Prod*, vol. 47, pp. 415–421, May 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.06.021.



- [47] “Zakon o porezu na dobit (pročišćeni tekst zakona).” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.zakon.hr/z/99/Zakon-o-porezu-na-dobit>
- [48] “What is the average electricity and gas consumption in the Brussels region?” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.energuide.be/en/questions-answers/what-is-the-average-electricity-and-gas-consumption-in-the-brussels-region/273/>
- [49] “A geographical profile of livestock manure production in Canada, 2006.” Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2008004/article/10751-eng.htm>
- [50] D. Kralik, ; S Kukić, and ; R Spajić, “Tunjić (5); (2) Prof.dr.sc. Davor Kralik-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,” *Industrijska*, vol. 1, no. 1, p. 31402.
- [51] F. Pavić, “SKUPLJI ODVOZ BIOOTPADAJA,” *Jutarnji List*. Accessed: Nov. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.jutarnji.hr/vijesti/zagreb/natjecaj-od-36-5-milijuna-kn-po-toni-zbrinjavanja-zg-holding-nudi-visu-cijenu-od-dosadasnje-15093507>