Analiza uštede stakleničkih plinova ostvarene korištenjem industrijskih ostataka i nusproizvoda za proizvodnju bioplina

Rašić, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:534511

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

DIPLOMSKI RAD

Dominik Rašić

Zagreb, 2021.

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.dr.sc. Tomislav Pukšec

Student:

Dominik Rašić

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se projektu INTERENERGY (IP-2019-04-9482) Istraživanje puteva energetske tranzicije - međuovisnost "power-to-X" tehnologija, tehnologija odgovora potrošnje i povezivanja tržišta energijom na pristupu literaturi.

Zahvaljujem se svom mentoru, doc.dr.sc. Tomislavu Pukšecu na pruženoj prilici za izradu ovog diplomskog rada. Također, zahvalio bih se asistentici Ani Lovrak na savjetima, pomoći, strpljenju i trudu koji je uložila tijekom pisanja diplomskog rada.

Ponajviše se zahvaljujem roditeljima i sestrama na pruženoj podršci, strpljenju i razumijevanju tijekom svih godina studiranja.

Posebno bih se zahvalio svojoj djevojci Ivani na bezuvjetnoj podršci i ljubavi koju mi je pružila tijekom proteklih godina te pomoći oko izrade diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se i svojim prijateljima koji su mi uljepšali i olakšali studiranje.

Dominik Rašić

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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: **602 - 04 / 21 - 6 / 1**	
Ur. broj: **15 - 1703 - 21 -**	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Dominik Rašić** Mat. br.: 0035201684

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza uštede stakleničkih plinova ostvarene korištenjem industrijskih ostataka i nusproizvoda za proizvodnju bioplina**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of greenhouse gas savings achieved through utilization of industrial residues and by-products for biogas production**

Opis zadatka:

Proizvodnja bioplina pomoću tehnologije anaerobne digestije omogućava iskorištavanje materijala niske vrijednosti, koji se smatraju otpadom, za proizvodnju produkata više vrijednosti. Korištenje kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina uzrokovalo je zabrinutost zbog negativnog utjecaja na okoliš putem izravne i neizravne promjene korištenja zemljišta. Iz tog razloga, Europska komisija Direktivom 2018/2001 uvodi ograničenja vezana uz korištenja kukuruzne silaže i minimalne uštede stakleničkih plinova koje proizvodanja bioplina treba ostvariti, što za cilj ima promicanje korištenja ostataka i nusproizvoda za proizvodnju bioplina. Geografski informacijski sustav (GIS) predstavlja iznimno koristan alat za definiranje prostorne distribucije potencijala biomase, izračun ukupne udaljenosti između izvora sirovine i bioplinskih postrojenja te određivanje optimalnih lokacija bioplinskih postrojenja.
U radu je potrebno:

1. Mapirati potencijal bioplina kojeg je moguće proizvesti iz industrijskih ostataka i nusproizvoda koji nastaju u prehrambenoj industriji u Republici Hrvatskoj
2. Na temelju karte potencijala, pomoću GIS alata, odrediti pogodne lokacije za izgradnju bioplinskih postrojenja u više županija Republike Hrvatske
3. Izračunati uštede emisija stakleničkih plinova u skladu s metodom koju propisuje Direktiva 2018/2001 te za svako predloženo postrojenje definirati sirovine koje ostvaruju tražene uštede stakleničkih plinova
4. Izračunati razinu isplativosti korištenja odabranih sirovina

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
21. siječnja 2021.	25. ožujka 2021.	29. ožujka – 2.travnja 2021.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Doc.dr.sc. Tomislav Pukšec Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

Sadržaj

POPIS SLIKA II

POPIS TABLICA IV

POPIS OZNAKA VI

SAŽETAK X

SUMMARY XI

1 UVOD 1

2 METODA 6

2.1 Prikupljanje ulaznih podataka 6

2.2 Izračun tehničkog potencijala industrijskih ostataka i nusproizvoda 7

2.3 Izračun potencijala bioplina iz industrijskih ostataka 9

2.4 Mapiranje tehničkog potencijala i potencijala bioplina u alatu Geografskog informacijskog sustava (GIS alatu) 13

2.5 Određivanje optimalnih lokacija bioplinskih postrojenja 16

2.6 Računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i digestora 16

2.7 Računanje emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova 17

2.8 Ekonomska analiza 26

3 STUDIJA SLUČAJA 29

4 REZULTATI 39

4.1 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 48

4.2 Ekonomska analiza 61

5 ZAKLJUČAK 66

6 LITERATURA 68

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Svjetske emisije prema zagađivaču [1] 1

Slika 1.2 Emisije stakleničkih plinova u EU-u po sektorima u 2017 . godini [1] 2

Slika 1.3 Princip dobivanja bioplina [4] 3

Slika 1.4 Broj bioplinskih postrojenja [5] 4

Slika 1.5 Korištenje kukuruznih silaža [7] 4

Slika 2.1 Tijek prikupljanja ulaznih podataka 7

Slika 2.2 Prikaz slojeva u GIS-u [24] 14

Slika 2.3 Kamion s kiperskom prikolicom [29] 22

Slika 3.1 Lokacije industrijskih postrojenja 30

Slika 3.2 Raspored županija u RH [38] 31

Slika 3.3 Raspodjela industrijskih pogona po županijama 32

Slika 3.4 Cestovna mreža RH u QGIS-u 33

Slika 3.5 Detaljniji prikaz cestovne mreže 33

Slika 4.1. Prikaz bioplinskog potencijala u RH 41

Slika 4.2. Prikaz potencijala bioplina na području Istre i Kvarnera 42

Slika 4.3. Potencijal bioplina Dalmacije 42

Slika 4.4 Potencijal bioplina središnje i sjeverne Hrvatske 43

Slika 4.5 Potencijal bioplina istočne Hrvatske 43

Slika 4.6 Podjela teritorija i lokacije bioplinskih postrojenja 44

Slika 4.7 Ruta između proizvodnih pogona i digestora 46

Slika 4.8 Izgled atributne tablice 47

Slika 4.9 Ekonomska analiza 62

Slika 4.10 Usporedba ušteda emisija i ukupnih specifičnih troškova u slučaju kodigestije 63

Slika 4.11 Raspodjela ukupnog troška u slučaju kodigestije 64

POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Udio nastalih ostataka u finalnom proizvodu....9

Tablica 2.2 Udio ostataka prema kilogramu prerađene sirovine....9

Tablica 2.3. Prinos bioplina vinske komine....11

Tablica 2.4. Podaci o pivskom tropu [16]....11

Tablica 2.5. Karakteristike otpadne vode....11

Tablica 2.6. Karakteristika otpada u preradi rajčice....12

Tablica 2.7. Karakteristika izluženih rezanaca šećerne repe [19]....12

Tablica 2.8. Karakteristika ostataka u mliječnoj industriji....13

Tablica 2.9. Prinos komine masline....13

Tablica 2.10 Podaci o potrošnji goriva i emisijskom faktoru....23

Tablica 2.11 Prosječni udio troškova u prijevozu po komponentama [32]....27

Tablica 3.1. Udio postrojenja i godišnji proizvodni kapaciteti....29

Tablica 3.2 Nasipna gustoća ostataka....35

Tablica 3.3 Prosječna godišnja i standardna vlažnost supstrata....36

Tablica 3.4 Električna i toplinska učinkovitost....37

Tablica 3.5 Cijene ostataka....38

Tablica 4.1 Tehnički potencijal ostataka iz industrijske proizvodnje....39

Tablica 4.2 Potencijal bioplina industrijskih ostataka....40

Tablica 4.3 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 1....48

Tablica 4.4 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova....49

Tablica 4.5 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 2....49

Tablica 4.6 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 2....50

Tablica 4.7 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 3....51

Tablica 4.8 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 3 51

Tablica 4.9 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 4 52

Tablica 4.10 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 4 52

Tablica 4.11 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 5 53

Tablica 4.12 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 5 54

Tablica 4.13 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 6 54

Tablica 4.14 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 6 55

Tablica 4.15 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 7 55

Tablica 4.16 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 7 56

Tablica 4.17 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 8 57

Tablica 4.18 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 8 58

Tablica 4.19 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 9 59

Tablica 4.20 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 9 59

Tablica 4.21 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 10 60

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
X	kg/m^3	udio ostataka u proizvodnji
$V_{proizvoda}$	m^3	proizvedena količina proizvoda
Y	m^3/kg	prinos bioplina
s_{CH_4}	-	udio metana u bioplinu
H_{d,CH_4}	MJ/m^3	donja ogrjevna vrijednost metana
$B_{bioplin}$	MJ	potencijal bioplina
$m_{sirovine}$	kg	masa prerađene sirovine
HT	kg HT/kg ostatka	udio hlapljive tvari
Y_1	m^3	prinos metana
KPK	kg KPK/m^3	kemijska potrošnja kisika
$KPK_{uklonjeni}$	-	postotak uklonjenosti
Y_2	m^3	prinos metana
E	g CO_2eq/MJ	ukupne emisije stakleničkih plinova
e_{ec}	g CO_2eq/MJ	emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovina
e_l	g CO_2eq/MJ	godišnje emisije zbog promjene namjene zemljišta
e_p	g CO_2eq/MJ	emisije od obrade sirovina
e_{td}	g CO_2eq/MJ	emisije od prijevoza i distribucije
e_u	g CO_2eq/MJ	emisije od uporabe goriva
e_{sca}	g CO_2eq/MJ	uštede emisija uslijed akumulacije ugljika u tlu
e_{ccs}	g CO_2eq/MJ	uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2
e_{ccr}	g CO_2eq/MJ	uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2

S_n	-	udio sirovine n kao dio unosa u digestor
P_n	MJ/kg	energetski prinos po kilogramu unosa vlažne sirovine n
W_n	-	faktor ponderiranja supstrata n
$H_{d,bioplin}$	MJ/ m^3	donja ogrjevna vrijednost bioplina
I_n	t	godišnji unos supstrata n u digestor
AM_n	%	prosječna godišnja vlažnost supstrata n
SM_n	%	standardna vlažnost supstrata n
CS_R	t CO_2/m^2	zaliha ugljika po jedinici površine povezana s referentnom uporabom zemljišta
CS_A	t CO_2/m^2	zaliha ugljika po jedinici površine povezana sa stvarnom uporabom zemljišta
P	MJ/m^2	produktivnost kulture
e_B	g CO_2eq/MJ	dodatak od 29 g CO_2eq/MJ biogoriva ako se biomasa dobiva sa saniranog degradiranog zemljišta
e	kWh	potrošnja električne energije
Ef_e	g CO_2eq/kWh	emisijski faktor električne energije, prosječni regionalni
h	l/godini	potrošnja goriva u proizvodnji toplinske energije
Ef_{gorivo}	g CO_2eq/l	emisijski faktor goriva
i	mjerna jedinica/godini	količina bilo kojeg energetskog oblika korištenog u obradi u godini
Ef_i	g CO_2eq/ mjerna jedinica	emisijski faktor korištenog i energetskog oblika u godini
d_{puni}	km	udaljenost koju prijeđe vozilo dok je puno
d_{prazni}	km	udaljenost koju prijeđe prazno vozilo
K_{puni}	l/km	potrošnja goriva punog vozila
K_{prazni}	l/km	potrošnja goriva praznog vozila

$V_{prikolice}$	m^3	zapremnina prikolice
$m_{max,ostatka}$	kg	maksimalna masa određenog ostatka koja se može prevesti u prikolici
$\rho_{ostatka}$	kg/m^3	nasipna gustoća ostataka
EC_{el}	g CO_2eq/MJ	ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda (električna energija)
EC_h	g CO_2eq/MJ	ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda (toplinska energija)
η_{el}	%	električna učinkovitost
η_h	%	toplinska učinkovitost
C_{el}	-	udio eksergije u električnoj i/ili mehaničkoj energiji
C_h	-	Carnotova učinkovitost (udio eksergije u korisnoj toplini)
T_h	K	temperatura korisne topline na mjestu isporuke
T_0	K	temperatura okoline
$U_{(h,el)}$	%	ušteda emisija stakleničkih plinova
$EC_{F(h,el)}$	g CO_2eq/MJ	ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za korisnu toplinu ili električnu energiju
$EC_{B(h,el)}$	g CO_2eq/MJ	ukupne emisije od toplinske ili električne energije
t_n	HRK/MJ	specifični ukupni trošak za sirovinu n
c_n	HRK/MJ	specifični trošak otkupa ostataka sirovine n
p_n	HRK/MJ	specifični trošak prijevoza ostataka sirovine n
o_n	HRK/MJ	specifični trošak obrade ostataka sirovine n
C_o	HRK/kg	otkupna cijena ostataka
N	-	potreban broj kamiona
b	HRK/l	cijena goriva
T	-	korekcijski faktor cijene prijevoza

e_{ee}	kWh	potrošnja električne energije za obradu
C_{ee}	HRK/kWh	cijena električne energije
a	kWh	potrošnja toplinske energije za obradu
C_{te}	HRK/kWh	cijena toplinske energije
k	l	potrošnja kemikalija
C_k	HRK/l	cijena kemikalija
l	obrada	bilo koji oblik dodatne obrade sirovine
C_i	HRK/obrada	trošak bilo kojeg oblika dodatne obrade sirovine

SAŽETAK

Bioplin je obnovljivi izvor energije i može se proizvesti iz velikog broja sirovina organskog porijekla postupkom anaerobne digestije. Primjena bioplina je velika, može se koristiti u proizvodnji električne i toplinske energije ili transportu. Rastom broja instaliranih bioplinskih postrojenja, te ograničavanjem korištenja kukuruzne silaže u proizvodnji bioplina javlja se potreba za sve većim izvorima sirovina pogodnih za proizvodnju bioplina. Ograničava se korištenje silaža kukuruza u proizvodnji bioplina zbog direktne promjene namjene poljoprivrednog zemljišta. U ovom radu istražuje se potencijal proizvodnje bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda. Industrijski ostatci i nusproizvodi zastupljeni u ovom radu su oni nastali u vinarijama, pivovarama, uljarama, mljekarama, šećerani i tvornici prerade povrća. Provedeno je mapiranje u Geografskom informacijskom sustavu (GIS) tehničkog potencijala ostataka i nusproizvoda i potencijala proizvodnje bioplina. Na temelju karte potencijala bioplina, određene su potencijalne lokacije za izgradnju bioplinskih postrojenja za koja se sukladno metodi navedenoj u Direktivi 2018/2001 računaju emisije i uštede emisija stakleničkih plinova nastalih proizvodnjom električne i toplinske energije iz bioplina dobivenog digestijom industrijskih ostataka. Studija slučaja temeljena je na mapiranju biopotencijala industrijskih ostataka i nusproizvoda Republike Hrvatske. Razmatrano je ukupno 192 industrijska postrojenja te je određeno 10 optimalnih lokacija potencijalnih bioplinskih postrojenja. Za određena bioplinska postrojenja izračunate su uštede emisija stakleničkih plinova. Direktiva nalaže uštede emisija stakleničkih plinova pri proizvodnji električne energije od 70 % za postrojenja puštena u pogon od 2021. godine te 80 % za pogone koji će biti pušteni u pogon nakon 1. siječnja 2026. godine. Ekonomskom analizom pokazani su specifični troškovi otkupa i prijevoza ostataka i nusproizvoda za proizvodnju bioplina. Rezultati pokazuju da u najvećem broju slučajeva korištenje industrijskih ostataka i nusproizvoda zadovoljava kriterije koje nalaže Direktiva. U nekim od studija slučaja, tražene uštede nisu ostvarene u slučaju monodigestije biološkog mulja i sirutke nastalih u mljekarskoj industriji zbog manjeg tehnološkog potencijala koji je rezultirao potkapacitiranim transportom te nižom energetskom gustoćom ostataka. Raspon ušteda emisija u kodigestiji ostataka u proizvodnji električne energije je između 84,83 i 89,97 %, a za proizvodnju toplinske energije raspon ušteda emisija stakleničkih plinova je između 92,14 i 94,80 %.

Ključne riječi: industrijski ostatci, bioplin, potencijal bioplina GIS, emisije

SUMMARY

Biogas is a renewable energy source and can be produced from many raw organic materials during anaerobic digestion. The application of biogas is extensive; it can be used to produce electrical and thermal energy or as a fuel in transport. With the growth of the number of installed biogas plants and the restriction of the use of corn silage in biogas production, there is a need for novel sources of raw materials suitable for biogas production. The use of maize silage in biogas production is limited due to a direct change of the land use. This thesis investigates the potential of biogas production from industrial residues and by-products. The industrial residues and by-products represented in this thesis are those produced in wineries, breweries, oil mills, dairies, sugar factories, and vegetable processing plants. Mapping in the Geographic Information System (GIS) of the technical potential of residues and by-products and biogas production's potential was performed. Based on the biogas potential map, potential locations for the installation of biogas plants have been determined for which, in accordance with the method specified in Directive 2018/2001, greenhouse gas emissions and savings from electricity and heat production from biogas obtained by digestion of industrial residues are calculated. The case study is based on the mapping of biopotentials of industrial residues and by-products of the Republic of Croatia. A total of 192 industrial plants were considered, and ten optimal locations of potential biogas plants were determined. Greenhouse gas emission savings have been calculated for determined biogas plants. The Directive requires savings in greenhouse gas emissions for electricity, heating and cooling production from biomass fuels of 70% for plants starting operation from 2021 and 80% for plants that will start into operation after 1 January 2026. The economic analysis shows the specific costs of purchase and transportation of residues and by-products for biogas production. The results show that the use of industrial residues and by-products meets the criteria required by the Directive in most cases. In some of the case studies, the required savings were not achieved in the case of monodigestion of biological sludge and whey generated in the dairy industry due to lower technological potential resulting in under-capacitated transport and lower energy density of residues. The range of emission savings in residue co-digestion in electricity production is between 84.83 and 89.97%, and for heat production, the range of greenhouse gas emission savings is between 92.14 and 94.80%.

Key words: industrial residues,biogas, potencial of biogas, GIS, emissions

1 UVOD

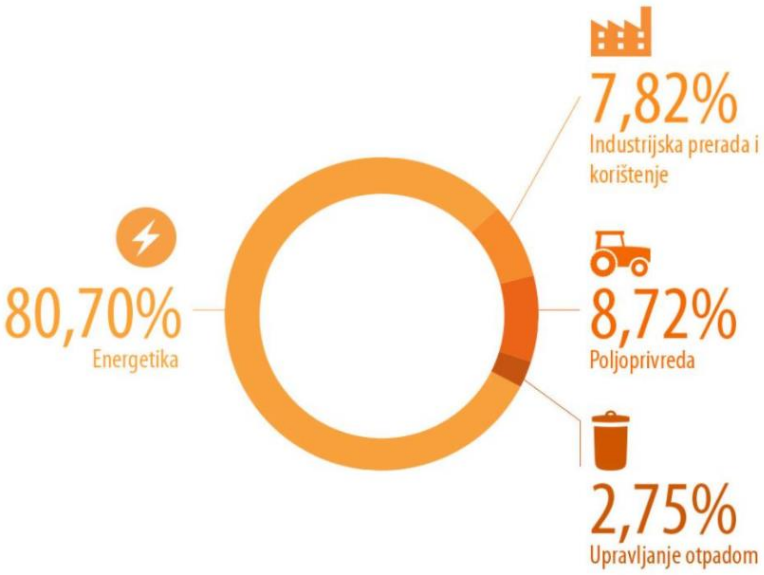
Svjedoci smo značajnih klimatskih promjena posljednjih desetljeća diljem Zemlje. Vjeruje se kako najvećim dijelom do klimatskih promjena dolazi zbog povećanih emisija stakleničkih plinova. Plinovi koji imaju najveći učinak na efekt staklenika su ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4) i dušikov oksid (N_2O) te tzv. sintetički plinovi u manjoj mjeri. Slika 1.1 prikazuje udio svjetskih emisija prema zagađivaču.



Slika 1.1 Svjetske emisije prema zagađivaču [1]

Ugljični dioksid, glavni nusproizvod većine ljudskih aktivnosti i izgaranja fosilnih goriva, ima najveći udio u emisiji stakleničkih plinova u iznosu od 81 % u ukupnim emisijama. Slijedi ga metan s 11 % i dušikov oksid s udjelom od 5 %. Iako se ostali plinovi emitiraju u manjim količinama,

imaju veći specifični potencijal zagrijavanja u odnosu na ugljični dioksid. Emitiranjem jednog kilograma metana u atmosferu pridonosi se efektu staklenika kao da je emitirano 25 kg ugljičnog dioksida, a emitiranjem kilograma N_2O u atmosferu utjecaj na globalno zatopljenje je 298 puta veći u odnosu na ugljični dioksid [2]. Gledajući emisije stakleničkih plinova prema sektorima u kojima nastaju, energetika je odgovorna za 80,7 % emisija, slijedi ju poljoprivreda s 8,72% te industrija s 7,82 % i gospodarenje otpadom s 2,75 % ukupnih emisija kao što prikazuje Slika 1.2

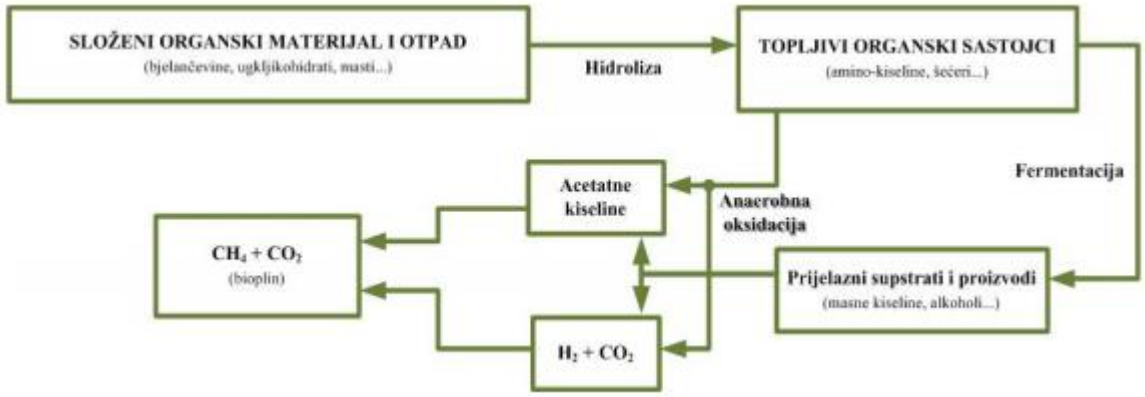


Slika 1.2 Emisije stakleničkih plinova u EU-u po sektorima u 2017 . godini [1]

Predstavnici 195 država potpisuju 2015. godine Pariški sporazum koji govori o borbi protiv klimatskih promjena. Europsko vijeće potvrdilo je obvezujući cilj EU-a za domaće neto smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 55 % do 2030. u odnosu na razine iz 1990. Republika Hrvatska se kao članica Europske unije također obvezala pristupiti globalnom cilju ograničavanja i smanjenja emisija stakleničkih plinova. Europska unija donijela je Europski zeleni plan, strategiju za postizanje održivosti gospodarstva EU-a. Provedbom Europskog zelenog plana Europska unija ima u cilju postati prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. godine [3]. Ciljevi u okviru Zelenog plana: financiranje zelene tranzicije, klimatska neutralnost kao dio zakona, poticanje kružnog gospodarstva, stvaranje održivog prehrambenog sustava te očuvanje biološke raznolikosti.

Mogućnost smanjenja utjecaja na klimatske promjene nalazi se u korištenju obnovljivih izvora energije. Bioplin je obnovljivi izvor energije proizveden anaerobnom digestijom složenih

organskih spojeva. Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se složeni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u odsustvu kisika. Produkt anaerobne digestije je bioplin, koji je po sastavu mješavina plinova. Bioplin se u većem dijelu sastoji od metana CH_4 (40-75 %), ugljikovog dioksida CO_2 (25-60%) te ostalih plinova poput vodika, sumporovodika i ugljikovog monoksida [4]. Princip dobivanja bioplina prikazuje Slika 1.3.



Slika 1.3 Princip dobivanja bioplina [4]

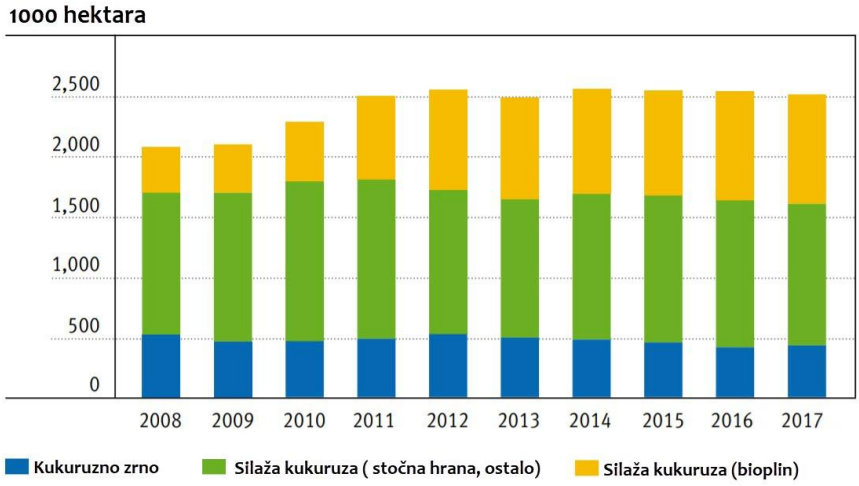
Anaerobna digestija odvija se u fermenteru (digestoru), spremniku u kojem se na mješavini organskih tvari vrše mikrobiološke i kemijske reakcije bez prisutnosti kisika. Ovisno o supstratima, različiti su uvjeti unutar spremnika. Preporučena temperatura supstrata unutar spremnika je između 25 i 37 °C, a pH vrijednost supstrata između vrijednosti 6 i 7 [4]. Proizvedeni bioplin najčešće se koristi kao izvor toplinske energije direktnim izgaranjem, kao gorivo za proizvodnju električne energije u termoelektranama ili kogeneraciju, a u slučaju pročišćivanja na razinu biometana može se koristiti i kao pogonsko gorivo za vozila.

Proizvodnja bioplina konstantno raste gradnjom novih bioplinskih postrojenja. U Europi je zabilježen porast od gotovo 200 % izgrađenih novih bioplinskih postrojenja u 2019. godini u odnosu na broj postrojenja u 2009. godini. Trend izgradnje novih bioplinskih postrojenja u razdoblju od 2009. do 2019. godine prikazuje Slika 1.4.



Slika 1.4 Broj bioplinskih postrojenja [5]

Porast broja bioplinskih postrojenja rezultira i značajnim povećanjem korištenja kukuruznih silaža u proizvodnji bioplina zbog visokog prinosa bioplina. U Hrvatskoj postoji 44 bioplinska postrojenja, ukupno instalirane snage 49.9 MW [6]. Slika 1.5 prikazuje uzgoj i namjenu kukuruznih silaža na području Njemačke. U grafu se vidi porast udjela kukuruznih silaža za proizvodnju bioplina u ukupnim proizvedenim količinama. Udio korištene silaže za proizvodnju bioplina gotovo se udvostručio u 2019. godini u usporedbi s 2009. godinom te se može reći da se trećina ukupno proizvedene silaže kukuruza koristi za proizvodnju bioplina, a ostatak se koristi kao prehrambeni proizvod, za ljude i životinje.



Slika 1.5 Korištenje kukuruznih silaža [7]

Uzgajanje sirovina na poljoprivrednim zemljištima za proizvodnju bioplina, suprotstavlja se prvotnoj namjeni poljoprivrednog zemljišta te uključuje ekološka opterećenja korištenjem goriva, gnojiva te dovodi do negativnog utjecaja na okoliš izravnom i neizravnom promjenom namjene korištenja zemljišta. Izvorna namjena poljoprivrednog zemljišta je proizvodnja hrane i materijala, a proizvodnjom silaža za bioplinska postrojenja mijenja se direktna namjena zemljišta. Korištenje silaža u svrhu proizvodnje energije, kosi se s principima održivog razvoja. Iz tih razloga, Europska komisija donosi Direktivu 2018/2001 [2] u svrhu promicanja uporabe energije iz obnovljivih izvora kao dokument u kojem se postavljaju ciljevi za smanjenje emisija stakleničkih plinova, odnosno uštede emisija korištenjem obnovljivih izvora energije u odnosu na konvencionalna, fosilna goriva za proizvodnju električne i toplinske energije. Direktiva uvodi ograničenja vezana uz korištenja kukuruzne silaže i minimalne uštede stakleničkih plinova koje proizvodnja bioplina treba ostvariti, što za cilj ima promicanje korištenja ostataka i nusproizvoda za proizvodnju bioplina. Prema Direktivi, uštede emisija stakleničkih plinova uporabom biogoriva, tekućih biogoriva i goriva iz biomase u proizvodnji električne energija, energije za grijanje i hlađenje u postrojenjima koja su puštena u pogon u razdoblju od 1. siječnja 2021. do 31. prosinca 2015. moraju iznositi najmanje 70 %, a u postrojenjima puštenim u pogon od 1. siječnja 2026. godine 80 %. Unutar Direktive detaljno je opisana metoda računanja emisija stakleničkih plinova za goriva iz biomase i način na koji se računaju uštede stakleničkih plinova u proizvodnji električne i toplinske energije. U sklopu direktive zadane su izračunate vrijednosti za kukuruznu silažu, gnojevku i biološki otpad. Kako bi se ispitale mogućnosti korištenja industrijskih ostataka i nusproizvoda, ovim radom će se izračunati uštede koje je moguće ostvariti proizvodnjom bioplina iz ostataka i nusproizvoda koji nastaju u vinarijama, uljarama, pivovarama, mljekarama, šećerani i tvornici prerade povrća.

Metoda, studija slučaja i rezultati analize elaborirani su u slijedećim poglavljima.

2 METODA

Industrijska proizvodnja i prerada prehrambenih proizvoda uz pregršt kvalitetnih krajnjih proizvoda dostupnih kupcima ima i svoje ostatke i nusproizvode. Ovisno o sirovini koju proizvode, različiti su i nusproizvodi i ostaci. Kao najčešći tipovi ostataka i nusproizvoda u industrijskoj proizvodnji javljaju se komina, trop, mulj, otpadna voda itd.. Budući da se radi o ostatcima i nusproizvodima organskog porijekla oni u sebi sadržavaju biopotencijal za proizvodnju biogoriva, odnosno bioplina. U sklopu ovog rada računat će se tehnički potencijal industrijskih ostataka i nusproizvoda, potencijal bioplina iz industrijskih ostataka te izračun emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova u skladu s Direktivom 2018/2001. Provest će se ekonomska analiza te će se definirati koje sirovine zadovoljavaju uvjete ušteda emisija stakleničkih plinova .

Metoda korištena u sklopu rada podijeljena je u nekoliko ključnih etapa:

- Prikupljanje ulaznih podataka;
- Izračun tehničkog potencijala industrijskih ostataka i nusproizvoda;
- Izračun potencijala bioplina iz industrijskih ostataka;
- Mapiranje tehničkog potencijala i potencijala bioplina u alatu Geografskog informacijskog sustava (GIS alatu);
- Određivanje optimalnih lokacija za bioplinska postrojenja;
- Računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i digestora;
- Računanje emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova;
- Ekonomska analiza.

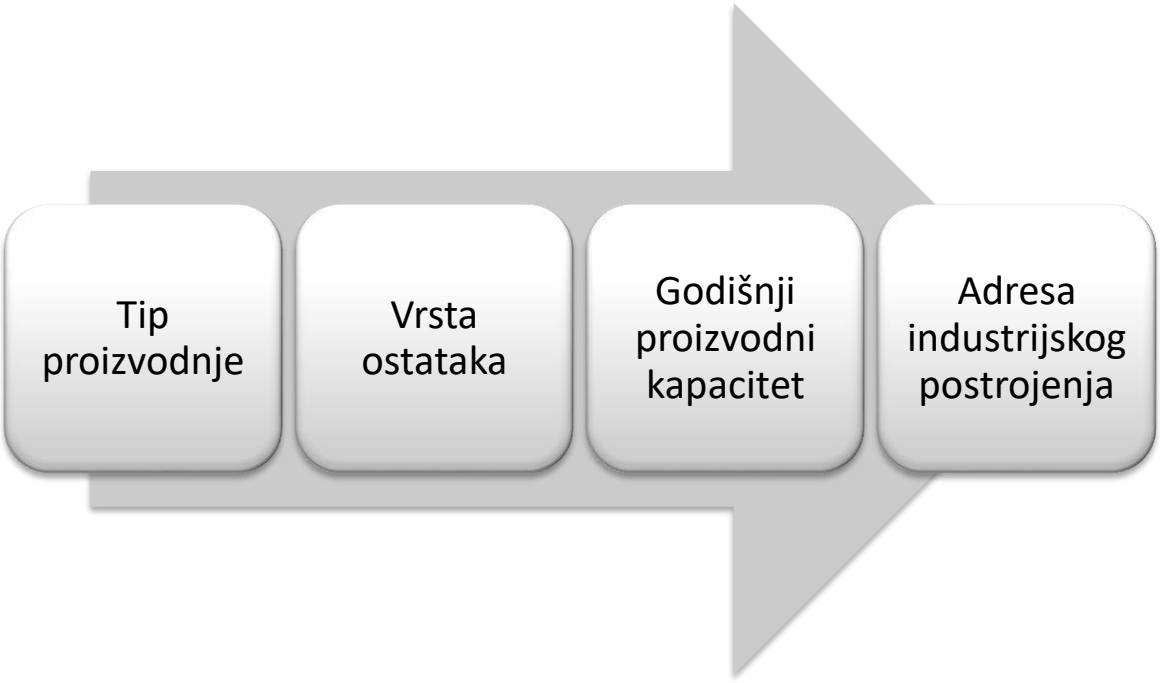
Prikupljanje ulaznih podataka

U sklopu ovog istraživanja, promatrano je šest različitih proizvodnih industrija i njihovih ostataka i nusproizvoda:

1. Vinarije (vinska komina)
2. Pivovare (pivski trop)
3. Prerada rajčice (peteljke, koža rajčice)
4. Šećerana (izluženi rezanci šećerne repe repe)
5. Mljekare (biološki mulj, sirutka)

6. Uljare (komina masline)

Potrebno je prikupiti ulazne podatke o industrijskim proizvodnjama koristeći se dostupnom literaturom, časopisima, internetskim člancima, brošurama itd. Slika 2.1 prikazuje koje podatke i kojim redoslijedom treba prikupiti za svako razmatrano industrijsko postrojenje.



Slika 2.1 Tijek prikupljanja ulaznih podataka

Izračun tehničkog potencijala industrijskih ostataka i nusproizvoda

Za svako industrijsko postrojenje računa se tehnički potencijal nastalih industrijskih ostataka i nusproizvoda.

2.2.1 Vinarije

Proces proizvodnje vina odnosno vinifikacija predstavlja skidanje bobica s peteljke, fermentaciju, prešanje, bistrenje, zrenje itd. Uz vino, nastaju i nusproizvodi.

Od 100 kg grožđa se u prosjeku proizvodi 75 litara vina [8]. Komina koja nastaje u procesu proizvodnje vina, nastaje u udjelu od 22 % u odnosu na količinu sirovog grožđa, odnosno od 100 kg grožđa dobiva se 22 kilograma organskog otpada u obliku grožđane komine. Dakle, pri proizvodnji 100 litara vina proizvede se 29,3 kg komine [9].

2.2.2 Pivarska industrija

Proizvodnjom piva nastaju značajne količine nusproizvoda poput otpadne vode, pivskog tropa, ugljikovog dioksida, kvasca i dr. Otpadni materijal nastoji se reciklirati kao sirovinu ili energent. Pri proizvodnji 100 litara piva, nastaje 20 kg [10] pivskog tropa, a na istu količinu proizvedenog piva nastaje prosječno i do 350 litara otpadne vode [11].

2.2.3 Prerada rajčice

Pri preradi rajčice nastaju različiti nusproizvodi poput kožice rajčice, sjemenki i peteljki. Preradom rajčice stvara se značajna količina biootpada, čak 21 % prerađene rajčice spada u otpad [12].

2.2.4 Šećerna industrija

Šećerana je postrojenje u kojoj se prerađuje odnosno rafinira sirovi šećer iz sirovine poput šećerne trske ili šećerne repe. Za proizvodnju 100 kilograma bijelog šećera potrebno je čak 733 kilograma šećerne repe. Masa izluženih rezanaca šećerne repe koji nastaju pri proizvodnji 100 kilograma šećera je 36,67 kg [12].

2.2.5 Mljekarska industrija

Proizvodnjom mlijeka kao nusprodukt nastaju sirutka i biološki mulj koji se hvata za stjenke spremnika. Količina ostataka koja nastaje je 0,85 kg/m^3 i 0,063 kg/m^3 sirutke i biološkog otpada po kubnom metru prerađenog mlijeka [13].

2.2.6 Uljare

Prerada maslina u maslinovo ulje stvara ostatke i nusproizvode u obliku komine masline i otpadne vode. Komina masline može se koristiti za proizvodnju peleta, ali i za proizvodnju bioplina. Pri preradi 100 kg maslina nastane 55 kg komine masline [14].

Navedene udjele ostataka prikaz će se tablično. Tablica 2.1 prikazuje udio nastalih ostataka iskazanih po količini proizvedenog proizvoda.

Tablica 2.1 Udio nastalih ostataka u finalnom proizvodu

Tip ostataka	**X [kg ostataka/ m^3 proizvoda]**
Vinska komina	293 [9]
Pivski trop	200 [10]
Otpadna voda	3500 [11]
Biološki mulj	0,063 [13]
Sirutka	0,85 [13]

Tablica 2.2 Udio ostataka prema kilogramu prerađene sirovine prikazuje udio nastanka pojedinih ostataka u odnosu na masu prerađene sirovine u postrojenju.

Tablica 2.2 Udio ostataka prema kilogramu prerađene sirovine

Tip ostataka	**X [kg ostataka/ kg sirovine]**
Komina	0,55 [14]
Ostatci rajčice	0,21 [12]
Izluženi rezanci šećerne repe	0,05 [12]

Izračun potencijala bioplina iz industrijskih ostataka

Potencijal proizvodnje bioplina iz ostataka u proizvodnji različitih sirovina računa se prema slijedeće dvije jednadžbe. Za računanje potencijala bioplina iz onih ostataka i nusproizvoda čiji se udio ostataka računa iz proizvedenih količina finalnog proizvoda $V_{proizvoda}$ potencijal bioplina računa se prema jednadžbi (2.1)

$$B_{n,bioplin} = V_{proizvoda} * X * Y * s_{CH_4} * H_{d,CH_4} \quad (2.1)$$

Potencijal proizvodnje bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda čiji se udio ostataka u proizvodnji računa iz mase prerađene sirovina u tom postrojenju računa se prema jednadžbi (2.2).

$$B_{n,bioplin} = m_{sirovine} * X * Y * s_{CH_4} * H_{d,CH_4} \quad (2.2)$$

gdje je:

$B_{n,bioplin}$ – potencijal bioplina [MJ] ;

$V_{proizvoda}$ – proizvedena količina proizvoda [m^3];

$m_{sirovine}$ – masa prerađene sirovine [kg sirovine];

X – udio ostataka u proizvodnji za određeni proizvod [kg ostataka/ m^3];

Y – prinos bioplina [m^3/kg ostataka];

s_{CH_4} – udio metana u bioplinu [-];

H_{d,CH_4} – donja ogrjevna vrijednost metana [MJ/m^3];

pri čemu se u zavisnosti o ulaznim podatcima umnožak faktora $Y * s_{CH_4}$ može izračunati pomoću izraza (2.3) i (2.4).

$$Y * s_{CH_4} = HT * Y_1 \quad (2.3)$$

$$Y * s_{CH_4} = KPK * KPK_{uklonjeni} * Y_2 \quad (2.4)$$

gdje je:

HT – udio hlapljivih tvari u ostatcima [kg HT/ kg ostataka];

Y_1 – prinos metana [m^3/kg HT];

KPK – kemijsku potrošnja kisika [kg KPK/m^3];

$KPK_{uklonjeni}$ – stupanj uklanjanja KPK [%];

Y_2 – prinos metana [m^3/kg KPK]

2.3.1 Vinarije

Prinos bioplina za kominu grožđa iznosi 0,5559 m^3/kg komine, odnosno prinos metana iznosi 0,4076 m^3 /kg komine [15], kao što prikazuje Tablica 2.3.

Tablica 2.3. Prinos bioplina vinske komine

	Y [m^3/kg komine]	**s_{CH_4} [-]**
Vinska komina	0,5559 [15]	0,733 [15]

2.3.2 Pivarska industrija

Tablica 2.4 prikazuje karakteristiku pivskog tropa, udio hlapljive tvari u pivskom tropu te prinos metana pivskog tropa.

Tablica 2.4. Podaci o pivskom tropu [16]

	HT [kg HT/kg ostataka]	**Y_1 [m^3 /kg HT]**
Pivski trop	0,182	0,408

Tablica 2.5 prikazuje karakteristične vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK), postotak uklonjenosti KPK te prinos metana otpadne vode nastale u proizvodnji piva.

Tablica 2.5. Karakteristike otpadne vode

KPK [kg KPK/m^3]	4 [17]
KPK uklonjen [%]	97 [17]
Y_2 [m^3/kg KPK]	0,28 [17]

2.3.3 Prerada rajčice

Proizvodnjom bioplina iz ostataka rajčice nastaje bioplin s 67,9 % udjela metana. Udio hlapljivih tvari i prinos metana i bioplina iz ostataka nastalih preradom rajčice prikazuje Tablica 2.6

Tablica 2.6. Karakteristika otpada u preradi rajčice

Otpad	**HT [kg HT/kg ostataka]**	**Y_1 [m^3/kg HT]**
Otpadna rajčica	0,000181 [18]	0,300 [13]

2.3.4 Šećerna industrija

Karakteristike izluženih rezanaca šećerne repe, udio hlapljive tvari, prinos bioplina iz ostataka šećerne repe te udio metana u bioplinu prikazuje Tablica 2.7.

Tablica 2.7. Karakteristika izluženih rezanaca šećerne repe [19]

Nusprodukt	**HT [kg HT/kg ostataka]**	**Y [m^3 /kg HT]**	**s_{CH_4} [-]**
Izluženi rezanci repice	0,28728	0,845	0,582

2.3.5 Mljekarska industrija

Karakteristične vrijednosti sirutke i biološkog mulja, udio hlapljivih tvari i prinos bioplina prikazuje Tablica 2.8.

Tablica 2.8. Karakteristika ostataka u mliječnoj industriji

	HT [kg HT/kg ostatka]	**Y_1 [m^3/kg HT]**
Sirutka	0,0598 [20]	0,424 [13]
Biološki mulj	0,08188 [21]	0,340 [13]

2.3.6 Uljare

U Tablica 2.9 prikazani su podaci prinosu bioplina i udjelu metana u bioplinu dobivenog preradom komine masline.

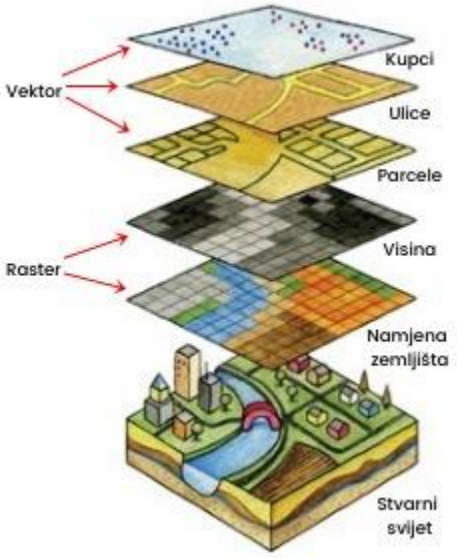
Tablica 2.9. Prinos komine masline

	Y [m^3 /kg komine]	**s_{CH_4} [-]**
Komina	0,163 [22]	0,775 [23]

Mapiranje tehničkog potencijala i potencijala bioplina u alatu Geografskog informacijskog sustava (GIS alatu)

2.4.1 Geografski Informacijski Sustav

Utemeljen na znanosti o geografiji, Geografski Informacijski Sustav (GIS) je računalni sustav za prikupljanje, upravljanje i analizu podataka. GIS integrira mnoge vrste podataka, analizira prostorne lokacije i organizira slojeve (eng. *layers*) informacija i vizualizira ih koristeći karte i 3D prikaze. Ključna riječ u ovoj tehnologiji je geografija. Većina podataka su prostorni podaci, odnosno podaci na neki način povezani s lokacijom na Zemlji. Uobičajeno uz prostorne podatke su uključeni i tablični podaci poznati kao atributni (karakteristični, svojstveni) podaci. Atributni podaci su uglavnom dodatne, opisne informacije (neki od primjera: broj stanovnika, potencijal bioplina, količina otpada itd.) koje se pridružuju prostornim podacima svakom članu prikazanom u sloju. Mogućnost rada s obje vrste podataka je ono što omogućuje korištenje GIS-a kao snažnog alata za rješavanja problema u prostornoj analitici.



Slika 2.2 Prikaz slojeva u GIS-u [24]

Slojevi u GIS-u prikazuje Slika 2.2. gdje se vidi da se podaci u GIS-u prikazuju pomoću dva različita modela, vektora i rastera. Vektorski sloj prikazuje se u obliku točaka, linija i poligona temeljen na modelu diskretnih polja. Rasterski sloj, temelji se na modelu kontinuiranih polja, a koristi se za pohranjivanje podataka koji se kontinuirano mijenjaju. Sastoji se od polja raspoređenih u redove i stupce, tj. ćelije odnosno piksele. Slika 2.2 prikazuje namjenu zemljišta i visine rasterskim slojem, a vektorskim slojem parcele, ulice i kupce.

GIS se može koristiti za brojne analize. Osnovna primjena Geografskog Informacijskog Sustava je u računalnoj kartografiji, odnosno izradi i analizi karata. Pravi potencijal GIS-a je u korištenju prostornih i statističkih metoda za analizu atributa i geografskih informacija. Krajnji rezultat analize mogu biti izvedene informacije, interpolirane informacije ili prioritetne informacije. U GIS-u se prikazuju: građevinski objekti, ceste, namjene zemljišta, građevinske parcele, uzvišenja itd.

2.4.2 QGIS

QGIS [25] je besplatno dostupni računalni program otvorenog koda koji služi za prikaz, uređivanje i analiziranje geopodataka. Uz pomoć QGIS-a moguća je izrada karata. Prednost QGIS-a je u omogućavanju integracije i s drugim GIS paketima otvorenog koda poput PostGIS, GRASS GIS i MapServer-a. Podržava različite formate datoteka: osobne baze podataka, .dxf, MapInfo, PostGIS, comma separated values (.csv) datoteke i druge. Uz osnovne funkcionalnosti QGIS-a, brojna

proširenja (engl. *plugin*) napisana u programskom jeziku Python već implementirana u QGIS su ono što povećava mogućnosti korištenja i primjenu samog programa i pospješuje njegovu funkcionalnost.

2.4.3 Mapiranje tehničkog potencijala i potencijala bioplina

Nakon prikupljenih potrebnih podataka (adresa postrojenja) i onih izračunatih (količina ostataka, potencijal prinosa bioplina itd.) može se krenuti u postupak geokodiranja i izrade karte s pripadajućim postrojenjima. Mapiranje bioplinskog potencijala u QGIS-u osim što omogućuje zorni prikaz rasporeda proizvodnih pogona u kojima nastaju promatrani ostaci te pripadajući potencijal bioplina omogućit će određivanje optimalnih lokacija bioplinskih postrojenja i računanje udaljenosti između industrijskog postrojenja i predložene lokacije bioplinskog postrojenja. Tako dobivena karta potencijala, poslužiti će za grupiranje proizvodnih pogona prema određenim teritorijalnim kriterijima kako bi se odredile potencijalne lokacije za buduća bioplinska postrojenja. Ujedno će se pomoću mapiranih podataka moći izračunati potencijal bioplina na određenom području, gustoća potencijala i dr.

Postupak izrade mape bioplinskog potencijala sastoji se od prikupljanja kartografskih i kvantitativnih podataka. Za izradu mape potrebni prikupljeni podaci opisani u poglavlju 2.1. Pomoću kućne adrese na kojoj se nalazi industrijsko postrojenje potrebno je provesti geokodiranje kojim se određuju pripadajuće koordinate tj. geografska širina i visina. Postupak geokodiranja moguće je izvesti pomoću Google Karta ili nekih drugih alata za geokodiranje na osnovi kućne adrese. Svakoj točki, odnosno koordinati proizvodnog pogona, dodjeljuju se potom kvantitativni podatci tj. atributni, karakteristični podatci. Sljedeći korak je unos podataka u QGIS. Podatke je potrebno pretvoriti u pogodan oblik za daljnju obradu i korištenje, kao što je Excel Comma Separated Values dokument (CSV). Bitno je uskladiti koordinatni sustav iz kojeg su preuzete koordinate pogona s referentnim sustavom u QGIS-u. Moguće je kasnije izvođenje nastalog sloja u drugi, odgovarajući koordinatni sustav. Rezultat je karta s informacijama o svakom promatranom proizvodnom pogonu: naziv proizvodnog poduzeća, tip ostataka koji nastaje obradom sirovina, količina ostataka koja ostane na kraju procesa proizvodnje te ukupni potencijal prinosa bioplina.

Određivanje optimalnih lokacija bioplinskih postrojenja

Stvorena karta, odnosno sloj, unutar QGIS-a poslužit će za izračun optimalne lokacije bioplinskog postrojenja. Koristeći se vektorskim analizirajućim alatom Mean Coordinate(s) moguće je odrediti optimalnu lokaciju. Ovaj alat računa po predodređenom algoritmu točkasti sloj s centrom mase geometrije ulaznog sloja. Alat omoguće odabir atributa koji će predstavljati „težinu“ koji će se primijeniti za izračunavanje središta. Kao atribut uzima se u obzir ukupni potencijal prinosa bioplina te će se prema njegovoj vrijednosti izračunati središte mase odnosno optimalna lokacija bioplinskog postrojenja prema zadanom kriteriju. Kao rezultat na karti će se prikazati točkasti sloj koji predstavlja potencijalnu lokaciju bioplinskog postrojenja.

Ukoliko je potrebno odrediti više lokacija, potrebno će biti podijeliti vektorski sloj na više manjih. Kriterij po kojem se podjela vrši može biti različit, npr. teritorijalna podjela, gustoća entiteta itd. Nakon podjele, postupak određivanja optimalnih lokacija jednak je kao u slučaju određivanja jedne lokacije, samo je potrebno ponoviti postupak za svaki vektorski sloj pojedinačno. Kao rezultat, za svaki vektorski sloj stvorit će se novi točkasti sloj koji predstavlja optimalnu lokaciju bioplinskog postrojenja. Nakon određivanja optimalne lokacije bioplinskog postrojenja, potrebno je provjeriti može li se na toj lokaciji graditi, odnosno provjeriti trenutnu namjenu zemljišta. Za usporedbu se mogu koristiti Google Karte (satelitska snimka) integrirana u QGIS-u ili CORINE Land use cover, digitalna baza podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova i namjeni korištenja zemljišta [26]

Računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i digestora

Kako se u GIS-u mogu prikazivati i ceste, ta mogućnost će se iskoristiti za računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i određenih lokacija bioplinskih postrojenja. Izračunate udaljenosti koristit će za kasnije za računanje emisija štetnih plinova nastalih u transportu ostataka u proizvodnji do bioplinskih postrojenja.

Potrebno je unijeti u GIS novi sloj koji će sadržavati ceste na promatranom području. Taj sloj poslužit će kao referentni sloj po kojem će se računati udaljenosti. QGIS ima ugrađen alat *Shortest path (layer to point)* koji računa udaljenost između točaka i slojeva. Potrebno je odabrati vektorski sloj koji predstavlja cestovnu mrežu, nakon čega se bira opcija između najkraćeg ili najbržeg puta. Potrebno je odabrati najkraći put. Slijedi odabir početne i krajnje točke među kojima se računa

udaljenost. Za početne točke bira se vektorski sloj koji sadržava informacije o pripadajućim proizvodnim pogonima, a za krajnju točku izračunati točkasti sloj koji predstavlja optimalnu lokaciju bioplinskog postrojenja.

Rezultat se sprema u obliku novog sloja koji je ujedno prikazan na karti, a udaljenosti se mogu iščitati iz atributne tablice sloja te se mogu izvesti i spremiti u različitim oblicima (npr. Excel datoteke, .csv datoteke i dr.) za daljnje lakše korištenje i računanje s njima.

Računanje emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova

U skladu s metodom za računanje emisija stakleničkih raspisane u Direktivi 2018/2001, emisije stakleničkih plinova koje nastanu pri proizvodnji i uporabi goriva iz biomase prije pretvorbe u električnu energiju te energiju za grijanje i hlađenje računaju se prema jednadžbi (2.5)

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} \tag{2.5}$$

gdje je:

E – ukupne emisije koje nastanu pri proizvodnji bioplina ili biometana prije energetske pretvorbe [g CO_2eq/MJ];

e_{ec} – emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovina [g CO_2eq/MJ];

e_l – godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene prenamjenom zemljišta [g CO_2eq/MJ];

e_p – emisije od obrade [g CO_2eq/MJ];

e_{td} – emisije od prijevoza i distribucije [g CO_2eq/MJ];

e_u – emisije od uporabe goriva [g CO_2eq/MJ]

e_{sca} – uštede emisija uslijed akumulacije ugljika u tlu zbog boljega poljoprivrednoga gospodarenja [g CO_2eq/MJ];

e_{ccs} – uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2 [g CO_2eq/MJ];

e_{ccr} – uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2 [g CO_2eq/MJ];

Sukladno Direktivi 2018/2001, u slučaju kodigestije različitih supstrata u pogonu za proizvodnju bioplina emisije stakleničkih plinova iz industrijskih ostataka koje nastanu pri proizvodnji i uporabi goriva iz biomase računaju se prema izrazu (2.6)

$$E = \sum_{1}^{n} S_n * (e_{ec,n} + e_{l,n} - e_{sca,n} + e_{td,n}) + e_p + e_{td,proizvod} - e_{ccs} - e_{ccr} + e_u \qquad (2.6)$$

gdje je:

E – ukupne emisije koje nastanu pri proizvodnji bioplina ili biometana prije energetske pretvorbe [g CO_2eq/MJ];

S_n – udio sirovine n kao dio unosa u digestor [-];

$e_{ec,n}$ – emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovine n [g CO_2eq/MJ];

$e_{l,n}$ – godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene prenamjenom zemljišta, za sirovinu n [g CO_2eq/MJ];

$e_{sca,n}$ – uštede emisija zbog boljeg poljoprivrednoga gospodarenja sirovinom n [g CO_2eq/MJ];

$e_{td,n}$ – emisije od prijevoza sirovine n u digestor [g CO_2eq/MJ];

e_p – emisije od obrade [g CO_2eq/MJ];

$e_{td,proizvod}$ – emisije od prijevoza i distribucije bioplina i/ili biometana [g CO_2eq/MJ];

e_{ccs} – uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2 [g CO_2eq/MJ];

e_{ccr} – uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2 [g CO_2eq/MJ];

e_u – emisije od uporabe goriva, tj. staklenički plinovi emitirani tijekom sagorijevanja [g CO_2eq/MJ]

Udio sirovine n (S_n) kao dio unosa u digestor računa se prema izrazu (2.7):

$$S_n = \frac{P_n * W_n}{\sum_i^n W_n} \qquad (2.7)$$

gdje je:

P_n – energetski prinos po kilogramu unosa vlažne sirovine n [MJ/kg svježe tvari];

W_n – faktor ponderiranja supstrata n [-]

Faktor ponderiranja supstrata n W_n računa se prema jednadžbi (2.8).

$$W_n = \frac{I_n}{\sum_i^n I_n} * \left(\frac{1 - AM_n}{1 - SM_n}\right) \tag{2.8}$$

gdje je:

I_n – godišnji unos supstrata n u digestor [t];

AM_n - prosječna godišnja vlažnost supstrata n [kg vode / kg svježe tvari];

SM_n – standardna vlažnost supstrata n [kg vode / kg svježe tvari]

Energetski prinos po kilogramu unosa vlažne sirovine n P_n računa se prema izrazu:

$$P_n = Y * H_{d,bioplin} \tag{2.9}$$

gdje je:

Y – prinos bioplina [m^3/ kg ostataka];

$H_{d,bioplin}$ – donja ogrjevna vrijednost bioplina [MJ/ m^3]

e_{ec} - emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovine

Emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovine uključuju emisije pri samom procesu ekstrakcije, prikupljanja ili uzgoja. To su emisije nastale pri skupljanju, sušenju i skladištenju sirovina, emisije iz proizvodnje kemikalija ili proizvoda upotrijebljenih pri ekstrakciji ili uzgoju.

e_l - godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene prenamjenom zemljišta

Emisije koje nastaju promjenom zaliha ugljika zbog prenamjene zemljišta. Računaju se jednakomjernim dijeljenjem ukupnih emisija tijekom 20 godina. Emisije se računaju prema jednadžbi (2.10) :

$$e_l = (CS_R - CS_A) * 3{,}664 * \frac{1}{20} * \frac{1}{P} - e_B \tag{2.10}$$

gdje je:

e_l – godišnje emisije stakleničkih plinova nastale promjenom zaliha ugljika zbog promjene uporabe zemljišta [g CO_2eq/MJ]

CS_R – zaliha ugljika po jedinici površine povezana s referentnom uporabom zemljišta[t CO_2/m^2];

CS_A – zaliha ugljika po jedinici površine povezana sa stvarnom uporabom zemljišta. [t CO_2/m^2];

P – produktivnost kulture [MJ/m^2];

e_B – dodatak od 29 g CO_2eq/MJ biogoriva ako se biomasa dobiva sa saniranog degradiranog zemljišta [g CO_2eq/MJ]

e_p – emisije od obrade

Emisije koje nastaju pri obradi uključuju emisije pri samoj obradi te iz proizvodnje kemikalija ili proizvoda upotrijebljenih u obradi, uključujući emisije CO_2 koje odgovaraju sadržajima ugljika u unosima fosilnih goriva, neovisno o tome je li u postupku stvarno došlo do njihova izgaranja.

Emisije koje nastaju pri obradi mogu se računati prema jednadžbi (2.11) [27]:

$$e_p = \frac{e * Ef_e + h * Ef_{gorivo} + i * Ef_i}{B_{bioplin}} \tag{2.11}$$

gdje je:

e_p – emisije nastale obradom [g CO_2eq/MJ];

e – potrošnja električne energije [kWh/godini];

Ef_e – emisijski faktor električne energije, prosječni regionalni [g CO_2eq/kWh];

h - potrošnja goriva u proizvodnji toplinske energije [l/godini]

Ef_{gorivo}- emisijski faktor goriva [g CO_2eq/l];

i – količina bilo kojeg energetskog oblika korištenog u obradi u godini[mjerna jedinica/godini];

Ef_i- emisijski faktor korištenog i energetskog oblika u godini [g CO_2eq/mjerna jedinica];

$B_{bioplin}$ – ukupni potencijal bioplina obrađivane sirovine [MJ]

e_{td} – emisije u transportu

Emisije u transportu nastaju izgaranjem goriva korištenog za transport proizvoda od točke A do točke B, odnosno od proizvodnog pogona do digestora. Emisije u prijevozu računaju se prema jednadžbi (2.12) [27]:

$$e_{td} = \frac{(d_{puni} * K_{puni} + d_{prazni} * K_{prazni}) * Ef_{gorivo}}{m_{ostataka} * \frac{B_{bioplin,uk}}{m_{ostataka,uk}}} \quad (2.12)$$

gdje je:

e_{td} – emisije od prijevoza sirovine [g CO_2eq/MJ] ;

d_{puni} – udaljenost koju prijeđe vozilo dok je puno [km];

d_{prazni} – udaljenost koju prijeđe prazno vozilo [km] ;

K_{puni} – potrošnja goriva punog vozila [l/km];

K_{prazni} – potrošnja goriva praznog vozila [l/km];

Ef_{gorivo} – emisijski faktor goriva [g CO_2eq/l];

$m_{ostataka}$ – masa utovarenih ostataka [kg];

$B_{bioplin}$ – potencijal bioplina utovarenih ostataka [MJ]

Za prijevozno sredstvo takvog tereta najčešće se koristi tipski kamion s prikolicom nosivosti do 27 tona, pomoću kiperske prikolice zapremnine 35m^3 [28]. Slika 2.3 prikazuje tipični kamion s kiperskom prikolicom koji se može koristiti za prijevoz ostataka do digestora.



Slika 2.3 Kamion s kiperskom prikolicom [29]

Kako bi se odredilo koliko ostataka je moguće prevesti u jednoj prikolici, nije dovoljno uzeti u obzir samo masu ostataka, nego je potrebno uzeti u obzir i koliki volumen u prostoru zauzimaju. Potrebno je poznavati nasipnu gustoću pojedinih ostataka za računanje maksimalne mase koja se može prevesti u prikolici. Nasipna gustoća (eng. *bulk density*) predstavlja fizikalnu veličinu određenu omjerom mase i volumena nekog tijela, u ovom slučaju ostataka, a pod tim pojmom se misli o onoj gustoći kada se govori o skladištenju proizvoda. Maksimalna masa određenog tipa ostatka koja se može prevesti u jednoj prikolici računa se prema izrazu:

$$m_{max,ostatka} = V_{prikolice} * \rho_{ostatka} \quad (2.13)$$

gdje je:

$m_{max,ostatka}$ – maksimalna masa određenog ostatka koja se može prevesti u prikolici [kg];

$V_{prikolice}$ – zapremnina prikolice [m^3];

$\rho_{ostataka}$ – nasipna gustoća ostataka [kg/m^3]

Karakterističnu potrošnju goriva [l/km] praznog i punog kamiona te emisijski faktor goriva prikazuje Tablica 2.10. Kamioni najčešće koriste dizelske motore, stoga je i ovdje u obzir uzet dizel kao gorivo.

Tablica 2.10 Podaci o potrošnji goriva i emisijskom faktoru

Potrošnja goriva (utovaren kamion) [l/km]	0,35
Potrošnja goriva (prazan kamion) [l/km]	0,30 [28]
Emisijski faktor dizela [kg CO_2eq/l]	2,67 [30]

Udaljenosti koje vozilo prijeđe prazno i koju prijeđe utovareno smatraju se jednakima, a to je ona udaljenost od proizvodnog pogona do digestora. Njihove iznose iščitavaju se iz atributnih tablica u sustavu GIS-a. Udaljenosti d_{puni} i d_{prazni} za svaku točku određuju se prema metodi opisanoj u poglavlju Računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i digestora te se kao takve koriste za izračun emisija stakleničkih plinova nastalih u prijevozu ostataka.

e_u – emisije od uporabe goriva

Emisije nastale uporabom goriva odnosno spaljivanjem tj. izgaranjem goriva. Emisije CO_2 koja nastanu izgaranjem goriva iz biomase računaju se kao nula, a ostale emisije (N_2O, CH_4) uračunavaju se u faktor e_u.

e_{sca} – uštede emisija uslijed akumulacije ugljika u tlu zbog boljega poljoprivrednoga gospodarenja

Uštede emisija stakleničkih plinova zbog boljeg poljoprivrednog gospodarenja kao što su prelazak na manje obrađivane ili neobrađivane zemlje, poboljšan plodored, uporaba pokrovnih usjeva, uključujući gospodarenje ostatcima poljoprivrednih proizvoda te uporaba organskog poboljšivača tla (npr. kompost, digestat fermentacije gnoja). Uštede emisija stakleničkih plinova e_{sca} uzimaju se u obzir samo ako su pruženi čvrsti i provjerljivi dokazi da se akumulaciju ugljika u tlu povećala ili da se može očekivati da se povećala u razdoblju uzgoja dotičnih sirovina.

e_{ccs} – uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2

Uštede emisija od hvatanja i geološkog skladištenja CO_2, ograničavaju se na emisije onemogućene hvatanjem i skladištenjem emitiranog CO_2 izravno povezanog s ekstrakcijom, prijevozom, obradom i distribucijom goriva iz biomase ako je CO_2 skladišten u skladu s Direktivom

2009/31/EZ. Direktiva 2009/31/EZ detaljno opisuje postupak rukovanja s uhvaćenim i skladištenim CO_2 [31].

e_{ccr} – uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2

Uštede emisija od hvatanja i zamjene CO_2, izravno su povezane s proizvodnjom goriva iz biomase kojima se pripisuju i ograničavaju se na emisije izbjegnute hvatanjem CO_2 čiji ugljik potječe od biomase i koji se upotrebljava za zamjenu CO_2 koji potječe iz fosilnih goriva u proizvodnji komercijalnih proizvoda i usluga [2] .

2.7.1 Emisije iz krajnjeg energetskog proizvoda

Emisije stakleničkih plinova koje nastanu pri uporabi goriva iz biomase u proizvodnji električne energije i/ili energije za grijanje ili hlađenje, računaju se na sljedeći način.

Za električnu ili mehaničku energiju iz energetskih postrojenja koja isporučuju zajedno s električnom i/ili mehaničkom energijom i korisnu toplinu emisije stakleničkih plinova računaju se prema jednadžbi

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} * \left(\frac{C_{el} * \eta_{el}}{C_{el} * \eta_{el} + C_h * \eta_h}\right) \tag{2.14}$$

Za korisnu toplinu iz energetskih postrojenja koja uz električnu i/ili mehaničku energiju isporučuju toplinu emisije stakleničkih plinova računaju se prema izrazu [2]:

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h} * \left(\frac{C_h * \eta_h}{C_{el} * \eta_{el} + C_h * \eta_h}\right) \tag{2.15}$$

gdje je:

EC_{el} – ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda (električna energija) [g CO_2eq/MJ];

EC_h – ukupne emisije stakleničkih plinova iz krajnjeg energetskog proizvoda (toplinska energija) [g CO_2eq/MJ];

E – ukupne emisije stakleničkih plinova iz goriva prije krajnje pretvorbe [g CO_2 eq/ MJ];

η_{el} – električna učinkovitost [%];

η_h – toplinska učinkovitost [%];

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

C_h - Carnotova učinkovitost (udio eksergije u korisnoj toplini) [-];

Carnotova učinkovitost (C_h) za korisnu toplinu na različitim temperaturama definirana je kao:

$$C_h = \frac{T_h - T_0}{T_h} \tag{2.16}$$

gdje je:

T_h - temperatura mjerena kao apsolutna temperatura korisne topline na mjestu isporuke [K];

T_0 – temperatura okoline, zadana kao 273,15 K (0 °C) [K]

2.7.2 Uštede emisija

Uštede emisija stakleničkih plinova od grijanja i hlađenja te električne energije koji se proizvode iz goriva iz biomase računaju se prema izrazu

$$U_{(h,el)} = \frac{EC_{F(h,el)} - EC_{B(h,el)}}{EC_{F(h,el)}} * 100\ \% \tag{2.17}$$

gdje je:

$U_{(h,el)}$ – ušteda emisija stakleničkih plinova [%];

$EC_{F(h,el)}$ – ukupne emisije od usporednog fosilnog goriva za korisnu toplinu ili električnu energiju [g CO_2eq/MJ];

$EC_{B(h,el)}$ – ukupne emisije od toplinske ili električne energije [g CO_2eq/MJ]

Za goriva iz biomase koja se upotrebljavaju u proizvodnji električne energije u svrhu izračuna ušteda emisija stakleničkih plinova usporedno fosilno gorivo $EC_{F(el)}$ jest 183 g CO_2eq/MJ električne energije. Za goriva iz biomase koja se upotrebljavaju u proizvodnji korisne topline te energije za grijanje i/ili hlađenje u svrhu izračuna emisija stakleničkih plinova usporedno fosilno gorivo $EC_{F(h)}$ jest 80 g CO_2eq/MJ topline [2].

Ekonomska analiza

U ekonomskoj analizi potrebno je uzeti u obzir jediničnu cijenu promatrane sirovine tj. ostatka u industrijskoj proizvodnji, troškove prijevoza ostataka i moguće troškove obrade ostataka. Cilj ove analize nije izračunati isplativost proizvodnje bioplina iz razmatranih sirovina, nego usporediti isplativost korištenja razmatranih sirovina. Ekonomska analiza se provodi za dio do same proizvodnje bioplina, troškovi proizvodnje bioplina ne uzimaju se u obzir. Specifične troškove je moguće opisati izrazom (2.18)

$$t_n = c_n + p_n + o_n \tag{2.18}$$

Gdje je:

t – specifični ukupni trošak za sirovinu n [HRK/MJ];

c – specifični trošak otkupa ostataka sirovine n [HRK/MJ];

p – specifični trošak prijevoza ostataka sirovine n [HRK/MJ];

o – specifični trošak obrade ostataka sirovine n [HRK/MJ]

Specifični trošak ostatka c računa se prema jednadžbi (2.19).

$$c = \frac{C_o * m_{ostataka}}{B_{bioplin,n}} \tag{2.19}$$

Gdje je:

C_o - otkupna cijena ostataka [HRK/kg];

$m_{ostataka}$ – masa otkupljenih ostataka [kg];

$B_{bioplin,n}$ – potencijal bioplina sirovine n [MJ]

Specifični trošak prijevoza ostataka od točke A do točke B računa se prema jednadžbi (2.20).

$$P = d * \left(K_{puni} + K_{prazni}\right) * N * b * \frac{1}{B_{bioplin,n}} * T \tag{2.20}$$

Gdje je:

d – udaljenost od industrijskog postrojenja do digestora [km];

K_{puni} – potrošnja goriva punog kamiona [l/km];

K_{prazni} – potrošnja goriva praznog kamiona [l/km]

N – potreban broj kamiona [-];

b – cijena goriva [HRK/l];

T – korekcijski faktor cijene prijevoza [-]

$B_{bioplin,n}$ –potencijal bioplina sirovine n [MJ]

Joint Research Centre (JRC) u svom istraživanju navodi kako su troškovi goriva 21,1 % ukupnog troška kamionskog prijevoza [32]. Prema tome, korekcijski faktor *T* u jednadžbi (2.20) iznosi 4,74. Prosječnu raspodjelu ukupnih troškova prijevoza po komponentama prikazuje Tablica 2.11.

Tablica 2.11 Prosječni udio troškova u prijevozu po komponentama [32]

Komponenta	**Udio [%]**
Troškovi plaće vozača	42,1
Troškovi goriva	21,1
Porezi na vlasništvo	0,6
Vinjete i cestarine	5,9
Ostalo (vrijeme)	17,1
Ostalo (udaljenost)	13,3

Računanje specifičnog troška obrade sirovina o nema točno određenu formulu po kojoj se računa. U troškove obrade spadaju svi troškovi akumulirani za potrebe obrade sirovine za daljnju upotrebu. Obrada može podrazumijevati postupke sušenja ostataka, grijanje ili hlađenje, hidrolizu, tretiranje kemikalijama itd. Ukupni troškovi svakog provedenog postupka obrade sirovine zbrajaju se i daju ukupni trošak obrade sirovine. Jednadžba (2.21) predstavlja opći oblik formule za računanje troška obrade ostataka.

$$o = \frac{e_{ee} * C_{ee} + t * C_{te} + k * C_k + \cdots + i * C_i}{B_{bioplin}} \quad (2.21)$$

Gdje je:

o – specifični trošak obrade sirovine [HRK/MJ];

e_{ee} – potrošnja električne energije za obradu [kWh];

C_{ee} – cijena električne energije [HRK/kWh];

t - potrošnja toplinske energije za obradu [kWh];

C_{te} – cijena toplinske energije [HRK/kWh];

k – potrošnja kemikalija [l];

C_k – cijena kemikalija [HRK/l];

i – bilo koji oblik dodatne obrade sirovine [obrada];

C_i- trošak bilo kojeg oblika dodatne obrade sirovine [HRK/obrada];

$B_{bioplin,n}$ – potencijal bioplina sirovine n [MJ].

3 STUDIJA SLUČAJA

Prethodno spomenute metode korištene su za studiju slučaja za Republiku Hrvatsku, za mapiranje potencijala bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda i određivanje optimalnih lokacija za buduća bioplinska postrojenja, izračun ukupnih emisija stakleničkih plinova pri proizvodnji energije (E, EC_h, EC_{el}) te uštede emisija u usporedbi s korištenjem konvencionalnih goriva u proizvodnji energije.

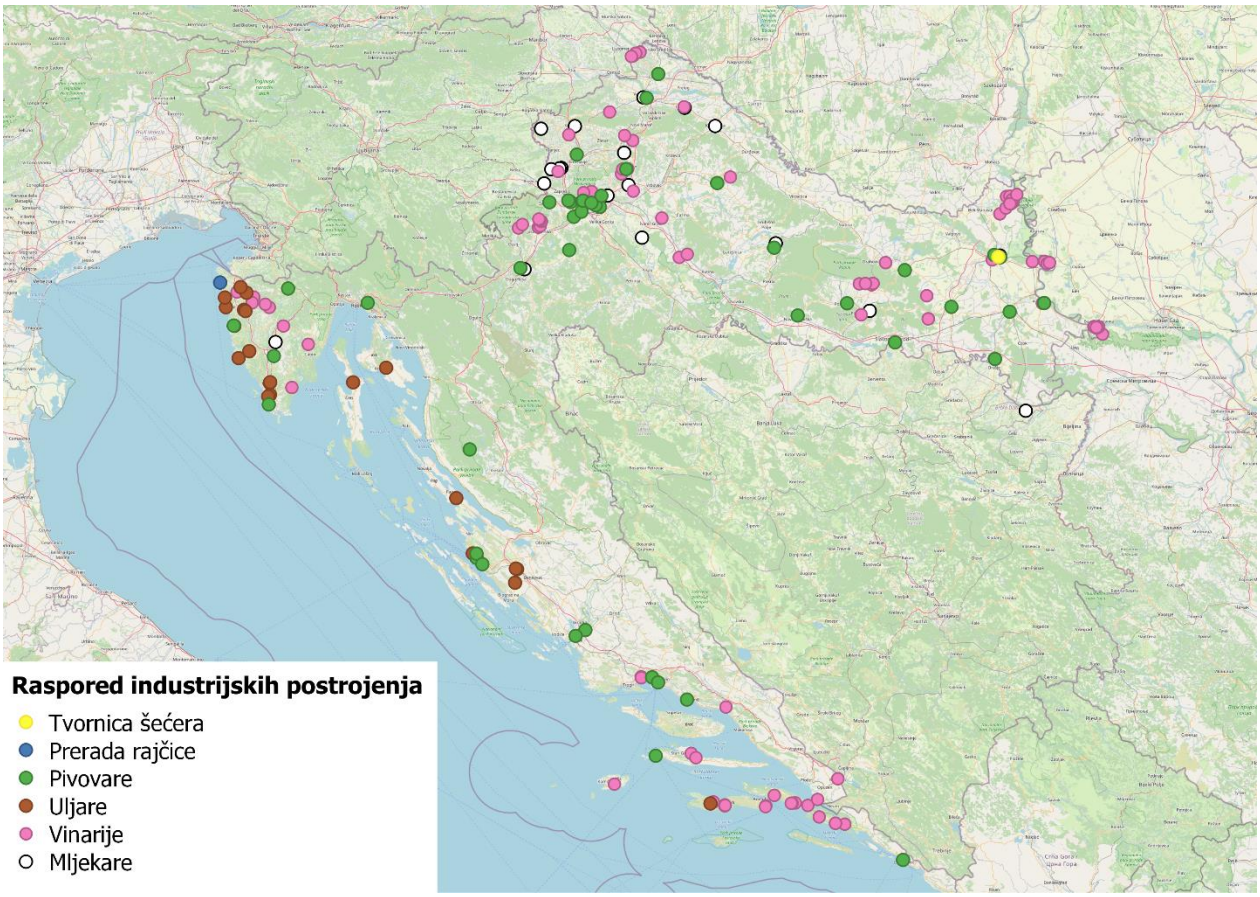
Prikupljeni su podaci o ukupno 192 postrojenju u Republici Hrvatskoj za šest različitih industrijskih proizvodnji. Podatke o raspodjeli različitih tipova proizvodnje i njihovoj ukupnoj godišnjoj proizvodnji prikazuje Tablica 3.1.

Tablica 3.1. Udio postrojenja i godišnji proizvodni kapaciteti

Tip industrije	**Vinarija**	**Pivovara**	**Mljekara**	**Uljara**	**Šećerana**	**Prerada povrća**
Broj postrojenja	104	46	18	22	1	1
Proizvodni kapacitet (ukupni)	335382 hl	2988765 hl	408143 m^3	18462,67 hl	75000 t	12000 t

Godišnja proizvodnja vina koje je 1575 proizvođača vina proizvelo u 2017. godini u Republici Hrvatskoj iznosila je 640000 hl [33]. Iako je u sklopu ovog rada prikupljeno podataka za 104 vinarije, odnosno samo 6,6 % proizvođača vina, proizvodni kapacitet koji je zastupljen u radu iznosi 52,4 % ukupne proizvodnje vina što znači da postoji veliki broj proizvođača vina malih proizvodnih kapaciteta, a oni najveći su zastupljeni u ovoj studiji. Piva se u Hrvatskoj godišnje proizvede 3,4 milijuna hektolitara, što smješta Hrvatsku na 22. mjesto u EU po proizvodnji [34]. Republika Hrvatska poznata je po kvalitetnom maslinovom ulju, a u 2017. godini proizvelo se 37463 hl maslinovog ulja [35]. Mljekarska industrija u 2019. godini prikupila je ukupno 442230 tona mlijeka. Najviše je prikupljeno kravljeg mlijeka, ukupno 435606 tona [36]. U Umagu se nalazi jedina Tvornica prerade povrća u Hrvatskoj koja godišnje preradi 12000 t rajčice [37]. Vidljivo je

da je ukupna godišnja proizvodnja svih proizvoda na razini cjelokupne Republike Hrvatske veća od ukupne promatrane u sklopu ovog rada, što govori da je potencijal prinosa bioplina pritom veći od izračunatog u sklopu ovog rada.



Slika 3.1 Lokacije industrijskih postrojenja

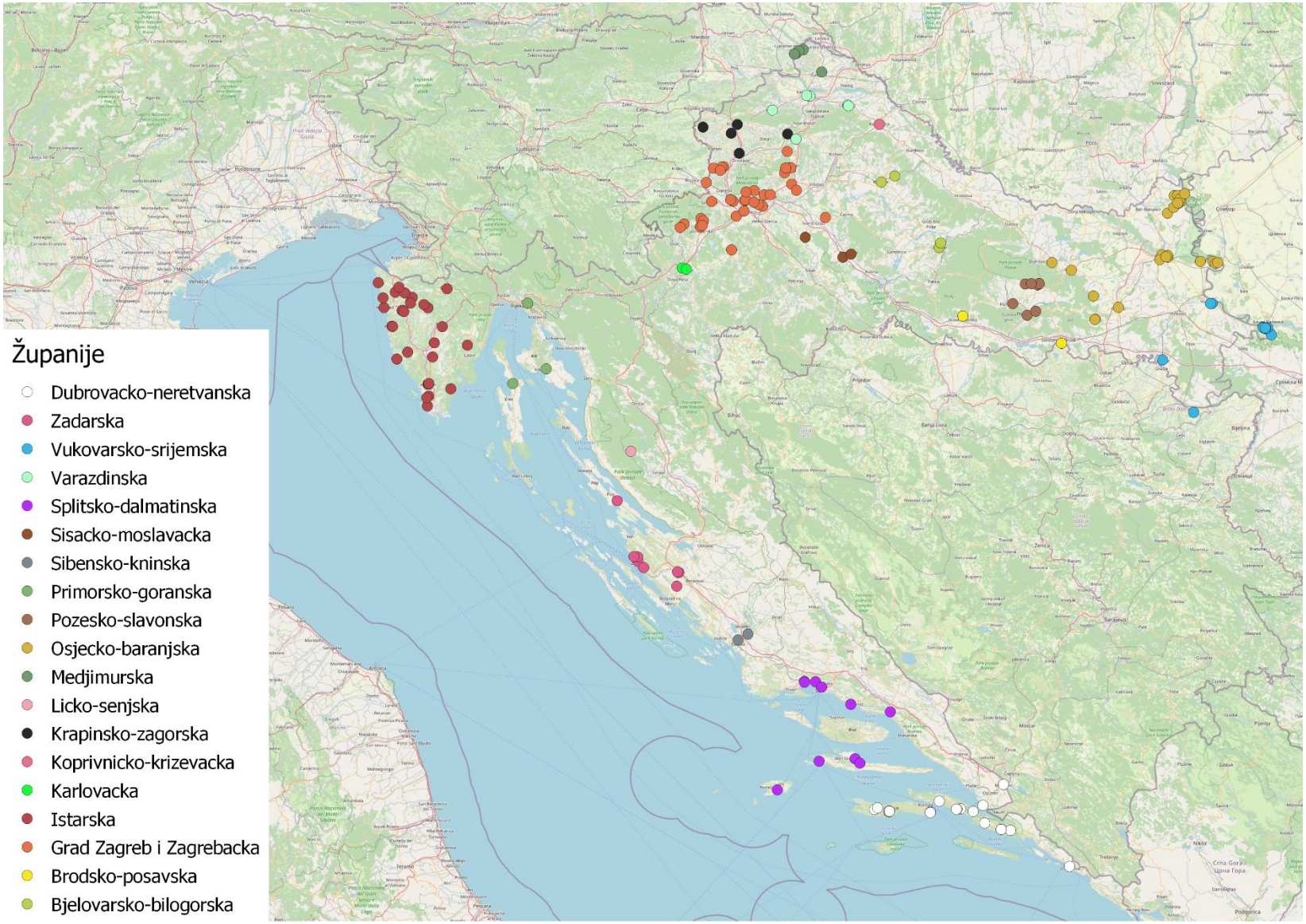
Slika 3.1 prikazuje lokacije na kojima se nalaze promatrani proizvodni pogoni, njih ukupno 192 u obliku jednog sloja. Prikupljajući podatke o različitim postrojenjima, vidljiv je raspored tih postrojenja unutar Republike Hrvatske. Najviše promatranih vinarija nalazi se u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, dok se gotovo sva proizvodnja maslinovog ulja odvija u Istri. Zahvaljujući razvoju i sve većoj popularnosti craft pivovara, pivarska industrija ravnomjerno je raspoređena unutar države, iako se najveći proizvodni pogoni nalaze u kontinentalnom dijelu (Zagreb, Karlovac, Osijek). Šećerana se nalazi u Osijeku, a Tvornica povrća u Umagu. Mljekarska industrija najvećim dijelom rasprostranjena je u području Zagreba i Zagorja.

Teritorijalno je Republika Hrvatska podijeljena na općine i gradova. Skup općina i gradova na jednom području tvori županiju. Hrvatska je podijeljena na dvadeset županija i Grad Zagreb koji se također tretira i kao županiju . Slika 3.2 prikazuje slijepu kartu Republike Hrvatske s naznačenim granicama među županijama.



Slika 3.2 Raspored županija u RH [38]

Županijska podjela Republike Hrvatske poslužit će kao podloga za raspodjelu nastalog sloja u GIS alatu. Na bazi županija napravljena je podjela prikupljenih podataka te su stvoreni novi slojevi koji će poslužiti za računanje optimalnih lokacija bioplinskih postrojenja. Slika 3.3 prikazuje raspoređene proizvodne pogone po županijama.



Slika 3.3 Raspodjela industrijskih pogona po županijama

Nakon što je podjela područja određena, za odabranih 10 postrojenja računaju se optimalne lokacije budućih bioplinskih postrojenja prema postupku opisanom u metodi. Potom se u QGIS dodaje novi vektorski sloj s cestovnom mrežom, što prikazuje Slika 3.4 na kojoj je obuhvaćena cestovna mreža cjelovitog područja Republike Hrvatske.



Slika 3.4 Cestovna mreža RH u QGIS-u



Slika 3.5 Detaljniji prikaz cestovne mreže

Slika 3.5 prikazuje detaljnije razgranatu cestovnu mrežu u QGIS-u, koja ima ucrtane i najmanje ceste. Slijedi računanje udaljenosti između pojedinačnih proizvodnih pogona i optimalne lokacije potencijalnog bioplinskog postrojenja kako bi se pomoću njih mogle računati količine emisija nastalih izgaranjem goriva za prijevoz ostataka do digestora.

Emisije stakleničkih plinova

Emisije stakleničkih plinova računaju se prema razrađenoj metodi, prema jednadžbi (2.5) za monodigestiju te prema jednadžbi (2.6) u slučaju kodigestije supstrata.

U slučaju računanja emisija iz ostataka biološkog porijekla iz industrijske proizvodnje, neki od članova jednadžbe ne uzimaju se u obzir, tj. smatraju se jednakima nuli za računanje emisija u proizvodnji bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda.

e_{ec} - emisije iz ekstrakcije ili uzgoja sirovine

Ne uzimaju se u obzir jer se industrijski ostaci i nusproizvodi ne uzgajaju, emisije su vezane uz uzgoj sirovine.

e_l - godišnje emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene prenamjenom zemljišta

Namjena zemljišta se ne mijenja jer industrijski ostaci i nusproizvodi nisu izravni produkt uzgojen na zemljištu, stoga se emisije zbog promjene zaliha ugljika prouzročene prenamjenom zemljišta ne uzimaju u obzir.

e_{sca} – uštede emisija uslijed akumulacije ugljika u tlu zbog boljega poljoprivrednoga gospodarenja

Nema pruženih čvrstih i povjerljivih dokaza da se akumulacija ugljika u tlu povećala ili da se može očekivati da će se povećati u razdoblju uzgoja dotičnih sirovina.

e_{sca} – uštede emisija uslijed akumulacije ugljika u tlu zbog boljega poljoprivrednoga gospodarenja

Nema pruženih čvrstih i povjerljivih dokaza da se akumulacija ugljika u tlu povećala ili da se može očekivati da će se povećati u razdoblju uzgoja dotičnih sirovina.

e_{td} - emisije u transportu

Za računanje emisija stakleničkih plinova nastalih izgaranjem goriva u prijevozu ostataka od proizvodnog pogona do digestora na način opisan u metodi prema jednadžbi (2.12), uz određene udaljenosti d_{puni} i d_{prazni} koje se smatraju jednakima, potrebno je odrediti i maksimalnu masu određenog ostatka koju je moguće prevesti u jednoj prikolici. Kako bi se odredila $m_{max,ostatka}$ [kg] potrebni su podaci o nasipnoj gustoći (eng. *bulk density*) koju su dani za sve ostatke u Tablica 3.2.

Tablica 3.2 Nasipna gustoća ostataka

Tip ostatka	**Nasipna gustoća - ρ [kg/m3]**
Pivski trop	450 [39]
Izluženi rezanci šećerne repe	561 [40]
Komina masline	900 [41]
Komina grožđa	525 [42]
Komina rajčice	730 [43]
Otpadna voda (pivovara)	1000 [44]
Biološki mulj, sirutka	1020 [45]

Za računanje vrijednosti W_n prema jednadžbi (2.8) potrebni podaci za svaku sirovinu prikazani su u Tablica 3.3.

Tablica 3.3 Prosječna godišnja i standardna vlažnost supstrata

	AM_n	SM_n
Vinska komina	0,57 [46]	0,76
Pivski trop	0,813 [16]	0,76
Otpadna voda (pivovare)	0,95	0,76
Ostaci rajčice	0,784 [43]	0,76
Izlužena šećerna repa	0,696 [19]	0,76
Komina masline	0,65 [14]	0,76
Biološki mulj, sirutka	0,94 [47]	0,76

Iznos SM_n predstavlja vrijednost standardne vlažnosti biološkog otpada u iznosu 0,76 [kg vode/kg svježe tvari] [2]. Pretpostavka je da se taj iznos može primijeniti na razmatrane ostatke.

e_p – emisije od obrade

Istraživanjem nije pronađena metoda po kojoj se može zaključiti obrađuju li se promatrani ostatci prije anaerobne digestije i na koji način osim u laboratorijske svrhe te zbog toga se emisije od obrade nisu uzele u obzir.

$e_{td,proizvod}$ – emisije od prijevoza i distribucije bioplina

Pretpostavka da se bioplin koristi na istoj lokaciji na kojoj se proizvodi pa se ove emisije ne uzimaju u obzir.

e_{ccs} – uštede emisija ostvarene hvatanjem i geološkim skladištenjem CO_2

Pretpostavka je da se CO_2 nastao izgaranjem bioplina neće hvatati i geološki skladištiti.

e_{ccr} – uštede emisija zbog hvatanja i zamjene CO_2

Pretpostavka je da se CO_2 nastao izgaranjem bioplina neće hvatati i geološki skladištiti.

e_u – emisije od uporabe goriva

Emisije od uporabe goriva uzimaju se u obzir. Iznos emisija e_u jest 8,9 g CO_2eq/MJ, tipična vrijednost emisija za proizvodnju energije iz bioplina [2].

Emisije iz krajnjeg energetskog proizvoda

Za računanje Carnotove učinkovitost prema jednadžbi (2.16) temperaturu T_h na temelju trenutne prakse, pretpostavlja se da iznosi 80 °C (353,15 K) iz čega se dobije Carnotova učinkovitost C_h iznosa 0,226532635.

Tablica 3.4 Električna i toplinska učinkovitost

η_{el}	40 %	električna učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja električne energije podijeljena s godišnjim unosom energije na temelju njezina energetskog sadržaja
η_h	43 %	toplinska učinkovitost, definirana kao godišnja proizvodnja korisne topline podijeljena s godišnjim unosom energije na temelju njezina energetskog sadržaja

Tablica 3.4 sadrži vrijednosti električne i toplinske učinkovitosti, η_{el} i η_h potrebne za računanje emisija u jednadžbama (2.14) i (2.15). Vrijednosti su definirane na temelju trenutne prakse bioplinskih postrojenja.

Ekonomska analiza

Da bi se mogla provesti ekonomska analiza po predstavljenoj metodi, potrebno je poznavati tržišne cijene ostataka. Većina promatranih ostataka prije se koristila u poljoprivredne svrhe za gnojidbu tla, ali zbog različitih spojeva sadržanih u ostacima, zabranjena je gnojidba istima jer su štetne za tlo. Samim time što je gnojidba onemogućena, nastaje problem zbrinjava i skladištenja otpada koji se ne može koristiti u prehrambene svrhe za stoku poput pivskog tropa ili pak izluženih rezanaca šećerne repe. Poneki ostatci imaju svoju tržišnu vrijednost, a neki se doniraju ili se čak plaća njihovo zbrinjavanje. Poznate tržišne cijene nekih ostataka nalaze se u Tablica 3.5.

Tablica 3.5 Cijene ostataka

	Cijena [HRK/kg]
Komina masline	0,46 [48]
Izluženi rezanci šećerne repe	0,19 [49]
Pivski trop	0,25

Za ostale ostatke iz industrijske proizvodnje smatra se da nemaju otkupnu cijenu, odnosno da je ona 0 HRK/kg.

Cijena goriva, odnosno Eurodiesela kreće se između 9,53 HRK/l i 9,91 HRK/l, ovisno o benzinskoj crpki te kvaliteti goriva [50].

Troškovi obrade u ovom slučaju su također 0 HRK/l jer se nije uzimala u obzir predobrada ostataka prije anaerobne digestije.

4 REZULTATI

U sklopu ovog rada, prikupljeni su i obrađeni podaci za ukupno 192 postrojenja unutar Republike Hrvatske. Takvih industrijskih proizvodnih pogona još je i više. Promatrano je šest tipova industrijskih postrojenja: uljare, vinarije, pivovare, mljekare, šećerana te tvornica prerade povrća. U spomenutim industrijskim postrojenjima, preradom ulaznih sirovina uz finalni proizvod nastaju industrijski ostaci i nusproizvodi biološkog porijekla koji u sebi sadrže određeni biopotencijal. Analizom i numeričkim metodama, određen je ukupni tehnološki potencijal promatranih postrojenja, što podrazumijeva proizvodni kapacitet postrojenja, tip i količinu nastalih ostataka i nusproizvoda u svakom promatranom postrojenju. Rezultate izračunatog tehničkog potencijala ostataka i nusproizvoda prikazuje Tablica 4.1

Tablica 4.1 Tehnički potencijal ostataka iz industrijske proizvodnje

	Vrsta ostataka	**Količina ostataka**
Vinarije	Vinska komina	9074 t
Pivovare	Pivski trop	59775 t
	Otpadna voda	104607000 hl
Mljekare	Biološki mulj	25 t
	Sirutka	347 t
Uljare	Komina	5077 t
Šećerana	Izluženi rezanci šećerne repe	27500 t
Tvornica povrća	Ostatci rajčice	2520 t

Za potrebe ove analize ključno je izračunati potencijal bioplina kojeg je moguće proizvesti iz razmatranih ostataka.

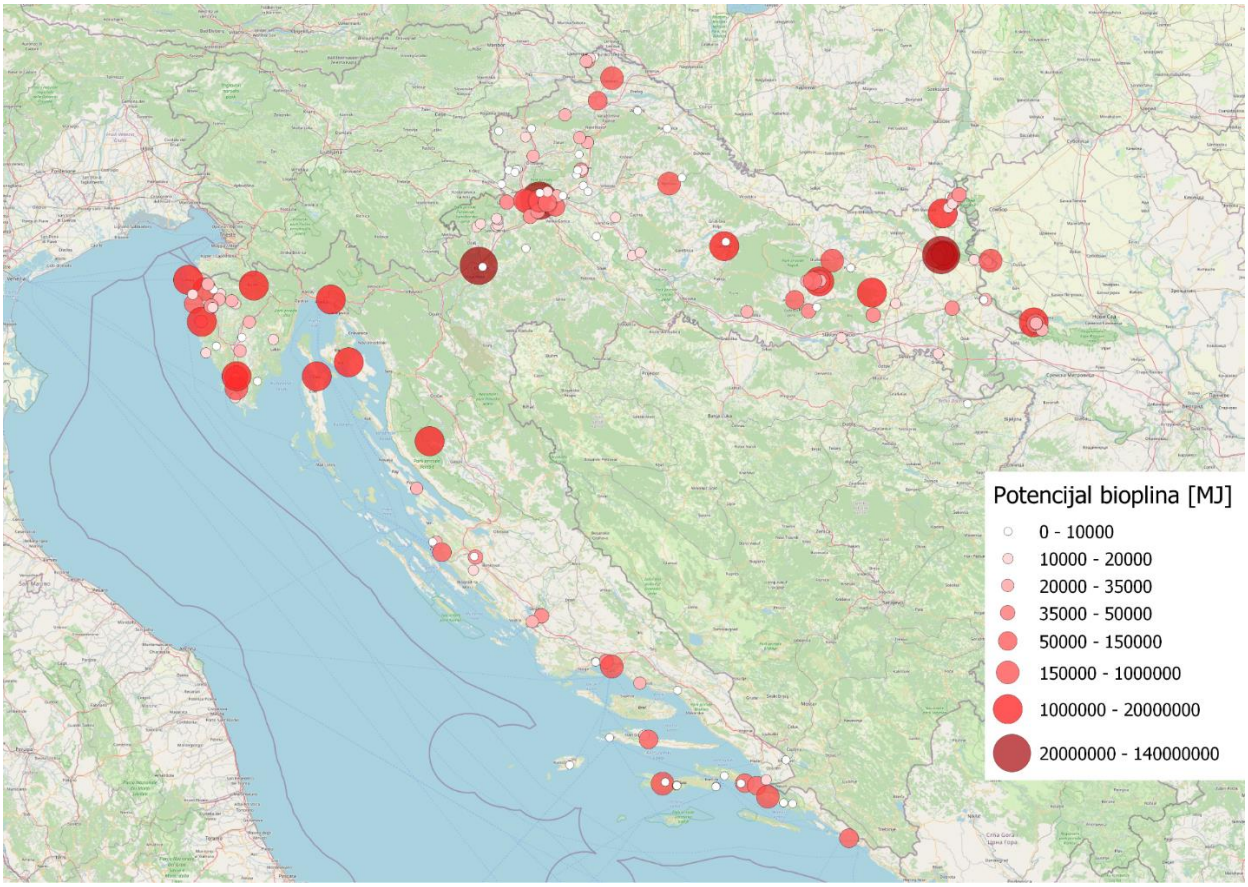
Tablica 4.2 Potencijal bioplina industrijskih ostataka

	Potencijal bioplina [m^3]	**Energetski potencijal [MJ]**	**Prosječni potencijal bioplina po industrijskom postrojenju [MJ/ postrojenje]**
Vinarije	400991	80198330	771130
Pivovare	9159383	183187660	3982340
Mljekare	15858	317160	17620
Uljare	665117	13302355	604652
Šećerana	6675669	133513380	133513380
Tvornica povrća	201525	4030500	4030500

Ukupni potencijal bioplina koji se može proizvesti iz određenog tipa industrijskih ostataka promatranih u ovom radu prikazuje Tablica 4.2. Ukupni potencijal bioplina za ostatke iz svih industrijskih postrojenja uzetih u obzir u sklopu ovog rada je 414549 GJ. Prosječno se najveći potencijal nalazi u izluženim rezancima šećerne repe, 133513 GJ, dok se najmanji potencijal krije u ostacima u mliječnoj industriji s prosjekom od 17620 MJ po mljekari. Razlog zašto je u šećerani prosječno najveći prinos je zbog velike količine ostataka koji ostaju u godišnjoj preradi 550000 tona svježe repe, gdje nastane 27500 tona ostataka s velikim potencijalom proizvodnje bioplina. Mljekarska industrija ima najmanji prosječni potencijal po postrojenju jer su veći udio promatranih mljekara malog proizvodnog kapaciteta, koje nemaju značajan tehnički potencijal ostataka iz kojih se može proizvesti bioplin, a uzete su u obzir u ovom radu.

Mapiranjem tehničkog potencijala i potencijala bioplina industrijskih ostataka i nusproizvoda, rezultat je vidljiv u obliku karte koja sadrži informacije o geolokaciji industrijskog postrojenja, nazivu postrojenja, proizvodnim kapacitetima, količini i vrsti ostataka te potencijalu bioplina. Slika

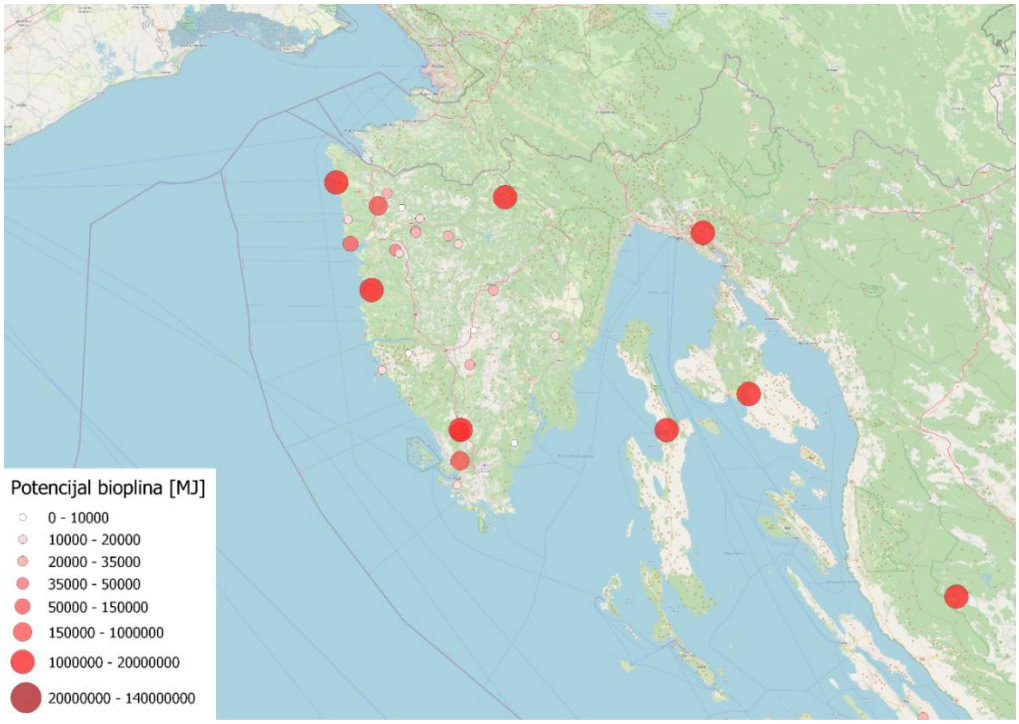
4.1 prikazuje mapu Republike Hrvatske izrađenu u QGIS-u na kojoj su označena sva promatrana postrojenja s potencijalom proizvodnje bioplina unutar ovog rada. Mapa se sastoji od 192 točke, različitih boja i veličina koje predstavljaju određeni potencijal bioplina ostataka i nusproizvoda nastalih na toj lokaciji.



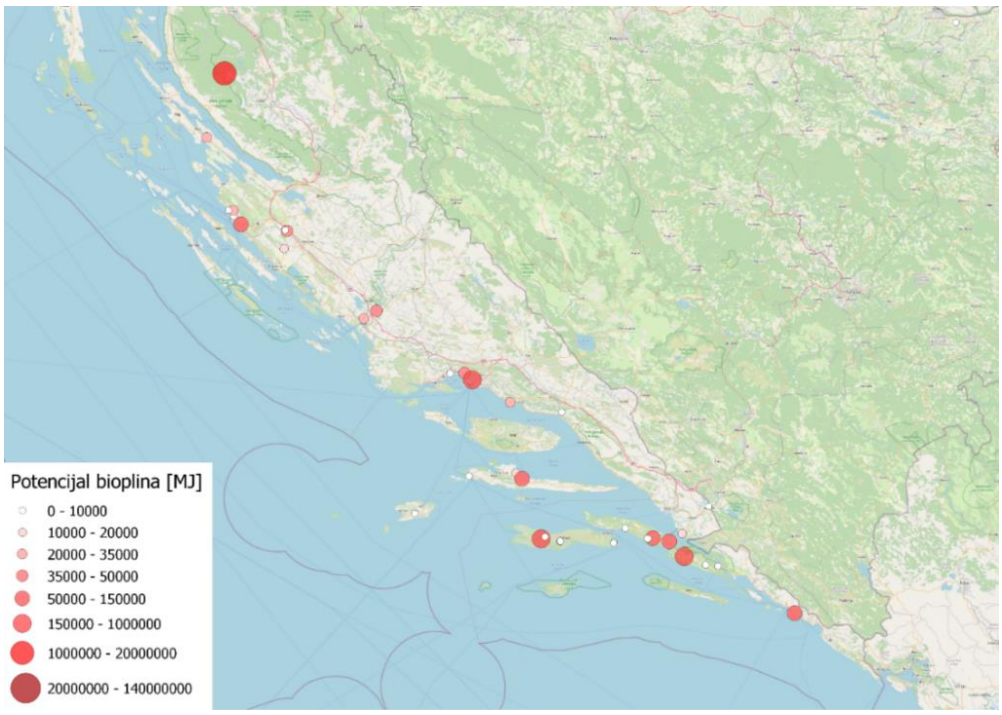
Slika 4.1. Prikaz bioplinskog potencijala u RH

Slika 4.2 detaljnije prikazuje potencijal bioplina na području Istre i Kvarnera. Najveći potencijal bioplina u toj regiji nalazi se u ostacima i nusproizvodima koji nastaju u proizvodnji maslinovog ulja, ukupnog energetskog potencijala iznosa 12,6 TJ.

Potencijal bioplina Dalmacije prikazuje Slika 4.3. Na području Dalmacije najviše se ističe proizvodnja vina.

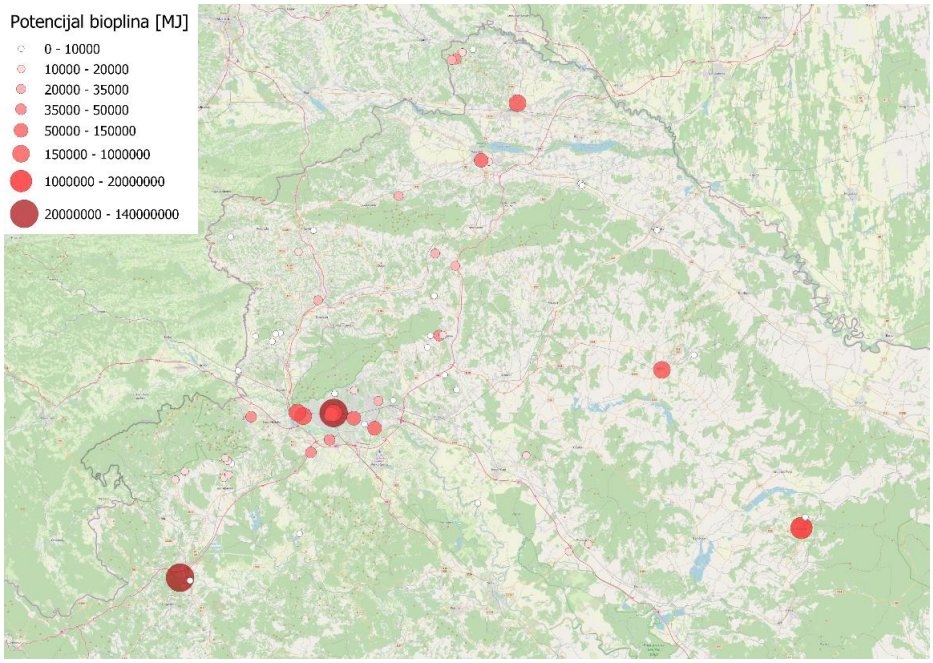


Slika 4.2. Prikaz potencijala bioplina na području Istre i Kvarnera

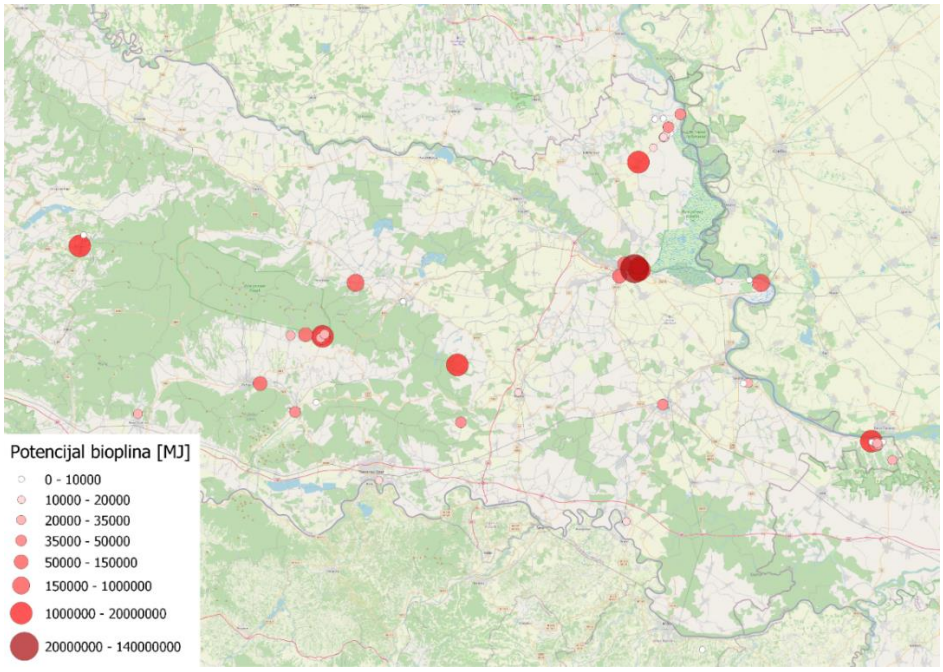


Slika 4.3. Potencijal bioplina Dalmacije

Slika 4.4 prikazuje raspodjelu potencijala bioplina u središnjoj i sjevernoj Hrvatskoj, gdje se najveći potencijal bioplina nalazi u pivovarama u Karlovcu i Zagrebu dok Slika 4.5 prikazuje potencijal bioplina istočne Hrvatske. Na istoku Hrvatske nalazi se jedina tvornica šećera u Osijeku.

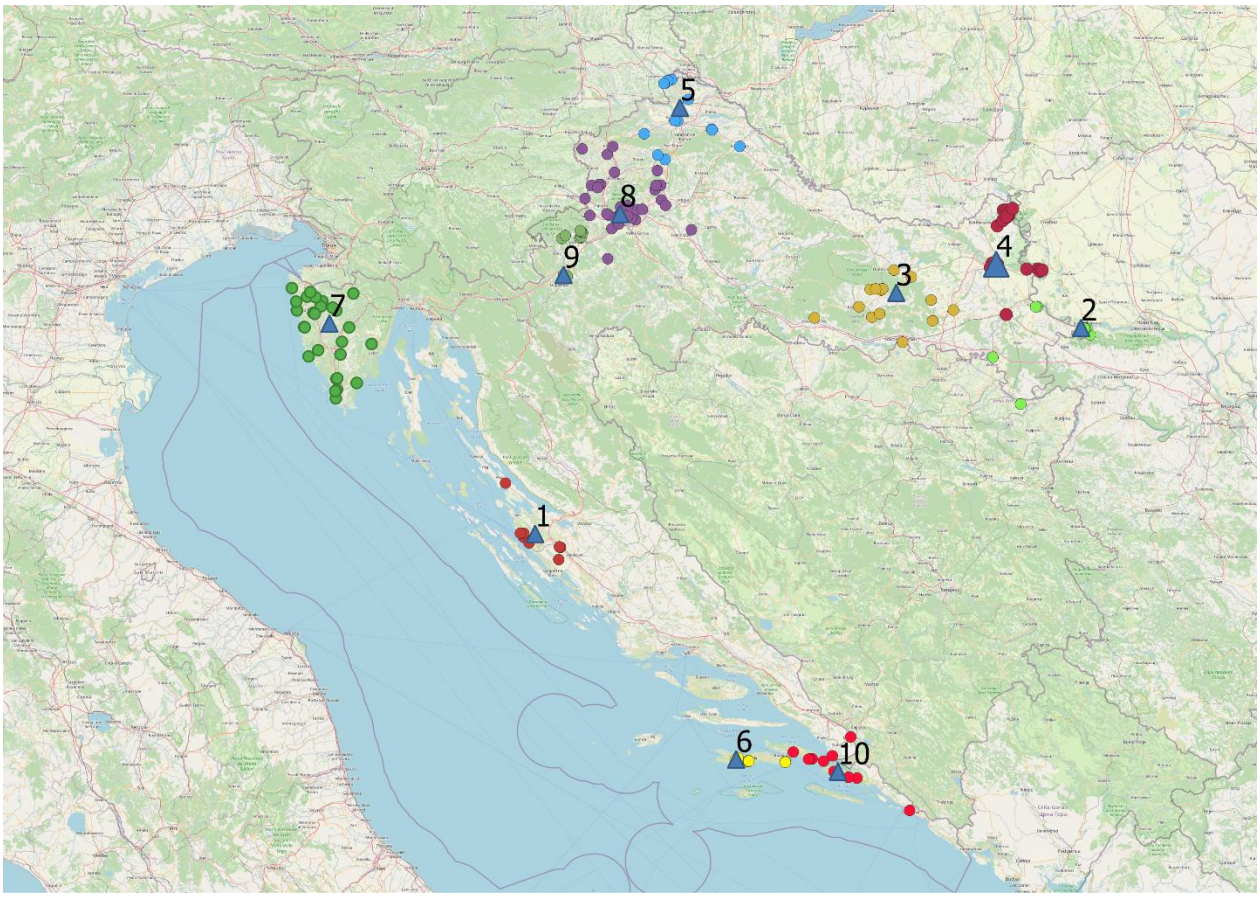


Slika 4.4 Potencijal bioplina središnje i sjeverne Hrvatske



Slika 4.5 Potencijal bioplina istočne Hrvatske

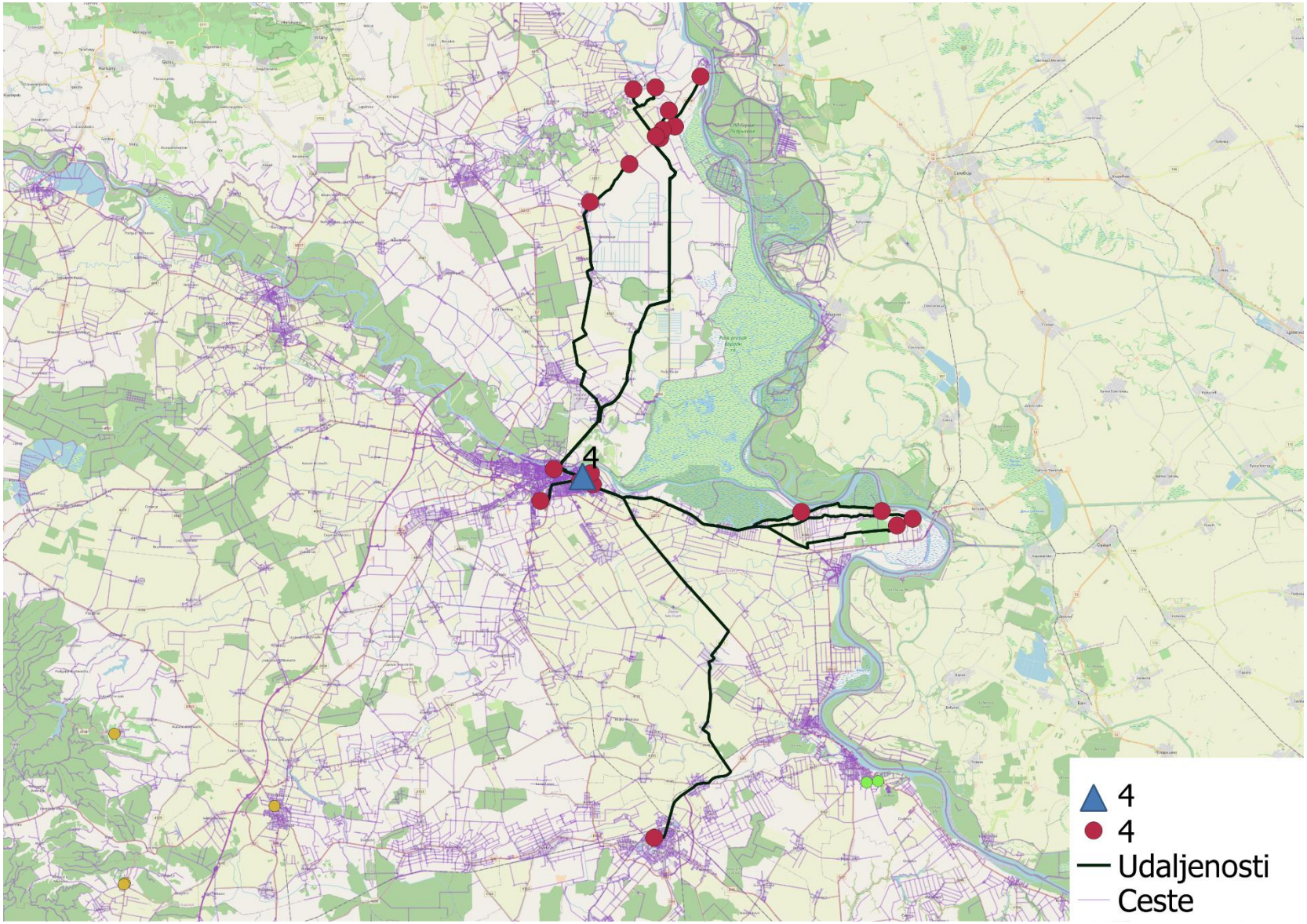
Nakon inicijalnog mapiranja potencijala bioplina u Republici Hrvatskoj, uslijedila je podjela postrojenja prema teritorijalnom kriteriju. Zbog različitog broja postrojenja, različite gustoće potencijala bioplina na određenom prostoru, odabrano je u sklopu ovog rada 10 područja unutar Hrvatske, načelno baziranih na principu županija, ali s pojedinim modifikacijama. Ovisno o geografskom položaju pridodavala su se neka postrojenja drugim županijama, a neke županije su međusobno spojene u jedno veće područje. Uzimajući u obzir kriterij maksimalne zračne udaljenosti od potencijalne lokacije u iznosu od 40 km, industrijska postrojenja koja ne zadovoljavaju uvjetima izuzeta su iz analize te više nisu korišteni za daljnje izračune tako da je u konačnici razmatrano ukupno 169 proizvodnih pogona koje prikazuje Slika 4.6.



Slika 4.6 Podjela teritorija i lokacije bioplinskih postrojenja

Koristeći se metodom opisanom u poglavlju 2.5 određeno je svih 10 lokacija, koje prikazuje Slika 4.6. Plavi trokutić simbolizira određenu lokaciju za izgradnju budućeg bioplinskog postrojenja, a brojevi pridruženi simbolu predstavljaju pojedine studije slučaja.

Prema metodi, opisanoj u poglavlju Računanje udaljenosti između proizvodnih pogona i digestora, za svako promatrano područje i njemu pripadajuću optimalnu lokaciju bioplinskog postrojenja, izračunate su udaljenosti u programu QGIS. Novonastali vektorski sloj koji sadrži podatke o udaljenostima prikazuje Slika 4.7. Promatrano područje na slici je istok Hrvatske, područje Osječko-baranjske županije, što odgovara bioplinskom postrojenju pod brojem 4. Na slici su prikazana industrijska postrojenja promatranog područja, lokacija bioplinskog postrojenja te ceste po kojima su izračunate udaljenosti. Prikazan je sloj s cestovnom mrežom Republike Hrvatske (ljubičasta boja) te najkraća ruta od industrijskog postrojenja do lokacije bioplinskog postrojenja označena crnom bojom.



Slika 4.7 Ruta između proizvodnih pogona i digestora

Podatke o udaljenostima moguće je očitati iz atributnih tablica nastalog vektorskog sloja koji predstavlja udaljenosti. Izgled atributne tablice za udaljenosti izračunate na primjeru bioplinskog postrojenja pod brojem 4 prikazuje Slika 4.8.

	fid	Tip_ostataka	Količina_ostataka_(t)	Županija	start	end	cost
1	19	Biološki mulj, sirutka	224,353	Osječko-baranjska	2085353.587, 5709636.96762	2084394.56771, 5709272.35279	1098,1478708038317
2	18	Vinska komina	41,80	Osječko-baranjska	2097889.27486, 5755035.29919	2084394.56771, 5709272.35279	39695,800371482095
3	17	Vinska komina	586,67	Osječko-baranjska	2122140.22593, 5704436.57347	2084394.56771, 5709272.35279	28573,046367260544
4	16	Vinska komina	102,67	Osječko-baranjska	2079580.55821, 5706480.1327	2084394.56771, 5709272.35279	5017,603773995161
5	21	Pivski trop	12	Vukovarsko-srijemska	2092583.78793, 5667925.12982	2084394.56771, 5709272.35279	39638,67730026243
6	20	Sugar beet pulp	66000	Osječko-baranjska	2084110.14829, 5708691.07175	2084394.56771, 5709272.35279	685,5786450584905
7	11	Vinska komina	5,87	Osječko-baranjska	2120344.64255, 5703656.45752	2084394.56771, 5709272.35279	27906,12449807084
8	10	Vinska komina	11,00	Osječko-baranjska	2109411.95536, 5705218.34654	2084394.56771, 5709272.35279	19209,77417622229
9	9	Vinska komina	8,80	Osječko-baranjska	2118608.05849, 5705307.33318	2084394.56771, 5709272.35279	25933,070892991404
10	8	Vinska komina	2,93	Osječko-baranjska	2094958.23267, 5749314.90021	2084394.56771, 5709272.35279	35768,05316184378
11	15	Vinska komina	11,73	Osječko-baranjska	2092774.14426, 5748197.12853	2084394.56771, 5709272.35279	33764,83177054077
12	14	Vinska komina	17,60	Osječko-baranjska	2089746.25411, 5745007.46101	2084394.56771, 5709272.35279	31491,36593208033
13	13	Vinska komina	44,00	Osječko-baranjska	2094261.37266, 5751145.15537	2084394.56771, 5709272.35279	36274,16224719425
14	12	Vinska komina	10,27	Osječko-baranjska	2093561.17306, 5748933.24523	2084394.56771, 5709272.35279	34528,68263777505
15	3	Vinska komina	2346,67	Osječko-baranjska	2085256.73905, 5740673.38891	2084394.56771, 5709272.35279	27176,772852993166
16	2	Pivski trop	24	Osječko-baranjska	2081117.88038, 5710117.10771	2084394.56771, 5709272.35279	2641,5465295375598
17	1	Pivski trop	2000	Osječko-baranjska	2085570.66001, 5708368.37725	2084394.56771, 5709272.35279	1356,8248421963629
18	7	Vinska komina	4,40	Osječko-baranjska	2092741.86161, 5753777.80578	2084394.56771, 5709272.35279	39847,32602048028
19	6	Vinska komina	1,47	Osječko-baranjska	2090201.55083, 5753552.53031	2084394.56771, 5709272.35279	38730,14204450013
20	5	Vinska komina	17,60	Osječko-baranjska	2093256.15766, 5747995.94455	2084394.56771, 5709272.35279	33694,943311637864
21	4	Vinska komina	29,33	Osječko-baranjska	2092872.10541, 5748099.72937	2084394.56771, 5709272.35279	33686,22498501678

Slika 4.8 Izgled atributne tablice

Udaljenosti su računate za svako postrojenje pod brojem od njegove geolokacije sadržane u stupcu „start“, do izračunate lokacije bioplinskog postrojenja čija je lokacija zapisana u stupcu „end“. Rezultat u obliku udaljenosti prikazane u metrima [m], prikazan je u posljednjem stupcu „cost“ Izračunate udaljenosti korištene su za računanje emisija stakleničkih plinova u prijevozu ostataka te u ekonomskoj analizi za računanje specifičnih troškova prijevoza.

Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova

Emisije stakleničkih plinova pri proizvodnji električne i/ili mehaničke i toplinske energije iz bioplina te uštede emisija, izračunate su po metodi raspisanoj u poglavlju Računanje emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova. Računale su se emisije u dva slučaja anaerobne digestije, monodigestije i kodigestije supstrata u digestoru, za svih 10 studija slučaja razmatranih u sklopu ovog rada i jednako tako uštede emisija za oba slučaja za svaku potencijalnu lokaciju bioplinskog postrojenja s pripadajućim industrijskim proizvodnjama te njihovim ostatcima i nusproizvodima. Rezultati su prikazani za svaku izračunatu lokaciju bioplinskog postrojenja zasebno na temelju ostataka koji ulaze u analizu i njihovih udjela u kodigestiji.

4.1.1 Slučaj 1

Za slučaj lokacije bioplinskog postrojenja 1 smještenog u Zadarskoj županiji, ulazne sirovine koje ulaze u digestor su vinska komina te ostaci iz pivarske industrije. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka koji su dostupni na tom području. Za slučaj 1, masene udjele ostataka i nusproizvoda prikazuje Tablica 4.3.

Tablica 4.3 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 1

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	21,04
Pivski trop, otpadna voda	78,96

Iznose izračunatih emisija stakleničkih plinova pri proizvodnji električne i toplinske energije, te uštede emisija u odnosu na proizvodnju energije iz fosilnih goriva prikazuje Tablica 4.4

.

Tablica 4.4 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova

	E [g CO_2eq/MJ]	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**U_{el} [%]**	**U_h [%]**
Vinska komina	11,99	23,93	5,42	86,92	93,24
Pivski trop, otpadna voda	14,65	29,23	6,62	84,03	91,72
Kodigestija	12,07	24,08	5,46	86,84	93,18

Iz rezultata se zaključuje da se u proizvodnji električne i toplinske energije na lokaciji bioplinskog postrojenja 1, ostvaruju uštede emisija koje zadovoljavaju uvjete Direktive s uštedom od 70 % u 2021. godini te 80 % u 2026. godini. Zadovoljene su uštede u slučajevima monodigestije i kodigestiju.

4.1.2 Slučaj 2

Za slučaj lokacije bioplinskog postrojenja 2 smještenog u Vukovarsko-srijemskoj županiji, ulazne sirovine digestora također su vinska komina te ostaci iz pivarske industrije, pivski trop i otpadna voda. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Za slučaj kodigestije u bioplinskom postrojenju 2, masene udjeli tipova ostataka prikazuje Tablica 4.5.

Tablica 4.5 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 2

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	91,67
Pivski trop, otpadna voda	8,33

Iznose izračunatih emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova u proizvodnji električne i toplinske energije monodigestijom pojedinih ostataka te njihovom kodigestijom prikazuje Tablica 4.6

Tablica 4.6 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 2

	E **[g CO_2 eq/MJ]**	EC_{el} **[g CO_2eq/MJ]**	EC_{el} **[g CO_2eq/MJ]**	U_{el} **[%]**	U_h **[%]**
Vinska komina	9,13	18,21	4,13	90,05	94,84
Pivski trop, otpadna voda	27,58	55,03	12,47	69,93	84,41
Kodigestija	9,04	18,04	4,09	90,14	94,89

Iz rezultata se vidi da u slučaju monodigestije ostataka iz pivarske industrije ne ostvaruju se potrebne uštede. Iako su potrebne uštede emisija stakleničkih plinova za pogone puštene u pogon nakon 1. siječnja 2021. godine zadane u iznosu od 70 % u Direktivi, a izračunate su manje za svega 0,07 %, uvjet nije ispunjen, potrebne uštede nisu postignute. U slučaju kodigestije, zbog značajnog udjela vinske komine u digestiji, nedovoljno ostvarene uštede emisija stakleničkih plinova monodigestijom pivskog tropa i otpadne vode ne pridonose negativno uštedama emisija u slučaju kodigestije. Kodigestijom pivskog tropa, otpadne vode i vinske komine ostvaruju se potrebne uštede propisane Direktivom. Iako nisu prikladni proizvodnju bioplina monodigestijom, pivski trop i otpadna voda nastali u pivovarama mogu se koristiti u proizvodnji bioplina kodigestijom.

4.1.3 Slučaj 3

Ulazne sirovine koje ulaze u digestor bioplinskog postrojenja u slučaju 3 smještenog u Požeško-slavonskoj županiji su vinska komina, ostaci iz pivarske i mljekarske industrije. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Za slučaj kodigestije u bioplinskom postrojenju 3, masene udjele ostataka prikazuje Tablica 4.7.

Tablica 4.7 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 3

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	80,23
Pivski trop, otpadna voda	19,58
Biološki mulj, sirutka	0,19

Iznose izračunatih emisija stakleničkih plinova u proizvodnji električne i toplinske energije monodigestijom pojedinih ostataka te njihovom kodigestijom u zadanim omjerima i uštede emisija za navedene slučajeve prikazuje Tablica 4.8.

Tablica 4.8 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 3

	E **[g CO_2eq/MJ]**	EC_{el} **[g CO_2eq/MJ]**	EC_{el} **[g CO_2eq/MJ]**	U_{el} **[%]**	U_h **[%]**
Vinska komina	11,00	21,95	4,97	88,00	93,78
Pivski trop, otpadna voda	25,86	51,60	64,01	71,80	85,38
Biološki mulj, sirutka	13,57	27,08	6,13	85,20	92,33
Kodigestija	11,01	21,98	4,98	87,98	93,77

4.1.4 Slučaj 4

Za slučaj bioplinskog postrojenja 4, smještenog na istoku Hrvatske u Osječko-baranjskoj županiji, na promatranom području generiraju se ostaci iz vinarija, pivovara, mljekara te tvornice šećera. Najveći udio ostataka na promatranom području su ostaci iz proizvodnje vina, a najmanji udio nastalih ostataka je iz mljekarske industrije. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru

smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području, a prikazuje ih Tablica 4.9.

Tablica 4.9 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 4

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	47,25
Pivski trop, otpadna voda	12,36
Izlužena šećerna repa	40,06
Biološki mulj, sirutka	0,33

Izračunate emisije i uštede stakleničkih plinova u monodigestiji ostataka iz vinarija, pivovara, mljekara te tvornice šećera te emisije i uštede stakleničkih plinova u proizvodnji električne i toplinske energije u slučaju njihove kodigestije prikazuje Tablica 4.10.

Tablica 4.10 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 4

	E [g CO_2 eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2 eq/ MJ]	EC_{el} [g CO_2 eq/ MJ]	U_{el} [%]	U_h [%]
Vinska komina	11,12	233,74	5,38	87,03	93,28
Pivski trop, otpadna voda	9,34	18,63	4,22	89,82	94,72
Izlužena šećerna repa	9,14	18,35	4,16	89,97	94,80
Biološki mulj, sirutka	8,96	17,88	4,05	90,23	94,94
Kodigestija	9,93	19,82	4,49	89,16	94,38

Za ovaj slučaj, monodigestijom svih ostataka te njihovom kodigestijom, iz gornje tablice se vidi da se ostvaruju uštede iznad 80 % za sve slučajeve što zadovoljava potrebnu razinu ušteda prema Direktivi za 2026. godinu.

4.1.5 Slučaj 5

Za slučaj lokacije bioplinskog postrojenja 5, smještenog na sjeveru Hrvatske u Međimurskoj županiji, ulazne sirovine u digestor su vinska komina, ostaci iz pivarske industrije, pivski trop i otpadna voda te ostaci iz mljekarske industrije. Najviše se ostataka generira u proizvodnji piva, 88,05 % ukupne mase ostataka na promatranom području. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Masene udjele ostataka u slučaju kodigestije u slučaju 5 prikazuje Tablica 4.11.

Tablica 4.11 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 5

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	6,81
Pivski trop, otpadna voda	88,05
Biološki mulj, sirutka	5,14

Iznose emisija nastalih u proizvodnji bioplina te emisije stakleničkih plinova nastale proizvodnjom električne i toplinske energije iz proizvedenog bioplina prikazuje

Tablica 4.12 zajedno s uštedama emisija. Prikazani su iznosi emisija i njihovih ušteda za slučajeve monodigestije i kodigestije ostataka na ovom području.

Tablica 4.12 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova 5

	E [g CO_2eq/MJ]	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**U_{el} [%]**	**U_h [%]**
Vinska komina	13,47	26,87	6,09	85,31	92,39
Pivski trop, otpadna voda	11,37	22,68	5,14	87,61	93,58
Biološki mulj, sirutka	10,48	20,90	4,73	88,58	94,08
Kodigestija	9,04	18,04	4,09	85,44	92,45

Analizom rezultata očito je da se i u ovom slučaju ostvaruju potrebne uštede emisija stakleničkih plinova pri proizvodnji električne i toplinske energije za promatrano bioplinsko postrojenje. Svi tipovi ostataka u monodigestiji, a potom i u njihovoj kodigestiji zadovoljavaju kriterije uštede emisija predviđene za 2026. godinu od 80 %.

4.1.6 Slučaj 6

Ovo bioplinsko postrojenje smješteno je na otoku Korčuli u Dubrovačko-neretvarnskoj županiij te je kao takvo jedino postrojenje smješteno na otoku. U digestor ovog postrojenja dovode se dvije vrste ostataka, vinska komina i komina masline. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Masene udjele ostataka na području otoka Korčule prikazuje

Tablica 4.13.

Tablica 4.13 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 6

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	9,4

Komina	90,6

Izračunate emisije stakleničkih plinova u monodigestijama vinske komine i komine masline te kodigestiji njihove kombinacije prikazuje Tablica 4.14 zajedno s pripadajućim uštedama emisija pri proizvodnji električne i toplinske energije.

Tablica 4.14 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 6

	E [g CO_2eq/MJ]	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**EC_{el} [g CO_2eq/MJ]**	**U_{el} [%]**	**U_h [%]**
Vinska komina	15,16	30,26	6,85	83,46	91,43
Komina	9,03	18,01	4,08	90,16	94,90
Kodigestija	10,85	21,65	4,90	88,17	93,87

Očekivane uštede od 70% za 2021. godinu te 80% za 2026. godinu u proizvodnji krajnjeg energetskog proizvoda ostvarene su u proizvodnji električne i toplinske energije za svaki od promatranih slučajeva digestija.

4.1.7 Slučaj 7

Bioplinsko postrojenje 7 smješteno na Istarskom poluotoku, specifično je po tome što se na tome području generira najveći broj različitih vrsta ostataka, njih 5. Ostaci koji nastaju na tom području su vinska komina, ostaci iz pivarske industrije, komina masline, ostaci iz mljekarske industrije te ostaci pri preradi rajčice. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Njihov ukupni maseni udio na tom području prikazuje Tablica 4.15.

Tablica 4.15 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 7

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	0,63

Pivski trop, otpadna voda	86,16
Biološki mulj, sirutka	0,00
Komina	7,92
Ostaci rajčice	5,29

U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području. Tablica 4.16 prikazuje iznose izračunatih emisija stakleničkih plinova u slučajevima monodigestije ostatataka i njihove kodigestije.. Uz iznose emisija prikazane su i uštede emisija stakleničkih plinova pri proizvodnji električne i toplinske energije u bioplinskom postrojenju slučaja 7.

Tablica 4.16 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 7

	E [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2 eq/ MJ]	U_{el} [%]	U_h [%]
Vinska komina	12,15	24,24	5,49	86,75	93,13
Pivski trop, otpadna voda	14,26	28,45	6,45	84,45	91,93
Komina	14,12	28,18	6,38	84,60	92,02
Biološki mulj, sirutka	90,06	179,69	40,70	1,81	49,12
Ostatci rajčice	13,00	25,93	5,87	85,83	92,66
Kodigestija	13,91	27,76	6,29	84,83	92,14

Za promatrano bioplinsko postrojenje prema rezultatima koje prikazuje Tablica 4.16 vidi se da se u slučaju monodigestije ostataka iz mljekarske industrije ne ostvaruju predviđene uštede. Emisije stakleničkih plinova nastale pri proizvodnji električne i toplinske energije iz biološkog mulja i sirutke su znatno veći u usporedbi s ostalim ostacima. Razlog tome je što se u ovom slučaju stvara

iznimno malo ostataka, male energetske gustoće i potkapacitiranim prijevozom specifične emisije u prijevozu rastu te to dovodi do velikog porasta ukupno emitiranih emisija i smanjenja ušteda emisija. Za određeni potencijal proizvodnje bioplina iz ostataka u mljekarskoj industriji, uzimajući u obzir udaljenost između lokacije bioplinskog postrojenja i mljekare, ukoliko bi se proizvodni kapacitet povećao te se samim time poveća i tehnički potencijal ostataka, uštede emisija bi se također povećale. Ostali načini digestija, monodigestije i kodigestije svih ostataka skupa s biološkim muljem i sirutkom, ostvaruju zadovoljavajuće iznose ušteda emisija u proizvodnji električne i toplinske energije.

4.1.8 Slučaj 8

Za slučaj lokacije bioplinskog postrojenja 8, na promatranom području postoje vinarije, pivovare i mljekare. Ostaci koji nastaju su vinska komina, pivski trop i otpadna voda te biološki mulj i sirutka. Ukupni udio masenih ostataka na promatranom području prikazuje Tablica 4.17. U slučaju kodigestije, maseni udio ostataka u digestoru smatra se jednakim ukupnom omjeru količina ostataka istog tipa koji su dostupni na tom području.

Tablica 4.17 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 8

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	0,013
Pivski trop, otpadna voda	99,087

Maseni udio ostataka iz mljekarske industrije u ovom slučaju gotovo je zanemariv te zbog toga nije ni uvršten među podatcima. Pivovare velikih proizvodnih kapaciteta na ovom području generiraju velike količine ostataka u obliku pivskog tropa i otpadne vode, stoga se udio ostalih ostataka znatno smanjuje. Iznos emisija nastalih proizvodnjom električne i toplinske energije iz bioplina nastalog monodigestijom ostataka i njihovom kodigestijom, te uštedama koje se pri tome ostvaraju prikazuje Tablica 4.18.

Tablica 4.18 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 8

	E [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	U_{el} [%]	U_h [%]
Vinska komina	15,64	31,20	7,08	82,95	91,16
Pivski trop, otpadna voda	8,98	17,92	4,06	90,21	94,93
Biološki mulj, sirutka	32,07	63,99	14,49	65,03	81,88
Kodigestija	9,20	18,36	4,16	89,97	94,80

Monodigestijom ostataka iz vinarija i pivovara ostvaruju se značajne uštede emisija dok to nije slučaj za monodigestiju biološkog mulja i sirutke nastale u mljekarama. Male obiteljske mljekare, udaljenije od lokacije bioplinskog postrojenja, ne uspiju proizvesti dovoljnu količinu mlijeka iz kojih nastaju promatrani ostaci te se potom prijevozom ostataka u poluprazним kamionima povećavaju ukupne emisije zbog male gustoće potencijala proizvodnje bioplina. Monodigestijom biološkog mulja i sirutke, ostvaruju se uštede od 60,49 % i 79,53 %. Znajući da su uvjeti za 2021. godinu minimalno 70 % uštede emisija, ovaj način proizvodnje bioplina u ovom slučaju nije održiv. U slučaju kodigestije ostataka, proizvodnjom električne i toplinske energije ostvaruju se tražene uštede.

4.1.9 Slučaj 9

Za slučaj lokacije bioplinskog postrojenja 9 u Karlovačkoj županiji, na promatranom području obuhvaćene su vinarije, pivovare i mljekare. Ostaci koji nastaju su vinska komina, pivski trop i otpadna voda te biološki mulj i sirutka. Ukupni udio masenih ostataka na promatranom području prikazuje Tablica 4.19. Taj udio koristi se kao omjer tih ostataka u njihovoj kodigestiji.

Tablica 4.19 Maseni udio ostataka i nusproizvoda u kodigestiji, Slučaj 9

	Maseni udio ostataka u kodigestiji [%]
Vinska komina	0,0236
Pivski trop, otpadna voda	99,9746
Biološki mulj, sirutka	0,0019

Slično kao u slučaju 8, udio otpada iz pivarske industrije gotovo je 100 %, što se isto povezuje s pivovarom velikog proizvodnog kapaciteta koja sukladno tome proizvede velike količine ostataka i nusproizvoda. Iznos emisija nastalih proizvodnjom električne i toplinske energije iz bioplina nastalog monodigestijom ostataka i njihovom kodigestijom, te uštedama koje se pri tome ostvaraju prikazuje Tablica 4.20

Tablica 4.20 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 9

	E [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	U_{el} [%]	U_h [%]
Vinska komina	14,11	28,16	6,38	84,61	92,03
Pivski trop, otpadna voda	8,90	17,76	4,02	90,30	94,97
Biološki mulj, sirutka	9,51	18,98	4,30	89,63	94,63
Kodigestija	9,20	18,36	4,16	89,97	94,80

Za razliku od slučaja 8 u kojem su udjeli ostataka iz mljekarske industrije bili isto mali, u ovom slučaju oni su bolje raspoređeni, bliže lokaciji bioplinskog postrojenja te se na taj način smanjuju emisije stakleničkim plinova nastale izgaranjem goriva u prijevoz pa se ostvaruju previđene uštede. Tablica 4.20 prikazuje da se proizvodnjom električne i toplinske energije u svim slučajevima

digestija ostvaruju predviđene uštede emisija stakleničkih plinova većih od 80 % koje zadovoljavaju uvjete ušteda emisija previđene Direktivom.

4.1.10 Slučaj 10

Bioplinsko postrojenje smješteno u Dubrovačko-neretvanskoj županiji iz slučaja 10 ima dostupnu samo jednu vrstu ostataka na promatranom području, vinsku kominu. U tom slučaju, monodigestija vinske komine jedini je način proizvodnje bioplina. Budući da do kodigestije ne može doći, uštede emisija stakleničkih plinova proizvodnjom električne i toplinske energije računaju se samo za monodigestiju.

Iznos emisija i ušteda emisija nastalih proizvodnjom električne i toplinske energije iz bioplina nastalog monodigestijom vinske komine prikazuje Tablica 4.21

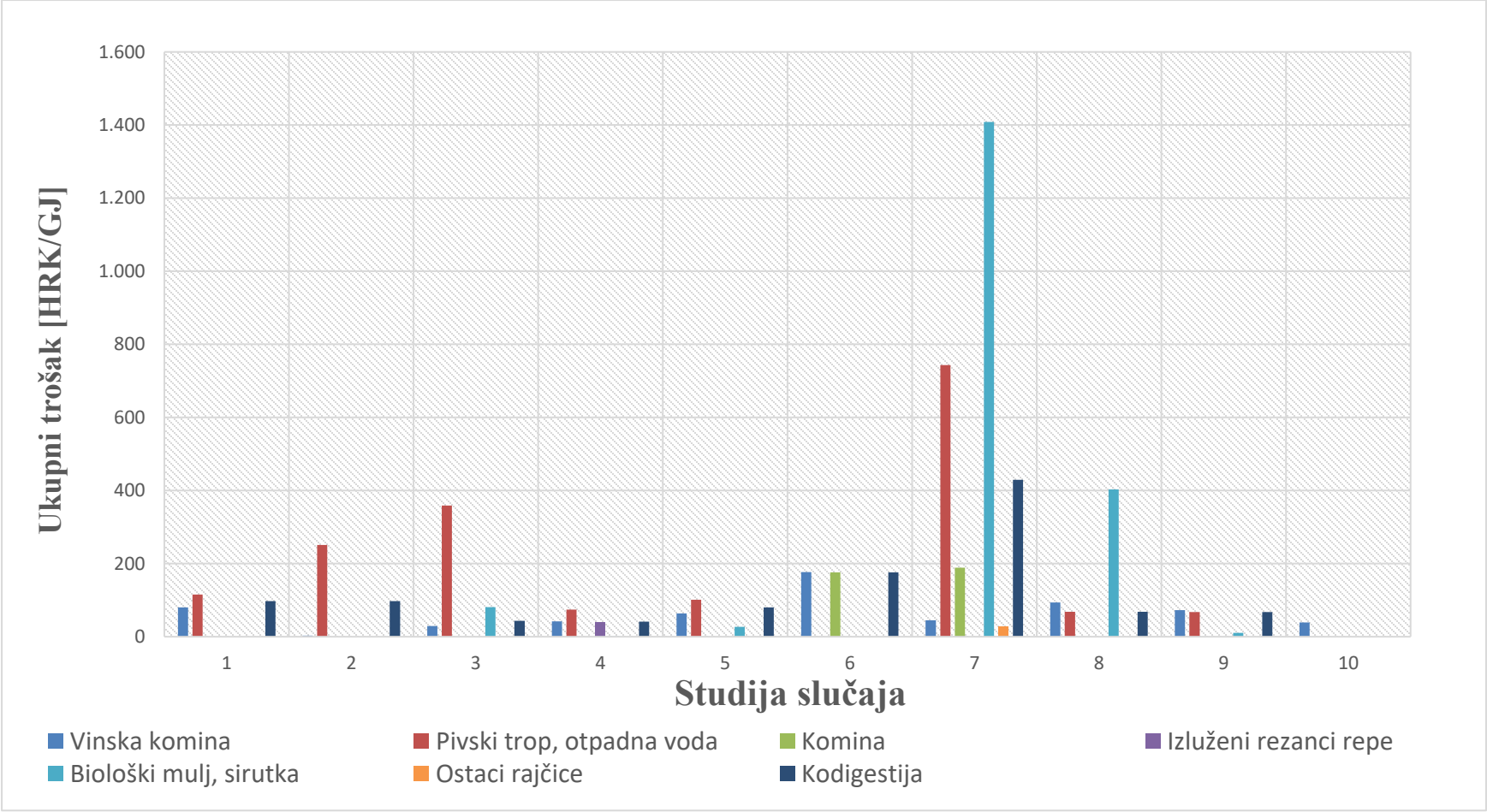
Tablica 4.21 Emisije i uštede emisija stakleničkih plinova Slučaj 10

	E [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	EC_{el} [g CO_2eq/MJ]	U_{el} [%]	U_h [%]
Vinska komina	10,40	20,76	4,70	88,66	94,12

Monodigestijom vinske komine u slučaju 10 bioplinskog postrojenja u kopnenom dijelu dubrovačko-neretvanske županije, ostvaruju se uštede emisija stakleničkih plinova za postrojenja puštena u pogon u 2021. godini, ali i za postrojenja koja će biti puštena u pogon 2026. godine predviđene Direktivom u iznosu 80 % emisija stakleničkih plinova.

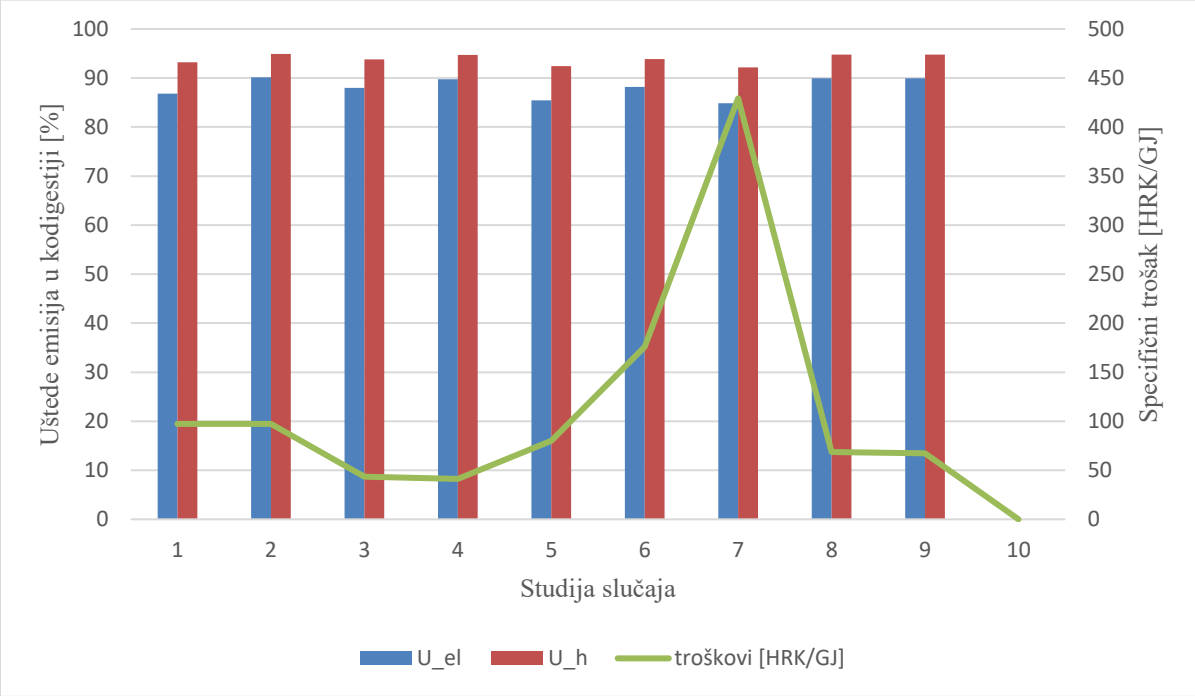
Ekonomska analiza

Ekonomskom analizom moguće je usporediti puno podataka i prema različitim kriterijima utvrditi jesu li određeni troškovi opravdani i prihvatljivi ili ne. Grafički prikaz koji prikazuje Slika 4.9 prikazuje ukupni specifični trošak otkupa, prijevoza sirovine u proizvodnji bioplina za svaku lokaciju bioplinskog postrojenja određenu u prethodnim koracima. Prikazani su ukupni specifični troškovi u slučajevima monodigestije svih vrsta ostataka za svaku promatranu studiju slučaja i specifični ukupni trošak u slučaju njihove kodigestije. Iz grafičkog prikaza ukupnih specifičnih troškova vidi se da pretežno najviše specifične troškove u svim slučajevima imaju ostatci iz mljekarske i pivarske industrije. U pivarskoj industriji razlog tome je što postoji otkupna cijena pivskog tropa, a ujedno se stvaraju velike količine otpadne vode koja ima manji potencijal proizvodnje bioplina što rezultira povećanim specifičnim troškovima što zbog troška otkupa pivskog tropa što zbog specifičnih troškova prijevoza otpadne vode. Mljekare nemaju veliki tehnički potencijal proizvodnje ostataka za proizvodnju bioplina pa zbog manje gustoće energije specifični troškovi rastu. Najveći specifični trošak u iznosu nešto većem od 1400 HRK/GJ odgovara upravo najmanje ostvarenim uštedama emisija stakleničkih plinova u slučaju monodigestije biološkog mulja i sirutke na području Istarske županije. Razlog tome se krije u velikom specifičnom trošku prijevoza zbog male gustoće potencijala bioplina u tom industrijskom pogonu. Prikolica kamiona je prekapacitirana, a ukoliko bi se s iste lokacije prevozio potpuno utovaren kamion, uštede emisija bi se povećale na više od 90 %, a ukupni specifični trošak potencijala bioplina bi se smanjio 1000 puta. Također, studija slučaja lokacije bioplinskog postrojenja u Dubrovačko-neretvanskoj županiji u slučaju 10, zanimljiva je jer se na tom području ne provodi kodigestija zbog nedostatka različitih izvora industrijskih ostataka i nusproizvoda. Jedini dostupni industrijski ostaci na tom području promatrani u ovom slučaju su ostaci nastali u vinarijama, tj. vinska komina. Stoga specifičnih troškova u slučaju kodigestije u postrojenju 10 nisu računati što prikazuje Slika 4.9.



Slika 4.9 Ekonomska analiza

Slika 4.10 grafički prikazuje usporedbu ušteda emisija stakleničkih plinova nastalih proizvodnjom električne i toplinske energije u bioplinskim postrojenjima u slučaju kodigestije i ukupnih specifičnih troškova u slučaju kodigestije.



Slika 4.10 Usporedba ušteda emisija i ukupnih specifičnih troškova u slučaju kodigestije

Za slučaj 10 vidi se da u nedostatku različitih vrsta sirovina, kodigestija ne postoji pa shodno tome nema prikazanih njenih troškova, a ni ušteda. Ekonomskom analizom može se zaključiti da uštede emisija stakleničkih plinova i ukupni specifični trošak otkupa i prijevoza sirovina u slučaju kodigestije nisu proporcionalni. Najviše se disproporcionalnost vidi na primjeru za slučaj bioplinskog postrojenja 7. Iako maseni udio u kodigestiji biološkog mulja i sirutke u postrojenju 7 gotovo da je jednak nuli i u potpunosti je zanemariv u ukupnom udjelu potencijala proizvodnje bioplina, u ekonomskoj analizi ima utjecaj i uvelike povećava specifične troškove.

Slika 4.11 prikazuje raspodjelu ukupnog troška u slučaju kodigestije ostataka i nusproizvoda iz industrijske proizvodnje.



Slika 4.11 Raspodjela ukupnog troška u slučaju kodigestije

Raspodjela ukupnih troškova u slučaju kodigestije nije ravnomjerno raspoređena, ona ovisi o vrstama i količinama ostataka na promatranom području. Gdje se značajniji potencijal bioplina ostvaruje iz ostataka koji imaju svoju tržišnu vrijednost, a to su komina masline, pivski trop te izluženi rezanci repe, poput situacija za slučajeve 4, 6, 8 i 9 u ukupnom udjelu specifičnih troškova prevladava trošak otkupa sirovina. Za razliku od njih, u slučaju 10 gdje je jedina vrsta ostataka vinska komina, sav ukupni specifični trošak pripisuje se troškovima prijevoza. Slika 4.11 prikazuje također veliki nesklad slučaja 7 u usporedbi s ostalima. U ostalim slučajevima poput slučaja 1,2,3,4,5,8,9 i 10 ostvaruju se predviđene uštede uz manje specifične troškove što pokazuje da ove sirovine tj. ostatci imaju dobar potencijal da zamjene silažu u proizvodnji bioplina. Ostatci koji su najviše zastupljeni u tim slučajevima su vinska komina i pivski trop. Vinska komina ima veliki potencijal proizvodnje bioplina, a budući da nema definiranu otkupnu cijenu računa se da je jednaka nuli, te samim time specifični troškovi u proizvodnji energije iz vinske komine su niski. U

studiji slučaja 6 isto se ostvaruju uštede uz nešto veće troškove zbog velikog masenog udjela komine masline u kodigestiji, a ona ima najveću specifičnu cijenu otkupa na tržištu.

Ekonomskom analizom, može se zaključiti da je kodigestija supstrata u pretpostavljenim udjelima miješanja sirovina u digestoru u većini slučajeva je ekonomski najisplativiji model proizvodnje bioplina. Za ukupno 6 od 9 slučajeva ukupni specifični trošak proizvodnje bioplina kodigestijom manji je od prosječnog troška proizvodnje monodigestijom svih ostataka u promatranom bioplinskom postrojenju.

5 ZAKLJUČAK

Bioplin kao jedan od najraznovrsnijih i najfleksibilnijih obnovljivih izvora energije, jednostavnim dobivanjem iz biomase predstavlja potencijalnu zamjenu za konvencionalna fosilna goriva. Zbog ograničenja proizvodnje bioplina iz kukuruznih silaža koje čine veliki dio u trenutnoj proizvodnji bioplina, razmotrene su opcije proizvodnje bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda. Izračunat je tehnički potencijal i potencijal bioplina industrijskih ostataka i nusproizvoda, koji nastaje u vinarijama, mljekarama, pivovarama, uljarama, šećerani i tvornici prerade povrća. Obuhvaćeni tipovi ostataka i nusproizvoda u sklopu ovog rada su vinska komina, pivski trop i otpadna voda, biološki mulj i sirutka, komina masline, izluženi rezanci šećerne repe te ostatci u preradi rajčice. Proizvodnja bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda upravo je ono što predstavlja bit cirkularne ekonomije, proizvodnja energije iz već prije iskorištenog proizvoda. Provedena je analiza i mapiranje tehničkog potencijala i potencijala proizvodnje bioplina na teritoriju Republike Hrvatske. Za 192 obuhvaćena industrijska postrojenja u ovom radu, izračunat je godišnji potencijal bioplina iznosa 414549 GJ. Mapiranjem potencijala bioplina iz industrijskih ostataka i nusproizvoda na području Republike Hrvatske i daljnjim analizama nastale karte, određeno je 10 potencijalnih lokacija bioplinskih postrojenja ukupnog potencijala bioplina u iznosu od 368139 GJ. Računanjem emisija i ušteda emisija stakleničkih plinova prema metodi Direktive 2018/2001, dolazi se do zaključka da se u većini razrađenih studija slučaja ostvaruju potrebne uštede emisija stakleničkih plinova u proizvodnji električne i toplinske energije. Sve sirovine posjeduju potencijal proizvodnje bioplina, njihova ekonomska isplativost ovisi o potencijalu bioplina na određenoj lokaciji, udaljenosti industrijskog i bioplinskog postrojenja, energetskoj gustoći sirovine sadržanoj u jednoj prikolici kamiona. Vinska komina je ostatak koji nastaje na najviše lokacija u Republici Hrvatskoj i jedini je tip ostatka zastupljen u svih 10 studija slučaja. U svakom bioplinskom postrojenju, ostvarene su potrebne uštede emisija proizvodnjom električne i toplinske energije iz bioplina nastalog monodigestijom vinske komine. Uštede emisija stakleničkih plinova proizvodnjom električne i toplinske energije razlikuju se ovisno o promatranoj lokaciji bioplinskog postrojenja. Kodigestijama se postižu uštede veće od 80 % u svim promatranim slučajevima. U proizvodnji električne i toplinske energije iz bioplina nastalog monodigestijama iznosi ušteda emisija plina kreću se između 65 i 95 % s jednim izoliranim slučajem u kojem ušteda gotovo da ni nema. Slučaji koji ostvaruje najveću uštedu emisija stakleničkih plinova nalazi se na području Karlovačke županije, a slučaj koji ima najniži specifični trošak smješten je u kopnenom

dijelu Dubrovačko-neretvanske županije. Pivski trop i otpadna voda su ostaci kojih ima najviše, ali u par slučajeva digestije ne ostvaruju predviđene uštede emisija zbog većeg udjela otpadne vode s manjim potencijalom proizvodnje bioplina od pivskog tropa. Industrijski ostaci i nusproizvodi nastali proizvodnjom vina, piva, mlijeka, ulja, šećera i proizvoda od rajčice pokazali su se kao odgovarajuća alternativa silažama u proizvodnji bioplina.

6 LITERATURA

[1] Europski Parlament, "Infografika: Emisije stakleničkih plinova po zemlji i sektoru," 2018. https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20180301STO98928/infografika-emisije-staklenickih-plinova-po-zemlji-i-sektoru (accessed Nov. 01, 2021).

[2] Europski Parlament, "DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (preinaka)," *Službeni List Eur. unije*, p. L 328/82-209, 2018.

[3] "Europski zeleni plan." https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr.

[4] S. K. Damir Šljivac, Marko Vukobratović, Srete Nikolovski, Zoran Stanić, "ENERGETSKI POTENCIJALI I TRENUTNE AKTIVNOSTI KORIŠTENJA BIOMASE I BIOPLINA U ISTOCNOJ HRVATSKOJ," pp. 1–10, 2008.

[5] EBA, "European Biogas Association Annual Report 2020," p. 38, 2020, [Online]. Available: https://www.europeanbiogas.eu/eba-annual-report-2020/.

[6] Hrvatski operator tržištem energije, "Godišnji izvještaj 2019.," 2020.

[7] Federal Ministry FACP, "Bioenergy in Germany : Facts and Figures - Solid fuels, biofuels & biogas," no. January, 2019, [Online]. Available: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2018_engl_web_neu.pdf.

[8] "Hercegovina Promo." https://www.hercegovinapromo.com/in-vino-veritas-99-koliko-grozdja-je-potrebno-za-jednu-flasu-vina/.

[9] R. B. Boris Ćosić, Tomislav Pukšec, Goran Krajačić, Neven Duić, Nataša Markovska, Hrvoje Mikulčić, Milan Vujanović, "Database / Inventory of the FRUIT AWCB value chain."

[10] Š. Domagoj, "Piroliza ostataka nakon proizvodnje piva s ciljem dobivanja energije i proizvoda dodane vrijednosti," 2018.

[11] G. Šarić, B. Matijević, M. Blažić, S. Zavadlav, and J. Halambek, "Otpadne vode iz pivovare - otpad ili sirovina?," no. March, pp. 271–284, 2017.

[12] B. Ćosić *et al.*, "Database/Inventory of the vegetable AWCB value chain," 2016, [Online]. Available: www.AgroCycle.eu.

[13] I. L. Moreda, "The potential of biogas production in Uruguay," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1580–1591, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.099.

[14] D. K. Grgić, M. Gavran, and K. Miškić, "Utjecaj komine masline na okoliš," vol. 69, pp. 153–162, 2020.

[15] M. Guerini Filho, M. Lumi, C. Hasan, M. Marder, L. C. S. Leite, and O. Konrad, "Energy recovery from wine sector wastes: A study about the biogas generation potential in a vineyard from Rio Grande do Sul, Brazil," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 29, no. April, pp. 44–49, 2018, doi: 10.1016/j.seta.2018.06.006.

[16] R. Vitanza, A. Cortesi, V. Gallo, I. Colussi, and M. E. De Arana-Sarabia, "Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion," *Chem. Biochem. Eng. Q.*, vol. 30, no. 3, pp. 351–357, 2016, doi: 10.15255/CABEQ.2015.2237.

[17] G. S. Simate *et al.*, "The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art," *Desalination*, vol. 273, no. 2–3, pp. 235–247, 2011, doi: 10.1016/j.desal.2011.02.035.

[18] D. Trujillo and F. J. Cebreros, "Energy Recovery from Wastes AD of Tomato Plant mixed with Rabbit Wastes," *Bioresour. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 81–83, 1993.

[19] V. Kryvoruchko, A. Machmüller, V. Bodiroza, B. Amon, and T. Amon, "Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing," *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, no. 4, pp. 620–627, 2009, doi: 10.1016/j.biombioe.2008.10.003.

[20] R. A. Labatut, L. T. Angenent, and N. R. Scott, "Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 3, pp. 2255–2264, 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.035.

[21] K. Vijayaraghavan and G. K. Sagar, "Anaerobic digestion and in situ electrohydrolysis of dairy bio-sludge," *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 520–526, 2010, doi: 10.1007/s12257-009-0220-y.

[22] L. Axelsson, M. Franzén, M. Ostwald, G. Berndes, G. Lakshmi, and N. H. Ravindranath, "Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences,"

Biofuels, Bioprod. Biorefining, vol. 6, no. 3, pp. 246–256, 2012, doi: 10.1002/bbb.

[23] A. R. Tekin and A. C. Dalgiç, "Biogas production from olive pomace," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 30, no. 4, pp. 301–313, 2000, doi: 10.1016/S0921-3449(00)00067-7.

[24] Saylordotorg.github.io, "Multiple Layer Analysis." https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s11-02-multiple-layer-analysis.html.

[25] "QGIS." https://qgis.org/en/site/ (accessed Oct. 10, 2020).

[26] "CLC 2012." https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view (accessed Mar. 10, 2021).

[27] F. K.C., "GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit," *Cardiol. Clin.*, vol. 19, no. 2, pp. 279–294, 2001, [Online]. Available: http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L32500065%5Cnhttp://sfx.ub.rug.nl:9003/sfx_local?sid=EMBASE&issn=07338651&id=doi:&atitle=Update+in+pharmacologic+treatment+of+hypertension&stitle=Cardiol.+Clin.&title=Cardiology+Clin.

[28] J. Guintoli, A. Agostini, R. Edwards, and L. Marelli, *Solid and gaseous bioenergy pathways : input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767 (EUR 27215)*, no. EUR 27215, Version 2. 2017.

[29] Cargobull, "Kiper nadogradnje za kamione." https://www.cargobull.com/hr/proizvodi/kipper/motorwagenkippaufbau.

[30] City of Winnipeg, "Emission factors in kg CO2-equivalent per unit," *WSTP South End Plant Process Sel. Rep.*, 2011, [Online]. Available: https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix7.pdf%0Ahttp://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-WSTP_South_.

[31] E. Parlament and E. Unije, "Službeni list Europske unije 15/Sv. 26 L 143/56," vol. 26, no. 6, pp. 58–77, 2004.

[32] D. Persyn, J. Díaz-Lanchas, and J. Barbero, "Estimating road transport costs between EU regions," 2019, [Online]. Available: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc114409.pdf.

[33] "Statistika." http://vinacroatia.hr/fakti/statistika/.

[34] M. Ana, "Pivarska industrija u Hrvatskoj," 2020, [Online]. Available: https://repozitorij.pmf.unizg.hr/islandora/object/pmf%3A6472/datastream/PDF/view.

[35] M. Poljoprivrede, "Maslinarstvo." https://poljoprivreda.gov.hr/maslinarstvo/194.

[36] D. RH, "PROIZVODNJA MLIJEKA I MLIJEČNIH PROIZVODA U 2019.," 2020. https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2020/01-01-25_01_2020.htm?fbclid=IwAR2T3DWxVUmOxjKRO2HtoGm9TiRzNDrHoNnyth0_uZ1HoJF7YHQ2KjIP4JA.

[37] Agrobiz, "Podravkina tvornica rajčica preradi 12.000 tona godišnje." https://www.agrobiz.hr/agrovijesti/podravkina-tvornica-rajcica-preradi-12-000-tona-godisnje-6454.

[38] Wikipeadia, "Hrvatske županije." https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_županije#/media/Datoteka:Counties_of_Croatia.svg (accessed Mar. 11, 2021).

[39] S. I. Mussatto, G. Dragone, and I. C. Roberto, "Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications," *J. Cereal Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–14, 2006, doi: 10.1016/j.jcs.2005.06.001.

[40] VCalc, "Sugar Beet Pulp (wet)." https://www.vcalc.com/wiki/pro/(muD)+Sugar+Beet+pulp+(wet).

[41] C. L. Amel and B. Rafik, "Olive pomace based lightweight concrete, an experimental approach and contribution," *MATEC Web Conf.*, vol. 149, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1051/matecconf/201714901068.

[42] P. Burg, T. Vítěz, J. Turan, and J. Burgová, "Evaluation of grape pomace composting process," *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.*, vol. 62, no. 5, pp. 875–881, 2014, doi: 10.11118/actaun201462050875.

[43] C. M. M. Coelho, C. de M. Bellato, J. C. P. Santos, E. M. M. Ortega, and S. M. Tsai, "Effect

of phytate and storage conditions on the development of the ‘ hard-to-cook ,’” *J. Sci. Food Agric.*, vol. 1243, no. May, pp. 1237–1243, 2007, doi: 10.1002/jsfa.

[44] J. Budgen and P. Le-Clech, “Assessment of brewery wastewater treatment by an attached growth bioreactor,” *H2Open J.*, vol. 3, no. 1, pp. 32–45, 2020, doi: 10.2166/h2oj.2020.023.

[45] PBF, “Sirutka.” https://www.yumpu.com/xx/document/view/25181566/sirutka-pbfhr.

[46] N. Voća, “Vinska komina kao izvor toplinske energije,” *Glas. zaštite bilja*, vol. 31, no. 6, pp. 91–99, 2008.

[47] “Whey processing.” https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/whey-processing.

[48] 057info.hr, “Grijem se gotovo besplatno na kominu masline.” http://www.057info.hr/vijesti/2010-11-19/grijem-se-gotovo-besplatno-na-kominu-masline.

[49] K. H. Jenkins, “How does Corn Silage Compare with Sugar Beet Pulp in Growing Calf Rations,” 2018. https://beef.unl.edu/beefwatch/how-does-corn-silage-compare-sugar-beet-pulp-growing-calf-rations (accessed Mar. 05, 2021).

[50] “Cijene goriva.” http://cijenegoriva.info/CijeneGoriva.aspx.