Analiza mogućnosti bioplinskog postrojenja BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o.

Zemljak, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

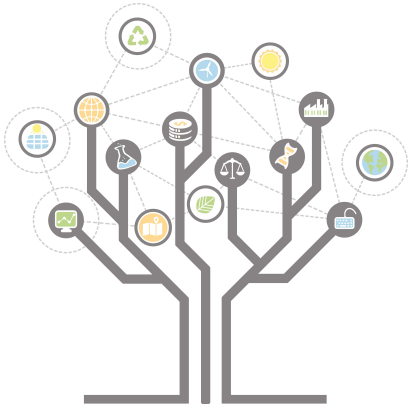
2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:189092

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Analiza mogućnosti bioplinskog postrojenja BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o.

Zemljak, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:189092

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-02**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DAVOR ZEMLJAK

ANALIZA MOGUĆNOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA MOGUĆNOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

KANDIDAT:

DAVOR ZEMLJAK

MENTOR:

izv. prof. dr. sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ

VARAŽDIN, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: DAVOR ZEMLJAK

Matični broj: 123 - 2015./2016.

Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

ANALIZA MOGUĆNOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA
BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Anaerobna digestija
3. Bioplin
4. Energetska oboraba biorazgradivog dijela komunalnog otpada procesom AD
5. BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o. – postojeće stanje
6. Mogućnosti poboljšanja bioplinskog postrojenja BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o.
7. Poboljšanje učinkovitosti bioplinskog postrojenja BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o.
8. Primjena i implementacija navedenih sustava u bioplinskom postrojenju BIOplinara organica Kalnik 1 d.o.o.
9. Zaključak
10. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 10.04.2017.

Rok predaje: 11.09.2017.

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Predsjednik Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

ANALIZA MOGUĆNOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Izv. prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 4.9.2017

DAVOR ZEMLJAK

(Ime i prezime)

Davor Zemljak

(Vlastoručni potpis)

Zahvala

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Aleksandri Anić Vučinić i asistentici Ivani Melnjak, mag.ing.geoing. koje su mi svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogle u izradi i oblikovanju ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se djelatnicima Bioplinare Organice Kalnik 1 d.o.o. koji su mi pomogli tijekom izrade diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojim roditeljima koji su me uvijek podržavali tijekom akademskog obrazovanja i poticali moju težnju k ostvarenju viših ciljeva.

Želim se zahvaliti svim djelatnicima, kolegama i prijateljima s Geotehničkog fakulteta s kojima sam imao priliku surađivati, koji su mi svojim radom i znanjem pomogli u stjecanju mog znanja u inženjerstvu okoliša.

Sažetak rada

Posljednjih desetak godina u sektoru energetike zabilježen je veliki porast korištenja obnovljivih izvora energije. U obnovljive izvore energije spada i bioplin koji je moguće proizvesti iz svih organski razgradivih tvari, a dobiveni bioplin pretvarati u električnu i toplinsku energiju te ju upotrebljavati na osviješten i suvremen način. Republika Hrvatska ima velikih potencijala unutar obnovljivih izvora energije, osobito kod proizvodnje bioplina i izgradnje bioplinskih postrojenja zbog velikih poljoprivrednih površina koje akumuliraju velike količine biomase, poglavito u Slavoniji, ali i u Središnjoj Hrvatskoj.

Energetska oporaba biorazgradivog otpada ima pozitivne učinke na okoliš, prvi je izbjegavanje odlaganje takvog otpada na odlagališta, a drugi je proizvodnja energije koju možemo primijeniti na više načina kako bi sustav gospodarenja otpadom bio rasterećen. Vodilja u gospodarenju otpadom bi trebala biti da se otpad iskoristi tako da u njemu ne ostane više energetskog potencijala.

Predmet ovog rada je bioplinsko postrojenje Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. u Gregurovcu ukupne snage 2,4 MW koje proizvodi električnu energiju primarno iz silaže, ali i iz biorazgradivog otpada te ju po povlaštenoj cijeni prodaje u mrežu HEP-a. Bioplinara je puštena u pogon 24.9.2016. godine te još ne iskorištava u potpunosti otpadnu toplinsku energiju. U sklopu ovog rada razmatrane su mogućnosti ovakvog postrojenja u vidu izgradnje akvaponija, kompostane, staklenika i postrojenja za preradu biootpada uz bioplinsko postrojenje, te mogućnosti zamjene supstrata za proizvodnju bioplina.

Ključne riječi:

Anaerobna digestija, bioplin, obnovljivi izvori energije, bioplinsko postrojenje

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

1.1. ZAKONSKA REGULATIVA RH VEZANA ZA BIOPLIN 2

2. ANAEROBNA DIGESTIJA 4

2.1. BIOKEMIJSKI POSTUPAK ANAEROBENE DIGESTIJE 5

2.2. SUPSTRATI ZA PROCES AD 7

2.3. PARAMETRI AD 8

2.3.1. Temperatura 8

2.3.2. pH vrijednosti 10

2.3.3. Hlapljive masne kiseline (HMK) 11

2.3.4. Amonijak 11

3. BIOPLIN 12

3.1. POTENCIJAL, PREDNOSTI I MOGUĆNOSTI BIOPLINA 13

3.2. KORISTI BIOPLINA 14

4. ENERGETSKA OPORABA BIORAZGRADIVOG DIJELA KOMUNALNOG OTPADA PROCESOM AD 15

4.1. ZBRINJAVANJE BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA PROCESOM ANAEROBNE DIGESTIJE 17

5. BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. – POSTOJEĆE STANJE 18

5.1. PODACI PROIZVODNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. 21

5.1.1. Proizvodnja bioplina, električne energije i digestata iz unesenog supstrata 22

6. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. 25

6.1. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TOPLINSKE ENERGIJE IZ BIOPLINSKOG POSTROJENJA 25

6.1.1. Objekti za držanje životinja 27

6.1.2. Izgradnja akvaponija 27

6.1.3. Daljinsko grijanje 29

6.1.4. Transport toplinske energije u kontejnerima 30

6.1.5. Izgradnja staklenika 30

6.1.6. Sušenje 31
6.1.7. Sušenje digestata i kanalizacijskog mulja 31
6.1.8. Sušenje cjepanica drvne sječke i peleta 32
6.2. DODATNA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 33
6.2.1. ORC sustav 33
6.2.2. Stirlingov motor 34
6.3. PRERADA BIORAZGRADIVOG OTPADA 34
6.4. KOMPOSTIRANJE DIGESTATA 38
6.5. LABORATORIJ 39
7. POBOLJŠANJE UČINKOVITOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. 39
7.1. SUDANSKA TRAVA 40
7.2. BIORAZGRADIVI OTPAD – KOPRIVNIČKO-KRIŽEVAČKA ŽUPANIJA 41
7.3. MODELIRANJE PROIZVODNJE 43
7.3.1. Model 0 – postojeće stanje 43
7.3.2. Model 1 44
7.3.3. Model 2 45
7.3.4. Model 3 45
7.3.5. Model 4 46
7.3.6. Rasprava 47
8. PRIMJENA I IMPLEMENTACIJA NAVEDENIH SUSTAVA U BIOPLINSKOM POSTROJENJU BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. 49
9. ZAKLJUČAK 51
10. LITERATURA: 52
Popis slika: 55
Popis tablica: 55
Popis grafova: 56
Popis i objašnjenje kratica korištenih u tekstu: 56

1. UVOD

U Europi, ali i u Hrvatskoj, sve se više ulaže u obnovljive izvore energije kako bi se došlo do zajedničkog cilja – sprječavanja naglih klimatskih promjena. Kroz smanjenje emisija stakleničkih plinova korištenjem NRT (najbolje raspoložive tehnologije), korištenja obnovljivih izvora energije i povećanjem energetske učinkovitosti, pokušava se riješiti ovaj problem. Razlog ovome problemu je regionalni i globalni rast potražnje za energijom, koji je rezultat sve većeg broja, ali i životnog standarda stanovništva. Trenutno rješenje tog problema okrenuto je uporabi „zelene" energije, koja će umanjiti emisije stakleničkih i štetnih plinova, ali doprinijeti energetskoj stabilnosti pojedine države.

Republika Hrvatska je punopravna članica EU te je time i preuzela Direktivu Europske komisije za promociju i upotrebu energije iz obnovljivih izvora. U skladu s tom Direktivom do 2020. godine trebalo bi se za 20 % smanjiti emisije stakleničkih plinova u usporedbi sa 1990. godinom. Svaka zemlja bi trebala u energetskoj potrošnji koristiti 20 % udjela iz obnovljivih izvora energije i sve članice EU dužne su povećati energetsku učinkovitost i uštedjeti 20 % energije. U Hrvatskoj poticajni sustav za obnovljive izvore energije funkcionira na temlju *feed – in* tarifa (povlaštene otkupne cijene) za obnovljive izvore energije i potpora iz Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost.

Jedan od načina smanjivanja negativnog utjecaja na okoliš je i izgradnja bioplinskih postrojenja za anaerobnu digestiju u kojima se iz životinjske i biljne biomase proizvodi bioplin. Osim ekoloških prednosti, korištenje bioplina nudi i čitav niz drugih prednosti u pogledu primjene obnovljivih izvora energije, koji sami po sebi donose brojne društvene i energetske koristi. Također bioplin nudi mnoge prednosti i samim poljoprivrednicima kao kooperantima kroz siguran otkup sirovine po unaprijed dogovorenoj cijeni.

Kroz proizvodnju bioplina se smanjuje odnosno zamjenjuje upotreba fosilnih goriva za proizvodnju energije te se tako znatno smanjuje emisija stakleničkih plinova CO_2, CH_4 i N_2O, što pridonosi ublažavanju pojave globalnog zatopljenja. Za proizvodnju bioplina mogu se koristiti različite sirovine: stajski gnoj i gnojnica, žetveni ostatak, organski otpad iz mliječne industrije, organski otpad iz prehrambeno - prerađivačke industrije, organska frakcija mulja nastala pročišćavanjem otpadnih voda, organski otpad iz kućanstava i ugostiteljske djelatnosti, biljke proizvedene kao energetski nasadi i ostalo.

Bioplin se može prikupljati i s odlagališta otpada. Većina današnjih bioplinskih postrojenja koriste kao izvor energije „energetske usjeve“ (pšenica, kukuruz, uljana repica i ostalo) kao sirovinu za proizvodnju bioplina. Osim ovih sirovina, sve vrste poljoprivrednih ostataka - usjeva koji su zbog nekog razloga neprihvatljivi za prehranu ljudi i životinja (primjerice propali usjevi uslijed vremenskih nepogoda) - mogu biti korišteni za proizvodnju bioplina. Brojni životinjski nusproizvodi koji nisu prihvatljivi za prehranu ljudi, također mogu biti procesirani u bioplinskom postrojenju. [1]

1.1. ZAKONSKA REGULATIVA RH VEZANA ZA BIOPLIN

Zakon o energiji (NN 102/15) propisuje da je osnovni akt kojim se utvrđuje energetska politika i planira energetski razvitak Strategija energetskog razvoja (NN 130/2009). [2] Strategija energetskog razvoja donosi se za razdoblje do 2020. godine kako bi se uskladila s ciljevima i vremenskim okvirom Direktivi o promociji energije iz obnovljivih izvora 2009/28/EZ: smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20%, 20% udjela energije iz obnovljivih izvora, te povećanje energetske učinkovitosti na 20% do 2020. godine. [3]

Zakon o energiji navodi da je korištenje OIE (obnovljivih izvora energije) od nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku te propisuje korištenje i financijske poticaje za korištenje OIE. [2]

Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/12) , određeni su obnovljivi izvori energije koji se koriste za proizvodnju energije, uvjeti i mogućnost njihova korištenja, uključujući planiranje, registar projekata obnovljivih izvora energije i kogeneracije, te druga pitanja od značaja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije. [4]

Financijski poticaji za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneraciju određuju se Zakonom o energiji (NN 102/15), posebnim zakonom kojim se uređuje djelatnost proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom, Zakonom o Fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (NN 107/03) i Zakonom o državnim potporama (NN 47/14). [2]

Od 2016. godine na snazi je Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15) kojim se uređuju planiranje i poticanje proizvodnje i potrošnje električne energije proizvedene u proizvodnim postrojenjima koja koriste obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju, utvrđuju mjere poticanja za proizvodnju električne energije korištenjem obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije, uređuje provedba sustava poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije.

Većina bioplinskih postrojenja u RH ima status kao povlašteni proizvođači električne energije.

Elektroenergetski subjekt ili druga pravna ili fizička osoba koja u proizvodnom postrojenju istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju na visokoučinkovit način i/ili koristi obnovljive izvore energije i/ili otpad i obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije na gospodarski primjeren način sukladno propisima iz upravnog područja zaštite okoliša i prirode, neovisno o snazi proizvodnog postrojenja, može steći status povlaštenog proizvođača električne energije. [4]

Povlašteni proizvođači proizvedenu električnu ili toplinsku energiju prodaju u sustav po povlaštenoj tarifi s poticajima koja je specificirana u Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. [5]

Prema tom tarifnom sustavu otkupne cijene su sljedeće (Tablica 1).

Tablica 1. Tarifne stavke i visine tarifnih stavki za isporučenu električnu energiju.

Tip postrojenja	**do 5 MW (cijena u kn/kWh)**
Elektrane na bioplin iz poljoprivrednih kultura te organskih ostataka i otpada biljnog i životinjskog podrijetla	
< 300 kW	1,34
300 kW – 2 MW	1,26
> **2 MW**	1,18

2. ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija (AD) je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima (bez prisustva kisika). Anaerobna razgradnja prirodan je proces koji se svakodnevno događa u prirodi npr. u morskom sedimentu, u probavi preživača ili prilikom nastanka treseta. Kod bioplinskih postrojenja, rezultati procesa AD su bioplin i digestat. U slučajevima kada se za proces AD koristi homogena mješavina iz dvaju ili više različita supstrata, kao na primjer gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije, postupak se naziva kodigestija. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina. Bioplin je gorivi plin koji se primarno sastoji od metana i ugljikovog dioksida. Digestat je procesirani ostatak supstrata nastao tijekom proizvodnje bioplina. Tijekom proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnim razgradnjom (uz prisutnost kisika) ili kompostiranjem. Energija koja se nalazi u kemijskim vezama supstrata oslobađa se u obliku bioplina. Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se inicijalni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje bioplina djeluju specifične grupe mikroorganizama. Četiri glavne faze u procesu nastanka bioplina su: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza. [6]

Prednosti anaerobne digestije biomase i otpada jesu:

- dobivanje bioplina kao energenta
- biomasa je razgrađena i transformirana u digestat s visokom hranidbenom vrijednošću što ga čini idealnim gnojivom; često je to gnojivo glavni proizvod nakon fermentacije, a bioplin ima tek sporednu važnost
- tijekom procesa u fermentoru se uništi čak 99 % patogenih bakterija; istovremeno se eliminiraju oblaci muha koje prate takav otpad
- tvari koje kod netretiranog otpada dovode do neugodnih mirisa, kao što su masne kiseline, fenoli, derivati fenola, u bioplinskom postrojenju se uglavnom razgrađuju i emisija neugodnih mirisa se smanjuje za 90 %
- izuzetan ekološki značaj budući da je metan u atmosferi odgovoran za oko 10 % globalnog zatopljenja, a 30 bioplinskih postrojenja prosječne veličine pohrani 4800 metričkih tona metana godišnje i spriječi njihovu emisiju u atmosferu. [7]

2.1. BIOKEMIJSKI POSTUPAK ANAEROBENE DIGESTIJE

Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve sve do nastanka bioplina (Slika 1).

Nastanka bioplina može se podijeliti u četiri faze:

- HIDROLIZA
- ACIDOGENEZA
- ACETOGENEZA
- METANOGENEZA

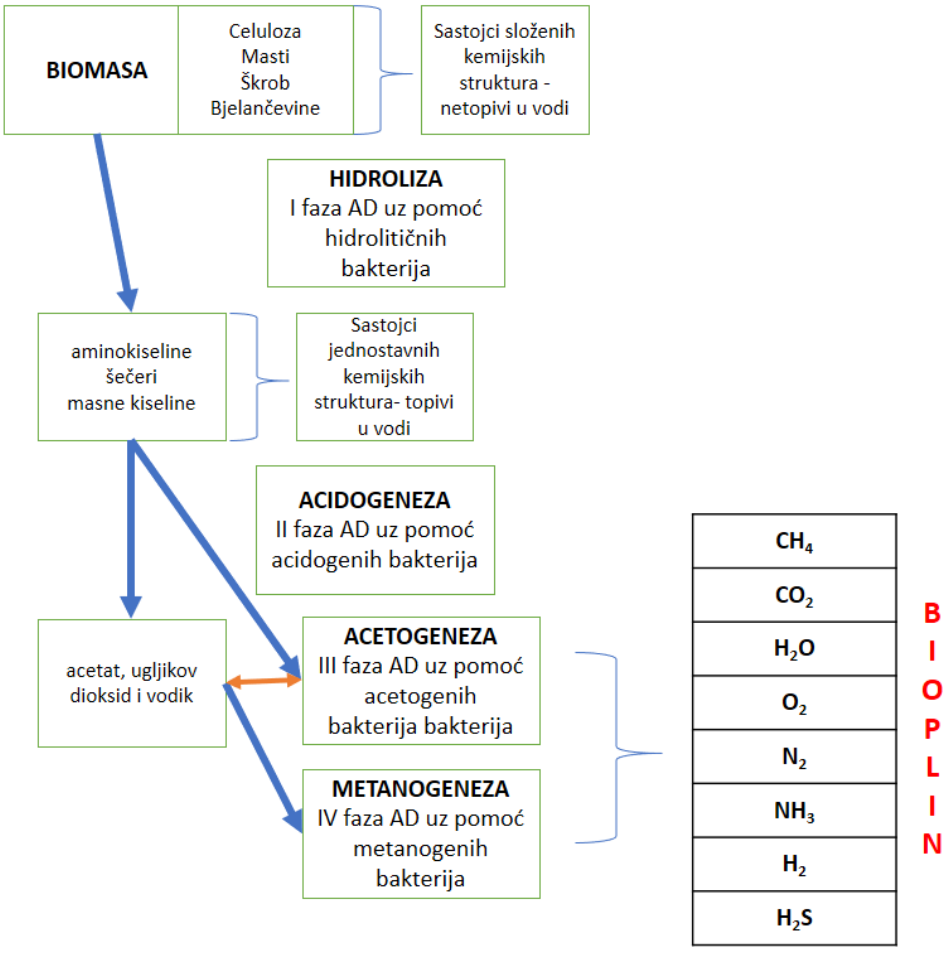
HIDROLIZA – biomasa se većinom sastoji od velikih organskih polimera. Da bi bakterije u anaerobnom digestoru došle do energetskog potencijala uvedenog supstrata, ti lanci molekula moraju biti rascijepani na manje sastavne dijelove. Tijekom prve faze anaerobne razgradnje složene organske tvari (polimeri – proteini, masti i ugljikohidrati) razlažu na manje jedinice (oligomere i monomere). Proteini, masti i ugljikohidrati posredovanjem hidrolitičkih bakterija razlažu se do jednostavnih, topljivih spojeva (glukoze, glicerola, piridina i sl.). Brzina cjelokupnog procesa razgradnje određena je brzinom odvijanja najsporije reakcije u lancu. Produkte hidrolize dalje razgrađuju (probavljaju) prisutne bakterije, koje ujedno koriste ove spojeve za vlastite metaboličke procese. [8]

ACIDOGENEZA – proizvodi hidrolize rezultiraju u daljnjem cijepanju preostalih komponenti uz pomoć acidogenih bakterija (fermentacije) koji ih transformiraju u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70 %) te hlapljive masne kiseline i alkohole (20 %). [8]

ACETOGENEZA – tijekom acetogeneze, proizvodi fermentacije koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u metan pretvaraju se u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline koje imaju lance ugljika duže od dvije jedinice i alkohol s više od jedne molekule ugljika oksidiraju u acetate i vodik. Nastanak vodika povećava parcijalni tlak vodika u digestoru, što se može smatrati otpadnim proizvodom acetogeneze, jer inhibira metabolizam acetogenih bakterija. Hlapljive masne kiseline i

alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Procesi acetogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno kao simbiotsko djelovanje dvije grupe organizama. [8]

METANOGENEZA – zadnja faza AD u kojoj se izvodi proizvodnja metana i ugljikovog dioksida potaknuta je aktivnošću metanogenih bakterija. 70 % metana nastaje iz acetata, dok ostalih 30 % nastaje pretvorbom iz vodika i ugljičnog dioksida. Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Metanogeneza uvelike ovisi o sastavu, stupnju dopune digestora, temperaturi i pH vrijednosti supstrata. Pretrpavanje digestora, promjena temperature i povećani dotok kisika obično znači zaustavljanje proizvodnje metana. [8]



Slika 1. Faze anaerobne digestije

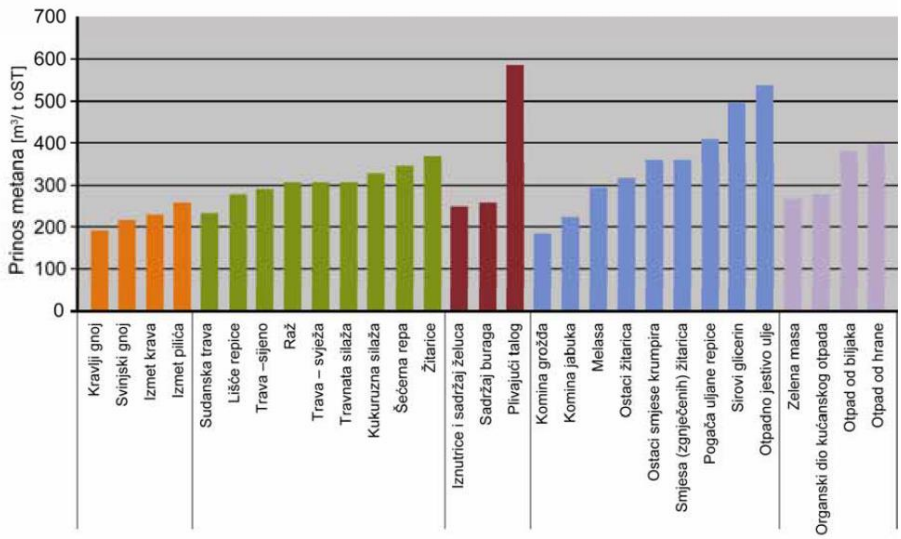
2.2. SUPSTRATI ZA PROCES AD

Sirovina koja se dodaje u proces proizvodnje bioplina naziva se supstratom odnosno hranom za mikroorganizme. Svojstva supstrata imaju veliki utjecaj na stabilnost i učinkovitost cijelog procesa proizvodnje bioplina. Sastav supstrata je važan za količinu i kvalitetu formiranog plina. Sastav u konačnici utječe i na kvalitetu probavnog ostatka odnosno digestata i to u smislu sadržaja hranjivih tvari za biljke i potencijalne kontaminacije digestata s metalima, organskim spojevima te patogenim organizmima. Odabirom odgovarajućeg supstrata utječemo na ishod procesa odnosno maksimizira se proizvodnja i izlaz energije te kvaliteta digestata kao budućeg gnojiva. [9]

Danas se kao supstrati najčešće koriste:

- stajski gnoj, gnojnica i gnojovka – otpad s farmi
- energetski usjevi – silaža (kukuruz, sirak, tritikal, grašak te druge žitarice)
- razgradivi organski otpad i nusproizvodi iz poljoprivrede
- razgradivi organski otpad, nusproizvodi i otpadne vode iz prehrambene industrije
- otpadni muljevi iz kanalizacijskih sustava
- organski dio komunalnog otpada (ostaci biljnog i životinjskog porijekla)

Mnogo se različitih vrsta organskog materijala može potencijalno koristiti za proizvodnju bioplina, vjerojatno mnogo više od onih koje se danas koriste. [10]



Slika 2. Prinos metana po pojedinom supstratu

[6]

Slika 2. prikazuje prinos metana kod korištenja različitih vrsta supstrata. Iz prikaza je vidljivo da sam stajski gnoj ima mali metanski potencijal. Zbog toga se stajski gnoj rijetko digestira sam, već se često pomiješa sa supstratima koji imaju veći potencijal za proizvodnju metana. [6]

Kombinacija energetski „gustih“ sirovina (usjevi i otpad iz prehrambene industrije) s gnojivom stoke je uobičajena praksa kako bi se maksimizirala proizvodnja bioplina i optimizirala razina hranjivih tvari pružanjem puferskog kapaciteta. Korištenje gnoja kao baze za anaerobnu probavu je važno, jer su mnoge od energetski gustih sirovina, kao što su otpadne tvari za preradu hrane i etanola, kisele te sadrže malo mikroba koji se prirodno pojavljuju, a često nedostaju hranjive tvari (dušik, elementi u tragovima, vitamini itd.) [11]

Najčešći supstrati koji se dodaju stajskom gnoju i gnojnici su uljni ostaci iz prehrambene i ribarske industrije te proizvodnje stočne hrane, ostaci nastali prilikom proizvodnje alkoholnih pića, ostaci iz pivovara i prerade šećera, te trave, žitarice ili uljarice uzgojene kao energetski usjevi. [6]

2.3. PARAMETRI AD

Učinkovitost AD ovisi o nekoliko ključnih parametara pa je vrlo važno osigurati optimalne uvjete za razvoj anaerobnih mikroorganizama. Na njihov rast i aktivnost snažno utječu temperatura, pH vrijednost, intenzitet miješanja kao i prisutnost inhibitora. Metanske bakterije su anaerobi i zato se mora spriječiti svaki dotok kisika u digestor.

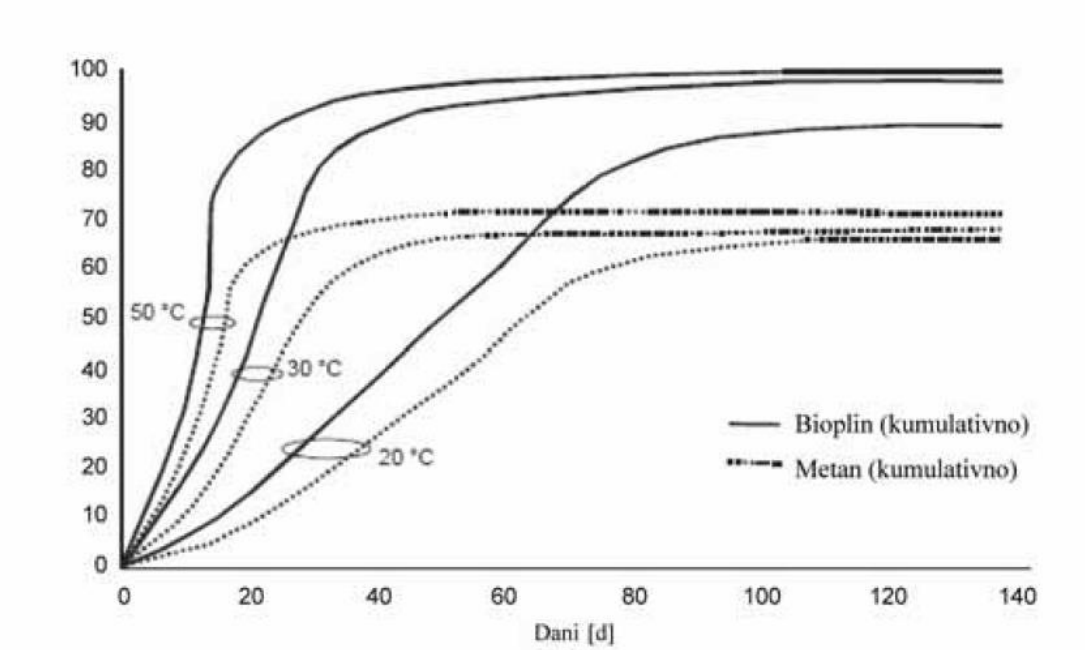
2.3.1. Temperatura

Sam postupak anaerobne digestije može se odvijati na različitim temperaturama. Temperature se klasificiraju u tri temperaturne zone (Tablica 2.): psihrofilnu temperaturnu zonu (ispod 25°C), mezofilnu zonu (25 – 45°C) i termofilnu zonu (45 – 70°C). Duljina trajanja postupka AD u direktnoj je vezi s temperaturom na kojoj se postupak odvija. [6]

Tablica 2. Temperatura i duljina trajanja procesa

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihrofilno	<25 °C	70 do 80 dana
Mezofilno	25 do 45 °C	30 do 40 dana
Termofilno	45 do 70 °C	15 do 20 dana

Stabilnost temperature je ključna za AD. Radna temperatura se odabire prema vrsti supstrata, a neophodna temperatura se održava putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora. Na (Slika 3.) prikazana je stopa relativnog prinosa bioplina ovisno o temperaturi i vremenu retencije. [6]



Slika 3. Relativni prinos bioplina, ovisno o temperaturi i vremenu retencije [6]

Većina suvremenih postrojenja za proizvodnju bioplina rade na termofilnim temperaturama, jer to ima brojne prednosti u odnosu na procese koji se odvijaju na mezofilnim i psihrofilnim temperaturama.

Prednosti su sljedeće:

- učinkovito uništenje patogena
- viša stopa rasta metanogenih bakterija na višim temperaturama
- kraće vrijeme digestije, što proces čini bržim i učinkovitijim
- poboljšana razgradnja i iskoristivost hranjivih tvari iz supstrata
- bolja razgradnja krutih tvari i iskoristivost supstrata
- bolja mogućnost razdvajanja tekuće i krute frakcije supstrata

Nedostaci procesa proizvodnje pri termofilnim temperaturama očituju se u:

- većem stupnju neravnoteže
- većoj potrošnji energije radi postizanja većih temperatura zagrijavanjem
- većem riziku od inhibicije amonijakom. [6]

Viskozitet sadržaja unutar digestora obrnuto je proporcionalan temperaturi. Što su temperature veće supstrat je manjeg viskoziteta, odnosno prelazi u tekuće stanje, čime je olakšana difuzija otopljenih tvari. Postupak na termofilnim temperaturama rezultira bržim kemijskim reakcijama, a time i većom učinkovitošću proizvodnje bioplina i manjim viskozitetom. Veći utrošak energije pri termofilnim procesima opravdan je boljim prinosom bioplina. Temperaturu procesa važno je održati konstantnom jer promjene ili variranja temperature negativno utječu na proizvodnju bioplina. Veći utrošak energije pri termofilnim procesima opravdan je boljim prinosom bioplina. Temperaturu procesa važno je održati konstantnom jer promjene ili variranja temperature negativno utječu na proizvodnju bioplina. Termofilne bakterije su osjetljive na variranja temperature od +/- 1°C, te im je potrebno duže vremena da se prilagode novonastalim uvjetima i dosegnu maksimalnu proizvodnju metana. Mezofilne bakterije manje su osjetljive i podnose fluktuacije temperature od +/- 3°C bez znatnih smetnji u proizvodnji bioplina. [6]

2.3.2. pH vrijednosti

Kiselost odnosno bazičnost mješavine supstrata izražava se pH vrijednošću. pH vrijednost supstrata utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama i kvalitetu odvijanja pojedinih spojeva važnih za uspješnost procesa AD (amonijak, sulfidi i organske kiseline). Nastanak metana odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti od otprilike pH 5,5 do pH 8,5 dok su za acidogene bakterije u mnogim slučajevima

optimalne niže vrijednosti pH-a. Optimalne pH vrijednosti za mezofilnu digestiju su u rasponu od 6,5 do 8, a do inhibicije procesa dolazi ako pH vrijednost padne ispod 6 ili poraste iznad 8,3. Topivost ugljikovog dioksida u vodi opada s povećanjem temperature pa je pH vrijednost u termofilnim digestorima veća nego u mezofilnim digestorima, budući da otopljeni ugljikov dioksid u reakciji s vodom stvara ugljičnu kiselinu. Amonijak koji nastaje razgradnjom proteina iz organskih tvari ili zbog sadržaja amonijaka unesenog supstratom može uzrokovati povećanje pH vrijednosti, dok akumuliranje hlapivih masnih kiselina u supstratu snižava pH vrijednost. Unutar anaerobnih reakcija pH vrijednost se kontrolira sustavom bikarbonatnih pufera. Stoga pH vrijednost unutar fermentatora ovisi o parcijalnom tlaku ugljikovog dioksida i sadržaju bazičnih i kiselih spojeva u tekućoj fazi supstrata. U slučaju promjene koncentracije bilo kiselih bilo lužnatih spojeva, bikarbonatni puferi sprečavaju promjenu pH vrijednosti do određene razine. Kada se kapacitet puferskog sustava iscrpi, dolazi do drastičnih promjena pH vrijednosti, što dovodi do potpune inhibicije procesa digestije. Iz ovog razloga pH vrijednost nije moguće koristiti kao jedini indikator za praćenje procesa, već se on uvijek promatra u korelaciji s drugim parametrima. [6]

2.3.3. Hlapljive masne kiseline (HMK)

HMK su spojevi sa šest ili manje atoma ugljika (npr. acetat, propionat, butirat i laktat) koji nastaju kao međuspojevi tijekom faze acidogeneze. Stabilnost procesa AD i koncentracija nastalih međuspojeva su povezani. Nestabilnost procesa dovodi do akumulacije HMK unutar digestora, što može dovesti do pada pH vrijednosti. Akumulacija HMK neće se uvijek odraziti padom pH vrijednosti, zbog puferske sposobnosti određenih supstrata. Na primjer, stajski gnoj ima suvišak alkalnih tvari, što znači da količina HMK mora biti iznad određene granice prije no što dođe do pada pH vrijednosti. U tim slučajevima koncentracija kiselina u digestoru može biti toliko visoka da je proces AD već u velikoj mjeri inhibiran. Kao i kod određivanja pH vrijednosti, koncentracija HMK ne može se preporučiti kao zaseban indikator procesa. [6]

2.3.4. Amonijak

Amonijak (NH_4) je važna hranjiva tvar i ima značajnu funkciju u procesu AD. Amonijak je važna hranjiva tvar koja služi kao prethodnik prehrambenim namirnicama i gnojivima, a obično se susreće kao plin, karakteristično odbojnog mirisa. Glavni izvor amonijaka u

procesu AD su bjelančevine. Previsoka koncentracija amonijaka, može potpuno zaustaviti proces digestije. Ovakav slučaj je karakterističan za anaerobnu digestiju gnojnice, radi visoke koncentracije amonijaka u urinu. Kako bi se spriječio inhibitorni učinak, koncentraciju amonijaka u smjesi supstrata treba održavati ispod 80 mg/l. Metanogene bakterije izuzetno su osjetljive na inhibiciju amonijakom. Koncentracija slobodnog amonijaka direktno je proporcionalna temperaturi te je stoga rizik inhibicije amonijakom veći kod termofilnih procesa nego kod mezofilnih. Razlog tome je što je za inhibiciju amonijakom odgovoran neionizirani oblik amonijaka. Slobodni amonijak (NH_3) je frakcija amonijaka koja inhibira proces anaerobne razgradnje. Povećanje pH vrijednosti i temperature dovesti će do povećanja inhibicije, budući da ovi parametri utječu na udio slobodnog amonijaka. Kada je proces zaustavljen uslijed povećanja koncentracije amonijaka, povećava se i koncentracije HMK što dovodi do smanjenja pH vrijednosti. To će djelomično umanjiti učinak amonijaka radi smanjenja koncentracije slobodnog amonijaka (smanjene pH vrijednosti). [6]

3. BIOPLIN

Bioplin nastaje procesom anaerobne fermentacije biomase te se sastoji od smjese plinova, pri čemu metan i ugljikov dioksid čine 90 % ukupne smjese. Ostatak smjese čine vodena para, kisik, dušik, amonijak, vodik i sumporovodik (Tablica 3). [7]

Tablica 3. Sastav bioplina

Kemijski spoj	Kemijski simbol	Udio u bioplinu (%)
Metan	CH_4	50-75
Ugljikov dioksid	CO_2	25-45
Vodena para	H_2O	2-7
Kisik	O_2	<2
Dušik	N_2	<2
Amonijak	NH_3	<1
Vodik	H_2	<1
Sumporovodik	H_2S	<1

Najvažniji sastojak bioplina je metan, jer on daje energetsku vrijednost bioplinu, a udio metana će varirati ovisno o sirovini koja se koristi za proizvodnju bioplina. Bioplin koji nastaje iz AD-a izdvaja se iz fermentora i daje na daljnju obradu. Udio metana predstavlja energiju iz bioplina. On se može direktno sagorjeti u procesu dobivanja toplinske ili električne energije te se može pročistiti kako bi se koristio kao biogorivo u prijevozu ili kao zamjena za prirodni plin. Prosječna toplinska vrijednost bioplina je oko 21 MJ/m3 s udiom metana u bioplinu od 60%. [12]

3.1. POTENCIJAL, PREDNOSTI I MOGUĆNOSTI BIOPLINA

Na globalnoj razini potencijal proizvodnje energije iz biomase smatra se vrlo visokim, a potencijal biomase se može jednoznačno povezati s potencijalom bioplina. Postojeće procjene izrađene su na temelju različitih scenarija i pretpostavki, ali svi rezultati ukazuju na to da se danas vrlo mali dio tog potencijala koristi. Prema različitim scenarijima, procjenama i studijama, korištenje biomase u energetske svrhe bi se moglo znatno povećati. Europska udruga za biomasu (European Biomass Association - AEBIOM) procjenjuje da se energija proizvedena iz biomase može povećati sa 72 milijuna tona ekvivalenata nafte (Mtoe), iz 2004.godine na 220 Mtoe u 2020. Najveći potencijal za povećanje leži u poljoprivrednoj biomasi. Prema procjenama 20 – 40 mil. ha zemljišta u EU moglo bi se koristiti za proizvodnju energije bez utjecaja na opskrbu hranom u EU. [6]

Proizvodnjom električne i toplinske energije putem kogeneracije bi se:

- umanjila energetska ovisnost o drugim državama,
- izravno i neizravno povećao broj zaposlenih
- RH bi ostvarila lakše svoju obvezu prema EU da zamjeni konvencionalna goriva s obnovljivim gorivima
- smanjila bi se emisija štetnih plinova u atmosferu, i to sprečavanjem odlaska metana u zrak koji je poznato da je jedan od stakleničkih plinova,
- smanjila bi se koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi, jer se smanjuje potrošnja fosilnih goriva [13]

Za razliku od fosilnih goriva, spaljivanjem bioplina u atmosferu se ispušta samo onoliko CO_2 koliko je uskladišteno u biljkama tijekom njihova rasta. Time se zatvara ugljični ciklus bioplina. Zato korištenje bioplina smanjuje emisije CO_2 i pomaže kod sprječavanja povećanja koncentracije CO_2 u atmosferi, a time pomaže i borbi protiv globalnog zatopljenja. Nadalje, smanjuju se emisije i ostalih stakleničkih plinova, poput metana i dušičnih oksida, iz netretiranog stajskog gnoja.

Ukratko, pri korištenju bioplina mogu se smanjiti emisije stakleničkih plinova putem:

- upravljanja gnojem: potencijalne uštede emisija zbog korištenja metana CH_4 iz stajskog gnoja
- zamjene energije iz fosilnih izvora: uštođene emisije zbog električne i toplinske energije (kogeneracije) proizvedene iz bioplina
- zamjene umjetnih gnojiva: emisije uštođene zbog zamjene mineralnih gnojiva s digestatom [12]

3.2. KORISTI BIOPLINA

Proizvodnja bioplina putem AD rezultira stvaranjem digestata koji zamjenjuje korištenje sirovog gnoja za gnojidbu. Zbog činjenice da digestat ima bolje gnojidbene vrijednosti od svježeg gnoja, smanjuje se potreba za dodatnom gnojidbom umjetnim gnojivima. Smanjena primjena umjetnih gnojiva znači uštedu u emisijama stakleničkih plinova. Digestat ima bolju gnojidbenu vrijednost svježeg stajskog gnoja zbog svoje ujednačenosti i hranidbenih tvari u obliku kojem ih biljke mogu bolje apsorbirati. Bogat je dušikom, fosforom, kalijem te brojnim mikro-nutrijentima, a može se aplicirati na tlo poput obične gnojovke ili komposta. Daljnje prednosti digestata pred svježim stajskim gnojem su smanjenje neugodnih mirisa i muha, budući da je organska tvar gnoja razgrađena i podvrgnuta sanitacijskom procesu bilo prije primjene na tlo ili tijekom samog procesa AD-a, čime digestat ima poboljšanu veterinarsku zaštitu. Digestat se može koristiti i kao zamjena za umjetna gnojiva. Time se ograničava korištenje dodatnih hranjivih tvari, što pomaže ispunjavanju tzv. “nitratne direktive” EU

Jedna od mnogih prednosti proizvodnje bioplina je mogućnost korištenja otpada kao sirovine za AD. Veliki dio komunalnog i industrijskog otpada čine organske tvari koje se

mogu koristiti za proizvodnju bioplina. Time se smanjuje volumen otpada, štedi novac i istovremeno uvažavaju nacionalna i EU pravila za oporabu otpada. Osim toga, višak gnoja kod intenzivne stočarske proizvodnje ili kod razvijenih stočarskih područja može se vrlo učinkovito zbrinuti kroz proizvodnju bioplina. Korištenje gnoja i gnojovke za proizvodnju bioplina predstavlja primjer dobre poljoprivredne prakse u upravljanju gnojem. Uz to, korištenjem digestata se zatvara ciklus hranjivih tvari na samoj farmi. [12]

4. ENERGETSKA OPORABA BIORAZGRADIVOG DIJELA KOMUNALNOG OTPADA PROCESOM AD

Sukladno Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13),

- komunalni otpad je: „otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstava, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva“.
- biološki razgradivi otpad je: „otpad koji se može razgraditi biološkim aerobnim ili anaerobnim postupkom“
- biootpad je: „biološki razgradiv otpad iz vrtova i parkova, hrana i kuhinjski otpad iz kućanstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda“
- biorazgradivi komunalni otpad je: „otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede, šumarstva, a koji u svom sastavu sadrži biološki razgradiv otpad“ [14]

Komunalni otpad izrazito varira po sastavu, odnosno, većim dijelom sastoji se od organskog otpada i uključuje kuhinjski otpad, ostatke hrane, otpad od obrade hrane, travu, drvo, papir, karton i slično. Same frakcije organskog otpada su lakše ili teže razgradljive te su samim time više ili manje pogodne za aerobnu ili anaerobnu obradu. Naime, biorazgradivost biootpada nije potpuna i ovisi o sadržaju ugljikohidrata, lipida, proteina kao i o udjelu celuloze i lignina. Zbog različitog udjela tih komponenata u prikupljenom organskom dijelu komunalnog otpada ona znatno varira.

Tvrtka Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. u skorijoj budućnosti kao jedan od energenata za energetsku oporabu koristila bi biootpad odnosno biološki razgradiv otpad iz vrtova i parkova, hrana i kuhinjski otpad iz kućanstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda koji bi se viškom proizvedene toplinske energije prvo higijenizirao, a tako prerađen plasirao dalje u proces proizvodnje bioplina kao sirovina.

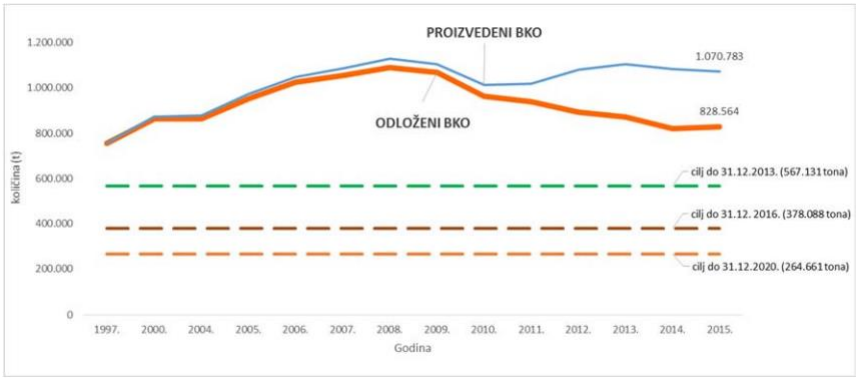
Prema Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017.-2022. količina odloženog biorazgradivog komunalnog otpada na odlagalištima se prati s ciljem smanjivanja količina biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta sukladno Direktivi 1999/31/EZ, odnosno članku 24. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13). Najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koja se godišnje smije odložiti na svim odlagalištima i neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj u odnosu na masu biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini iznosi:

- 75 %, odnosno 567.131 tona do 31. prosinca 2013.
- 50 %, odnosno 378.088 tona do 31. prosinca 2016.
- 35 %, odnosno 264.661 tona do 31. prosinca 2020.

Pokazateljem se prati napredak u ostvarivanju cilja održivog gospodarenja otpadom te sprječavanje nepoželjnih emisija u okoliš (prvenstveno emisija stakleničkih plinova). [15]

Prema službenim podacima HAOP-a za 2016. godinu, na odlagališta u RH odložilo se 828.564 tona proizvedenog biorazgradivog komunalnog otpada što je za 45% više od Zakonom propisanog cilja za 2016. godinu (Slika 4). Na kompostiranje je upućeno 27.432 tona biootpada iz komunalnog otpada, dok je u bioplinskim postrojenjima digestirano oko 132 tona komunalnog otpada.

Prema tim podacima vidljivo je da Republika Hrvatska nije blizu zadanih ciljeva te bi trebala pružiti veće napore ka ostvarenju propisanih ciljeva u gospodarenju otpadom.



Slika 4. Proizvedeni i odloženi biorazgradivi komunalni otpad za razdoblje od 1997. do 2015. u odnosu na propisane količine

Zbog svojih specifičnih svojstava i kontinuiranog priljeva iz raznih izvora, biorazgradivi otpad predstavlja potencijalnu opasnost po okoliš i zdravlje ljudi. Njegov organoleptički, fizikalno-kemijski i epidemiološko-epizootički sastav predstavlja higijenski rizik za atmosferu, tlo i vodu. Međutim, problemi se javljaju s razvojem neugodnog mirisa, štetnih plinova i mikroorganizama, kao i s kontaminacijom površinskih i podzemnih voda i tla. Sve su to razlozi za razvijanje različitih rješenja za obradu i kvalitetno zbrinjavanje ove vrste otpada. [16]

4.1. ZBRINJAVANJE BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA PROCESOM ANAEROBNE DIGESTIJE

AD postaje sve atraktivniji način obrade otpada s visokim udjelom organske tvari, budući da rezultira proizvodnjom obnovljive energije, metana i visokovrijednog digestiranog ostatka, koji se može koristiti kao biognojivo. Proces AD odvija se u fermentoru u strogo kontroliranim uvjetima (bez kisika). Međutim, zbog kompleksnosti mikrobnih interakcija, koje se odvijaju pri AD, proces je vrlo teško kontrolirati. Brzina AD ovisi o temperaturi pri kojoj se proces odvija. U praksi, bioplinska postrojenja koriste mezofilni proces. Razlog je što se proces odvija zadovoljavajućom brzinom uz mali utrošak energije. U ovisnosti o tijeku procesa, AD postiže se inaktiviranje patogenih mikroorganizama. Kod primjene mezofilnog procesa (35-45°C), na uklanjanje mikroorganizama najviše utječu kemijski čimbenici. Prilikom digestije sve hranjive tvari uglavnom ostaju očuvane, no zbog gubitka ugljika smanjuje se odnos C:N. Međutim, u ovisnosti o sadržaju organske suhe tvari i postignutog stupnja razgradnje, dolazi do

značajnog porasta koncentracije hranjivih tvari. Naime, pri razgradnji organske tvari, mineraliziraju se hranjive tvari i prelaze u oblik lako dostupan biljci. Digestirani ostatak koji ostaje nakon procesa AD i dobivanja bioplina može se koristiti kao biognojivo, kao i za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina. Također, posljednjih godina je sve bolje poznavanje tehnologije AD, koja može doprinijeti kontroli odlaganja i pojavi neugodnog mirisa životinjskog otpada, potaknula ponovni interes za ovim postupkom.

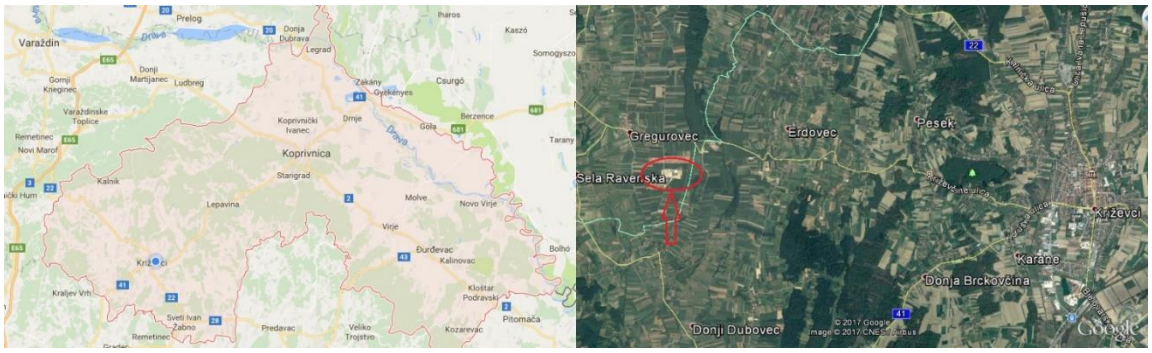
Kao glavne prednosti ovog postupka prilikom zbrinjavanja biorazgradivog otpada su:

- Dobivanje bioplina kao energenta
- Ulazna frakcija otpada je razgrađena i transformirana u digestat s visokom hranidbenom vrijednošću što ga čini idealnim gnojivom
- Tijekom procesa, u fermentoru se uništava 99% patogenih bakterija te se eliminiraju oblaci muha koji prate takav otpad
- Masne kiseline, fenoli, derivati fenola koji kod netretiranog otpada stvaraju neugodne mirise u bioplinskom postrojenju smanjuju se za 90%
- Izuzetan ekološki značaj, budući da je metan odgovoran za oko 10% globalnog zatopljenja

Biorazgradiva frakcija komunalnog otpada, kao njegovog najveći dio, predstavlja jedno od najvećih izazova u održivom gospodarenju otpadom. Energetska oporaba organskog otpada, kao što je biorazgradivi dio komunalnog otpada ili otpad iz ugostiteljstva, provodi se u procesu AD u bioplinskim postrojenjima. Stoga, korištenje biootpada u svrhu proizvodnje bioplina ima dvije glavne karakteristike: zaštita okoliša kroz izbjegavanje odlaganja otpada te proizvodnja energije iz obnovljivih izvora. [16]

5. BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o. – POSTOJEĆE STANJE

Tvrtka Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. je bioplinsko postrojenje snage 2,4 MW smješteno u općini Sveti Petar Orehovec (naselje Gregurovec) nedaleko od grada Križevaca u Koprivničko- križevačkoj županiji (Slika 5).



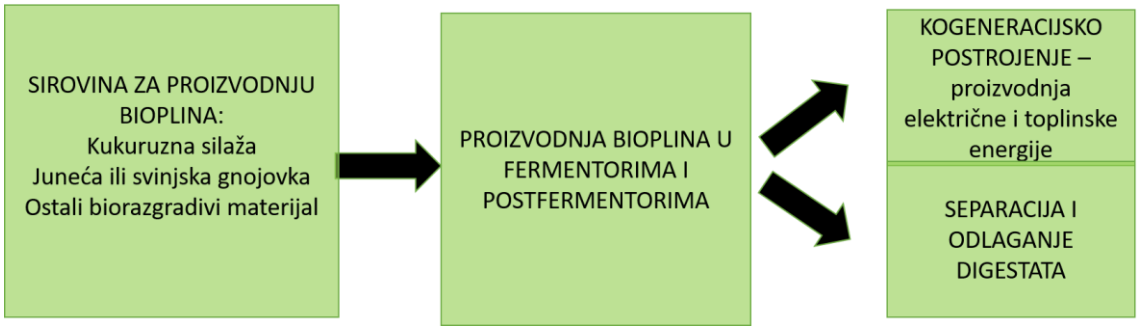
Slika 5. Lokacija Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o.

Bioplinsko postrojenje (Slika 6.) je pušteno u rad početkom lipnja 2016. godine. U ruralnom području poput naselja Gregurovec gradnja bioplinske elektrane primjeren je sustav za zatvaranje proizvodno-prerađivačkog poljoprivrednog procesa, jer se omogućava dobivanje toplinske i električne energije kao i za osiguranje izvrsnoga gnojiva kojeg predstavlja prerađeni ko-supstrat.



Slika 6. Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o.

Bioplinsko postrojenje je koncipirano kao kontinuirano punjeno putem pumpi i radi u srednjem odnosno mezofilnom temperaturnom području, u anaerobnim uvjetima, dakle bez prisutnosti kisika. Energetska vrijednost tako dobivenog bioplina iznosi od 5,5 do 6,5 kWh/m^3 bioplina. Iz toga u postupku su-proizvodnje ili kogeneracije proizvodi se 85-89 % upotrebljive energije za razliku od konvencionalnih elektrana gdje je ukupna učinkovitost od 30 do 51 %, dok su ostalo gubici u pretvorbi. Kratka shema procesa prikazana je na Slika 7.



Slika 7. Shema procesa proizvodnje električne i toplinske energije

Osnovna sirovina za proizvodnju bioplina na bioplinskom postrojenju je kukuruzna silaža i goveđa ili svinjska gnojovka (Slika 8).



Slika 8. Sirovina za proizvodnju bioplina na bioplinskom postrojenju

Većina sirovina za proizvodnju dolazi od kooperanata. Postrojenja su usmjerena na što veću proizvodnju električne energije budući da imaju status povlaštenog proizvođača električne energije iz bioplina u kogeneracijskim jedinicama. Za otkup električne energije potpisan je 14-godišnji ugovor s Hrvatskim operatorom tržišta energije (HROTE) po cijeni koja je definirana ugovorom, koja se korigira na godišnjoj razini prema inflaciji i porastu cijena energenata. Cijena otkupa je definirana i u tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. U mnogim se slučajevima toplinska energija koja također nastaje iz kogeneracijskih jedinica tek djelomice koristi, odnosno ostaje većinom neiskorištena. Kako se iz bioplina može proizvesti električna i toplinska energija njegovo korištenje smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima te pomaže u sigurnosti opskrbe energijom, konkurentnosti i održivosti na tržištu. Kako bi učinkovito koristili otpadnu toplinsku energiju iz bioplinare, izgradit će se akvaponija uz bioplinsko postrojenje, pogon za uplinjavanje posušenog digesta, kompostana, staklenik i laboratorij za praćenje ulaznih sirovina i učinkovitosti rada postrojenja.

5.1. PODACI PROIZVODNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

U ovom poglavlju je analiziran tok supstrata za proizvodnju bioplina tijekom mjeseca travnja 2017. godine u bioplinskom postrojenju Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o.

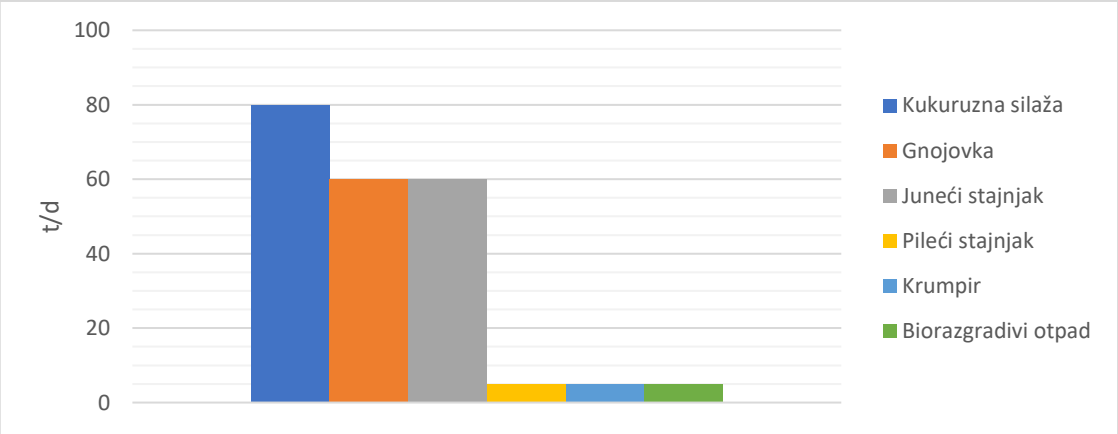
Glavni supstrati za proizvodnju bioplina koji su korišteni tijekom mjeseca travnja 2017. godine su (Tablica 4):

Tablica 4. Prikaz glavnih supstrata i njihov prosječni prinos bioplina u travnju 2017. godine

Vrsta supstrata	Prinos bioplina m^3/t
Kukuruzna silaža	200,6
Juneći stajnjak	70
Gnojovka	25

U prosječnu dnevnu proizvodnju tijekom mjeseca travnja kao supstrat se dodavalo (Graf 1.): 80 t silaže, 60 t gnojovke, 60 t krutog junećeg stajnjaka, 5 t pilećeg stajnjaka, 5 t krumpira i do 5 t biorazgradivog otpada na dnevnoj bazi. Substrat se dodaje u spremnik za miješanje, gdje se miješa i usitnjava pomoću propelera i dalje prepumpava u digestore.

Graf 1. Prikaz prosjeka ulazne sirovine Bioplinskog postrojenja Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. za 4 mj. 2017. g



U prosjeku je tijekom mjeseca travnja uneseno oko 215 t/d substrata za proizvodnju bioplina. Odnosno tijekom mjeseca travnja je prosječno uneseno 6450 t substrata za proizvodnju bioplina.

$$215\frac{t}{d} * 30\ d = 6450\ t$$

5.1.1. Proizvodnja bioplina, električne energije i digestata iz unesenog supstrata

Pri proizvodnji bioplina 15% unesenog supstrata s anaerobnom digestijom pretvara u bioplin a ostatak u digestat. Za ovu analizu uzeta su 4 dana u mjesecu prikazana u tablici u kojima se vide točne količine unesenog supstrata Tablica 5.

Tablica 5. Prikaz supstrata za proizvodnju bioplina po danima

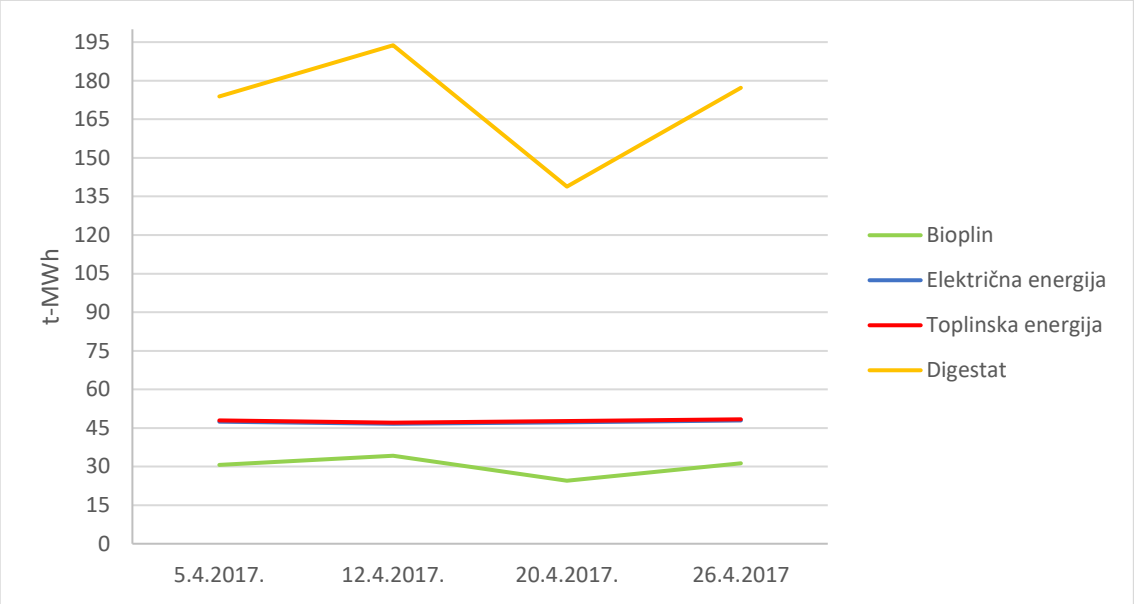
Datum	Kukuruzna silaža (t)	Gnojovka (t)	Juneći stajnjak (t)	Pileći stajnjak (t)	Biorazgradivi otpad (t)	Krumpir (t)
5.4.2017.	80	61,54	50	5	3	5
12.4.2017.	90	67,94	60	5		5
20.4.2017.	80		60	5	13,32	5
26.4.2017	80	58,46	60	5		5

Na temelju tih podataka izračunate su količine digestata i bioplina, a iz internih podataka izneseni su podaci o isporučenoj dnevnoj količini električne energije.

Tablica 6. Prikaz količina digestata, bioplina, električne i toplinske energije dobivene iz dnevne količine supstrata

Datum	Dnevna količina supstrata (t)	Količina bioplina (t)	Količina digestat (t)	Isporučena dnevna količina električne energije (MW_eh)	Dobivena količina toplinske energije (MW_th)
5.4.2017.	204,54	30,68	173,86	47,45	47,89
12.4.2017.	227,97	34,20	193,77	46,63	47,06
20.4.2017.	163,32	24,49	138,83	47,22	47,66
26.4.2017	208,46	31,27	177,19	47,92	48,37

Graf 2. Grafički prikaz proizvedene količine bioplina, digestata te isporučene električne i dobivene toplinske energije



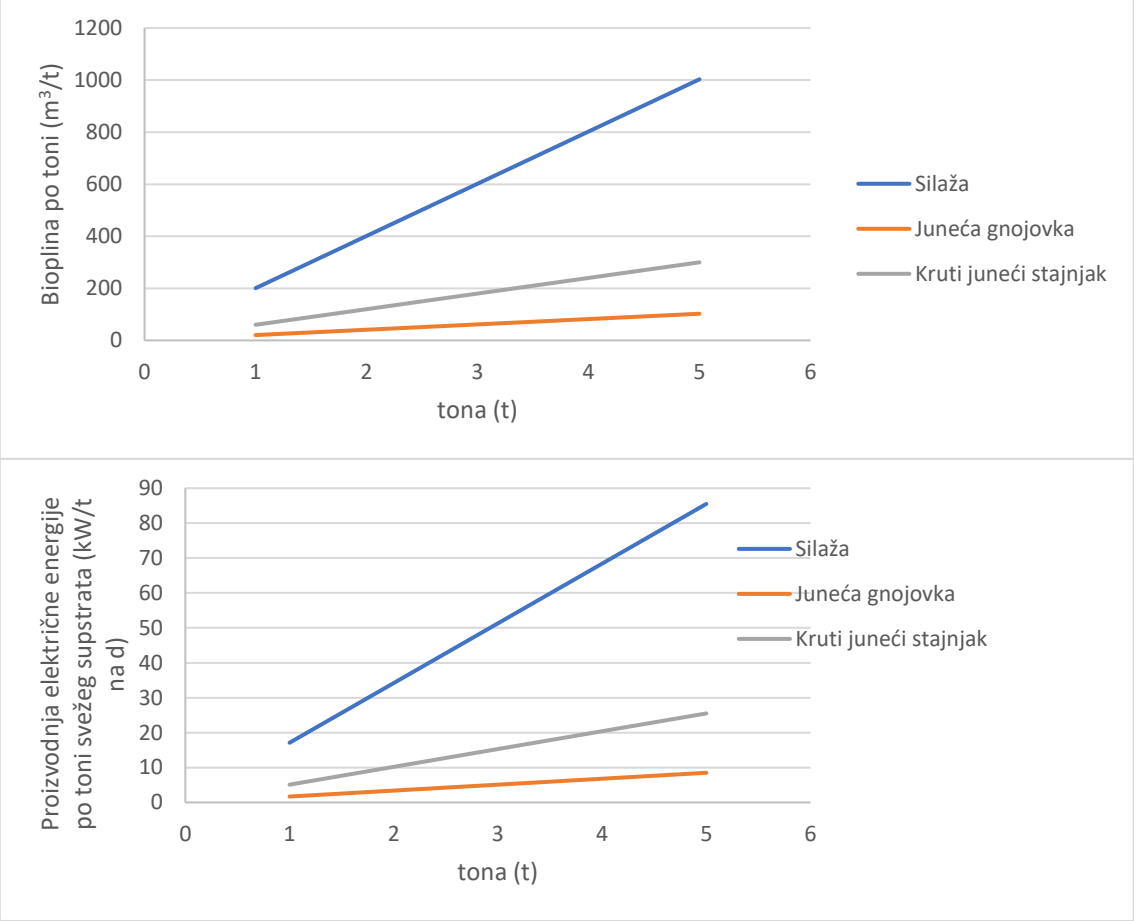
Bioplinsko postrojenje radi na principu kodigestije u kojem se miješaju supstrati. Kodigestija je istovremeno digestiranje homogene smjese dvaju ili više supstrata. Tradicionalno AD se odnosila na zasebni supstrat. Nedavnim istraživanjima zaključeno je da proces AD kao takav postaje stabilniji kada se dodaje dvaju ili više vrsta supstrata. Korištenje dva ili više supstrata obično poboljšava prinose bioplina zbog sinergije u homogenom supstratu i nadomještanju hranjivih tvari koje nedostaju u drugom supstratu.

Tri najčešća supstrata kod bioplinskog postrojenja Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. su: kukuruzna silaža, juneća gnojovka i kruti juneći stajnjak. Svaki od tih supstrata ima svoje energetske vrijednosti i prinose prikazane u (Tablica 7,Graf 3)

Tablica 7. Proizvodnja bioplina i električne nergije po supstratima

Supstrat	Proizvodnja bioplina po t sviježe tvari (m^3/t)	Električne energije po toni sviježeg supstrata na dan (kW/t na d)
Kukuruzna silaža	200,6	17,1
Juneća gnojovka	20,5	1,7
Kruti juneći stajnjak	60	5,1

Graf 3. Prikaz odnosa supstrata u odnosu na proizvodnju bioplina i električne energije



Na temelju grafa možemo zaključiti da kukuruzna silaža ima najveći prinos bioplina, a ujedno i proizvedene električne energije po toni. Prema tome podaci o prosječnoj godišnjoj proizvodnji dani su u Tablica 8.

Tablica 8. Tehnički podaci o prosječnoj godišnjoj proizvodnji Bioplinare Organike Kalnik 1 d.o.o.

Ukupna specificirana električna snaga postrojenja (kW_e)	2400
Prosječna dnevna količina proizvedene električne energije MW_eh	48,3
Prosječna godišnja proizvodnja električne energije (MW_eh/god)	17146
Ukupna toplinska snaga postrojenja ($kW_{t,}$ nominalno)	2422
Prosječna dnevna količina proizvedene toplinske energije MW_eh	48,8
Prosječna godišnja proizvodnja toplinske energije (MW_th/god)	17324
Učinkovitost proizvodnje elektične energije (%)	42,4
Učinkovitost proizvodnje toplinske energije (%)	42,8
Broj sati rada pogona u godini dana (h)	8500

6. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

Iako su proizvodnja bioplina i električne energije primarne djelatnosti poduzeća, u samom procesu proizvodnje električne energije dolazi do stvaranja znatne količine toplinske energije koju se može iskoristiti za prodaju toplinske energije krajnjim potrošačima u neposrednoj blizini pogona, grijanje/hlađenje vlastitih prostorija kao i korištenje CO_2 za poboljšanje rasta biljaka u staklenicima, za uzgoj algi, ili za neku drugu namjenu. Glavni izazov je održivo korištenje toplinske energije, koja se može koristiti izravno za grijanje, ali i za dodatnu proizvodnju električne energije, za hlađenje ili za sušenje.

6.1. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TOPLINSKE ENERGIJE IZ BIOPLINSKOG POSTROJENJA

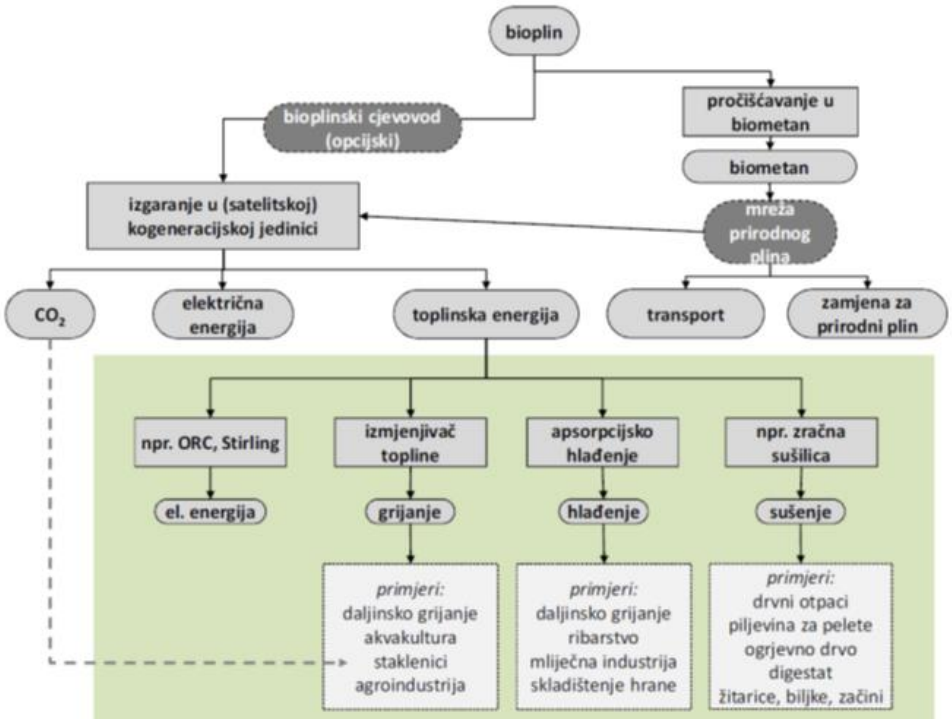
Korištenje toplinske energije iz bioplinskih postrojenja suočeno je s različitim izazovima na koje utječu karakteristike postrojenja. Postrojenja za proizvodnju bioplina često su smještena u zabačenim područjima, gdje nema potražnje za toplinom. Nadalje, količina i kvaliteta proizvedene toplinske energije često nije dovoljna za potrebe većih industrijskih postrojenja industrije. Stoga treba identificirati posebna područja gdje bi se toplinska energija što učinkovitije i unosnije vrednovala. Neki od najvažnijih izazova koji karakteriziraju bioplinska postrojenja u vezi korištenja toplinske energije su:

- **Godišnja doba:** Ljeti je potrebno manje toplinske energije za grijanje digestora. Toplinska energija za grijanje zgrada potrebna je samo tijekom hladnog razdoblja u godini, dok tijekom ljeta i razdoblja visokih temperatura, nastaje višak toplinske energije.
- **Lokacija:** Postrojenja koja koriste sirovine iz poljoprivrede za proizvodnju bioplina najčešće se nalaze u udaljenim ruralnim područjima gdje se ne mogu naći potrošači toplinske energije (npr. male industrije, javne zgrade).
- **Kvaliteta i količina toplinske energije:** Nekim industrijama potrebne su više temperature od onih koje im može pružiti bioplinsko postrojenje s kogeneracijom na bioplin.
- **Ekonomski rizici:** Operatori bioplinskih postrojenja koji „ovise“ o vanjskim potrošačima toplinske energije mogu biti suočeni s ekonomskim rizicima u

slučaju promjenjive potražnje. Dugoročnim ugovorima takvi se rizici mogu ublažiti.

- **Visoki troškovi:** Nekoliko opcija korištenja otpadne topline iziskuje dodatnu opremu povezanu s visokim investicijskim troškovima, primjerice ugradnju ORC modula ili postavljanje mikro-toplinskih mreža.
- **Javno prihvaćanje i potpora:** Postavljanje novih mikro-toplinskih mreža moguće je jedino onda ako je osigurana potražnja za toplinskom energijom, što znači da ima dovoljno kupaca koji se žele priključiti. Nadalje, potrebna je potpora lokalne uprave kako bi se omogućila izgradnja mikro-toplinskih mreža.
- **Cijene fosilnih goriva:** Korištenje otpadne topline iz postrojenja za proizvodnju i/ili korištenje bioplina mora biti konkurentno u odnosu na cijene fosilnih goriva i cijene drugih izvora obnovljive energije. [6]

Korištenje otpadne topline iz kogeneracijskih jedinica bitno doprinosi ekonomski uspješnom pogonu bioplinskih postrojenja i smanjenju njihovog utjecaja na okoliš. Njihov rad mora biti ekonomski i tehnički ostvariv. Ako se dobro i dovoljno unaprijed planira, koncepti korištenja topline mogu se razviti za većinu bioplinskih postrojenja. Glavni izazov je održivo korištenje toplinske energije, koja se može koristiti izravno za grijanje, ali i za dodatnu proizvodnju električne energije, za hlađenje ili za sušenje. Upravo iz tog razloga, potrebno je pronaći inovativno rješenje (Slika 9.) kojim će riješiti problem neiskorištene toplinske energije i digestata kao nusproizvoda iz kogeneracija. [6]



Slika 9. Mogućnosti korištenja toplinske energije iz bioplina

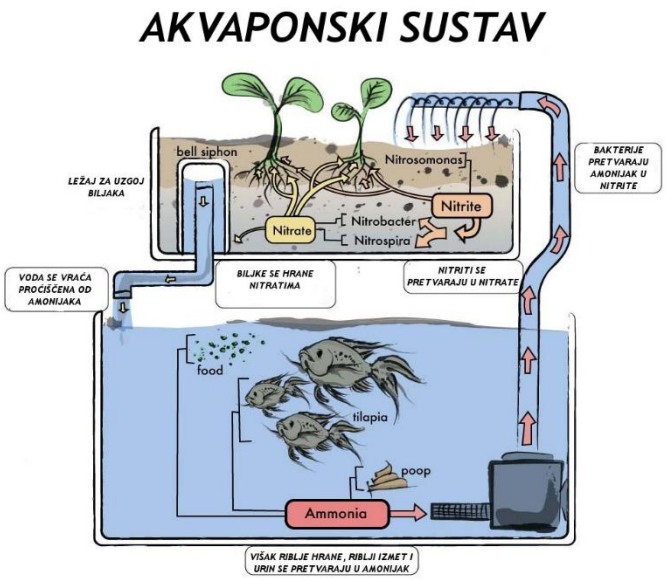
6.1.1. Objekti za držanje životinja

Svinjske i peradarske farme proizvode meso tijekom cijele godine, dakle i zimi. Kako bi se osigurala kontinuirana proizvodnja te i povećala proizvodnja, objekti za držanje životinja se često griju, osobito zimi. Povezivanje postrojenja za proizvodnju i korištenje bioplina sa svinjskim i peradarskim farmama omogućava korištenje gnojiva i stelje kao sirovine za rad postrojenja i korištenje otpadne topline za klimatizaciju staja. Te se sinergije mogu primijeniti u velikim stočarskim sustavima. No i manja ekološka poljoprivredna gospodarstva mogu od toga imati koristi jer je potrebno više (grijanog) prostora po životinji. [17]

6.1.2. Izgradnja akvaponija

Akvaponija je samoodrživi sustav proizvodnje hrane koji kombinira tehnike akvakulturne proizvodnje riba, rakova ili puževa s tehnikama hidroponije. Akvaponički sustavi recirkuliraju sustave akvakulture koji uključuju proizvodnja biljaka bez tla. Recirkulacijski sustavi su dizajnirani za podizanje velike količine ribe u relativno malom volumenu vode obradom vode odnosno uklanjanjem toksičnih otpadnih proizvoda iz nje te ponovnu uporabu odnosno recirkulaciju takve vode. Biljke rastu brzo s otopljenim hranjivim tvarima koje izravno izlučuju ribe ili nastaju mikrobiološkim slomom ribljih otpadaka. U zatvorenim recirkulacijskim sustavima s vrlo malo dnevne izmjene vode (manje od 2 %), otopljene hranjive tvari nakupljaju se u velikim koncentracijama. [18]

U intenzivnoj akvakulturi otpadne vode utječu na pojavu zagađenja i tako povećavaju toksičnost vode za ribe. S druge strane intenzivni hidroponski uzgoj uvelike ovisi o trošku za nabavku mješavina nutrijenata za bilje koje se dodaju u vodu. Akvaponski integrirani oblik proizvodnje eliminira nedostatke iz oba spomenuta sustava. U akvaponskom sustavu, biljke iz vode uklanjaju dušik i fosfor koji nastaju kao nusprodukti ribljeg metabolizma. Ribe u uzgoju tako proizvode hranjiva potrebna za rast i razvoj biljaka, a njihovi ekskrementi se recikliraju. Ovim principom smanjuje se zagađenje vode uzrokovano intenzivnom proizvodnjom riba što je jedan od ograničavajućih faktora prilikom širenja novih ribogojilišta. Ovakav sustav može funkcionirati kao zatvoreni krug, a uz to se i sva voda reciklira (Slika 10). [19]



Slika 10. Funkcioniranje akvaponskog sustava

Grijane akvakulture mogu biti kopnena uzgajališta, no sve se više primjenjuju akvakulture zatvorenog sustava, također zvane riblje farme zatvorenog kruga ili recirkulirajući sustavi akvakulture. Postoje sustavi za slatkovodne i morske vrste riba i škampa, kao i za vrste umjerenih i tropskih klima. Akvakulture zatvorenog sustava u Europi se obično postavljaju u zatvorenim prostorima, posebno onda ako se drže tropske vrste kojima je potrebna prilična količina topline. Sustav se u pravilu sastoji od nekoliko ribnjaka izrađenih od betona ili sintetskih materijala. Postoje različiti načini cirkulacije vode koja se podvrgava procesu čišćenja ili u nekom centraliziranom postrojenju ili u svakom ribnjaku posebno. Potrebno je stvoriti idealne uvjete uzgoja na koje utječu sljedeći parametri: hranidba, kvaliteta vode, opći higijenski uvjeti, ventilacija, temperatura vode te broj riba po volumenu. Nekoliko parametara može se pratiti i automatski kontrolirati radi osiguranja kontinuiteta procesa. Jedan od važnijih parametara je potrošnja energije. Približno jedna trećina isporučene energije potrebna je u obliku električne, a oko dvije trećine u obliku toplinske. Toplinska energija potrebna je za grijanje vode i za klimatizaciju (grijanje/hlađenje) zatvorenog prostora. Temperature za grijanje ribnjaka variraju već prema tome radi li se o škampima ili ribama. Idealne temperature vode kreću se od 20°C do 32°C.

Prednosti ovakvih sustava su mnogobrojne: od zaštite okoliša zbog recikliranja vode, preko organske ishrane biljaka i uklanjanja otpadnih tvari iz vode, pa do smanjenja potreba za zemljištem za proizvodnju povrtnih kultura i na kraju do redukcije patogena u akvakulturnoj proizvodnji. Povezivanjem postrojenja za proizvodnju i/ili korištenje

bioplina i akvakulture stvara se zaokruženi sustav u kojem svi dobivaju. U nekim sustavima digestat se koristi kao gnojivo u akvakulturi. U drugim sustavima otpad od akvakulture koristi se kao sirovina za proizvodnju bioplina. Morskih i slatkovodnih riba i škampa ima sve manje, pa se sve više umjetno uzgajaju, često uz znatne posljedice po okoliš. Korištenje otpadne topline iz postrojenja za proizvodnju i/ili korištenje bioplina pruža nove mogućnosti poljoprivrednicima da proizvode dodatne visokokvalitetne proizvode. [19]

6.1.3. Daljinsko grijanje

Izravno korištenje toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja najjednostavniji je način iskorištavanja otpadne topline. Veličina sustava daljinskog grijanja kreće se od malih sustava na koji je priključeno svega nekoliko kućanstava (mikro mreže grijanja) do velikih sustava na koje su priključeni čitavi gradovi. Toplinska energija iz bioplinskih postrojenja može se iskoristiti za opskrbu i malih i velikih sustava. Sustavi daljinskog grijanja sastoje se od polaznih i povratnih cjevovoda koji čine zatvoreni krug. Polazna topla voda ili para se transportira potrošačima, a ohlađena voda ili kondenzat se dovodi natrag do postrojenja za proizvodnju topline. Zbog nižih temperaturnih razina topline proizvedene u bioplinskim postrojenjima, obično se koristi samo topla voda, a ne i para. Cijevi trebaju biti dobro izolirane i postavljene podzemno, no ima sustava i s nadzemnim cjevovodima. Na promjere cijevi utječu veličina sustava i protoci transportirane vode. Veći sustavi daljinskog grijanja definiraju se kao sustavi za distribuciju toplinske energije proizvedene na nekoj centraliziranoj lokaciji, npr. kraj nekog bioplinskog postrojenja, za potrebe grijanja stambenih i poslovnih prostora, uključujući i opskrbu toplom vodom. U većim sustavima je moguće priključiti nekoliko postrojenja za proizvodnju topline u isti sustav.

Premda su suvremeni sustavi daljinskog grijanja veoma učinkoviti, neminovni su gubici topline. Gubitke treba svoditi na minimum, no u proračunima se uvijek mora razmotriti kompromis između gubitaka i troškova njihovog izbjegavanja. Na toplinske gubitke u sustavu daljinskog grijanja utječu sljedeći parametri:

- Duljina cjevovoda
- Izolacija cijevi
- Vrsta tla

- Debljina sloja zemlje iznad cijevi
- Zapremina, optimalni protok i temperatura ogrjevnog kruga
- Predviđena temperaturna razlika na krajnjem izmjenjivaču topline
- Broj serijski priključenih izmjenjivača topline [17]

6.1.4. Transport toplinske energije u kontejnerima

Ponekad nije moguće izgraditi sustave daljinskog grijanja bilo da su udaljenosti prevelike ili da to nije moguće zbog pravnih ili drugih eksternih uvjeta. Tada se može razmotriti mogućnost transporta toplinske energije putem skladišnih sustava u kontejnerima. To je nova tehnologija koja još nije u širokoj primjeni. Zamisao je da se toplina iz bioplinskog postrojenja skladišti u mobilnim kontejnerima, obično u standardnim neizoliranim kontejnerima dimenzije 6,10 m x 2,44 m. Kontejnere ne treba izolirati jer je energija kemijski spremljena, i to ne pod povišenom temperaturom kao u drugim sustavima spremanja energije. Kad se kontejner napuni, može se potrošaču toplinske energije prevoziti kamionima. [17]

6.1.5. Izgradnja staklenika

Staklenici su zaštićeni prostori ravnih krovnih površina koje su pokrivene staklom, koji služe za proizvodnju svih vrsta povrtnih kultura. Staklenici su najbolji za zimske uvjete jer najbolje čuvaju toplinu. Staklo sprječava prekomjerno hlađenje prostora noću unutar staklenika i uvijek zadržava prozirnost pa biljke imaju dovoljno svjetla za rast. Osnovna namjena staklenika je: privremena zaštita nasada od hladnoće ili mraza (rano proljeće, kasna jesen), proizvodnja sadnog materijala (uzgoj presadnica, ožiljavanje reznica) ili uzgoj kulture tijekom cijelog vegetacijskog perioda, od sjetve ili sadnje do berbe. Ako znamo koji sve čimbenici utječu na dobivanje visokih prinosa i koji su optimalni uvjeti za uzgoj pojedinih povrtnih kultura i te spoznaje kombiniramo s tehničkom opremom, mnoge povrtne biljke možemo uzgajati u klimatski nepovoljnom dijelu godine ili u krajevima gdje uzgoj tih vrsta nije moguć na otvorenom prostoru. U takvim objektima moguće je manje ili više mijenjati vegetacijske faktore (temperatura, svjetlo, vlaga zraka i tla, sastav zraka i tla). Za kulture koje traže više topline trošit će se više energije pa je važan pravilan izbor kultura u pojedinom dijelu godine, kako bi troškovi grijanja bili manji. Po pitanju temperature u zaštićenom prostoru vrijedi pravilo - što su dani kraći i oblačniji, odnosno, što je manje svjetla, temperatura treba biti niža, kao u prirodi. Povrće

u tom slučaju sporije raste, no u skladu s prirodnim ritmom pa je otpornije na bolesti i štetnike. [20]

Stoga otpadna toplina iz postrojenja za proizvodnju i korištenje bioplina može biti dobar i povoljan izvor toplinske energije. Preduvjet je da se staklenik nalazi u blizini bioplinskog postrojenja. Najprikladniji sustav grijanja u staklenicima je kružno grijanje vodom, jer se ono može precizno podesiti pa se cirkulacija zraka može smanjiti. Godišnja energetska potreba za grijanje staklenika na 20°C (u Njemačkoj) još uvijek može doseći oko 600 kWh/m². Razvija se bolja izolacija staklenika, a samim time i bolje zadržavanje topline a ograničavajući čimbenik je to što kroz prozirni pokrov treba prodrijeti dovoljno svjetla. Konačno, treba uzeti u obzir i korištenje CO_2 iz struje ispušnih plinova kogeneracijske jedinice jer on potiče rast biljaka. Na zemljištu bioplinskog postrojenja moguće je izgraditi staklenik površine 1,5 Ha. [19]

6.1.6. Sušenje

Pored izravnog korištenja toplinske energije za podizanje temperaturnih razina u različite svrhe, otpadna toplina iz postrojenja za proizvodnju i korištenje bioplina također se može koristiti i za sušenje nekoliko materijala. Od njih se ističu: sušenja digestata, kanalizacijskog mulja, krute biomase (drvna sječka, piljevina, cjepanice) i poljoprivrednih proizvoda.

6.1.7. Sušenje digestata i kanalizacijskog mulja

Skladištenje, transport, rukovanje i primjena digestata povezani su sa značajnim troškovima u usporedbi s njihovom gnojivnom vrijednošću, a zbog velikog volumena i niskog sadržaja suhe tvari. Digestat se suši u sušilici s transportnom trakom gdje se kontinuirano i ravnomjerno transportira kroz punilicu ili usipni koš na perforiranu traku. Traka nosi proizvod kroz područje sušenja. U tim ćelijama vruć zrak ili ispušni plin iz bioplinskog postrojenja struji kroz ili preko mokrog digestata i suši ga. Sušeni materijal može se iskoristiti u sektorima hortikulture i vrtlarstva ili izravno ili u peletiranom obliku.

Metode sušenja kanalizacijskog mulja uglavnom su iste kao za sušenje digestata. Osušeni kanalizacijski mulj može izgarati u spalionicama. [17]

6.1.8. Sušenje cjepanica drvne sječke i peleta

Potražnja za krutom biomasom i modernim oblicima krute biomase (drvna sječka i peleti) postojano raste zbog njihove rastuće primjene za grijanje. Svježe posječeno drvo sadrži puno vode, 50-65 posto, koja je kemijski i fizikalno vezana u drvu. Ovisno o krajnjoj namjeni, drvo često treba zadovoljiti izvjesne minimalne standarde u pogledu maksimalnog sadržaja vode. Posebice za manje jedinice izgaranja, drvo treba biti dosta suho zbog sljedećih razloga:

- Što je viši sadržaj vode, to je izgaranje energetski manje učinkovito, jer se dio energije „izgubi" na isparavanju. Niža ogrjevna vrijednost postaje viša ako je drvo suho.
- Uskladištenost je bolja ako je sadržaj vode u drvu manji od 25 %, budući da su životni uvjeti za mikroorganizme (gljive i bakterije) teži u suhim uvjetima.
- Rast mikroorganizama dovodi do gubitka materijala, što smanjuje energetski sadržaj.
- Oslobođene spore gljiva (u drvnim otpacima) mogu izazvati zdravstvene rizike.
- Daljnja prerada nekih proizvoda iziskuje minimalni sadržaj vlage. Primjerice, piljevina od svježeg drva traži sušenje prije peletiranja.
- Logističke koristi za transport na velike udaljenosti budući da se smanjuju težina i volumen.

Cjepanice se obično suše u komori za sušenje (šaržna sušilica) kroz koju se upuhava otpadna toplina iz bioplinskog postrojenja. Drvna sječka obično se suši u šaržnim sušilicama ili u skladišnim objektima kroz koje se upuhava toplina iz bioplinskog postrojenja. Upotrijebiti se mogu sušilice koje imaju i opremu za okretanje. Otpadna toplina iz bioplinskog postrojenja mogla bi se iskoristiti za sušenje piljevine koja se koristi za proizvodnju peleta, jer je tu potražnja za toplinskom energijom kontinuirana tijekom cijele godine. [17]

6.2. DODATNA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Otpadna toplina iz postrojenja za korištenje bioplina s temperaturama u rasponu od 80 °C do 550 °C manje je vrijedna, jer ju je teže pretvoriti u druge oblike energije. Međutim, postoje tehnička rješenja za pretvorbu otpadne topline u dodatnu električnu energiju u prikladnim termodinamičkim ciklusima, a time i za dodatne prihode od električne energije koja se otkupljuje po povlaštenoj *feed in* tarifi.

6.2.1. ORC sustav

ORC (organski Rankinov ciklus) je varijacija Rankinovog ciklusa u kojem se umjesto vode kao radnog medija koristi organski fluid (R134a – 1,1,1,2-tetrafluoroetan, pentan, oktametiltrisiloksan – OMTS) ovisno o proizvođaču ORC sustava. To omogućava korištenje niskotemperaturnih izvora topline, kao što je otpadna toplina iz postrojenja za korištenje bioplina s temperaturama od 70–90 °C. Ovo je omogućeno nižim vrelištem organskih fluida u usporedbi s vrelištem vode na 100 °C. ORC proces ima isti princip rada i glavne komponente (isparivač, turbinu, kondenzator i pumpu) kao i klasičan Rankinov ciklus. U isto vrijeme postoje i neke velike razlike između ova dva ciklusa. Razlike se uglavnom odnose na korišteni radni fluid u ciklusu, termodinamičke osobine radnog fluida i temperaturu izvora topline. Radni proces se bazira na temelju 4 faze:

1. Toplinski izvor (biomasa) zagrijava termičko ulje, od 250 do 300°C u zatvorenom radnom krugu. Zagrijano termičko ulje usmjerava se ka isparivaču, gdje se toplina predaje radnom mediju (organski fluid) te on isparava, uz najčešće njegovo prethodno predgrijavanje u regeneratoru;
2. Organska para ekspandira u turbini, gdje se kinetička energija pare pretvara u mehaničku, a mehanička se u generatoru pretvara u električnu energiju. Veza između turbine i generatora je direktna što je moguće zbog relativno malih brzina vrtnje turbine, te su na taj način smanjeni mehanički gubici;
3. Ekspandirana para organskog fluida hladi se u kondenzatoru, gdje se rashladna voda (ili zrak) zagrijava na temperaturu od 80 do 90°C i može se koristiti za područno grijanje i druge namjene;

4. Ohlađeno termičko ulje se pumpom vraća u kotao a kondenzirani organski fluid drugom pumpom se vraća nazad u regenerator, gdje se dogrijava i odlazi u isparivač i ORC proces se ponavlja.

Procjenjuje se da se od otpadne topline kogeneracijske jedinice snage 1 MWel, može proizvesti oko 7-10 % dodatne električne energije (70-100 kWel). Ukupna električna učinkovitost jednog postrojenja za korištenje bioplina može se tako povećati na oko 45%. Otpadna toplina od ORC procesa teoretski se dalje može koristiti za grijanje, no uglavnom se ispušta u atmosferu. Jedan od najvećih trenutnih nedostataka je investicijski trošak (kod manjih postrojenja >4000 EUR/kWe). [21]

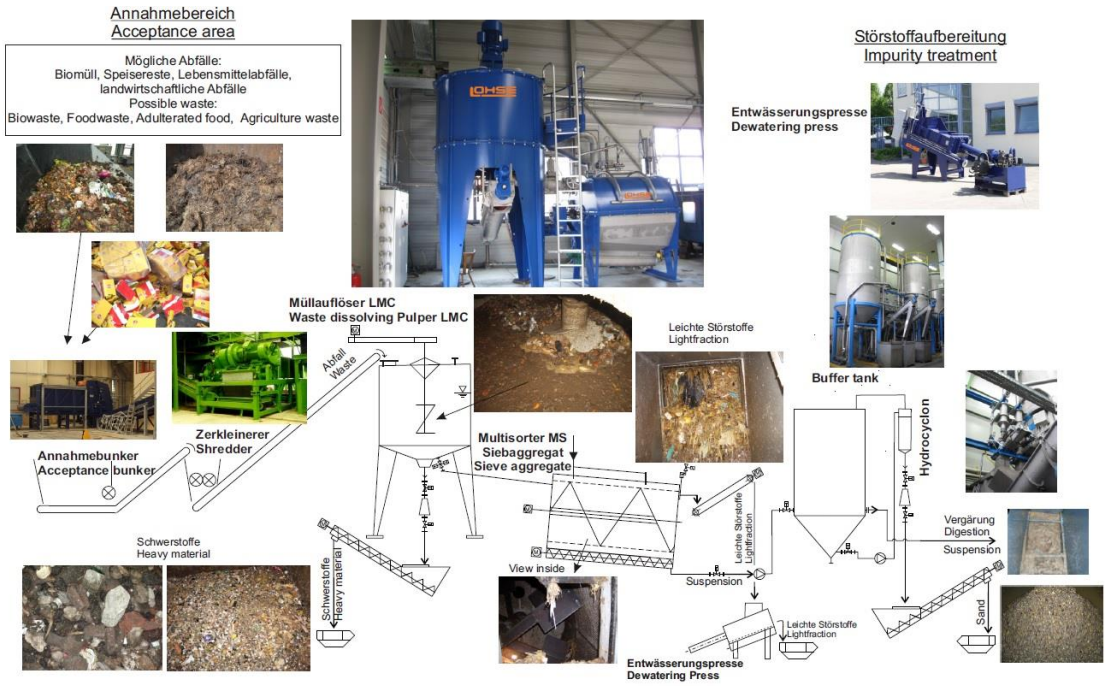
6.2.2. Stirlingov motor

Stirlingov motor je toplinski motor koji radi na bazi cikličke kompresije i ekspanzije zraka ili nekog drugog plina na različitim temperaturnim razinama, koristeći neki vanjski izvor topline, poput otpadne topline iz bioplinskih postrojenja. U Stirlingovu se motoru toplinska energija pretvara u mehanički rad, za pogon električnog generatora. Princip rada motora se sastoji od ciklusa u kojem se hladni plin komprimira, grije, širi i na kraju hladi prije ponavljanja ciklusa. Pritom je sustav zatvoren i nikakav se plin ne dodaje motoru niti se iz njega oslobađa pa se stoga klasificira kao motor s vanjskim izgaranjem. Prijenos topline se odvija kroz izmjenjivač topline koji je integralan s cilindrom motora. Općenito, Stirlingovi motori imaju puno nižu učinkovitost nego motori s unutarnjim izgaranjem pa se primjenjuju samo u specifičnim slučajevima. Korištenje otpadne topline iz postrojenja za korištenje bioplina tu je vrlo ograničeno zbog niskih temperaturnih razina, s obzirom da motor bolje radi na visokim temperaturama iznad 900 °C. Trenutno su Stirlingovi motori tržišno dostupni s malim kapacitetima od oko 40 kWel čime im je primjena otežana. [17]

6.3. PRERADA BIORAZGRADIVOG OTPADA

Uz bioplinaru moguće je izgraditi postrojenje za obradu biootpada. Otpadnu toplinsku energija koristila bi za preradu organskog otpada za potrebe daljnje obrade (higijenizacije) bio-otpada. Higijenizacija je relativno nova tehnologija gospodarenja komunalnim otpadom koja se primjenjuje od 2010. godine. Prvi je put uspješno

primijenjena u Barceloni. Postrojenje za preradu biorazgradivog otpada, kapaciteta 25.000 t/god odnosno 3,8 t/sat u planu je za izgradnju uz bioplinsko postrojenje. Radna površina na kojoj se kontinuirano odvija cijeli proces je 1.400 m² , a proces je podijeljen u tri cjeline, kako je shematski prikazano na (Slika 11.)



Slika 11. Shematski prikaz postrojenja za higijenizaciju biorazgradivog otpada

Prva cjelina - prihvat biootpada. Otpad se doprema vozilima te se odlaže u prihvatne bazene (jame) koji su u sustavu podtlaka. Na kraju prihvatnog bazena nalazi se stroj za usitnjavanje otpada.

Druga cjelina - razdvajanje otpada.

Treća cjelina - nakon obrade, otpad ide u odvojeni dio pogona gdje se mehanički razvrstava i usmjerava ovisno o vrsti i kvaliteti dobivenog materijala nakon čega slijedi proces higijenizacije na 70 stupnjeva.

Odvojeno sakupljanje otpada od lokalnih komunalnih poduzeća prvotno bi se provelo na reprezentativnom području kroz pilot projekt kako bi se definirale potrebe i termini odvojenog sakupljanja otpada prema navikama stanovnika. Prije provođenja pilot projekta kao i uvođenja odvojenog sakupljanja otpada na cijelom području općine Sveti Petar Orehovec, provele bi se edukativne aktivnosti i aktivnosti informiranja građana kako bi se upoznali s odvojenim odlaganjem otpada. Po uspostavi učinkovitog sustava odvojenog sakupljanja otpada uspostavilo bi se postrojenje za preradu biootpada uz

bioplinaru. Postrojenje će se prilagoditi da za potrebe prerade koristi nusproizvode bioplinskog postrojenja – toplinsku energiju i tekući digestat. Budući da je postrojenje za preradu biootpada locirano netom pokraj bioplinskog postrojenja, povezivanje s postrojenjem odraditi će se pri samoj montaži opreme. Nakon testiranja postrojenja i uspostave normalnih funkcija, Komunalno poduzeće Križevci će početi dovoziti odvojeno sakupljeni biootpad na preradu. Sav prerađeni biootpad plasirat će se bioplinskom postrojenju kao proizvod visokog bioplinskog potencijala. Prerađeni biootpad koristiti će se kao ulazna sirovina za bioplinska postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije iz OIE. Povećanjem unosa prerađenog biootpada u bioplinska postrojenja smanjuje se unos kukuruzne silaže kao sirovine. Proizvedena toplinska i eletrična energija u bioplinskim postrojenjima koristiti će se ponovno za potrebe higijenizacije u postrojenju za preradu biootpada. Tokom cijelog vijeka provedbe projekta pratiti će se indikatori i realni rezultati takvog zaokruženog sustava te kako bi se navedeni rezultati mogli koristiti u kampanji za podizanja svijesti o odvojenom odlaganju biootpada (smanjena emisija CO_2, količini odvojeno prikupljenog biološkog otpada na području projekta i slično). Na ovaj način stvaraju se preduvjeti za odvojeno sakupljanje biološkog otpada na području cijele Hrvatske (informirani i educirani građani) te stvaranje partnerstva između proizvođača bioplina i komunalnih poduzeća za uspostavljanje učinkovitog sustava za odvojeno sakupljanje i preradu biootpada i na ostalim područjima Republike Hrvatske. [19]

Otpad koji može ići u oporabu:

1. **Kuhinjski otpad:**

- ostaci iz kuhinja/kantina/restorana
- ostatci od voća i povrća sa voćem i povrćem koje više nije za upotrebu
- talog kave, čaja, filter vrećice od čaja
- ostatci pekarskih proizvoda
- tekući i kuhani ostatci hrane, meso sa tanjura (termički obrađeno)
- ulja i masti
- mliječni proizvodi

2. **Industrijski – prerađivački otpad:**

- otpad iz poljoprivrede, hortikulture, proizvodnje vodenih kultura, lovstva i ribarstva
- otpad od pripremanja i prerade mesa, ribe i drugih namirnica životinjskog podrijetla
- otpad od pripremanja i prerade voća, povrća, žitarica, jestivih ulja, kakaa, kave, čaja i duhana; konzerviranja; proizvodnje kvasca i ekstrakata kvasca, pripremanja i fermentacije melase
- otpad od proizvodnje šećera
- otpad iz mljekarske industrije
- otpad iz pekarske i slastičarske industrije
- otpad iz proizvodnje alkoholnih i bezalkoholnih pića
- otpad iz uređaja za obradu otpadnih voda (mješavine masti i ulja iz separatora)
- otpad s tržnica

3. **Vrtni – zeleni otpad:**

- otkos trave
- lišće i borove iglice bez grana
- uvelo cvijeće bez zemlje
- otpalo voće

4. **Ostalo:**

- životinjske fekalije i efluenti
- onečišćena slama

Na ovaj način, plasmanom viška proizvedene toplinske energije ostvarit će se dodatni prihodi za bioplinaru te povećati sveukupna učinkovitost postrojenja. Uz navedeno, ovim konceptom pridonijelo bi se rješavanju problema s bio-otpadom uz pomoć obnovljivih izvora energije. Kapacitet ovog postrojenja bi bio dovoljan da zadovolji tek manji dio potreba sjeverozapadne Hrvatske čime se djelomično rješava problem manjka deponija primjerenih za zbrinjavanje biološkog otpada. [19]

6.4. KOMPOSTIRANJE DIGESTATA

Kao nusprodukt proizvodnje bioplina dolazi i do stvaranja biomase preostale nakon anaerobne razgradnje organske tvari – digestata. Ova visokokvalitetna vrsta gnojiva bogata je dušikom, fosforom, kalijem i mikro-nutrijentima. Za rasprostiranje po poljoprivrednoj površini može se koristiti ista mehanizacija koja se koristi za svježi stajski gnoj i gnojnicu. U usporedbi sa svježim stajskim gnojem, digestat ima znatno bolja gojidbena svojstva zahvaljujući homogenosti i većoj hranidbenoj vrijednosti, boljem omjeru ugljika i dušika te gotovo potpunom nedostatku neugodnog mirisa. Proizvodnja bioplina se može dobro integrirati u konvencionalnu i ekološku poljoprivredu, gdje digestat zamjenjuje mineralna (umjetna) gnojiva, proizvedena uz veliki utrošak fosilnih goriva. [19]

Ukoliko se digestat koristi kao gnojivo, mora biti najviše kvalitete, bez patogena, onečiščivaća ili nečistoća. Ta kvaliteta se može osigurati korištenjem sirovine kontrolirane kvalitete. To ne predstavlja problem za poljoprivredna bioplinska postrojenja koja koriste energetske usjeve, gnojovku i/ili ostatke od povrća. U slučajevima kada se otpad sa više farmi koristi u procesu ko-digestije kao što je slučaj sa ovom bioplinarom ili kada se digestat koristi na više farmi može se zahtijevati neka vrsta uklanjanja patogena. Ovisno o krajnjem korištenju, kvaliteti i nekim ekonomskim parametrima, digestat se može koristiti izravno (cjelokupni digestat) ili se može prvo obraditi. Najjednostavnija i najčešće korištena metoda obrade je odvajanje tekućeg i krutog dijela korištenjem centrifuga i vijčanih preša. U slučajevima kada kvaliteta digestata nije odgovarajuća za gnojenje u poljoprivredi, može se koristiti na druge načine, npr. kao pokrivač na odlagalištima ukoliko je digestat od komunalnog otpada, spaljivanjem u energetske svrhe. Daljnja obrada krutog dijela digestata je također moguća te uključuje kompostiranje, koje može dodatno koncentrirati udio hranjivih tvari te obraditi digestat za daljnju prodaju kupcima u obliku gnojiva. Kompostiranje digestata je aktivno upravljani procesom daljnje razgradnje organskih ostataka iz procesa anaerobne digestije. Razvijen je niz sustava kompostiranja koji upravljaju procesom razgradnje kako bi se postigao visokokvalitetni kompostni proizvod bez stvaranja negativnih utjecaja na okoliš. Postupak kompostiranja aerobno razgrađuje organsku tvar u digestatu, što rezultira pretvorbom amonijaka u nitrat koji je stabilniji, a vrlo pokretni izvor dušika za biljke. Temperature u procesu kompostiranja mogu doseći 70 °C ili više zbog intenziteta

aktivnosti mikoorganizama, stoga se može postići pasterizacija. Ako je fizički prikladan, digestat se može samostalno kompostirati ili ga se mora kompenzirati s nizom standardnih sirovina za kompostiranje, kao što je drvna sječka ili zeleni otpad. Kao dodatak standardnom kompostu, digestat daje bogat izvor dušika, fosfora, magnezija i željeza te vlagu. Tako obrađeni digestat smatra se visoko hranjivim gnojivom te se dalje može pakirati i prodavati na tržište. [22]

Kruti digestat iz bioplinskog postrojenja odlazio bi u kompostanu koja bi se izgradila neposredno blizu separatora uz lagunu. Nakon procesa kompostiranja gotovi kompost bi se prosijavao i pakirao za daljnju prodaju. [19]

6.5. LABORATORIJ

U sklopu bioplinskog postrojenja jedna od mogućnosti je i izgradnja laboratorija koji će se koristiti za istraživanje i razvoj te analizu svih elementa energetskih postrojenja kako s tehničke tako i s biološko-kemijske strane. Osnovni cilj laboratorija biti će osiguravanje nesmetanog tehničkog rada sa maksimalnim kapacitetom svih postrojenja (Gregurovac, Slatina, Orehovec, Viljevo i Donji Miholjac). U budućnosti je težnja da taj odjel plasira svoje usluge i ostalim tvrtkama. Također, laboratorij je predviđen i za analizu ulazne sirovine (silaže), izlaznih nusproizvoda (digestata i mulja) te za analizu faza biološkog procesa gdje bi se uzimali uzorci na dnevnoj bazi. [19]

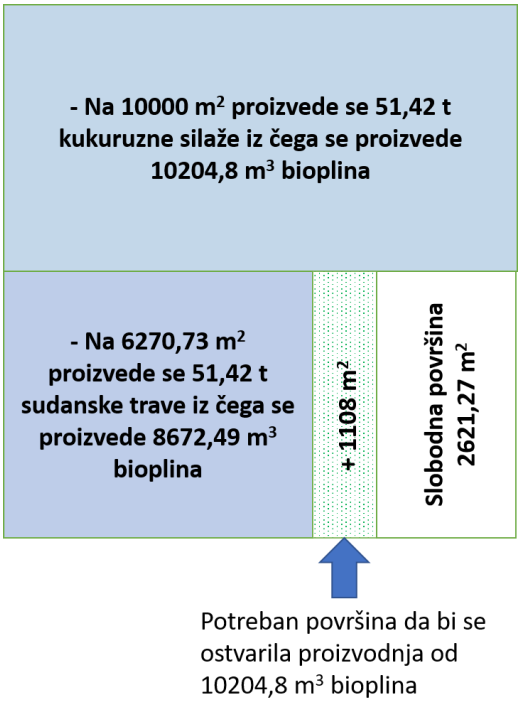
7. POBOLJŠANJE UČINKOVITOSTI BIOPLINSKOG POSTROJENJA BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. usmjerena je ka proizvodnji primarno električne energije zbog ugovorene otkupne cijene iste dok toplinska energija osim za vlastite potrebe većim dijelom ostaje neiskorištena. Također za proizvodnju bioplina kao sirovina koristi se kukuruzna silaža i gnoj ili gnojovka zbog najlakše dobavljivosti u ruralnom

kraju gdje je smještena. U nastavku su dani scenariji proizvodnje bioplina za pojedine vrste supstrata u različitim omjerima.

7.1. SUDANSKA TRAVA

Zbog izrazito visokog prinosa zelene mase, sudanska trava (Sorghum sudanense L.) postaje zanimljiva kultura koja može zamijeniti silažni kukuruz u bioplinskim postrojenjima. To je jednogodišnja visoka trava koja daje izuzetno visoke prinose kvalitetne zelene mase od 80 – 100 tona po hektaru. Zbog visokog prinosa sudanske trave moguće je ostvariti istu proizvodnju silaže na samo 60% površina koje su se koristile kod proizvodnje kukuruzne silaže (Slika 12).



Slika 12. Odnos proizvodnih površina i proizvodnih rezultata [23]

Iz kukuruznog usjeva proizvedenog na 1 ha, moguće je proizvesti 10.204,8 m3 bioplina. Istu količinu bioplina moguće je proizvesti iz sudanske trave proizvedene na 7.378,73 m2, pri čemu će se koristiti 26,21% manje površine u odnosu na kukuruzni usjev, iz čega zaključujemo da je moguće ostvariti veću dobit po 1 ha usjeva sudanske trave nego kukuruznog usjeva. Na osnovi dobivenih rezultata proizlazi da je moguće ostvariti istu proizvodnju biomase na gotovo 3 puta manjim površinama. [23]

Prema tim podacima moguće je i izračunati prosječnu vrijednost proizvodnje bioplina koja je dana u (Tablica 9).

Tablica 9. Prinos bioplina po ha i po t u ovisnosti s prinosom biomase

Vrsta biomase	Količina biomase (t/ha)	Količina bioplina (m^3/ha)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)
Kukuruzna silaža	51,42	10204,81	198,46
Sudanska trava	82	13830,12	168,66

7.2. BIORAZGRADIVI OTPAD – KOPRIVNIČKO-KRIŽEVAČKA ŽUPANIJA

Kao izvor sirovina moguće je koristiti i biootpad iz mješanog komunalnog otpada te odvojeno sakupljeni biootpad dobavljen od tvrtki koje su ovlaštene za sakupljanje otpada. Koncept dobivanja bioplina iz biootpada predstavlja najbolju strategiju za gospodarenje otpadom, jer omogućava obradu otpada, a u isto vrijeme omogućava proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. [24]

Prema izvješću Hrvatske agencije za okoliš i prirodu iz travanja 2016 količine sakupljenog miješanog komunalnog otpada te biorazgradivog otpada na području Koprivničko – križevačke županije dane su u Tablica 10.

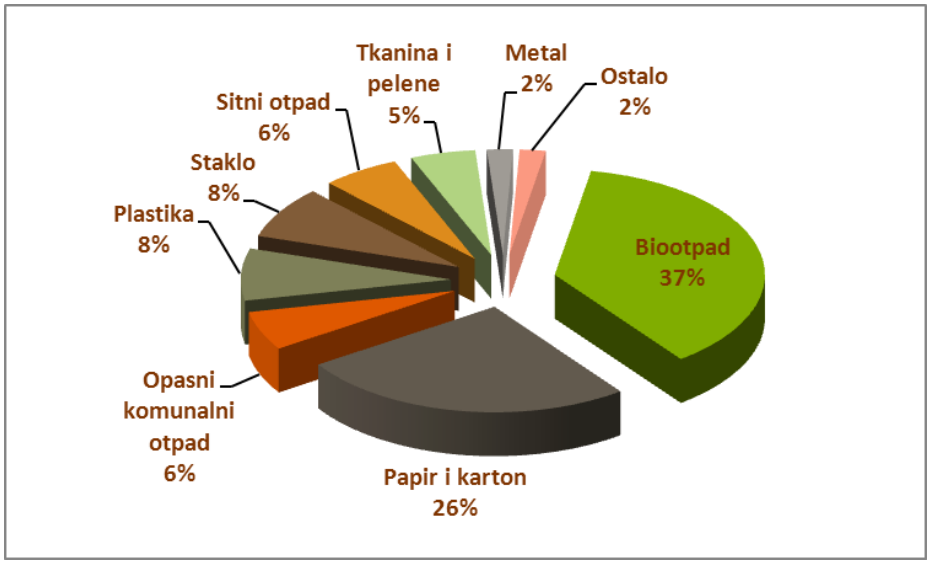
Tablica 10. Podaci o količinama sakupljenog otpada na području Koprivničko – križevačke županije [25]

Ključni broj otpada	**Naziv otpada**	**Ukupno sakupljeno (t/g)**	**Predano na oporabu (t)**
20 02 01	Biorazgradivi otpad	3663,99	3387,84
20 03 01	Miješani komunalni otpad	17652,01	23,80

Približno trećinu miješanog komunalnog otpada čini biootpad odnosno biorazgradivi otpad (npr. ostatci hrane, zeleni otpad-cvijeće, trava, lišće i sl.) koji je pogodan za anaerobnu digestiju odnosno proizvodnju bioplina.

Miješani komunalni otpad, kao što je vidljivo i na Slika 13. redom čini [26]:

- biootpad (~ 37%),
- papir i karton (~ 26%),
- opasni komunalni otpad (~ 6%),
- plastika (~ 8%),
- staklo (~ 8%),
- sitni otpad (~ 6%),
- tkanina i pelene (~ 5%),
- metal (~ 2%) te
- ostalo (~ 2%).



Slika 13. Sastav i udjeli (%) komponenata u miješanom komunalnom otpadu

Prema tome možemo izračunati da na području Koprivničko-križevačke županije iz ukupne količine sakupljenog miješanog komunalnog otpada moguće je izdvojiti oko 1/3 biootpada odnosno 5876,07 t biorazgradivog otpada godišnje. Ako se tome doda odvojeno sakupljeni biorazgradivi otpad koji nije predan na oporabu dolazimo do podatka od 6152,22 t biorazgradivog otpada u godini dana.

7.3. MODELIRANJE PROIZVODNJE

Modeliranjem su uspoređeni supstrati sudanske trave i biorazgradivog otpada s kukuruznom silažom, junećom gnojovkom, krutim junećim stajnjakom, pilećim stajnjakom i krumpirom. Kod Modela 0 dan je prikaz trenutnog stanja u proizvodnji bioplina te je na temelju njega rađena usporedba s drugim modelima. U Modelu 1 uzeto je u obzir da se umjesto kukuruzne silaže kao supstrat uzme sudanska trava u istom udjelu te se umjesto krumpira doda ista količina biorazgradivog otpada na već postojeću količinu. U Modelu 2 kao supstrat je uzeta sudanska trava u većem udjelu nego kod Modela 0 te su smanjeni udjeli ostalih supstrata a biorazgradivi otpad je povećan na 10 %. Kod Modela 3 kao supstrat uzeta je kukuruzna silaža, sudanska trava, juneća gnojovka, kruti juneći stajnjak te biorazgradivi otpad dok su ostali supstrati maknuti. Model 4 je sličan početnom Modelu 0 ali je dodana sudanska trava te su ostali supstrati podijeljeni po različitim udjelima.

U obzir su uzeti različiti omjeri supstrata a nadalje su dani podaci o prinosima u proizvodnji ukoliko bi se zamijenili supstrati.

7.3.1. Model 0 – postojeće stanje

Prema dostupnim podacima koji variraju na godišnjoj razini bioplinsko postrojenje ima kapacitet od oko 76325 t/g supstrata od toga najveći dio sirovine zauzimaju kukuruzna silaža 28400 t/g (37,2 %), juneća gnojovka 21300 t/g (27,9 %), kruti juneći stajnjak 21300 t/g (27,9 %), pileći stajnjak 1775 t/g (2,3 %), krumpir do 1775 t/g (2,3 %), i biorazgradivi otpad do 1775 t/g (2,3 %). Supstrati osim kukuruzne silaže se dovoze na dnevnoj bazi ili prema kapacitetima ugovorenih poljoprivrednika. Prema tome dan je prikaz Modela 0 koji prikazuje trenutno stanje supstrata u proizvodnji Tablica 11.

Tablica 11. Model 0 - prikaz trenutnog stanja u proizvodnji bioplina

Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Kukuruzna silaža	28400	37,2	200,6	5697040
Juneća gnojovka	21300	27,9	20,5	436650
Kruti juneći stajnjak	21300	27,9	60	1278000
Pileći stajnjak	1775	2,3	126	223650
Krumpir	1775	2,3	156,4	277610
Biorazgradivi otapad	1775	2,3	101,5	180162
UKUPNO	76325	100		8093112

7.3.2. Model 1

U Modelu 1 kao supstrat je prikazana sudanska trava umjesto kukuruzne silaže u udjelu od 37,2 %, a kao supstrat za zamjenu krumpira dodan je biorazgradivog otpad u iznosu od 2,3 % na postojeću količinu biorazgradivog otpada odnosno ukupno 4,6 %. Rezultati zamjene supstrata prikazani su u Tablica 12.

Tablica 12. Model 1 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata

Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Sudanska trava	28400	37,2	168,6	4788240
Juneća gnojovka	21300	27,9	20,5	436650
Kruti juneći stajnjak	21300	27,9	60	1278000
Pileći stajnjak	1775	2,3	126	223650
Biorazgradivi otapad	3550	4,6	101,5	360325
UKUPNO	76325	100	-	7086865

Prema ovom modelu vidljivo je da se proizvede oko 1 mil. m^3 manje bioplina nego što je trenutno stanje a to znači i manju proizvodnju energije.

7.3.3. Model 2

U Modelu 2 kao supstrat je prikazano 40 % sudanske trave i 10 % biorazgradivog otpada, a udio juneće gnojovke, krutog junećeg stajnjaka te krumpira je smanjen kako bi ukupna godišnja količina supstrata bila zadovoljena Tablica 13.

Tablica 13. Model 2 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata

Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Sudanska trava	30500	40%	168,6	5142300
Juneća gnojovka	16300	21%	20,5	334150
Kruti junećI stajnjak	19700	26%	60	1182000
Pileći stajnjak	1825	2%	126	229950
Biorazgradivi otapad	8000	10%	101,5	812000
UKUPNO	76325	100%	-	7700400

Prema ovom modelu dobiveno je oko 300000 m^3 manje bioplina nego što je trenutna proizvodnja što ukazuje na manju proizvodnju energije.

7.3.4. Model 3

U Modelu 3 kao sirovine su uzeti kukuruzna silaža u udjelu od 33 %, sudanska trava u udjelu od 10 %, te biorazgradivi otpad u udjelu od 10 %. Ostali supstrati su smanjeni kako bi ukupna količina supstrata na godišnjoj razini bila zadovoljena Tablica 14.

Tablica 14. Model 3 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata

Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Kukuruzna silaža	25000	33%	200,6	5015000
Sudanska trava	8000	10%	168,6	1348800
Juneća gnojovka	15500	20%	20,5	317750
Kruti juneći stajnjak	19825	26%	60	1189500
Biorazgradivi otapad	8000	10%	101,5	812000
UKUPNO	76325	100%	-	8683050

Prema Modelu 3 vidljivo je da je dobivena količina bioplina veća za oko 600000 m^3 ili oko 7 % više bioplina u odnosu na početno stanje što ukazuje na znatno povećanje u proizvodnji energije.

7.3.5. Model 4

U Modelu 4 kao glavni supstrati za proizvodnju bioplina uzeti su kukuruzna silaža, sudanska trava, juneća gnojovka te kruti juneći stajnjak u približno jednakim udjelima od 19 % – 24 %. Uz glavne supstrate dodani su i krumpir, pileći stajnjak te biorazgradivi otpad. Rezultati Modela 4 prikazani su u Tablici 15.

Tablica 15. Model 4 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata

Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Kukuruzna silaža	17000	22%	200,6	3410200
Sudanska trava	15000	20%	168,6	2529000
Juneća gnojovka	14775	19%	20,5	302888
Kruti juneći stajnjak	18000	24%	60	1080000

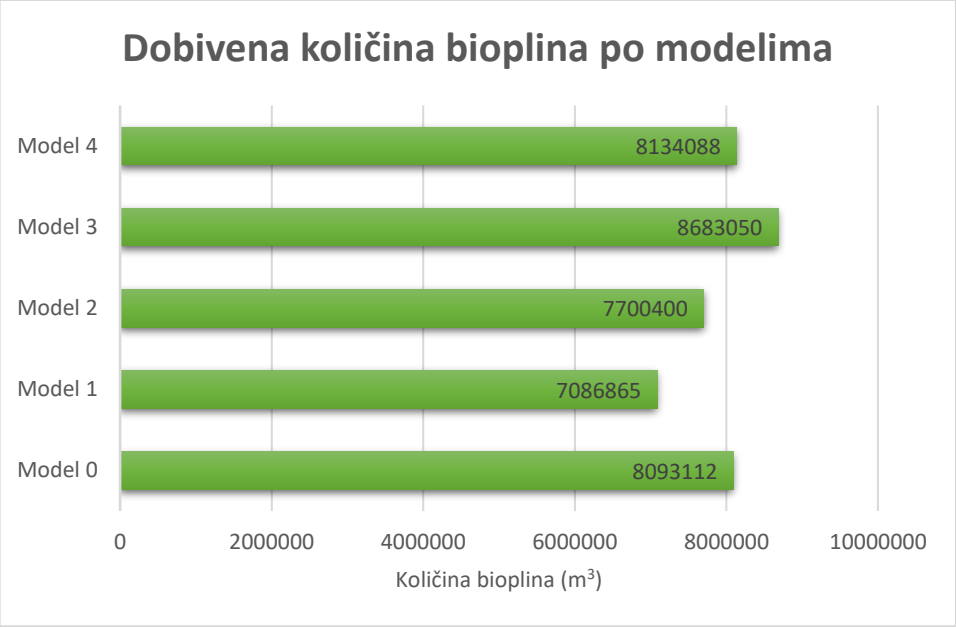
Vrsta supstrata	Količina supstrata godišnje (t)	Udio (%)	Proizvodnja bioplina (m^3/t)	Dobivena količina bioplina (m^3)
Krumpir	1775	2%	156,4	277610
Pileći stajnjak	1775	2%	126	223650
Biorazgradivi otapad	8000	10%	101,5	812000
UKUPNO	76325	100%	-	8134088

Ako usporedimo Model 4 sa početnim stanjem vidljivo je da postoji povećanje u ukupno proizvedenoj količini bioplina od 40976 m^3 što je oko 0,5 % više od trenutne proizvodnje.

7.3.6. Rasprava

Iz podataka možemo zaključiti da je trenutni način rada postrojenja moguće poboljšati. Korištenjem alternativnih supstrata kao što su sudanska trava i biorazgradivi otpad možemo nadomjestiti sadašnje supstrate u određenim omjerima. Zamjenom tih supstrata dobiveni su različiti podaci o količinama bioplina koji su prikazani u Graf 4.

Graf 4. Prikaz dobivenih količina bioplina po modelima



Kod Modela 3 i 4 vidljivo je povećanje proizvodnje bioplina na temelju zamjene supstrata ili zamjene omjera navedenih supstrata. Modela 3 ima vidljivo najveću dobivenu količina

bioplina od gotovo 8,7 mil. m^3 što je za oko 600000 m^3 ili 7 % više u odnosu na trenutno stanje ili Model 0. Korištenjem takvog omjera supstrata znatno bi se povećala proizvodnja električne i toplinske energije koja je direktno povezana s količinom bioplina.

Prema početnom stanju odnosno Modelu 0 vidljivo je da za godišnju proizvodnju potrebno 28400 t kukuruzne silaže. Za proizvodnju te količine kukuruzne silaže je potrebno 552 ha površine, dok istu količinu sudansku travu je moguće dobiti s 346 ha poljoprivredne površine što je 37% manja površina zemljišta. (Tablica 16.).

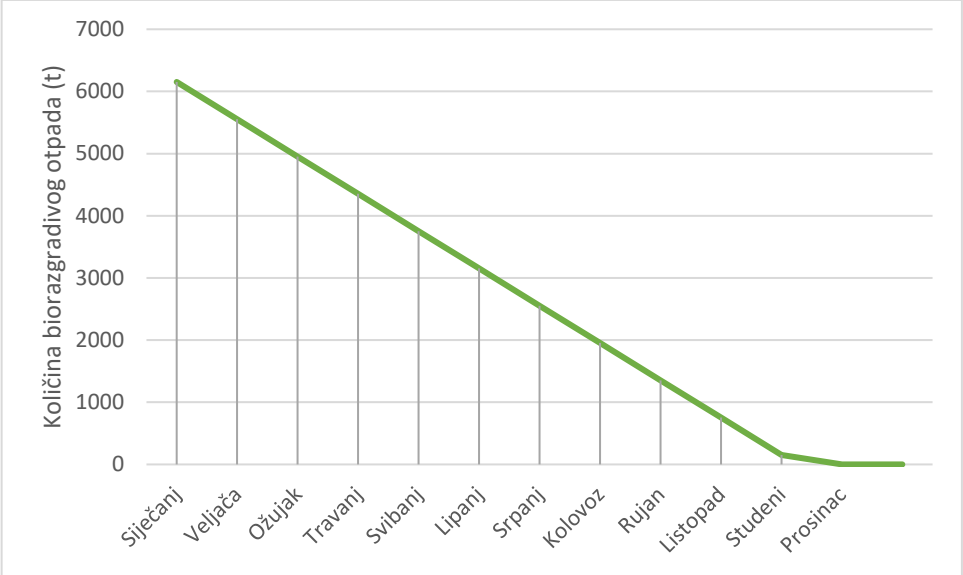
Tablica 16. Prikaz potrebne površine za sadnju godišnje količine supstrata

Vrsta supstrata	Količina biomase (t/ha)	Količina supstrata godišnje (t)	Površina potreban za proizvodnju (ha)
Kukuruzna silaža	51,42	28400	552
Sudanska trava	82		346

Prema tome sudanska trava iako ima manju proizvodnu vrijednost bioplina po toni daje veće prinose po hektaru što ostavlja mjesta za proizvodnju dodatnih energetskih usjeva ili za proizvodnju hrane.

Također korištenjem Modela 3 i 4 rješava se i važan problem s gospodarenjem biorazgradivog otpada a ujedno se i povećava količina proizvedenog bioplina a time i energije. Na temelju podataka u Koprivničko-križevačkoj županiji se godišnje može izdvojiti 6152,22 t biorazgradivog otpada (Tablica 10), kojeg je moguće energetski iskoristiti u bioplinskom postrojenju. Korištenjem Modela 3 i 4 energetski bi se oporabila sva biorazgradiva komponenta miješanog komunalnog otpada. Time bi se zbrinuo veliki dio otpada u županiji (Graf 5).

Graf 5. Prikaz smanjenja biorazgradivog otpada u Koprivničko-križevačkoj županiji korištenjem Modela 3 ili 4



8. PRIMJENA I IMPLEMENTACIJA NAVEDENIH SUSTAVA U BIOPLINSKOM POSTROJENJU BIOPLINARA ORGANICA KALNIK 1 d.o.o.

Tvrtka Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. prema razvojnom i investicijskom planu želi pridonijeti očuvanju prirode te omogućiti svima bolju budućnost te investirati u obnovljive izvore energije. U samom procesu proizvodnje električne energije dolazi do stvaranja znatne količine toplinske energije koja se može iskoristiti a ona se trenutno ne iskorištava. Zajamčena otkupna cijena za „zelenu“ električnu energiju, čije se tržište najbrže razvilo, usmjerila je korištenje bioplina samo za proizvodnju struje dok se korištenje topline zanemarivalo. Stoga je glavni izazov održivo korištenje toplinske energije, koja se može koristiti izravno za grijanje, ali i za dodatnu proizvodnju električne energije, za hlađenje ili za sušenje. Korištenje otpadne topline iz kogeneracijskih jedinica bitno doprinosi ekonomski uspješnom pogonu bioplinskih postrojenja i smanjenju njihovog utjecaja na okoliš. Naravno, investiranje u korištenje toplinske energije predstavlja dodatno opterećenje investiciji u kogeneraciju na bioplin.

Upravo iz navedenih razloga, planira se izgradnja staklenika kao najoptimalnijeg izbora pokraj bioplinskog postrojenja veličine 1,5 ha. Staklenici trebaju puno energije za stvaranje optimalnih uvjeta za uzgoj poljoprivrednih kultura. Troškovi grijanja obično su među najvišim poslovnim troškovima staklenika. Često su potrebne temperature od 20-25°C, čak i u hladnom dijelu godine. Stoga otpadna toplina iz postrojenja za proizvodnju i korištenje bioplina bit će povoljan izvor toplinske energije za staklenike. Na ovaj način, plasmanom viška proizvedene toplinske energije ostvarit će se dodatni prihodi za bioplinaru te povećati sveukupna učinkovitost postrojenja.

9. ZAKLJUČAK

Korištenje obnovljivih izvora energije dovodi do smanjenja proizvodnje stakleničkih plinova i omogućuje adekvatniji način zbrinjavanja biorazgradivog otpada. Jedan od najefikasniji načina zbrinjavanja organskog otpada je proces anaerobne digestije čija dva produkta imaju veliku uporabnu vrijednost. Prvi produkt anaerobne digestije je bioplin, koji se izgaranjem može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije. Njegovim korištenjem eliminira se potreba za proizvodnjom električne energije iz drugih, primarno fosilnih izvora. Drugi produkt anaerobne digestije je digestat koji ostaje nakon procesa digestije i ima izvrsna nutritivna svojstva što ga čini idealnom zamjenom za umjetna ili prirodna gnojiva. Njegovom upotrebom smanjuje se emisija metana iz prirodnih gnojiva, ali i potrošnja energije i s njom povezana emisija stakleničkih plinova za proizvodnju umjetnih gnojiva što je u skladu s inženjerstvom okoliša. Treći produkt anaerobne digestije je toplinska energija koja u većini bioplinskih postrojenja ostaje nedovoljno iskorištena. Toplinsku energiju iz bioplinskog postrojenja moguće je koristiti za: zagrijavanje objekata za držanje životinja pretežno zimi, izgradnju akvaponija, daljinskog grijanja, izgradnju staklenika, izgradnju postrojenja za sušenje biomase te korištenje inovativnog transporta toplinske energije u kontejnerima.

Izgradnja bioplinskih postrojenja je multidisciplinarno pitanje jer povezuje više struka i nemoguće je odrediti koja struka ima vodeću ulogu ali područje inženjerstva okoliša ima vrlo važan segment.

Potencijali bioplinskog postrojenja Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. su još u velikoj mjeri u velikoj mjeri neiskorišteni s obzirom da se toplinska energija iz kogeneracijskog postrojenja ne iskorištava dovoljno. Postrojenje koristi najuobičajeniji koncept korištenja toplinske energije korištenjem za vlastite potrebe.

Temeljem modeliranja možemo zaključiti da zamjenom pojedinih supstrata ili njihovim korištenjem u različitim udjelima sudanska trava i biorazgradivi otpad imaju dobru perspektivu. Korištenjem sudanske trave kao zamjene za kukuruznu silažu smanjuje se potrebna površina zemljišta za proizvodnju iste količine supstrata. Korištenjem biorazgradivog otpada izdvojenog iz miješanog komunalnog otpada kao supstrata jedan je od načina kako riješiti dio problema gospodarenja otpadom a ujedno i energetski iskoristiti isti.

10. LITERATURA:

[1] T. Krička, N. Voća, Ž. Jukić, V. Janušić i A. Matin, »Iskustva u proizvodnji i iskorištavanju obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji,« *Krmiva,* svez. 1, br. 48, pp. 49-54, 2006.

[2] Zakon o energiji. Narodne novine. 2015. Broj 102. [25.9.2015.]

[3] Strategija energetskog razvoja. Narodne novine. 2009. Broj 130 [30.10.2009.]

[4] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. Narodne novine. 2015. Broj 100 [18.9.2015.]

[5] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Narodne novine. 2013. Broj 133 [6.11.2013.]

[6] T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk i R. Janssen, »Bioplin priručnik,« 2008.

[7] T. Krička, N. Voća i V. Jurišić, »Pojmovnik bioplina-priručnik,« Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, Zagreb, 2009.

[8] O. S. Joshua, G. J. Ejura, I. C. Bako, I. S. Gbaja i Y. I. Yusuf, »Fundamental Principles of Biogas Produst,« *IJSER,* svez. II, br. 8, pp. 47-50, 2014.

[9] A. Schnurer i A. Jarvis, »Microbiological handbook for biogas plants,« Swedish Waste Management U 2009, 2010.

[10] R. Steffen, O. Szolar i R. Braun, »Feedstocks for Anaerobic Digestion,« Institute of Agrobiotehnology Tulin, University of Agricultural Sciences Vienna, 1998.

[11] D. M. Kirk i F. L., »Feedstocks for Biogas«.

[12] I. E. Europe, »Znate li da bioplin?, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb.

[13] N. Voća, »Proizvodnja bioplina iz poljoprivredne sirovine i otpada,« Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009.

[14] Zakon o održivom gospodarenju otpadom. Narodne novine. 2013. Broj 94 [22.7.2013.]

[15] Plan Gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017-2022. Narodne novine. 2017. Broj 3 [11.1.2017.]

[16] N. Voća, J. Kufrin, B. Ribić, T. Krička, S. Dragičević Kučar i Đ. Požgaj, »Gospodarenje i energetska oporaba biorazgradljivog dijela komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj,« u *49 hrvatski i 9 međunarodni simpozij agronoma*, Dubrovnik, 2014.

[17] D. Rutz, »Održivo korištenje toplinske energije iz bioplinskih postrojenja,« WIP Renewable Energies, Munchen, 2012.

[18] J. E. Rakocy, M. P. Masser i T. M. Losordo, »Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture,« SRAC, 2006.

[19] E. Bioplina, »Razvojni planovi grupacije«.

[20] D. Kantoci, »Povrće u zaštićenom prostoru,« Glasnik Zaštite Bilja, 2009.

[21] U. Drescher i D. Bruggemann, »Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC),« *Applied Thermal Engineering,* svez. 27, br. 1, pp. 223-228, 2007.

[22] P. F. Consultants, »Enhancement and treatment of digestates from anaerobic digestion,« WRAP, 2012.

[23] D. Kralik, A.-M. Elter, S. Kukić, N. Uranjek i R. Spajić, »Sudanska trava - energetska biljka za proizvodnju bioplina,« *Krmiva,* svez. 51, br. 3, pp. 171-178, 2009.

[24] Bin2Grid, »Bin2Grid-Primjeri dobre prakse proizvodnje bioplina i biometana iz otpada,« [Mrežno]. Available: http://powerlab.fsb.hr/bin2grid_hr.html. [Pokušaj pristupa 10 8 2017].

[25] Koprivničko-križevačka županija, »Izvješće o provedbi Plana gospodarenja otpadom Koprivničko-križevačke županije 2008-2015 - Prikaz stanja u 2015. godini,« Koprivničko-križevačka županija, 2016.

[26] T. Domanovac, R. Orašanin i D. Fundurlija, »Sastav komunalnog otpada kontinentalnog i priobalnog dijela RH,« Društvo građevinskih inženjera, Zagreb, 2006.

Popis slika:

Slika 1. Faze anaerobne digestije 6
Slika 2. Prinos metana po pojedinom supstratu 7
Slika 3. Relativni prinos bioplina, ovisno o temperaturi i vremenu retencije [6] 9
Slika 4. Proizvedeni i odloženi biorazgradivi komunalni otpad za razdoblje od 1997. do 2015. u odnosu na propisane količine 17
Slika 5. Lokacija Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. 19
Slika 6. Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. 19
Slika 7. Shema procesa proizvodnje električne i toplinske energije 20
Slika 8. Sirovina za proizvodnju bioplina na bioplinskom postrojenju 20
Slika 9. Mogućnosti korištenja toplinske energije iz bioplina 26
Slika 10. Funkcioniranje akvaponskog sustava 28
Slika 11. Shematski prikaz postrojenja za higijenizaciju biorazgradivog otpada 35
Slika 12. Odnos proizvodnih površina i proizvodnih rezultata [23] 40
Slika 13. Sastav i udjeli (%) komponenata u miješanom komunalnom otpadu 42

Popis tablica:

Tablica 1. Tarifne stavke i visine tarifnih stavki za isporučenu električnu energiju. 3
Tablica 2. Temperatura i duljina trajanja procesa 9
Tablica 3. Sastav bioplina 12
Tablica 4. Prikaz glavnih supstrata i njihov prosječni prinos bioplina u travnju 2017. godine 21
Tablica 5. Prikaz supstrata za proizvodnju bioplina po danima 22
Tablica 6. Prikaz količina digestata, bioplina, električne i toplinske energije dobivene iz dnevne količine supstrata 22
Tablica 7. Proizvodnja bioplina i električne nergije po supstratima 23
Tablica 8. Tehnički podaci o prosječnoj godišnjoj proizvodnji Bioplinare Organike Kalnik 1 d.o.o. 24
Tablica 9. Prinos bioplina po ha i po t u ovisnosti s prinosom biomase 41
Tablica 10. Podaci o količinama sakupljenog otpada na području Koprivničko – križevačke županije [25] 41

Tablica 11. Model 0 - prikaz trenutnog stanja u proizvodnji bioplina 44
Tablica 12. Model 1 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata 44
Tablica 13. Model 2 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata 45
Tablica 14. Model 3 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata 46
Tablica 15. Model 4 – prikaz dobivenih rezultata izmjenom pojedinih supstrata 46
Tablica 16. Prikaz potrebne površine za sadnju godišnje količine supstrata 48

Popis grafova:

Graf 1. Prikaz prosjeka ulazne sirovine Bioplinskog postrojenja Bioplinara Organica Kalnik 1 d.o.o. za 4 mj. 2017. g 21
Graf 2. Grafički prikaz proizvedene količine bioplina, digestata te isporučene električne i dobivene toplinske energije 23
Graf 3. Prikaz odnosa supstrata u odnosu na proizvodnju bioplina i električne energije 24
Graf 4. Prikaz dobivenih količina bioplina po modelima..... 47
Graf 5. Prikaz smanjenja biorazgradivog otpada u Koprivničko-križevačkoj županiji korištenjem Modela 3 ili 4..... 49

Popis i objašnjenje kratica korištenih u tekstu:

AD – anaerobna digestija

NRT – najbolje raspoložive tehnologije

OIE – obnovljivi izvori energije

HMK – hlapljive masne kiseline

ORC – organski Rankinov ciklus

Mtoe – milijuna tona ekvivalenata nafte