

# Održavanja komponenata bioplinskog postrojenja

---

Krajcar, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:511149>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Matej Krajcar

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer: Mehanizacija

**Održavanje komponenata bioplinskog postrojenja**

Završni rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI U OSIJEKU

Matej Krajcar

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer: Mehanizacija

**Održavanje komponenata bioplinskog postrojenja**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Doc. dr. sc. Đurđica Kovačić, mentor
2. Prof. dr. sc. Tomislav Jurić, član
3. Doc. dr. sc. Željko Barač, član

Osijek 2022.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski stručni studij Mehanizacija

Završni rad

Matej Krajcar

### Održavanje komponenata bioplinskog postrojenja

#### Sažetak:

U ovome završnom radu prikazani su procesni koraci i faze pri proizvodnji bioplina. Također su prikazani i objekti i oprema koji su analizirani te je navedeno kako se oni održavaju. Proces proizvodnje bioplina je zatvoren ciklus hranjivih tvari, a odvija se u bioplinskom postrojenju procesom anaerobne digestije. Bioplin je moguće koristiti kao izvor električne energije ili topline, te kao gorivo za motore s unutarnjim izgaranjem. Kako bi cijeli sustav optimalno funkcionirao, neophodno je uz uobičajene fizikalno-kemijske analize supstrata vršiti i dnevna, tjedna, mjesečna i godišnja održavanja i preglede opreme i objekata. U slučaju nepredviđenih kvarova i odstupanja poduzimaju se potrebne operacije za otklanjanje kvarova. Održavanje istraživanog postrojenja obavlja se dnevno pregledom i popisivanjem parametara i planski najčešće jednom godišnje.

Ključne riječi: Bioplin, anaerobna digestija, bioplinsko postrojenje, održavanje postrojenja

30 stranica, 8 slika, 7 tablica,

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
Undergraduate university study Mechanization

Finalwork

Matej Krajcar

### Maintenance of the components of a biogas plant

In this final paper, the process steps and phases in the production of biogas are presented. The buildings and equipment that were analyzed in this work, and how they are maintained are also shown. The biogas production process is a closed cycle of nutrients, and it takes place in the biogas plant through the process of anaerobic digestion. Biogas can be used as a source of electricity or heat, and as fuel for internal combustion engines. In order for the entire system to function optimally, it is necessary to carry out daily, weekly, monthly and annual maintenance and inspections of equipment and facilities in addition to the usual physical and chemical analyzes of the substrate. In case of unforeseen failures and deviations, the necessary operations are undertaken to eliminate the failures. The maintenance of the analyzed facility is performed daily by inspecting and listing the parameters and usually once a year.

Key words: biogas, anaerobic digestion, biogas plant, plant maintenance

30 pages, 7 tables, 8 pictures

Final work is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Biomasa .....	2
1.2. Bioplin .....	2
1.3. Održavanje .....	3
2. ANAEROBNA DIGESTIJA .....	5
2.1. Supstrati anaerobne digestije .....	7
2.2. Tehnički parametri .....	9
2.2.1. Temperatura .....	9
2.2.2. pH .....	10
2.2.3. Miješanje supstrata .....	11
2.3. Procesni koraci u tehnologiji proizvodnje bioplina .....	12
3. OSNOVNI DIJELOVI BIOPLINSKOG POSTROJENJA .....	14
3.1. Prikvatna jedinica .....	15
3.2. Skladište supstrata .....	15
3.3. Sustav punjenja .....	17
3.4. Armatura i cjevovodi .....	17
3.5. Sustav grijanja .....	18
3.6. Digestor .....	18
3.7. Strojevi za miješanje sirovina u digestoru .....	19
3.8. Skladište bioplina .....	20
3.9. Skladište digestata .....	20
4. MATERIJAL I METODE .....	21
4.1. Bioplinsko postrojenje .....	21
4.2. Proces proizvodnje bioplina .....	21
4.3. Objekti i oprema na postrojenju .....	22
5. REZULTATI I RASPRAVA .....	26

5.1. Održavanje objekata i opreme .....	26
6. Zaključak.....	28
7. Literatura .....	29

## 1. UVOD

Ostaci i otpad iz poljoprivredne proizvodnje, šumarskih i srodnih industrija, koji je biorazgradiv nazivamo biomasa. Gorivo odnosno izvori energije proizvedeni iz biomase mogu biti u različitim agregatnim stanjima: čvrstom (ogrjevno drvo, peleti i briketi), tekućem (biodizel i bioetanol) ili plinovitom (bioplin). U ovom radu obrađena je energija iz biomase koja je u plinovitom stanju, a nazivamo je bioplin. Bioplin je mješavina plinova koja nastaje procesom pretvorbe organskog materijala kao što je biorazgradivi otpad, gnojivo, komunalni otpad i drugo, pri anaerobnim uvjetima.

Sastav bioplina je u značajnoj mjeri određen sastavom supstrata, procesnim parametrima te drugim preduvjetima bioplinskog postrojenja. Bioplin je moguće koristiti kao izvor električne energije ili topline, te kao gorivo za motore s unutarnjim izgaranjem. Proces proizvodnje bioplina je zatvoren ciklus hranjivih tvari, a odvija se u bioplinskom postrojenju procesom anaerobne digestije (u daljnjem tekstu AD). Većina bioplinskih postrojenja ima digester kontinuiranog tipa koji radi na principu kodigestije. Kako bi cijeli sustav optimalno funkcionirao, neophodno je uz uobičajene fizikalno-kemijske analize supstrata vršiti i dnevna, tjedna, mjesečna i godišnja održavanja i preglede opreme i objekata. U slučaju nepredviđenih kvarova i odstupanja poduzimaju se potrebne operacije za otklanjanje kvarova. Održavanja svih ostalih objekata i opreme obavljaju se u propisanim vremenskim intervalima, a takvo održavanje naziva se plansko održavanje.

U ovom radu analizirano je bioplinsko postrojenje koje se sastoji od: prihvatne stanice, skladišta supstrata, sustava za punjenje, armatura i cjevovoda, sustava za grijanje, digestora, sustava za miješanje, skladišta bioplina i skladišta digestata.

Cilj ovog završnog rada je prikazati osnovne komponente bioplinskog postrojenja i princip njegovog rada te na primjeru jednog bioplinskog postrojenja prikazati na koji način i koliko često se provode potrebne operacije za otklanjanje kvarova i zamjene dotrajalih dijelova.

## 1.1. Biomasa

Biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka poljoprivredne proizvodnje (materijala biljnog i životinjskog porijekla), šumarskih i srodnih industrija. Energija iz biomase može biti u čvrstom (npr. peleti, ogrjevno drvo), tekućem (npr. biodizel, bioetanol, biometanol) i plinovitom stanju (npr. bioplin, plin iz rasplinjavanja biomase i deponijski plin) (Osman, 2015.). Isti autor navodi kako na svjetskoj razini biomasa predstavlja jedan od značajnijih energetske izvora s udjelom od 10 % pri čemu je taj postotak u industrijski razvijenim zemljama niži od 5 %, a u zemljama u razvoju znatno viši, oko 35 %. Zastupljenost biomase u ukupnoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj je manji od 4 % i odnosi se uglavnom na ogrjevno drvo. Kao izvor energije biomasa se može koristiti ili direktno uz sagorijevanje za proizvodnju topline ili nakon prerade u druge oblike biogoriva, tj. posredno. Bioplin također nastaje i u lagunama za stočnu gnojnicu gdje problem često predstavlja niska koncentracija suhe tvari u sastavu gnojnice koja je često i ispod 5 % u odnosu na udio vode. Proces nastanka bioplina moguće je ubrzati zagrijavanjem gnojnice, ali zagrijavanjem se smanjuje količina dobivenog metana (CH<sub>4</sub>) (Poveznica 1). Biomasa je jedna od faza ugljikova ciklusa a preradom postupkom AD ne postaje otpadom (Matić, 2021.).

## 1.2. Bioplin

Bioplin je mješavina plinova nastala procesom pretvorbe organskog materijala poput biorazgradivog otpada, gnojiva, komunalnog otpada i sl. pri anaerobnim uvjetima (Poveznica 2). Bioplin prosječno sadrži 55 – 80 % CH<sub>4</sub>, 20 – 40 % ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), te ostale spojeve i elemente u tragovima kao npr. sumporovodik (H<sub>2</sub>S), amonijak (NH<sub>3</sub>), vodenu paru i ostale primjese (Brdarić i sur., 2009., prema Nadarević, 2021.). Prosječan kemijski sastav bioplina prikazan je u Tablici 1. Sastav bioplina je u velikoj mjeri određen sastavom supstrata, tijekom fermentacijske reakcije, procesnim parametrima i različitim tehničkim preduvjetima bioplinskog postrojenja. Proizvedeni bioplin može se koristiti kao izvor električne energije i topline, ali i kao gorivo za motore sa unutarnjim izgaranjem. Cijeli proces proizvodnje bioplina od proizvodnje supstrata, pa sve do korištenja digestata kao gnojiva čini zatvoreni ciklus hranjivih tvari u kojemu se ugljikovi spojevi reduciraju u postupku digestije. CH<sub>4</sub> se koristi kao gorivo, a CO<sub>2</sub> dospijeva u atmosferu te ga biljke u procesu fotosinteze ponovo uklanjaju iz zraka (Al Seadi i sur., 2009.).



Tablica 1. Prosječni kemijski sastav bioplina

Spoj	Kemijski simbol	Udio (Vol., %)
Metan	CH <sub>4</sub>	50 – 75
Ugljikov dioksid	CO <sub>2</sub>	20 – 40
Vodena para	H <sub>2</sub> O	2 (20 °C) – 7(40 °C)
Kisik	O <sub>2</sub>	<2
Dušik	N <sub>2</sub>	<2
Amonijak	NH <sub>3</sub>	<1
Vodik	H <sub>2</sub>	<1
Sumporovodik	H <sub>2</sub> S	<1

(Izvor: Al Seadi i sur., 2009.).

### 1.3. Održavanje

Servisno preventivno održavanje je skup radnih operacija koje su unaprijed propisane i obavljaju se u točno određeno vrijeme. Provodi se na tehnički ispravnim strojevima tijekom uporabe i dalje za cjelokupno vrijeme trajanja stroja (Emert i sur., 1995.) Servisno preventivno održavanje je važan čimbenik poljoprivredne proizvodnje gdje primjena visokosofisticiranih strojeva zahtijeva pravilno održavanje i uporabu (Jurić i sur. 2001.).

Održavanje bioplinskog postrojenja podrazumijeva obavljanje manjih popravaka na opremi i uređajima, mijenjanje ulja po potrebi, uklanjanje ostataka organske tvari istaložene na dnu spremnika, rješavanje problema tijekom procesa digestije i mnoge druge radnje.

Redovito održavanje bioplinskog postrojenja donosi brojne prednosti:

- sprječavanje kvarova tijekom procesa
- produljenje životnog vijeka opreme
- prevencija nesreća i sigurnije okruženje postrojenja
- optimizacija rada postrojenja i procesa proizvodnje bioplina.

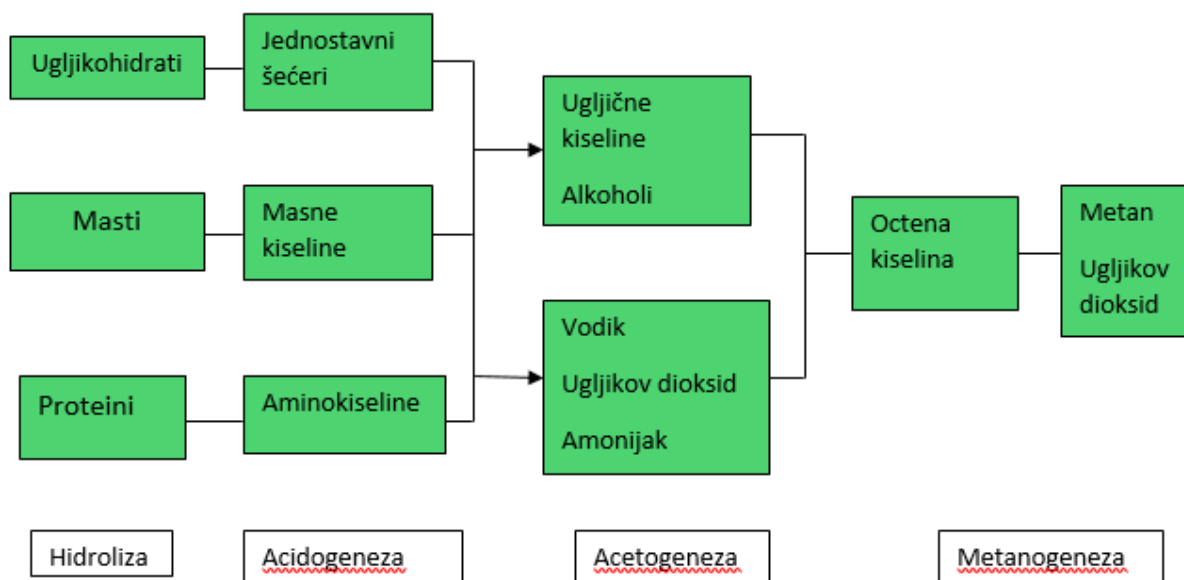
Općenito, preporučuje se:

- poštivati intervale održavanja za jamstvo na dijelove opreme
- instalirati mjernu opremu za prepoznavanje problema

- držati nekoliko rezervnih dijelova, posebno onih koji su od neophodni za rad postrojenja ili onih koji imaju dugi rok isporuke
- pronaći/osigurati dobavljača ili servisera dostupnog u tom području za složenije ili hitne popravke (Biogasworld, 2022).

## 2. ANAEROBNA DIGESTIJA

AD je složeni biokemijski proces u kojem se organski spojevi uz pomoć bakterija razgrađuju na jednostavnije spojeve u anaerobnim uvjetima (bez prisustva kisika), pri čemu kao produkt razlaganja nastaju bioplin i digestat. AD je prirodni proces koji se svakodnevno događa u prirodi npr. u morskom sedimentu, u probavi preživača itd. (Al Seadi i sur., 2009.). AD se odvija u nekoliko faza, a svaka uključuje različite skupine bakterija. Sirovina se svakom fazom u procesu razlaže na jednostavnije spojeve pri čemu kao konačni produkt nastaje bioplin. Brzina ukupnog procesa razgradnje je jednaka najsporijoj reakciji u nizu (Matić, 2021.). Digestat je ostatak supstrata (nerazgrađene organske molekule i mineralni materijal) preostao nakon proizvodnje bioplina, a budući da je bogat hranjivim tvarima, predstavlja vrlo kvalitetno organsko gnojivo s povećanom dostupnosti nutrijenata za biljke u usporedbi sa mineralnim gnojivima. Kada se za AD koristi homogena smjesa dvaju ili više različitih supstrata kao npr. gnojnica i ostatci iz prehrambene industrije postupak se naziva kodigestija. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina (Al Seadi i sur., 2009.). Proces AD provodi se u posebno konstruiranim digesterima. Slika 1 shematski prikazuje faze razgradnje organske tvari na jednostavnije spojeve.



Slika 1. Osnovne faze u procesu nastanka bioplina

(Adaptirano prema: Al Seadi i sur., 2009.)

AD se sastoji od četiri osnovne faze:

1. Hidroliza – je prva faza AD tijekom koje se organska tvar (složene organske molekule - polimeri) razlaže na manje jedinice, monomere i oligomere, odnosno polimeri poput ugljikohidrata, lipida, i bjelančevina, transformiraju se u glukozu, glicerol, aminokiseline, purine, piridine, masne kiseline i sl. Opisani lančani procesi odvijaju se istodobno unutar digestora. Hidrolitičke bakterije luče hidrolitičke enzime i transformiraju biopolimere u jednostavne i topljive spojeve (Al Seadi i sur., 2009.).
2. Acidogeneza – U ovoj fazi proizvodi hidrolize se uz pomoć acidogenih bakterija transformiraju u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, CO<sub>2</sub> i vodik (70 %), te na hlapljive masne kiseline (HMK) i alkohole (30 %) (Al Seadi i sur., 2009.).
3. Acetogeneza - Tijekom acetogeneze se proizvodi fermentacije koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u CH<sub>4</sub> pretvaraju u metanogene spojeve. HMK 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, a smatra se otpadnim proizvodom acetogeneze jer inhibira metabolizam acetogenih bakterija. Tijekom metanogeneze vodik se transformira u CH<sub>4</sub>. Proces acetogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno kao simbiotsko djelovanje dvije grupe organizama (Al Seadi i sur., 2009.). Sposobnost acetogenih bakterija da proizvode vodik zahtijeva nizak parcijalni tlak okoline. Prema tome, nagle promjene uvjeta mogu izazvati naglo povećanje količine vodika koje nadilazi sposobnost metanogenih bakterija da ga uklone. Zbog rasta parcijalnog tlaka vodika dolazi do promjene u metaboličkom djelovanju acetogenih bakterija koje u takvim uvjetima umjesto acetata proizvode butirate, propionate, valerate, kaproate odnosno soli masnih kiselina. Količina proizvedenog vodika opada, no metanogeni ne mogu upotrebljavati nastale tvari.
4. Metanogeneza - Proizvodnja CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub> potaknuta je aktivnošću metanogenih bakterija. Iz acetata nastaje 70 % CH<sub>4</sub>, dok ostalih 30 % nastaje pretvorbom iz vodika i CO<sub>2</sub>. Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer

predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Uspješnost metanogeneze ovisi o nizu čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura u digestoru i pH-vrijednost supstrata (Al Seadi i sur., 2009.). Metanogeneza je vrlo osjetljiva faza fermentacije. Pogrešno doziranje digestora, varijacije u temperaturi ili prodor kisika mogu potpuno zaustaviti proizvodnju CH<sub>4</sub> (Rohlik, 2016.).

## 2.1. Supstrati anaerobne digestije

Prilikom proizvodnje bioplina te izbora supstrata mora se voditi računa o dostupnosti istoga tijekom cijele godine, mogućnosti za anaerobnu obradu te mogućnosti pravilnog skladištenja (Kovačić, 2017.). Za proizvodnju bioplina koriste se različite vrste supstrata koji su organskog porijekla.

Najčešće se koriste sljedeće kategorije supstrata:

- stajski gnoj i gnojnica
- ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje
- razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije (ostaci biljnog i životinjskog porijekla)
- organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva (ostaci biljnog i životinjskog porijekla)
- otpadni muljevi
- energetske usjevi (kukuruz, sirak, različite vrste trava, djetelina i dr.) (Al Seadi i sur., 2009.).

Tablica 2 sadrži popis materijala pogodnih za korištenje pri proizvodnji bioplina.

Tablica 2. Organski otpad pogodan za proizvodnju bioplina

Šifra otpada	Opis otpada	
02 00 00	Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanja i prerade	Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, šumarstva, lovstva i ribarstva
		Otpad od pripreme i prerade mesa, ribe i ostalih namirnica životinjskog

		porijekla
		Otpad od pripreme i prerade voća, povrća, žitarica, jestivih ulja, kaka, čaja i duhana; otpad od konzerviranja, proizvodnje i ekstrakcije kvasca, pripreme melase i ostaci fermentiranja
		Otpad iz proizvodnje šećera
		Otpad iz mliječne industrije
		Otpad iz pekarske i slastičarske industrije
		Otpad iz proizvodnje alkoholnih i bezalkoholnih pića (osim kave, čaja i kaka)
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona	Otpad iz obrade drva i proizvodnje panela, furnira i namještaja
		Otpad iz prerade celuloze i proizvodnje papira i kartona
04 00 00	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije	Otpad iz industrijske prerade kože i krzna
		Otpad iz tekstilne industrije
15 00 00	Ambalaža; apsorbenzi, materijali za brisanje i upijanje, filtarski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način	Ambalažni otpad (uključujući odvojeno prikupljeni ambalažni komunalni otpad)
19 00 00	Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu	Ostatak nakon anaerobnog tretmana otpada
		Otpad iz procesa obrade otpadnih voda koji nije drugačije specificiran
		Otpad od pripreme vode za opskrbu građana i pripreme industrijske vode
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz kućanstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije	Otpad iz različitih frakcija osim (15 01)
		Otpad iz vrtova i gradskih parkova (uključujući i otpad s groblja)
		Ostali komunalni otpad

(Izvor: Al Seadi i sur., 2009.)

## 2.2. Tehnički parametri

Za uspješnu AD važno je osigurati optimalne uvjete za rast i razvoj anaerobnih mikroorganizama u digestoru pri čemu ključnu ulogu igra više procesnih parametara. Na rast, razvoj i aktivnost mikroorganizama snažno utječe nedostatak kisika, temperatura, pH vrijednost, opskrbljenost hranjivima, intenzitet miješanja kao i prisutnost inhibitora. Zbog metanogenih bakterija koji su strogi anaerobi potrebno je spriječiti svaki dotok kisika u digestor (Al Seadi i sur., 2009.).

### 2.2.1. Temperatura

Temperatura pri kojoj se odvija proces anaerobne razgradnje jedan je od osnovnih parametara, stoga se procesi anaerobne razgradnje najčešće dijele prema temperaturi u anaerobnom digestoru. U Tablici 3 vidljivo je da procesne temperature određuju duljinu trajanja procesa.

Tablica 3. Temperaturni uvjeti u anaerobnom digestoru

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa u danima
Psihrofilno	<20°C	70 do 80
Mezofilno	30 do 42°C	30 do 40
Termofilno	43 do 55 °C	15 do 20

(izvor: Al Seadi i sur., 2009.)

Temperatura procesa anaerobne razgradnje utječe na aktivnost metanogenih bakterija koje prestaju biti aktivne na temperaturi ispod +3 °C, stoga je stabilnost temperature ključna za proces AD. Radna temperatura se odabire prema vrsti supstrata koji se koristi, a potrebna temperatura se postiže putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora (Rohlik, 2016.). Uvriježeno je mišljenje da mezofilni uvjeti znače stabilniji biološki proces AD, a termofilni brži i produktivniji, ali manje stabilan. No, iz tvrtke Zorg biogas sa iskustvom od više od 15 godina u tehnologiji bioplina, tvrde da ne postoji jasna razlika između temperaturnih zona jer se bakterije prilagođavaju temperaturama od 40 – 50 °C. Osim toga navode kako ne postoji ni razlika u prinosu CH<sub>4</sub> niti razlika u stabilnosti procesa u ovisnosti o temperaturi između ova dva temperaturna uvjeta (Poveznica 3).

U Tablici 4 su prikazani prednosti i nedostaci termofilne temperature u procesu proizvodnje bioplina.

Tablica 4. Prednosti termofilnih uvjeta u procesu proizvodnje bioplina u odnosu na psihrofilne i mezofilne uvjete

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Učinkovito uništenje patogena</li> <li>• Viši stupanj razvoja ili nastanka metanogenih bakterija</li> <li>• Kraće vrijeme digestije (brži i učinkovitiji proces)</li> <li>• Poboljšana razgradnja i iskoristivost hranjivih tvari iz supstrata</li> <li>• Bolja razgradnja suhe tvari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veći stupanj neravnoteže</li> <li>• Veća potrošnja energije radi postizanja veće temperature zagrijavanja</li> <li>• Veći rizik od inhibicije amonijaka (stvaranje amonijaka)</li> </ul>

(izvor: Rohlik, 2016.)

Održavanje konstantne temperature cjelokupnog procesa je jedan od najvažnijih uvjeta za stabilan rad i visoki prinos bioplina. Temperaturne promjene moraju se držati na minimumu bez obzira radi li se o promjenama radi godišnjeg doba i vremenskih uvjeta ili o lokalnim promjenama u različitim područjima digestora. Velike temperaturne promjene mogu dovesti do neravnoteže procesa AD, a u najgorem slučaju i do potpune inhibicije cijelog procesa. Najčešći razlozi temperaturnih promjena jesu: dodavanje nove sirovine, nedovoljna izolacija digestora, neprimjeren dimenzioniranje sustava grijanja, neučinkovito miješanje, nepravilni smještaj grijaćih elemenata, ekstremne vanjske temperature tijekom ljeta i zime i kvar električnih vodova (Al Seadi i sur., 2009.). Supstrat se može grijati tijekom procesa punjenja (predgrijavanje) preko izmjenjivača topline, ili unutar digestora pomoću grijaćih tijela vruće pare i sličnog. Kako bi se izbjegla promjena temperature unutar digestora poželjno je prethodno zagrijati sirovinu prije ili tijekom unosa u digestor (Al Seadi i sur., 2009.).

### 2.2.2. pH

pH vrijednost supstrata značajno utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama. Nastanak CH<sub>4</sub> odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti (5,5 do 8,5), dok su za



acidogene bakterije češće optimalne niže pH vrijednosti (Omerdić, 2020.). Optimalne pH vrijednosti za mezofilnu digestiju kreću se u rasponu od 6,5 do 8, a do inhibicije procesa dolazi ako pH vrijednost padne ispod 6 ili naraste iznad 8,3. Amonijak koji nastaje razgradnjom bjelančevina iz organske tvari ili se unese u digestor kao sastavna komponenta supstrata, može uzrokovati porast pH vrijednosti, dok akumuliranje HMK u digestoru može utjecati na sniženje pH vrijednost (Al Seadi i sur., 2009.)

### **2.2.3. Miješanje supstrata**

Kako bi se osigurala maksimalna produktivnost metanogenih bakterija, neophodno je osigurati miješanje supstrata unutar digestora. Dodavanje svježeg supstrata u digestor uzrokuje minimalno miješanje supstrata što uzrokuje toplinsku konvekciju i stvaranje mjehurića plina koji se kreću prema površini. Ovakav način miješanja naziva se pasivno miješanje i nije dovoljno za postizanje optimalnih uvjeta procesa. Da bi se ostvario optimalni proces u digestoru neophodno je osigurati mehaničku, hidrauličku ili pneumatsku opremu za miješanje supstrata (Osman, 2015.). Miješanje supstrata sprječava nastajanje plutajuće kore i nastanak sedimenata koji tonu na dno, a moguće ga je provoditi stalno ili u intervalima. Najčešće se miješanje provodi u intervalima te se prilagođava tehničkim karakteristikama pojedinog bioplinskog postrojenja (veličina digestora, kvaliteta supstrata, sklonost stvaranju plutajućih slojeva) (Kovačić, 2017.).

Tehnologije miješanja u bioplinskom reaktoru

#### **a) Mehaničko miješanje**

Mehaničko miješanje supstrata postiže se korištenjem miješalica koje se mogu podijeliti u tri skupine: spore, srednje brze i intenzivno brze miješalice. U vertikalnoj izvedbi digestora često se koriste motorne elisaste miješalice koje se mogu uroniti u supstrat. Takve miješalice su u potpunosti zaronjene u sirovinu i obično imaju dva ili tri propelera. Drugi način mehaničkog miješanja je pomoću aksijalnih miješalica koje najčešće rade kontinuirano, a postavljaju se na držalu instaliranom u središtu stropa digestora. Motor je smješten izvan digestora, a brzina okretanja miješalica je nekoliko okretaja u minuti. Ovakve miješalice stvaraju stalan protok u digestoru koji se kreće od dna prema zidovima digestora i zatim gore prema površini supstrata. Kod horizontalnih digestora najčešće se koriste spore miješalice s lopaticama koje se mogu postaviti i u vertikalnim digestorima.

Lopaticice su učvršćene na osovinu za miješanje koja miješa i gura sirovinu prema naprijed (Osman, 2015.).

b) Hidrauličko miješanje

Kod hidrauličnog miješanja sirovina se vodoravno pritišće pumpama ili dodatnim vertikalno vođenim odušnikom u digestor. Usisavanje i uklanjanje sirovine iz digestora mora omogućiti temeljito miješanje sadržaja koji se nalazi u digestoru. Prednost hidrauličkog sustava za miješanje je u tome što su mehanički dijelovi miješalica smješteni izvan digestora i time se manje troše i lakše održavaju. Hidraulično miješanje je samo ponekad prikladno za razbijanje plutajućih krutih slojeva te se najčešće koristiti za rijetku tekuću sirovinu s malom sklonosti za stvaranje plutajućeg krutog sloja (Al Seadi i sur., 2009.).

c) Pneumatsko miješanje

Pneumatske miješalice rade na principu ispuhivanja bioplina s dna digestora kroz supstrat. Mjehurići plina se podižu i uzrokuju vertikalno kretanje i miješanje sirovine. Ovaj sustav ima prednost u tome što je potrebna oprema (pumpe i kompresori) smještena izvan digestora te se znatno manje troši. Pneumatsko miješanje nije prikladno za uništavanje plutajućih krutih slojeva tako da se koristi samo za rijetku tekuću sirovinu s malom sklonosti prema stvaranju plutajućih krutih slojeva. Sustav pneumatskog miješanja sirovine se rijetko koristi u bioplinskim postrojenjima na poljoprivrednu biomasu (Al Seadi i sur., 2009.).

### 2.3. Procesni koraci u tehnologiji proizvodnje bioplina

Tablica 5 prikazuje procesne korake u proizvodnji bioplina od dostave supstrata na postrojenje i njegovog skladištenja pa sve do kraja procesa proizvodnje bioplina.

Tablica 5. Procesni koraci proizvodnje bioplina

Supstrat	Dostava Skladištenje
Kondicioniranje supstrata	Usitnjavanje Sortiranje Pasteriziranje
Tehnologija digestije	Mokra digestija Suha digestija

Sustav prerade plina	Spaljivanje Desumporizacija Sušenje CO <sub>2</sub> sekvencijacija Skladištenje plina
Korištenje plina	Toplina Kogeneracija (električna i toplinska energija) Predaja u plinsku mrežu Gorive ćelije
Skladištenje i primjena digestata	Skladištenje Primjena/odlaganje

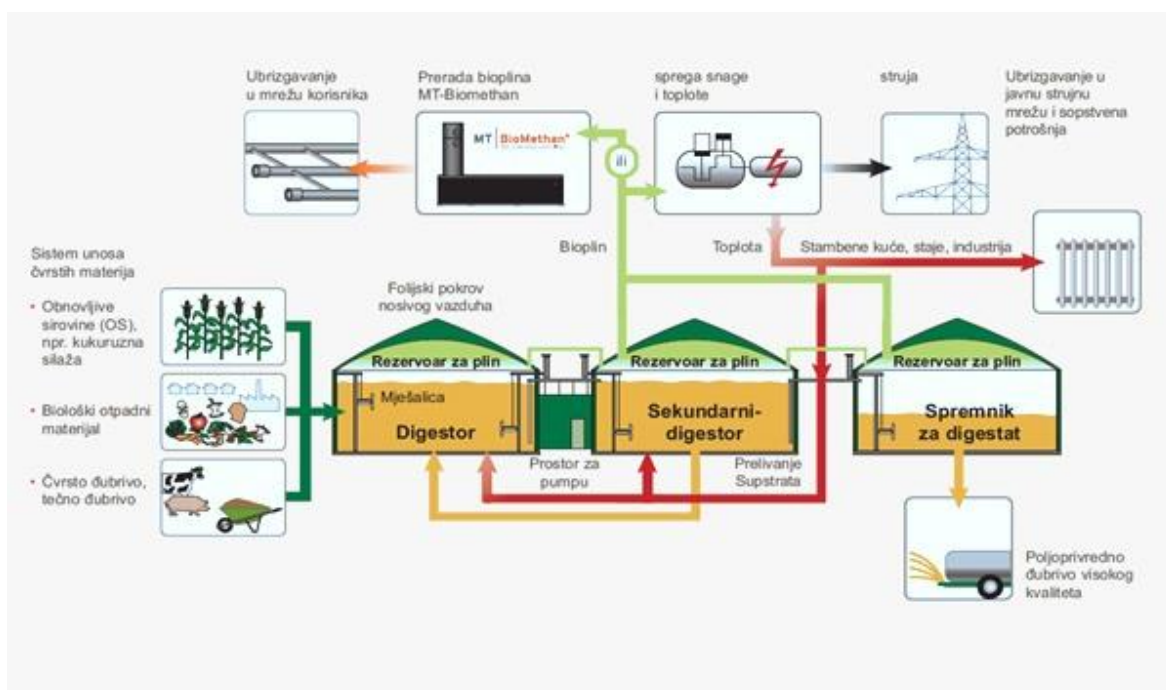
(izvor: Al Seadi i sur., 2009.)

### 3. OSNOVNI DIJELOVI BIOPLINSKOG POSTROJENJA

Osnovni dijelovi bioplinskog postrojenja jesu:

- Prihvatna jedinica
- Skladište supstrata (gnojnica, silaža, biootpad...)
- Sustav punjenja
- Armatura i cjevovodi
- Sustav grijanja
- Digestor
- Sustav miješanja
- Skladište bioplina
- Skladište digestata

Uz osnovne dijelove u bioplinsko postrojenje ubrajaju se i objekti za uzgoj životinja, sustav za unošenje sirovine, poljoprivredne površine i dr. koje se nalaze u blizini i čine jednu zaokruženu cjelinu (Al Seadi i sur., 2009.). Slika 2 prikazuje shemu postrojenja u kojoj je prikazan cijeli proces proizvodnje.



Slika 2. Shema bioplinskog postrojenja

(Izvor: <https://bioen.hr/en/bioplina-proizvodnja-ltd/>)

### **3.1. Prihvatna jedinica**

Za kvalitetnu proizvodnju bioplina važno je osigurati stabilnu i kontinuiranu opskrbu sirovine odgovarajuće kvalitete i u dovoljnoj količini. Vrlo često se kao supstrat za bioplinsko postrojenje koriste sirovine sa poljoprivrednih imanja, iz prehrambeno-prerađivačke industrije i organskog dijela kućnog otpada. Neophodno je konstantno kontroliranje kvalitete pristiglih sirovina te da njihove karakteristike uvijek budu unutar odgovarajućih parametara. Dostavljena sirovina se važe i bilježe se svi podaci o njoj (dostavljač, datum, količina i vrsta dostavljene sirovine, procesi porijekla i kvaliteta) (Al Seadi i sur., 2009.).

### **3.2. Skladište supstrata**

Skladišta se uglavnom mogu klasificirati kao bunker silosi za čvrstu sirovinu (primjerice kukuruzna silaža) i spremnici ili posude za skladištenje (tankovi) za tekuće sirovine (primjerice stajnjak) (Al Seadi i sur., 2009.).

#### **Bunker silos**

Prvotna namjena bunker silosa bila je skladištenje silaže za potrebe stočarstva, a kasnije su se počeli koristiti i za skladištenje supstrata za bioplinska postrojenja. Silaža se dovozi do bunker silosa (Slika 3) gdje se istovara na velike hrpe te se gazi traktorom kako bi se sabila i kako bi izašao zrak. Istiskivanjem zraka smanjuje se mogućnost kvarenja, pa se iz tog razloga i pokriva plastičnim folijama koje se čvrsto pričvršćuju. Biljni materijal (udio vlage 55 – 70 %) podvrgava se procesu fermentacije u kojemu se posredstvom bakterija konzervira u silažu (Poveznica 4).



Slika 3. Bunker silos

(Izvor: <https://aae.wisc.edu/pdmitchell/2020/06/02/determining-the-tons-of-silage-in-bunker-silos-for-cfap/>)

### **Spremnici za tekuću sirovinu**

Gnojnica u tekućem obliku najčešće se skladišti u velikim betonskim spremnicima (lagunama) koji moraju biti nepropusni, te pokriveni zbog sprečavanja emisije plinova. Takvi spremnici obično imaju kapacitet za skladištenje gnojnice na jedan ili dva dana. Laguna može biti i ukopana u zemlju, ali prednost je kada se postavi na razinu višu od digestora pa nema potrebe za pumpanjem sirovine pri čemu se i štedi energija (Al Seadi i sur., 2009.). Na Slici 4 prikazana je nadzemna betonska laguna.



Slika 4. Laguna za tekuću gnojnicu

(Izvor: <http://www.aurora-invest.hr/ponuda/fattori/laguna-za-gnojnicu>)

### **3.3. Sustav punjenja**

Nakon skladištenja sirovina se puni u digestor za AD. Način punjenja ili unošenja ovisi o vrsti supstrata. U supstrat koji se može pumpanjem premjestiti iz spremnika za skladištenje u digestor ubrajaju se gnojovke i gnojnice i veliki broj tekućeg organskog otpada (poput plutajućeg mulja, otpada pri preradi mlijeka i mliječnih proizvoda, ribljeg ulja i dr). Takvi supstrati se pomoću crpki transportiraju iz spremnika za skladištenje u digestor. Odabir prikladnih crpki i tehnologije za punjenje ovisi o karakteristikama supstrata (udio suhe tvari, veličina komada/čestica i stupanj usitnjenosti sirovine). Svi su pokretni dijelovi u crpki jako izloženi trošenju i stoga se moraju pravovremeno mijenjati odnosno moraju se redovno održavati (Osman, 2015.).

Krute sirovine koje se ne mogu pumpati (vlaknasti materijali, trave, silaže, gnojovke s visokim udjelom slame, ostaci iz prerade voća i povrća) transportiraju se iz spremnika do digestora pomoću utovarivača, a pune u digestor pomoću pužnog transportera pri čemu je neophodno prethodno očistiti sirovinu od primjesa i nečistoća (kamenje, pijesak i drugi fizički nepoželjni materijali) i dovoljno usitniti (Osman, 2015).

### **3.4. Armatura i cjevovodi**

Armatura i cjevovodi korišteni za proizvodnju bioplina moraju biti otporni na koroziju i prikladni za protok materijala i produkata koji se koriste i nastaju u proizvodnji bioplina (biomasa, bioplin i digestat). Najčešće korišteni materijali jesu: polivinilklorid (PVC), polietilen visoke gustoće (HDPE), čelik ili nehrđajući čelik. Armature koje se koriste na postrojenjima za proizvodnju bioplina jesu: spojnice, zasuni, plosnati razvodnici, leptirasti ventili, otvori za čišćenje i manometri. Važno je da su armature lako dostupne, jednostavne za održavanje i zaštićene od smrzavanja, a u nekim je slučajevima neophodna i izolacija cijevi. Pravilnim postavljanjem cjevovoda sprječava se povrat supstrata iz digestora u spremnike za skladištenje. Prilikom postavljanja cijevi potrebno je voditi računa da nagib cijevi bude 1 – 2 % kako bi se postiglo njihovo potpuno pražnjenje. Plinovod za odvod bioplina također mora imati određeni nagib i biti opremljen ventilima za ispuštanje kondenzata jer i vrlo male količine kondenzata mogu dovesti do potpune blokade plinskih cijevi uslijed nastanka niskog tlaka u sustavu (Al Seadi i sur., 2009.).

### **3.5. Sustav grijanja**

Niska temperatura okoline može rezultirati usporavanjem procesa AD, ali i njegovim potpunim prestankom kada temperatura padne ispod 0 °C (Chen i sur., 2021.). Tehnologije grijanja digestora temelje se na grijanju na prirodni plin, grijanju na fosilna goriva i grijanju na biomasu (Zhang i sur., 2016.). Isti autori navode da se može spriječiti gubitak topline iz digestora zimi, metodama kao što je dodavanje izolacijskih materijala na vanjski dio zida, izgradnjom digestora ispod zemlje i korištenjem ložišta koje okružuje digester. Supstrat koji se koristi u AD može se grijati tijekom procesa punjenja preko izmjenjivača topline ili unutar samog digestora pomoću grijaćih tijela, vruće pare i slično. Kako bi se izbjegla promjena temperature unutar digestora, poželjno je prethodno zagrijati sirovinu prije ili tijekom unosa u digester (Al Seadi i sur., 2009.).

U novije vrijeme bilježi se porast razvoja i primjene novijih tehnologija za grijanje digestora. Primjerice, grijanje pomoću solarne energije za koje je dokazano da u hladnim uvjetima može održavati temperaturu digestora u mezofilnom režimu i osigurati povećanu proizvodnju bioplina (Chen i sur., 2021.; Zhang et al., 2016.). U usporedbi s drugim metodama koje se koriste za grijanje digestora, korištenje sunčeve energije predstavlja dobru alternativu budući da je okolišno prihvatljiva i ne zahtijeva previsoka ulaganja (Zhang i sur., 2016.). Fokus istraživanja usmjeren je ka uporabi čiste (tzv. „zelene“) energije za razvoj novih metoda grijanja digestora i postizanje optimalne temperature AD, te postizanje visokih prinosa u proizvodnji bioplina.

### **3.6. Digestor**

Digestor je centralni dio svakog bioplinskog postrojenja. Sastoji se od digestivnog spremnika koji mora biti zrako nepropustan i toplinski izoliran kako bi se u njemu mogli stvoriti anaerobni uvjeti uslijed kojih se odvijaju daljnji procesi (Jankić, 2018.). Zbog što bolje toplinske izolacije digestori se grade od materijala poput cigle, kamena, čelika i slično, a mogu biti smješteni u zemlji ili izvan nje. Digestori, koji imaju izgled silosa, moraju zadovoljavati određene zahtjeve kao što su vodonepropusnost, izoliranost, stabilnost konstrukcije i dr. (Al Seadi i sur., 2009.).

Razlikujemo dva tipa digestora:

- Digestor kontinuiranog tipa - sirovina se konstantno puni u digester a fermentirani materijal istiskuje van;



- Digestor obročnog tipa - sirovina se puni u digestor i fermentira te se nakon toga digestor potpuno prazni. Nakon toga postupak se opet ponavlja (Al Seadi i sur., 2009.).

### **3.7. Strojevi za miješanje sirovina u digestoru**

Problem slabe pokretljivosti bakterija potrebnih za proizvodnju plina rješava se miješanjem sirovine pomoću miješalica.

Postoji nekoliko tipova miješalica:

- Miješalice propelerskog tipa sa potopljenim motorom:
  - održavanje je u nekim slučajevima otežano jer je motor potrebno izvući iz digestora;
  - digestor mora imati integrirane otvore za održavanje i izvlačenje motora.
- Miješalice s dugim vratilom:
  - jednostavno održavanje motora koji je izvan digestora, nema potrebe za prekidanjem procesa;
  - otežano održavanje i popravak propelera i osovine jer se moraju vaditi iz digestora;
  - digestor mora imati integrirane otvore za održavanje.
- Aksijalne miješalice:
  - jednostavno održavanje motora koji je izvan digestora, nema potrebe za prekidanjem procesa;
  - otežano održavanje i popravak rotora i osovine jer se moraju vaditi iz digestora;
  - digestor mora imati integrirane otvore za održavanje.
- Miješalice s lopaticama:
  - jednostavno održavanje motora koji je izvan digestora, nema potrebe za prekidanjem procesa;
  - otežano održavanje i popravak lopatica i osovine jer se moraju vaditi iz digestora;
  - digestor mora imati integrirane otvore za održavanje.
- Pneumatsko miješanje:
  - jednostavno održavanje plinskog kompresora koji je izvan digestora, nema potrebe za prekidanjem procesa;
  - otežan popravak opreme za injektiranje bioplina jer se digestor mora isprazniti.
- Hidraulično miješanje:

održavanje slično kao kod pneumatskih mješača (Kašaj, 2021.; Al Seadi i sur., 2009.).

### **3.8. Skladište bioplina**

Skladište za bioplin može biti postavljeno na vrhu digestora korištenjem posebne membrane koja ujedno ima i ulogu pokrivala digestora. Za veća postrojenja skladišta za bioplin najčešće su izvedena kao samostojeći objekti, ili se nalaze u sklopu već postojeće skladišne zgrade. Sadržaji koji se koriste za skladištenje bioplina mogu funkcionirati pri niskom, srednjem ili visokom tlaku (Al Seadi i sur., 2009.).

### **3.9. Skladište digestata**

Skladišta digestata se u pravilu nalaze u blizini digestora, a u njima se digestat privremeno skladišti. Ukupni kapacitet svih skladišnih spremnika mora biti dovoljan za prihvatanje proizvodnje digestata od nekoliko mjeseci. Digestat se može uskladištiti u betonska spremišta koja su pokrivena prirodnim ili umjetnim plutajućim slojevima, membranama ili u lagune. Prilikom skladištenja i manipuliranja digestatom postoji mogućnost gubitka dijela  $\text{CH}_4$  i hranjivih tvari. Kako bi se spriječile emisije  $\text{CH}_4$ , spremnici za skladištenje trebali bi uvijek biti pokriveni s plinsko nepropusnom membranom radi sakupljanja plina (Al Seadi i sur., 2009.).

## **4. MATERIJAL I METODE**

Istraživanje je obavljeno na bioplinskom postrojenju gdje su utvrđene mjere koje se provode u svrhu servisno-preventivnog održavanja komponenti bioplinskog postrojenja. Podatci su prikupljeni metodom intervjua s voditeljem postrojenja. Zbog njihovog zahtjeva ne spominje se konkretno ime tvrtke i postrojenja na kojem je istraživanje obavljeno, ali su dozvolili da se koriste dobivene informacije o servisno-preventivnom održavanju kao i fotografije koje su snimljene tijekom intervjua.

### **4.1. Bioplinsko postrojenje**

Istraživano postrojenje se nalazi u sklopu farme muznih krava. Postrojenje je izgrađeno i pušteno u rad 2014. godine, opremljeno je austrijskom tehnologijom, a iznos investicije bio je 7.500.000,00 €. Snaga postrojenja je 2 MWel. Ukupni radni volumen postrojenja je 16 000 m<sup>3</sup>. Sirovine za proizvodnju bioplina na postrojenju jesu silaža, gnojovka, stajski gnoj i sirutka. Jedina sirovina koju postrojenje samo proizvodi jest silaža, a količinski udio silaže u proizvodnji je oko 35 %.

### **4.2. Proces proizvodnje bioplina**

Proces proizvodnje je kontinuiran, a podijeljen je u 3 faze:

#### 1. Faza – priprema sirovine

Prema unaprijed određenoj recepturi, u jame s mješačima se ubacuje sirovina koja se miješa sve dok se ne dobije homogena smjesa.

Omjer sirovina koje se koriste za proizvodnju bioplina:

- silaža (35 %)
- gnojovka, stajnjak, sirutka (59 %)
- ostalo (6 %).

Nusproizvodi jedne proizvodne jedinice (žetveni ostaci, sirutka i dr.), koji na mjestu proizvodnje nisu više korisni, su vrlo vrijedna sirovina za proizvodnju bioplina.

#### 2. Faza - doziranje

U ovoj fazi se homogeni materijal svakih 30 minuta prepumpava iz mješače jame u digestore. Ova radna operacija se obavlja automatski pomoću zadanih naredbi u računalu.

#### 3. Faza – fermentiranje

Nakon prepumpavanja, homogeni materijal se u digestoru miješa s materijalom koji se već nalazi u digestoru i zagrijava na 44 °C. Tada u strogo kontroliranim anaerobnim uvjetima uz pomoć mikroorganizama započinje razgradnja organskog materijala, odnosno dolazi do fermentacije. Vrijeme hidraulične retencije (odnosno vrijeme potrebno za razgradnju organskog materijala) u slučaju istraživnog postrojenja traje oko 70 dana. Za vrijeme hidraulične retencije organski materijal koji fermentira, slobodno se gravitacijski preljeva iz digestora u postdigestore. U zadnjoj fazi razgradnje organskog materijala nastaje bioplina koji se skuplja iznad smjese koja fermentira.

Završetkom faze fermentiranja dobiveni bioplina se transportira plinovodom do bioplinskih motora gdje služi kao energent za pokretanje motora i proizvodnju električne energije. Na postrojenju se nalaze dva motora tvrtke Jenbacher austrijske proizvodnje, svaki je snage 1 189 kW.

Nusproizvod koji nastaje proizvodnjom električne energije u bioplinskim motorima jest toplinska energija koja se kasnije koristi za grijanje digestora i sušara.

Cijeli proces završava separacijom, odnosno ispumpavanjem tekućeg dijela organskog materijala u lagune, a krutog digestata u vanjska skladišta, nakon čega se kasnije iskorištava kao gnojivo na okolnim poljoprivrednim površinama.

### 4.3. Objekti i oprema na postrojenju

Prilikom proizvodnje bilo kojega proizvoda pa tako i bioplina vrlo je važno osim kvalitetne sirovine posjedovati i kvalitetnu opremu za proizvodnju. U Tablici 6 navedeni su objekti koji se nalaze u sklopu postrojenja, njihov kapacitet odnosno zapremina i oprema koja se nalazi u njima.

Tablica 6. Objekti na postrojenju i oprema u objektima

Objekti	Količina	Kapacitet/volumen	Oprema u objektu
Trench silos	1 kom.	35 000 t silaže	-
vertikalni spremnici	2 kom.	50 m <sup>3</sup>	-
Horizontalni spremnik	1 kom.	30 m <sup>3</sup>	-
Mješača jama	2 kom.	450 m <sup>3</sup>	2 vertikalna mješača

			2 vijčane pumpe
Digestori	2 kom.	3.800 m <sup>3</sup>	3 kosa i 1 potopni mješač Senzori razine i temperature Pumpe
Postfermentori	2 kom.	4.400 m <sup>3</sup>	Postfermentor br.1. - 2 kosa i 2 potopna mješača Postfermentor br.2. - 4 potopna mješača Senzori razine i temperature
Skladište digestata	4 kom.	9.000 m <sup>3</sup>	-

Osim opreme navedene u Tablici 6, u sklopu postrojenja nalaze se i:

- Tzv. Brod

Slika 5 prikazuje „brod“ za razbijanje kore u laguni, a opremljen je pumpom i služi za ispumpavanje tekućeg dijela digestata.



Slika 5. Brod za razbijanje kore u laguni

- Kompresori
- Dozirna stanica.
  - Iz mješače jame supstrat dolazi do stanice i dalje odlazi do digestora. Slika 6 prikazuje dozirnu stanicu.



Slika 6. Dozirna stanica

- Razdjelnik topline
- Puhala bioplina
- Pročistač bioplina
- Pneumatski ventili (Slika 7).



Slika 7. Pnemstski ventili

- Bioplinski motor (Slika 8)



Slika 8. Bioplinski motor

## 5. REZULTATI I RASPRAVA

### 5.1. Održavanje objekata i opreme

U sklopu dnevnog održavanja provode se vizualni pregledi opreme i objekata i popisivanje parametara. U slučaju nepredviđenih kvarova i odstupanja poduzimaju se potrebne operacije za otklanjanje pojedinih kvarova. Održavanje svih ostalih objekata i opreme ovisno o tipu opreme obavljaju se u propisanim vremenskim intervalima, te se takvo održavanje naziva planirano održavanje. Tablica 7 prikazuje opremu na postrojenju, vremenske intervale održavanja i načine na koje se to održavanje obavlja.

Tablica 7. Održavanje i servisi opreme i objekata

<b>Oprema</b>	<b>Vremensko razdoblje</b>	<b>Održavanje i servisi</b>
Digestor	Jednom godišnje	Čišćenje
Kosi mješači	Jednom godišnje	Izmjena ulja
Potopni mješači	Jednom godišnje	Izmjena ulja
Pumpe	Jednom godišnje	Izmjena ulja
Prijenosni disk i vijci	Svake dvije godine	Zamjena
Mješača jama	Jednom godišnje	Servis
Kompresor	Jednom godišnje	Izmjena ulja
Razdjelnik toplovoda	Po potrebi	Zamjena
Ventili	Po potrebi	Zamjena
Puhala bioplina	Svake tri godine	Servis ovlaštenog servisera
Pročistač	Jednom godišnje	Servis
Bioplinski motor	2 000 radnih sati	Podešavanje ventila, nove svjećice
Bioplinski motor	60 000 radnih sati	zamjena
Svjećice na bioplinskom motoru	1 000 radnih sati	Čišćenje

Iz Tablice 7 vidljivo je da se na većini opreme redovita održavanja obavljaju jednom godišnje.

Bioplinski motor za razliku od ostale opreme ima nešto kompliciranije održavanje, na svakih 1000 radnih sati motora čiste se svjećice. Sljedeće održavanje dolazi nakon 2000 radnih sati u kojem se namještaju ležajevi i čiste svjećice. Na postrojenju se nalaze 2 seta



svjećica za svaki motor tako da prilikom čišćenja svjećica motori prestaju s radom na nekoliko minuta dok serviseri ne obave zamjenu.

Veći servisi motora:

- 10 000 radnih sati – obavlja se kontrola klipova
- 20 000 radnih sati – izmjena turbine i ležajeva generatora
- 30 000 radnih sati – izmjena glave motora
- 40 000 radnih sati – servis isti kao i na 10 000 radnih sati
- 50 000 radnih sati – servis isti kao i na 20 000 radnih sati
- 60 000 radnih sati – zamjena motora.

## 6. Zaključak

Bioplin nastaje procesom pretvorbe organskog materijala kao što su biorazgradivi otpad, gnojivo, komunalni otpad i slično pri anaerobni uvjetima. Proces proizvodnje bioplina naziva se anaerobna digestija (AD) koja predstavlja zatvoren ciklus hranjiv tvari. AD ovisi o nekoliko važnih parametara te je vrlo važno osigurati optimalne uvjete za razvoj mikroorganizama. Ključni parametri su: temperatura, pH vrijednost, nedostatak kisika, prisutnost inhibitora, miješanje te opskrbljenost hranjivim tvarima.

Osnovni dijelovi bioplinskog postrojenja su: prihvatna jedinica, skladište supstrata, sustav punjenja, armatura i cjevovodi, sustav grijanja, digestator, sustav za miješanje, skladište bioplina i skladište digestata. Uz nabrojane dijelove, u sastav bioplinskog postrojenja ubrajaju se i objekti za uzgoj životinja te sustavi za unošenje sirovina i poljoprivredne površine. Skladište za bioplin najčešće je postavljeno na vrhu digestora, a u slučaju većih postrojenja skladište se najčešće radi odvojeno.

U radu je analizirano jedno bioplinsko postrojenje te dijelovi istog i njihovo održavanje. Vrijeme razgradnje u slučaju ovog postrojenja traje oko 70 dana, završetkom faze fermentacije bioplin se transportira te služi kao energent za pokretanje motora i proizvodnju električne energije, dok se digestat koristi kao organsko gnojivo na obližnjim njivama.

U pogledu održavanja bioplinskog postrojenja, svakodnevno se provode pregledi opreme i objekata te se popisuju parametri. U slučaju kvarova ili odstupanja provode se potrebne operacije kako bi se isti uklonili. Održavanje ostalih objekata i opreme se provodi prema utvrđenim vremenskim intervalima za svaki pojedinačno, odnosno planirano.

## 7. Literatura

1. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. (2009.): Priručnik za bioplin, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb.
2. How to efficiently maintain a biogas plant without losing your mind! Biogasworld, 2022. <https://www.biogasworld.com/news/maintenance-biogas-plant/>. (7.9.2022.)
3. Chen, J., Yang, R., Xu, D., Zhou, B., Jin, Y. (2021.). Maximum production point tracking method for a solar-boosted biogas energy generation system. <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00220-z>
4. Emert. R., Jurić, T., Filipović, D., Štefanek, E. Održavanje traktora i poljoprivrednih strojeva , Sveučilište J. J Strossmayera u Osijeku, Intergraf, Osijek, 1995.
5. Jankić, S. (2018.). "Tehno-ekonomska analiza bioplinskih postrojenja u ruralnim područjima." Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:163556>
6. Jurić, T., Emert, R., Šumanovac, L., Horvat, D. (2001.): Provođenje mjera održavanja na obiteljskim gospodarstvima, Zbornik radova „Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede“, 29th international symposium on agricultural engineering, 6.-9.2.2001., Opatija, Hrvatska, 43-51.
7. Kašaj, M. (2021.). “Strojevi i oprema u bioplinskom postrojenju poduzeća Energija bioplina d.o.o. Gregurovec“. Specijalistički diplomski stručni, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, 2021. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:185:862238>
8. Kovačić, Đ. (2017.). Razvoj procesa predobrade lignoceluloznih materijala toplinom i električnim poljem u svrhu primjene u proizvodnji bioplina anaerobnom kodigestijom s goveđom gnojovkom. Doktorska disertacija, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku & Institut Ruđer Bošković, Osijek.
9. Matić, P. (2021.). "Anaerobna digestija biorazgradivog komunalnog otpada." Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2021. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:726163>
10. Nadarević, M. (2021.). Utjecaj sastava bioplina na troškove kogeneracije." Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2021. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:568591>

11. Omerdić, N. (2020.). Stručni prikaz: Anaerobnom digestijom do visokovrijednog organskog gnojiva. Hrvatske vode, 28 (111), 43-50. Osman, Z. (2015.). "Projekt bioplinskog postrojenja." Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:433671>
12. Rohlik, P. (2016.). "Koncept iskorištavanja biootpada za proizvodnju biometana." Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2016. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:127529>
13. Zhang, T., Tan, Y., Zhang, X., (2016.): Using a hybrid heating system to increase the biogas production of household digesters in cold areas of China: An experimental study. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.027>
14. Poveznica 1: <https://eko.zagreb.hr/bioplina/91> (24.5.2022.)
15. Poveznica 2: <https://obnovljiviizvorienenergije.weebly.com/bioplina.html> (24.5.2022.)
16. Poveznica 3: <https://zorg-biogas.com/blog/mesophilic-and-thermophilic-regimes> (15.8.2022)
17. Poveznica 4: <https://bioen.hr/en/bioplina-proizvodnja-ltd/> (25.5.2022 )