

# Održavanje i servisi opreme i objekata bioplionskog postrojenja

---

**Kobak, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:681745>

*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

Luka Kobak

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer: Mehanizacija

## **Održavanje i servisi opreme i objekata bioplinskog postrojenja**

Završni rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Luka Kobak

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer: Mehanizacija

## **Održavanje i servisi opreme i objekata 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, 2023.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

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

Završni rad

Luka Kobak

### **Održavanje i servisi opreme i objekata bioplinskog postrojenja**

#### **Sažetak:**

U ovome završnom radu analizirano je jedno bioplinsko postrojenje, opisane su osnovne komponente bioplinskog postrojenja 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, te mehanizam njihovog rada. Također, objašnjen je i princip odvijanja anaerobne digestije, biokemijskog procesa koji se odvija unutar postrojenja u kojem se supstrat razgrađuje posredstvom mikroorganizama bez prisutnosti kisika pri čemu nastaju bioplin i digestat. Cilj rada bio je na primjeru opisanog bioplinskog postrojenja prikazati na koji način te koliko često se provode potrebne zamjene dotrajalih dijelova te otklanjanje kvarova. Metodom intervjua sa voditeljem bioplinskog postrojenja utvrđeno je da se održavanje istraživanog postrojenja obavlja dnevno vizualnim pregledom i utvrđivanjem procesnih parametara te se obavlja planirano održavanje najčešće jednom godišnje, osim u slučaju nepredviđenih kvarova i odstupanja kada se poduzimaju potrebni zahvati za otklanjanje kvarova,

Ključne riječi: bioplin, anaerobna digestija, bioplinsko postrojenje, održavanje i servis postrojenja

35 stranica, 22 slike, 4 tablice, 11 literaturnih navoda

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

Luka Kobak

### **Maintenance and services of biogas plant equipment and facilities**

#### **Summary:**

In this final paper, one biogas plant is analyzed, the basic components of the biogas plant are presented, which consists of a reception station, substrate storage, filling system, fittings and pipelines, heating system, digester, mixing system, biogas storage, and digestate storage, and the mechanism of their work. Also, the principle of anaerobic digestion was described, the biochemical process that takes place at a described plant in which the substrate is broken down by microbiological processes through the action of microorganisms without the presence of oxygen during which biogas and digestate are produced.

The aim of this final work was to show how and the frequency of the necessary replacements of worn-out parts and troubleshooting are carried out. By providing an interview method with the manager of the biogas plant, it was determined that the maintenance of the researched plant is performed daily by visual inspection and by reading of process parameters, and planned maintenance is performed usually once a year, except in the case of unforeseen failures and deviations, when the necessary interventions are undertaken to eliminate the failures.

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

35 pages, 22 pictures, 4 tables, 11 references

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
2. PREGLED LITERATURE.....	2
2.1. Supstrati za proizvodnju bioplina .....	2
2.2. Što je bioplin? .....	3
2.3. Održavanje bioplinskog postojenja .....	4
3. ANAEROBNA DIGESTIJA.....	5
3.1. Vrsta i sastav supstrata.....	8
3.2. Parametri anaerobne digestije .....	8
3.2.1. Temperatura .....	8
3.2.2. pH vrijednost.....	10
3.2.3. Uzročnici inhibicije i toksičnost .....	10
3.2.4. Miješanje i hidrauličko vrijeme zadržavanja .....	11
4. OSNOVNI DIJELOVI BIOPLINSKOG POSTROJENJA.....	13
4.1. Pihvatna jedinica.....	14
4.2. Skladište supstrata.....	15
4.3. Sustav punjenja, grijanja, transporta, armature i cjevovoda .....	16
4.4. Digestor.....	17
4.5. Sustav mješanja.....	18
4.6. Spremnik bioplina.....	19
4.7. Skladište digestata.....	20
5. MATERIJAL I METODE .....	21
5.1. Podatci o bioplinskom postrojenju.....	21
5.2. Proizvodnja bioplina .....	21
5.3. Objekti i oprema na bioplinskom postrojenju.....	22
6. REZULTATI I RASPRAVA .....	32
7. ZAKLJUČAK.....	34
8. LITERATURA .....	35

## 1. UVOD

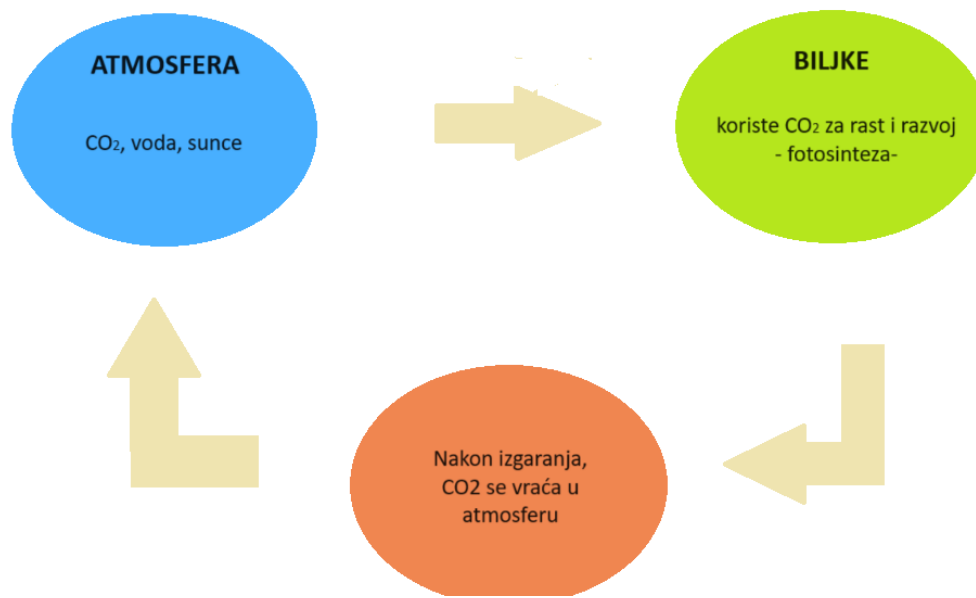
Energetski izvori jesu vrsta prirodnih pojava i tvari, koje se uz primjereno tehničko rješenje, mogu iskoristiti za dobivanje energije. Izvore energije dijelimo na neobnovljive kao što su ugljen, nafta, prirodni plin, nuklearno gorivo i drugo, te prirodno obnovljive kao što su vodena energija, Sunčevo zračenje, vjetar, drvo, bioplin te ostalo. Neobnovljivi izvori imaju bolje mogućnosti skladištenja i transporta te manje troškove iskorištavanja. Smanjivanjem zaliha neobnovljivih izvora te njihov štetni utjecaj na okoliš, u posljednje su vrijeme pojačali istraživanja iz područja obnovljivih izvora energije. U suvremenom svijetu glavni razlog za razvoj obnovljivih izvora energije je očuvanje okoliša zbog globalnih klimatskih promjena i potrebe za poboljšanjem sigurnosti i raznolikosti opskrbe energijom. Proizvodnja i dobivanje energije iz bioplina osigurava ekološki manje štetan način dobivanja energije, smanjena je emisija CO<sub>2</sub> u okoliš, kao i energetska ovisnost o uvoznim izvorima energije.

Cilj ovog rada bio je opisati bioplinsko postrojenje – njegove osnovne komponente i princip rada, te prikazati na koji način i u kojim vremenskim intervalima se provodi servis i potrebne mjere održavanja pojedinih dijelova postrojenja.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Supstrati za proizvodnju bioplina

Biomasa je organska tvar koja je nastala rastom biljaka i životinja te je jedan od važnih obnovljivih izvora energije koji uključuje ostatke iz poljoprivredne proizvodnje (ratarstvo, stočarstvo), ogrjevno drvo, grane, piljevinu, koru i ostale ostatke iz drvne industrije, komunalni i industrijski otpad, ostatke pri rezidbi vinove loze i maslina i mnoge druge prirodne ostatke. Pri sagorijevanju biomase, odnosno korištenju biomase kao izvora energije, nema velikog negativnog utjecaja na okoliš što proizlazi iz činjenice da izgaranjem biomase ne nastaju velike količine novog CO<sub>2</sub> u atmosferu. Dakle, iskorištavanjem biomase za proizvodnju energije zaokružuje se ciklus ugljika jer se CO<sub>2</sub>, koji biljke koriste u procesu fotosinteze za rast i razvoj, sagorijevanjem ispušta u atmosferu te ga ponovo kruženjem u atmosferi u procesu fotosinteze biljke apsorbiraju. Dakle, govorimo u ugljiku koji u prirodi neprestano kruži, a ne o novim izvorima ugljika koji se kod proizvodnje nafte i naftnih derivata iskapaju iz zemljine površine i oslobađaju izgaranjem u atmosferu. Iz biomase se mogu proizvoditi kruta (npr. drvni peleti, agro-peleti, sječka i sl.), tekuća (npr. biodizel, bioetanol) i plinovita (npr. bioplin, drvni plin) biogoriva koja se mogu skladištiti i prevoziti prema potrebi o čemu će u narednom tekstu biti riječ (Slika 1).





Slika 1. Shema kruženja CO<sub>2</sub> u prirodi tijekom korištenja biomase kao izvora energije

Zastupljenost biomase u ukupnoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj je manji od 4 % te se uglavnom odnosi na ogrjevno drvo. Republika Hrvatska upravo zbog svojega reljefa te bogatstva prirodnih resursa ima velik biomaseni potencijal čija uprava u ovu svrhu može doprinijeti razvoju države (Poveznica 1).

## 2.2. Što je bioplin?

Bioplin je smjesa plinova koja nastaje u procesu anaerobne pretvorbe organskih materijala uz pomoć anaerobnih organizama a može se koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije. Osim toga, može se koristiti kao gorivo kod motora s unutarnjim sagorijevanjem. U bližoj budućnosti bi se svakako mogao koristiti kao važan izvor energije. Bioplin je smjesa plinova u kojoj su s najvećim udjelom zastupljeni metan i ugljikov dioksid dok ostatak čine plinovi u tragovima. Svake godine nastaje oko 2000 milijardi tona suhe biomase od čega se 1,2 % potroši za proizvodnju hrane, oko 1 % za proizvodnju papira, te isto toliko za gorivo. Veliki ostatak, koji čini skoro 96 % biomase, može predstavljati obnovljive izvore energije (bioplin, biodizel, bioetanol), dok se suha masa može mljeti i prerađivati u pelete, koji se zatim mogu spaljivati u pećima za proizvodnju topline i električne energije (Katić, 1981.).

Tablica 1. Osnovni sastojci bioplina

Gorivi sastojci		Negorivi sastojci	
Naziv	Volumni sadržaj (%)	Naziv	Volumni sadržaj (%)
Metan	55 - 75	Ugljik (IV) oksid	25 - 45
Vodik	0 - 1	Dušik	0 – 2,0
Sumporovodik	0 - 1	Kisik	0 – 0,5
		Vodena para	0 – 2,0
		Amonijak	0 – 2,0

(Izvor: Katić, 1981.)

### **2.3. Održavanje bioplinskog postojenja**

Jedan od najvažnijih faktora, da bi poljoprivredni strojevi i oprema bili učinkoviti te kvalitetno obavljali zadane poslove, jest njihovo sustavno održavanje (servisno preventivno održavanje). Da bi se mogli sigurno izvoditi različiti mehanizirani postupci u poljoprivredi vrlo je bitna pouzdanost strojeva u radu koja prvenstveno ovisi upravo o njihovom stanju te kako su održavani. Ako su strojevi i oprema pravilno pripremljeni sa sigurnošću i bez straha se mogu obavljati predviđeni poslovi na vrijeme te s najvišim stupnjem kvalitete (Jurić i sur., 2001.).

Bioplinsko postrojenje trebalo bi se održavati obavljanjem manjih popravaka na opremi i objektima, mijenjanjem ulja po potrebi, uklanjanjem ostataka organske tvari koja se istaložila na dnu spremnika, rješavanjem problema tijekom procesa digestije i slično (Biogasworld, 2022.).

### 3. ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija ili razgradnja, biokemijski je proces pri kojemu se složeni, biorazgradivi organski spojevi razgrađuju biokemijskim procesima uz djelovanje pojedinih vrsta bakterija bez prisutnosti kisika, a pri tome nastaju biopli i digestat. Za razliku od aerobne, tijekom anaerobne razgradnje nastaje bitno manje toplinske energije, budući da se najveći dio kemijskog energetskeg potencijala supstrata biokemijskim reakcijama pretvara u metan i druge komponente bioplina (Hublin i sur., 2023.).

Digestat je kruti ostatak koji nastaje u procesu anaerobne razgradnje bogat makro i mikronutrijentima. Bitno je napomenuti da digestat može sadržavati veće količine teških metala, zbog čega se ne bi trebao uporebljavati kao organsko gnojivo nego u neku drugu svrhu (Hublin i sur., 2023.).

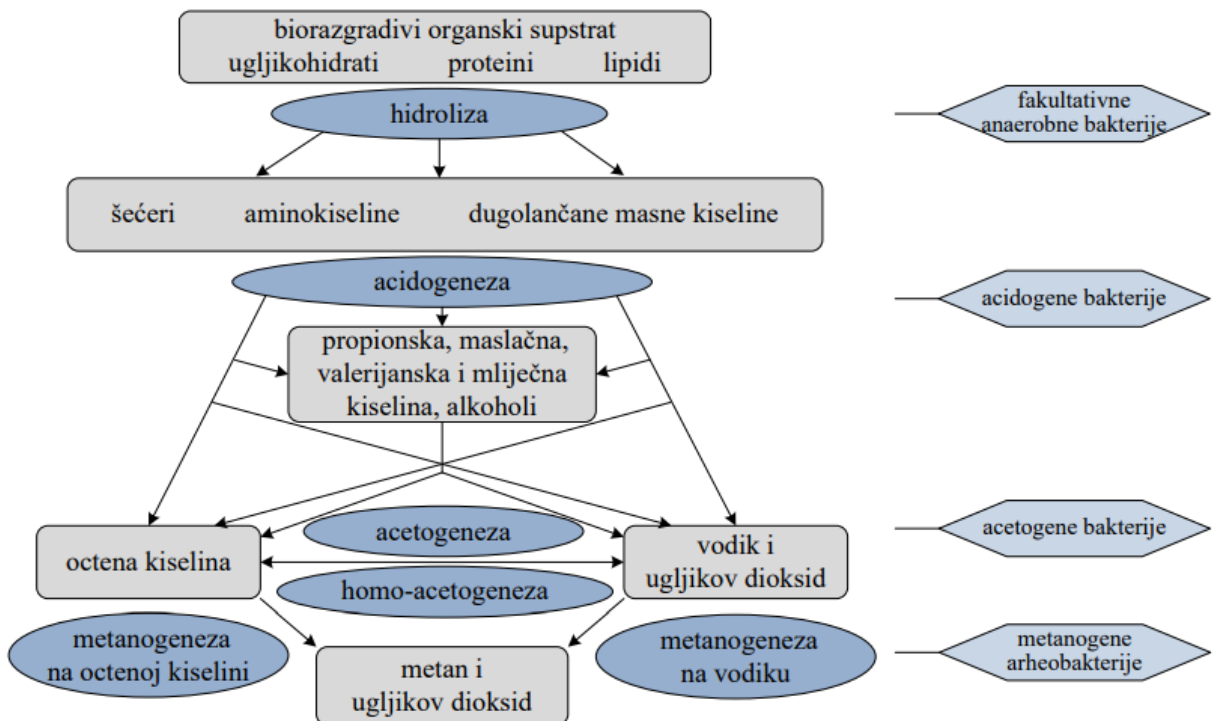


Slika 2. Kruti digestat

(Izvor: <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/zasto-struka-i-birokracija-imaju-razlicito-misljenje-o-digestatu/82512/>)

Tijekom procesa proizvodnje bioplina anaerobnom razgradnjom dolazi do povezanih biokemijskih reakcija u kojima se početni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve dok ne nastane bioplin i digestat. Biokemijske reakcije, koje nastaju zbog metabolizma različitih mikroorganizama, mogu se podijeliti u četiri skupine reakcija (faza) koje se događaju redom: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza. Različite skupine bakterija aktivne se u svakoj pojedinoj fazi (Hublin i sur., 2023.).

Slika 3. prikazuje pojednostavljenu verziju cijelog procesa anaerobne razgradnje. Prikazana je svaka od četiri skupine reakcija, njihovi međuprodukti i konačni produkti, te skupina bakterija koja sudjeluje pri tom procesu.



Slika 3. Pojednostavljeni prikaz stupnjeva procesa anaerobne razgradnje

(Izvor: Hublin i sur., 2023.)

Prvi stupanj anaerobne digestije je hidroliza - proces u kojemu dolazi do depolimerizacije složenih biorazgradivih organskih tvari (ugljikohidrati, proteini i lipidi) koje se zbog djelovanja hidrolitičkih bakterija razgrađuju na jednostavnije topljive spojeve. Najznačajniji spojevi koji pri tom procesu nastaju su šećeri, aminokiseline i masne kiseline (Hublin i sur., 2023.).

Drugi stupanj procesa anaerobne digestije je acidogeneza, odnosno fermentacija. U tome se procesu zbog djelovanja acidogenih bakterija produkti nastali tijekom hidrolize, pretvaraju u metanogene molekule. Jednostavni šećeri, aminokiseline i dugolančane masne kiseline se jednim dijelom razgrađuju na octenu kiselinu, ugljikov dioksid i vodik. Najvažnija stavka je da ovim procesom, uz pomoć metanogenih arheja, nastaje metan. Osim navedenog, acidogenezom nastaju i hlapljive masne kiseline te alkoholi koji se oksidiraju uz pomoć acetogenih bakterija. Najznačajnije hlapljive masne kiseline koje nastaju tijekom acidogeneze su octena, propionska i maslačna kiselina, a bitne su jer se ne mogu razgraditi do metana djelovanjem metanogenih bakterija, već se oksidiraju do octene kiseline i vodika u procesu acetogeneze. Zatim se vodik, koji nastaje djelovanjem acidogenih bakterija, pretvara u metan (Hublin i sur., 2023.).

Procesi acetogeneze i metanogeneze se odvijaju istovremeno zbog sinkroniziranog djelovanja dviju skupina bakterija. Niski parcijalni tlak vodika pogoduje aktivnosti acetogenih bakterija dok viši tlakovi pogoduju metanogenim arhejama koje vodik transformiraju u metan. Octena kiselina, vodik i ugljikov dioksid su ishodišni supstrati da bi se proizveo metan i ugljikov dioksid u procesu metanogeneze (Hublin i sur., 2023.).

U metanogenezi sudjeluju dvije skupine metanogenih bakterija. Jedna skupina razgrađuje octenu kiselinu na metan i ugljikov dioksid, a druga proizvodi metan iz vodika i ugljikovog dioksida. Tijekom metanogeneze oko 70 % metana nastaje razgradnjom octene kiseline, a ostatak se odnosi na biosintezu metana iz vodika i ugljikovog dioksida (Hublin i sur., 2023.).

### **3.1. Vrsta i sastav supstrata**

Najveći utjecaj na sam procese anaerobne razgradnje ima vrsta i sastav supstrata, odnosno bioplinski potencijal supstrata. Supstrat služi kao izvor energije i hranjivih tvari koje su potrebne za rast raznih mikroorganizama koje su velikim dijelom odgovorne za proces proizvodnje bioplina. Da bi ovaj proces bio učinkovit, presudno je prisustvo ugljika, dušika, fosfora, sumpora, kalija, kalcija, magnezija i željeza. O sastavu supstrata ovisi kakvi će uvjeti prevladati u bioreaktoru na početku procesa proizvodnje bioplina, odnosno kakva će biti pH vrijednost sredine. Osim toga, prisutnost i djelovanje pojedinih nepoželjnih komponenata bioplina može inhibirati određene stupnjeve procesa proizvodnje bioplina (Hublin i sur., 2023.).

Prilikom izbora supstrata trebalo bi se voditi računa o njegovoj dostupnosti tijekom cijele godine (Kovačić, 2017.). Od supstrata, najčešće se koristi stajsko gnojivo, razni ostaci i nusprodukti iz različitih grana poljoprivredne proizvodnje, razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije, organski dio komunalnog otpada i otpad iz ugostiteljstva, otpadni mulj, energetski usjevi (kao što su kukuruz, različite vrste trava, djetelina i slično) (Al Seadi i sur., 2009.).

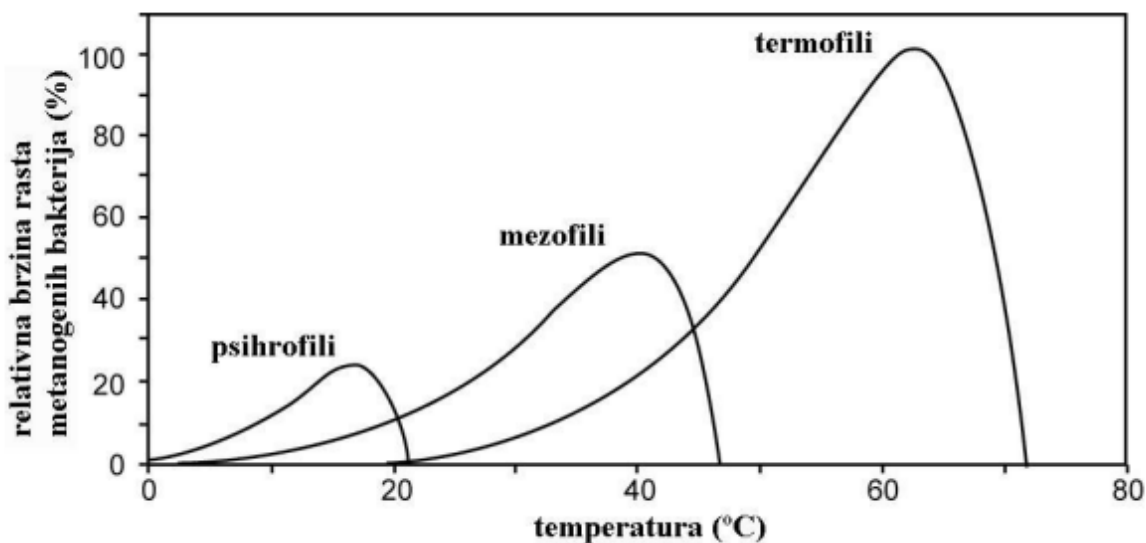
### **3.2. Parametri anaerobne digestije**

U procesu anaerobne razgradnje supstrata sudjeluju razne vrste bakterija, a koliko će proces proizvodnje bioplina biti učinkovit ovisi direktno o procesnim parametrima, među kojima su temperatura, pH vrijednost, hidrauličko vrijeme zadržavanja, C:N omjer i drugo. Treba istaknuti da se treba pažljivo odabrati supstrat i paziti na njegov sastav, jer nepovoljan sastav može negativno utjecati na proces anaerobne digestije (Hublin i sur., 2023.).

#### *3.2.1. Temperatura*

Temperatura ima direktan utjecaj na termodinamičke i kinetičke karakteristike bioloških procesa, ali također ima utjecaj i na fizikalno-kemijska svojstva svih sastavnica reakcijske smjese. Upravo zbog promjene temperature u tijeku procesa proizvodnje bioplina dolazi i do promjena gustoće i

viskoznosti reakcijske smjese što uzročno može imati utjecaj na miješanje te osobito prijenos tvari u bioreaktorima što može rezultirati nehomogenim sastavom supstrata. Temperatura je procesni parametar koji također direktno utječe na vrijeme trajanja samog procesa anaerobne digestije. Ovisno o temperaturi pri kojoj se provodi proces anaerobne digestije, razlikujemo psihrofilne (manji od 20 °C), mezofilne (od 20 do 40 °C) i termofilne uvjete (od 45 do 60 °C). U posebnim slučajevima postoji proces proizvodnje bioplina koji se odvija pri temperaturama višim od termofilnih, >60°C (hipertermofilni proces) (Hublin i sur., 2023.).



Slika 4. Utjecaj temperature na brzinu rasta metanogenih bakterija

(Izvor: Hublin i sur., 2023.)

Temperatura je ovisno proporcionalna kinetici rasta i aktivnosti metanogenih bakterija. Ukoliko temperatura raste u dijelu u kojemu djeluju te bakterije koje su odgovorne za proizvodnju bioplina, nevjerojatnom brzinom utječe na brzinu rasta sve dok se ne postigne temperaturni optimum. Ako se ipak temperatura poveća iznad temperaturnog optimuma, doći će do brzog smanjenja aktivnosti i usporavanja procesa, drugim riječima, metanogene bakterije će potpuno prestati rasti i biti aktivne (Hublin i sur., 2023.). Ovisnost aktivnosti bakterija o temperaturi prikazana je na Slici 4.

Da bi se ostvarila stabilnost procesa te visoki prinos bioplina, jedan od najbitnijih čimbenika je da se temperatura održava konstantnom tijekom cijeloga procesa anaerobne digestije. Temperaturne promjene bi trebale biti minimalne jer temperaturne oscilacije mogu uzrokovati neuravnotežen proces anaerobne digestije te inhibirati sam proces. Najčešće do temperaturnih promjena dolazi zbog dodavanja novih sirovina, nedovoljne izolacije digestora, neprimjerenog dimenzioniranja sustava grijanja, neučinkovitog miješanja, nepravilnog smještaja grijaćih elemenata, ekstremne vanjske temperature tijekom ljeta i zime, te kvarovi električnih vodova i slično. Da ne bi došlo do temperaturne promjene unutar digestora potrebno je ranije zagrijati sirovinu prije ili tijekom unosa u digestor (Al Seadi i sur., 2009.).

### *3.2.2. pH vrijednost*

Na rast i razvoj mikroorganizama značajan utjecaj imaju i pH vrijednost te puferski kapacitet medija koji se koristi za proizvodnju bioplina. Da bi došlo do rasta metanogenih arheja, te da bi se proizveo metan, proces bi se trebao odvijati u uskom području pH vrijednosti, između 5,5 i 8,5. Optimalna pH vrijednost za većinu metanogenih bakterija između 6,5 i 8,0. Kao što im i sam naziv govori, acidogene bakterije djeluju pri nižim pH vrijednostima, u području od 4,0 do 8,5, a optimalno pri pH vrijednostima oko 6,0. Ukoliko acidogene bakterije djeluju pri nižim pH vrijednostima, nastaju octena i maslačna kislina, dok pri višim (oko 8,0) nastaju pretežno octena i propionska kislina (Hublin i sur., 2023.).

### *3.2.3. Uzročnici inhibicije i toksičnost*

Među najčešće inhibitore procesa proizvodnje bioplina pripadaju produkti procesa anaerobne digestije (hlapljive masne kiseline, amonijak, sulfidi i drugo), ili se pak radi o komponentama koje su sastavni dio supstrata za proizvodnju bioplina. Osobito nepovoljno na proces mogu djelovati različiti teški metali te antibiotici, pesticidi i druge sintetske organske molekule. Potrebno je napomenuti da prisutnost kisika u mediju također može inhibirati djelovanja



metanogenih bakterija. U početku procesa proizvodnje bioplina kisik može imati čak i povoljan učinak jer su prve reakcije hidroliza i acidogeneza u kojima sudjeluju bakterije koje su fakultativni anaerobi. Ipak, neprestano unošenje kisika u proces proizvodnje zbog neodgovarajuće obrade supstrata, ima inhibirajući učinak na rad metanogenih bakterija, zbog čega se smanjuje i proizvodnja metana, ali i učinkovita razgradnja organskih tvari koje su prisutne u mediju (Hublin i sur., 2023.).

#### *3.2.4. Miješanje i hidrauličko vrijeme zadržavanja*

Na proces proizvodnje bioplina važan utjecaj imaju miješanje te hidrauličko vrijeme zadržavanja. Miješanje osigurava homogenost medija te se postiže ista temperatura u svim točkama medija. To osigurava veću kontaktnu površinu između bakterija i supstrata te se time osiguravaju odgovarajući procesni uvjeti, ali se i sprječava akumulacija tvari koje inhibiraju proces ili akumulacija bioplina u dijelovima reaktora. Kontinuirano miješanje i velika brzina unosa supstrata u reaktor može imati negativan utjecaj na sam proces proizvodnje uslijed povećanja kiselosti reakcijskog medija, te se stoga prakticira miješanje manjim intenzitetom. Hidrauličko vrijeme zadržavanja se prilagođava ovisno o sastavu i osobinama supstrata te o procesnim uvjetima. Kraće vrijeme zadržavanja vrši se kod supstrata koji su lako razgradivi i kod procesa koji se odvijaju pri termofilnim uvjetima. Ali ipak, kratko vrijeme zadržavanja zajedno s velikom brzinom unosa supstrata u reaktor može dovesti do ispiranja mikroorganizama iz reaktora, zbog čega dolazi do smanjenja produkcije bioplina i učinkovitosti procesa anaerobne digestije. S druge strane, dugo vrijeme zadržavanja može pozitivno utjecati na učinkovitost procesa anaerobne digestije, ali i smanjiti produktivnost i akumulaciju komponenti koje imaju inhibirajuće i toksično djelovanje na proces. Važan čimbenik koji ima veliki utjecaj na učinkovitost procesa anaerobne digestije i proizvodnju bioplina je brzina unosa organske tvari u reaktor a podešava se u ovisnosti o vrsti supstrata, temperaturi procesa, pH vrijednosti medija, miješanju, ali se treba paziti i na kinetiku mikrobiološke razgradnje (Hublin i sur., 2023.).

Razlikujemo nekoliko vrsta miješanja u bioplinskom reaktoru:

Mehaničko miješanje supstrata - koriste se miješalice koje se dijele na spore, srednje brze i intenzivno brze. Ukoliko se provodi vertikalna izvedba digestora, vrlo često se koriste motorne

elisaste miješalice koje se mogu uroniti u supstrat i imaju dva ili tri propelera. Također, mehaničko miješanje može se vršiti pomoću aksijalnih miješalica koje najčešće rade neprestano. One se postavljaju na držalo koje je instalirano na sredini stropa digestora. Motor je smješten izvan digestora, a brzina kojom se okreću miješalice je do nekoliko okretaja u minuti. Time se omogućava kontinuirani protok u digestoru koji počinje na dnu, zatim prema zidovima digestora te se kreće gore prema površini supstrata. U slučaju horizontalnih digestora koriste se spore miješalice s lopaticama koje se mogu postaviti i u vertikalnim digestorima. Na osovini za miješanje nalaze se lopatice koje miješaju i guraju sirovinu prema naprijed (Osman, 2015.).

Hidraulično miješanje supstrata - provodi se tako da se vodoravno pritišće pumpama ili dodatnim vertikalno vođenim odušnikom u digestor. Ovaj sustav za miješanje ima prednost u tome što su mehanički dijelovi miješalica smješteni izvan digestora te se posljedično manje troše, ali im je i održavanje lakše. Hidraulično miješanje ponekad je prikladno za razbijanje plutajućih krutih slojeva, ali se najčešće koristiti za rijetku tekuću sirovinu koja ima malu sklonost stvaranju plutajućeg krutog sloja (Al Seadi i sur., 2009.).

Pneumatske miješalice supstrata - rade na način da ispuhuju bioplin s dna digestora kroz supstrat pri čemu se mjehurići plina podižu i uzrokuju vertikalno kretanje i time miješaju sirovinu. Ovakav sustav manje troši jer je oprema smještena izvan digestora. Pneumatsko miješanje se koristi za miješanje rijetkih tekućih supstrata koji imaju malu sklonost prema stvaranju plutajućeg krutog sloja. Ovaj sustav se rijetko koristi u bioplinskim postrojenjima za poljoprivrednu biomasu (Al Seadi i sur., 2009.)

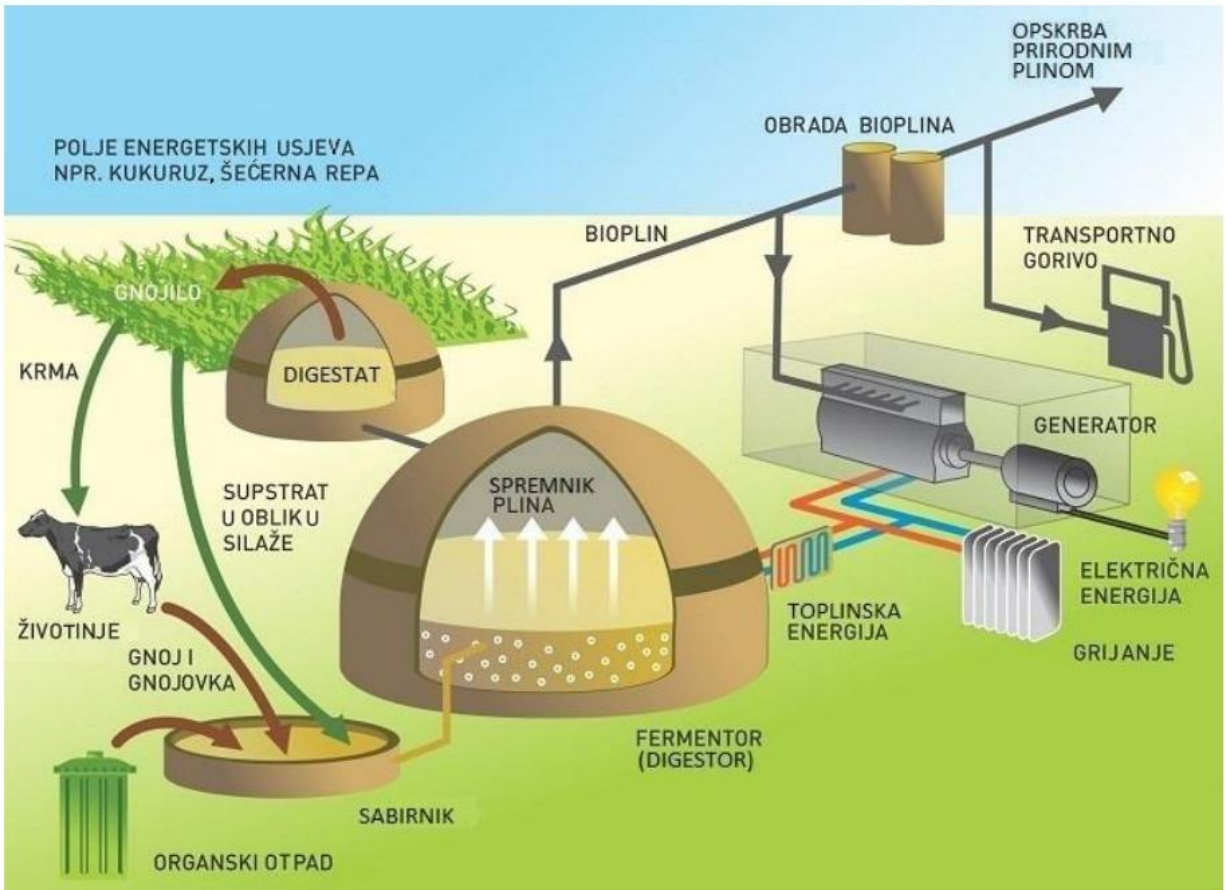
## 4. OSNOVNI DIJELOVI BIOPLINSKOG POSTROJENJA

Bioplinsko postrojenje (slika 5) je složen sustav koji se sastoji od nekoliko dijelova. Razlikujemo nekoliko tipova postrojenja koji se razlikuju ovisno o vrsti i količini sirovine koje se koriste za proizvodnju bioplina. Bioplin se može skladištiti, kondicionirati i koristiti za proizvodnju energije. Digestat, kruti ostatak, se najčešće ispumpava u spremnike za skladištenje te se kasnije koristi u obliku gnojiva na zemljištu.

Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima u većini slučajeva se odvija u ove četiri faze:

- Prva faza - transport, isporuka, skladištenje i obrada sirovine
- Druga faza - proizvodnja bioplina (anaerobna digestija)
- Treća faza - skladištenje digestata, mogućnost kondicioniranja i primjena
- Četvrta faza - skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje (Al Seadi i sur., 2009).

Bioplinsko postrojenje se sastoji od prihvatne jedinice, skladišta supstrata, sustava punjenja, armature i cjevovoda, sustava grijanja, digestora, sustava miješanja, skladišta bioplina te skladišta digestata (Al Seadi i sur., 2009.).



Slika 5. Glavni dijelovi bioplinskog postrojenja

(Izvor: <https://supeus.hr/wp-content/uploads/2020/05/Bioplina.pdf?x69875>)

#### 4.1. Prihvatna jedinica

Da bi proizvodnja bioplina bila kontinuirana bitno je osigurati stabilnu i neprekidnu opskrbu sirovine odgovarajuće kvalitete i u dovoljnoj količini. Vrlo se često kao supstrat za bioplinsko postrojenje uzimaju sirovine s poljoprivrednih imanja, iz prehrambeno-prerađivačke industrije ili organskog dijela kućnog otpada. Nakon što se sirovina dostavi, važe se, te se bilježe podatci - dostavljač, datum dostave, količina i vrsta dostavljene sirovine, podrijetlo i kvaliteta (Al Seadi i sur., 2009.).

## 4.2. Skladište supstrata

Razlikujemo nekoliko vrsta skladišta ovisno o količini sirovine. Kao najčešća vrsta skladišta koriste se bunker silosi koji služe za poljoprivredne ostatke, ili spremnici za tekuću sirovinu. Bunker silosi (slika 6) imaju prednost pri skladištenju supstrata jer se mogu skladištiti na čak više od godinu dana, dok su obični spremnici za tekuću sirovinu (slika 7) prilagođeni za skladištenje do nekoliko dana. Vrsta skladišta se određuje ovisno o količini sirovine, vremenu dostave te dnevnim potrebama za unos u digestor. Prije uporabe se sirovina može kondicionirati da bi se poboljšao process proizvodnje, poboljšala razgradnja i prinos bioplina (Al Seadi i sur., 2009.).



Slika 6. Bunker silosi

(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 7. Spremnici za tekuću sirovinu

(Izvor: vlastita fotografija)

### 4.3. Sustav punjenja, grijanja, transporta, armature i cjevovoda

Sirovina koja se koristi za anaerobnu digestiju puni se u spremnik, a način punjenja ovisi o vrsti supstrata te njegovoj pogodnosti za pumpanje. Sirovine dijelimo na krute i tekuće, a mogu se unositi u digestor preko dozirne trake i dozirnog puža koji melje, a zatim ubacuje sirovinu. Tijekom punjenja mora se paziti da temperatura procesa bude stabilna jer je važan preduvjet za stabilnost i visoke prinose procesa. Sirovina se može grijati tijekom transporta do digestora ili u samom digestoru. Pumpe se koriste za transport tekućeg supstrata iz skladišta do digestora. Razlikujemo dvije osnovne vrste pumpi - centrifugalne i volumetričke pumpe. U slučajevima kada je supstrat krut, transport i utovar se obavljaju pomoću traktora ili utovarivača. Svi cjevovodi i armatura koja se upotrebljava tijekom proizvodnje bioplina moraju biti otporni na

koroziju i primjereni za supstrate koji se koriste u proizvodnji. Materijal cijevi koji će se koristiti ovisi o vrsti supstrata i tlaku, a najčešće se koriste PVC, HDPE, čelik ili nehrđajući čelik (Al Seadi i sur., 2009.).

#### 4.4. Digestor

Digestor ili fermentor je centar bioplinskog postrojenja (slika 8) koji se može nalaziti na površini ili ispod nje. To je nepropusni spremnik u kojemu se odvija proces anaerobne digestije, slični silosu, toplinski je izoliran, a najčešće je napravljen od cigle, čelika, betona ili plastike.



Slika 8. Digestor i postdigestor

(Izvor: vlastita fotografija)

Razlikujemo dva osnovna tipa digestora, obročni i kontinuirani tip. Kontinuirani tip digestora neprekidno se puni sirovinom, dok se fermentirani materijal istiskuje van. Za razliku od njega, obročni tip digestora puni se sirovinom i fermentira, ali se nakon toga digestor potpuno isprazni. Često se uz digestor nalazi i postdigestor, te se onda već fermentirana smjesa pumpa u postdigestor da bi se dobilo još više energije iz sirovine. Unutar digestora se nalaze mješači za miješanje sirovina, najčešće ih je 3 do 4. Miješanje sirovine je vrlo važna stavka jer sprječava zgušnjavanje sirovine koju pumpa ne bi mogla izvlačiti van nakon fermentacije. Veličina

digestora određuje veličinu cijelog bioplinskog postrojenja, a samim time i veći digestor proporcionalno znači više bioplina. Digestor, kao i ostalu opremu, potrebno je redovito održavati i servisirati da se ne bi nakupljao pijesak ili neki drugi sedimenti teških tvari. Sirovina se u digestoru najčešće zadržava između 40 i 60 dana. Vrijeme zadržavanja sirovine u spremnicima proporcionalno je brzini proizvodnje metana. Na digestoru se nalaze različite sonde i senzori za zaštitu, pa u slučaju da razina supstrata prijeđe dozvoljenu granicu sonda isključuje sustav. Digestor najčešće radi pri mezofilnim uvjetima, na 40 ° C (Al Seadi i sur., 2009.).

#### 4.5. Sustav mješanja

Postoji nekoliko tipova miješalica:

- Miješalice propelerskog tipa
- Miješalice s dugim vratilom
- Aksijalne miješalice
- Miješalice s lopaticama
- Pneumatsko miješanje
- Hidraulično miješanje (Al Seadi i sur., 2009.).



Slika 9. Aksijalne miješalice



(Izvor: vlastita fotografija)

#### 4.6. Spremnik bioplina

U digestoru se tijekom proizvodnje bioplina stvara u fluktuirajućim količinama te ima svoje proizvodne vrhunce. Spremnik bioplina (slika 10) se može nalaziti na vrhu digestora ili može biti odvojeno od njega. Spremnik bioplina bi trebao biti primjeren procesu jer se time osigurava optimalna opskrba, manji gubici, a i pospješuje učinkovitost bioplinskog postrojenja. Naknadno se bioplina iz spremnika kondicionira, vrši se desumoprizacija i sušenje po potrebi (Al Seadi i sur., 2009.).



Slika 10. Spremnik bioplina

(Izvor: <https://bajka.com.hr/order-products-73611>)

#### 4.7. Skladište digestata

Skladišta digestata bi se, zbog praktičnosti, trebalo nalaziti u blizini digestora, jer su u njemu digestat privremeno skladišti. Zbroj kapaciteta svih skladišnih spremnika mora biti dovoljan da bi se prihvatila proizvodnja digestata od nekoliko mjeseci. Ta skladišta mogu biti betonska spremišta, koja su pokrivena prirodnim ili umjetnim plutajućim slojevima, odnosno membranama, ili lagune. Tijekom procesa skladištenja digestata može doći do gubitka dijela metana i hranjivih tvari. Da bi se to spriječilo, spremnici za skladištenje digestata bi trebali uvijek biti pokriveni s plinsko-nepropusnom membranom koja ima sposobnost zadržavanja plina (Al Seadi i sur., 2009.).



Slika 11. Skladište digestata, “laguna”

(Izvor: vlastita fotografija)

## **5. MATERIJAL I METODE**

Podatci o radu i održavanju bioplinskog postrojenja koje je opisano u ovom završnom radu, prikupljeni su metodom intervjua s voditeljem postrojenja. Obavljen je obilazak terena i prikupljanje podataka, fotodokumentacija te obrada dobivenih podataka. Istraživanje je obavljeno na bioplinskom postrojenju u blizini Cerne gdje su utvrđene mjere koje se provode u svrhu održavanja i servisa opreme i objekata na bioplinskom postrojenju. Na zahtjev vlasnika ne spominje se ime bioplinskog postrojenja i tvrtke na kojem je obavljeno istraživanje, ali je omogućen pristup postrojenju i ustupljene su informacije o postrojenju kao i fotodokumentacija tijekom intervjua.

### **5.1. Podatci o bioplinskom postrojenju**

Bioplinsko postrojenje je izrađeno i pušteno u rad 2021. godine, iznos investicije bio je 7.000.000 €. Snaga bioplinskog postrojenja je 1 MWel, a radni volumen digestora i postdigestora iznosi 7700 m<sup>3</sup>. Glavne sirovine za proizvodnju bioplina su tekući digestat i sirutka.

### **5.2. Proizvodnja bioplina**

Proces proizvodnje bioplina se na navedenom bioplinskom postrojenju sastoji do 3 glavne faze. Prva faza (I.) sastoji se od pripreme sirovine. U jamu se pomoću strojeva unose sirovine, te se pomoću mješača miješaju sve dok se ne dobije homogena smjesa.

Omjer sirovina:

- Silaža = 35 t
- Stajnjak = 20 t
- Gnojnica = 20 t

Druga faza (II.) je doziranje. U ovoj fazi se sirovine iz jame svaka 4 sata prepumpavaju u digestor.

Treća faza (III.) je fermentacija. Nakon prepumpavanja sirovine se u digestoru miješaju sa materijalom koji se tamo već nalazi te se smjesa zagrijava na 40 – 42 °C. Stvaraju se anaerobni uvjeti, započinje razgradnja organskog materijala uz pomoć mikroorganizama. Vrijeme koje je potrebno za razgradanju organskog materijala (odnosno vrijeme hidrauličke retencije) iznosi 60-90 dana. Pomoću prelivne cijevi organski materijal koji je fermentirao preljeva se iz digestora u postdigestor, gdje u zadnjoj fazi razgradnje organskog materijala nastaje bioplina koji se skuplja iznad smjese.

Prije nego što se bioplina transportira plinovodom do bioplinskog motora, bioplina se najprije prenosi do kondenzacijske šahte, koji je prikazan na slici 17, u kojoj se vrši sušenje bioplina jer vlažan bioplina je štetan za motor.

Energent za pokretanje motora je bioplina od kojeg se proizvodi električna energija, dok je nusproizvod toplinska energija koja se pomoću tzv. „skida“, koji je prikazan na slici 20, prenosi i iskorištava za grijanje digestora. Na postrojenju se nalazi jedan motor austrijske proizvodnje Jenbacher, snage 1201 kWel (slika 21).

### 5.3. Objekti i oprema na bioplinskom postrojenju

Tablica 2. Objekti i oprema na bioplinskom postrojenju

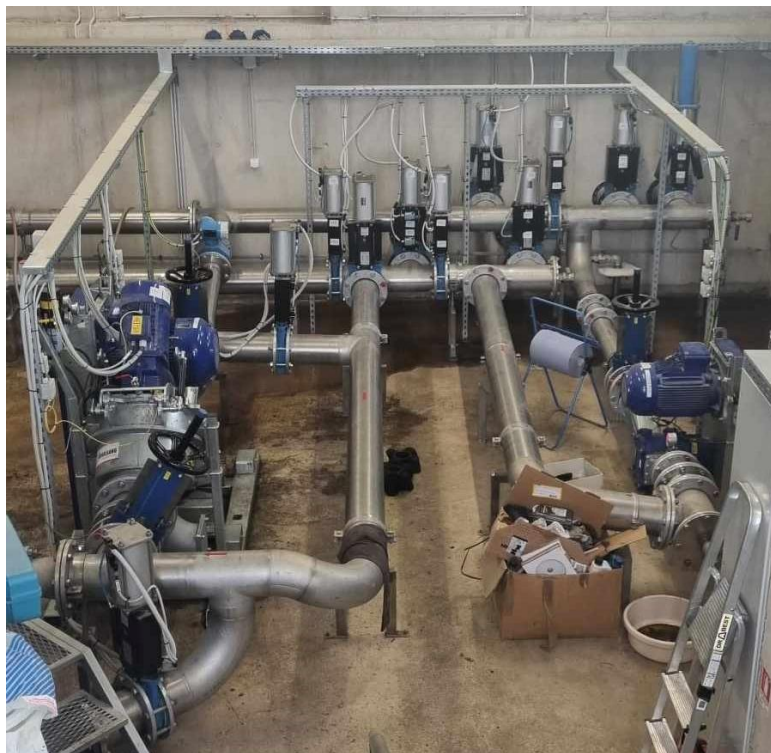
Objekti	Količina	Kapacitet	Oprema
Trench silos	1 kom.	20 000 t silaže	-
Horizontalni spremnici	2 kom.	30 m <sup>3</sup>	-
Mješača jama	1 kom.	400 m <sup>3</sup>	1 vertikalni mješač 1 kosi mješač
Digestor	1 kom.	3850 m <sup>3</sup>	2 vertikalna mješača 2 kosa mješača

Postdigestor	1 kom.	3850 m <sup>3</sup>	2 vertikalna mješača 1 kosi mješač
Skladište digestata	1 kom.	10 500 m <sup>3</sup>	-

Osim opreme navedene u tablici 2 na postrojenju nalaze se:

- Crpna stanica (slika 12)
- Cijevi za odvod i dovod topline u digestor (slika 13)
- Preljevna cijev (slika 14)
- Puhalo zraka, tzv. „desumporizator“ (slika 15)
- Bioplinska trasa (slika 16)
- Kondenzacijska šahta (slika 17)
- Pročistač digestata (slika 18)
- Baklja za spaljivanje viška bioplina (slika 19)
- Skid (slika 20)
- Bioplinski motor (slika 21)
- Računalo bioplinskog motora (slika 22)

U crpnoj stanici se nalazi glavna pumpa koja supstrat iz jame prepumpava u digestor. U dozirnoj stanici se također nalazi tzv. sjeckalica koja se aktivira ako se u supstratu nalaze strana tijela.



Slika 12. Crpna stanica

(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 13. Cijevi za odvod i dovod topline u digestor

(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 14. Preljevna cijev

(Izvor: vlastita fotografija)

Desumporizator mjeri razinu sumpora u digestoru jer je velika količina sumpora štetna za bioplinski motor na kojemu nastaju bijeli slojevi koji se talože na glavi klipa te smanjuje volumen cilindra.



Slika 15. Desumporizator

(Izvor: vlastita fotografija)





Slika 16. Bioplinska trasa

(Izvor: vlastita fotografija)

Budući da bioplin može sadržavati vodu koja je štetna za rad bioplinskog motora jer utječe na nastanka korozije, voda se iz bioplina izvlači pomoću kondenzacijske šahte.



Slika 17. Kondenzacijska šahta

(Izvor: vlastita fotografija)

Pročistač za digestat se nalazi na vrhu lagune te ima ulogu odvojiti krutu tvar digestata od tekuće.



Slika 18. Pročistač

(Izvor: vlastita fotografija)

Budući da se u proizvodnji može dogoditi povećana proizvodnja bioplina koja se ne može uskladištiti na siguran način, plinska baklja služi kao konačno rješenje za spaljivanje viška bioplina na siguran način bez ugrožavanja sigurnosti.



Slika 19. Baklja

(Izvor: vlastita fotografija)

Skid je “posrednik” koji preuzima toplinu bioplinskog motora i iskorištava je za zagrijavanje digestora, s tim da voda koja hladi motor i voda koja grije digestor nikada ne dođu u direktan kontakt nego se prijenos topline odvija preko lima koji prenosi energiju topline motora i iskorištava je za grijanje digestora.

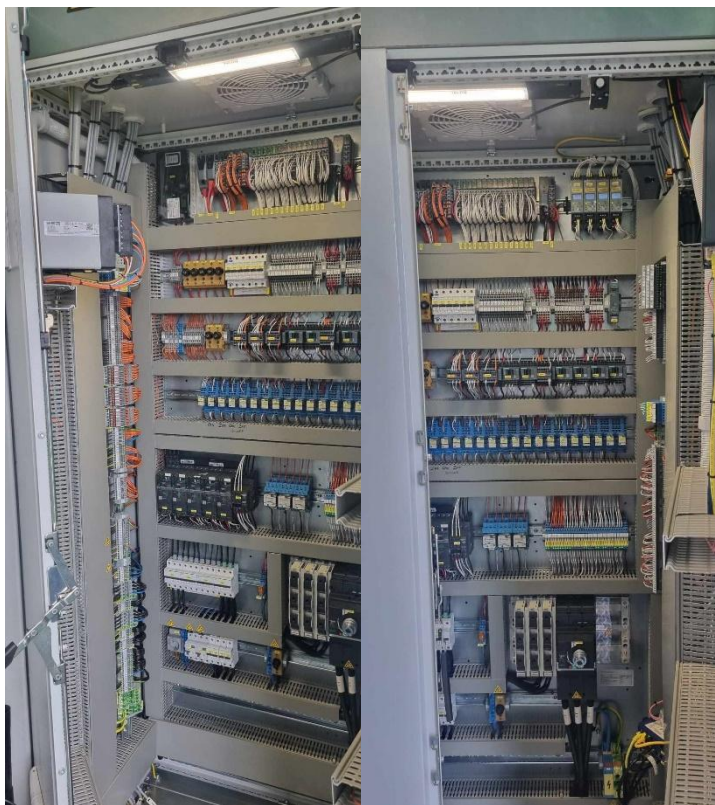


Slika 20. Skid

(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 21. Bioplinski motor  
(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 22. Računalo bioplinskog motora  
(Izvor: vlastita fotografija)

## 6. REZULTATI I RASPRAVA

Dnevno održavanje provodi se vizualnim pregledima opreme i objekata i popisivanjem parametara. Ako dođe do nepredviđenih kvarova i odstupanja, poduzimaju se potrebni zahvati za otklanjanje pojedinih kvarova. Održavanje objekata i opreme obavlja se u propisanim vremenskim intervalima, te se takvo održavanje naziva planirano održavanje. Tablica 3. prikazuje vremenske intervale održavanja opreme i objekata i načine na koje se obavlja.

Tablica 3. Planirano održavanje opreme na bioplinskom postrojenju

OPREMA	VREMESNKO RAZDOBLJE	ODRŽAVANJE I SERVIS
Digestor	Nakon 3 godine	Čišćenje
Mješači kosi i vertikalni	Svake 2 godine	Servisi i zamjena ulja
Crpke	Jednom godišnje	Zamjena ulja i lopatica
Mješača jama	Jednom godišnje	Čišćenje
Kompresor	Jednom godišnje	Zamjena ulja
Razvodnik topline	Po potrebi	Zamjena
Ventili	Po potrebi	Zamjena
Puhalo	Svake tri godine	Servis ovlaštenog servisera
Pročistač	Svake dvije godine	Servis

Bioplinski motor za razliku od ostale opreme ima zahtjevnije održavanje, što je opisano u Tablici 4.

Tablica 4. Servisi bioplinskog motora

Radni sati (h)	Način održavanja
1 000	Čišćenje svjećica
2 000	Ležajevi i čišćenje svjećica
10 000	Kontrola klipova
30 000	Zamjena turbine i ležajeva generatora
30 000	Izmjena glave motora
40 000	Kontrola klipa
50 000	Izmjena turbine i ležajeva generatora
80 000	Zamjena motora

## 7. ZAKLJUČAK

Proizvodnja i korištenje bioplina iz anaerobne digestij ima pozitivan učinak na okoliš, a i pruža koristi za cijelo društvo i gospodarstvo, uključujući i poljoprivrednike. Poticanjem proizvodnje bioplina poboljšavaju se lokalni gospodarski uvjeti čime se osiguravaju radna mjesta u ruralnim područjima, a također se povećava i kupovna moć u regiji. Može se reći da bi se poticanjem proizvodnje bioplina mogao poboljšati životni standard, a time i doprinijeti ekonomskom i socijalnom razvoju sredine.

U ovome je radu analizirano bioplinsko postrojenje te dijelovi istog i njihovo održavanje. Vrijeme razgradnje supstrata na ovome postrojenju traje oko 70 dana. Nakon završetka faze fermentacije bioplin se transportira te služi kao izvor energije za pokretanje motora i proizvodnju električne energije, dok se digestat koristi kao organsko gnojivo na okolnim njivama. Održavanje bioplinskog postrojenja provodi se svakodnevno pregledavanjem opreme i objekata te popisivanjem parametara, te u slučaju kvara ili odstupanja parametara vrše se određeni zahvati. Održavanje ostalih objekata i opreme provodi se planiranim održavanjem.

Redovitim održavanjem i servisiranjem postrojenja produžuje se trajnost materijala i opreme te se na taj način direktno utječe na uspješnost i efikasnost cijelog procesa proizvodnje bioplina.



## 8. 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/>. (19.9.2022.)
3. Hublin, A., Zelić, B., Panjičko, M. (2023.): Proces anaerobne razgradnje – proizvodnja bioplina, <https://www.tehnoeko.com.hr/8409/Proces-anaerobne-razgradnje-proizvodnja-bioplina> (24.7.2023.)
4. 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.
5. Katić, Z. (1981). 'Bioplin - mogućnost proizvodnje i korištenja'
6. 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.
7. Osman, Z. (2015.). Projekt bioplinskog postrojenja. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015.
8. Poveznica 1 - <https://regulator.hr/zanimljivosti/sto-je-biomasa-i-kako-se-koristi/> (22.7.2023.)
9. Poveznica 2 – <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/zasto-struka-i-birokracija-imaju-razlicito-misljenje-o-digestatu/82512/> (23.7.2023.)
10. Poveznica 3 – <https://supeus.hr/wp-content/uploads/2020/05/Bioplin.pdf?x69875> (24.7.2023.)
11. Poveznica 4 - <https://bajka.com.hr/order-products-73611> (25.7.2023.)