

# Proizvodnja električne, toplinske energije iz bioplina uz dobivanje pitke vode

---

**Kasumović, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:550245>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**Proizvodnja električne, toplinske energije iz bioplina uz dobivanje  
pitke vode**

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Senčić

Rijeka, rujan 2023.

Luka Kasumović

0035203738

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKE ISPITE**

Rijeka, 10. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Goriva, maziva i voda**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

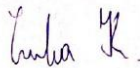
Pristupnik: **Luka Kasumović (0035203738)**  
Studij: **Sveučilišni diplomski studij strojarstva**  
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Proizvodnja električne, toplinske energije iz bioplina uz dobivanje pitke vode / Production of electric and heat energy from biogas with drinking water generation**

### Opis zadatka:

Sustav dobivanja bioplina je racionalan način iskorištavanja biomase na poljoprivrednim i stočarskim pogonima koji omogućuje istovremeno rješavanje različitih potreba. Opisati takav sustav proizvodnja električne, toplinske energije iz bioplina uz dobivanje pitke vode. Proračunati i dimenzionirati sustav za farmu sa 3000 goveda. Procijeniti energetske gubitke i prikazati ih dijagramom. Izraditi shemu postrojenja, nacrt digestora.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Tomislav Senčić

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad „Proizvodnja električne, toplinske energije iz bioplina uz dobivanje pitke vode“ izradio samostalno koristeći stečena znanja i navedenu literaturu. Rad je izrađen po Uputama za pisanje diplomskih radova, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Senčica.

Luka Kasumović

## Zahvala

Želio bi se zahvaliti mentoru, profesoru dr. sc. Tomislavu Senčiću, na vodstvu, strpljenju i potpori tijekom procesa izrade diplomskog rada. Također bih želio uputiti iskrenu zahvalu farmeru Dragutinu, koji je bio izuzetno susretljiv i pružio dragocjenu pomoć prilikom prikupljanja podataka.

Dodatno, želim se posebno zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima za njihovu podršku, neizmjereno strpljenje i razumijevanje tijekom cijelog razdoblja studija.

# SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
1.1	Biomasa i bioplin .....	1
1.2	Voda .....	3
1.2.1	Struktura i svojstva vode .....	4
1.2.2	Onečišćenje vode .....	7
2	ANAEROBNA DIGESTIJA .....	8
2.1	Biokemijski postupak anaerobne digestije .....	9
2.2	Parametri anaerobne digestije .....	10
2.2.1	Temperatura procesa .....	10
2.2.2	pH-vrijednost .....	12
2.2.3	Amonijak .....	12
2.2.4	Elementi u tragovima .....	12
2.3	Radni parametri .....	12
3	TEHNOLOGIJE OBRADE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU .....	14
3.1	Membranska filtracija .....	15
3.1.1	Ultrafiltracija .....	17
4	POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOPLINA .....	19
4.1	Poljoprivredna bioplinska postrojenja .....	19
4.2	Ostala postrojenja vezana za anaerobnu digestiju .....	21
4.3	Dijelovi bioplinskog postrojenja .....	22
4.4	Princip rada bioplinskog postrojenja .....	24
5	PRIMJENA BIOPLINA I DIGESTATA .....	26
5.1	Upotreba bioplina .....	26
5.2	Svojstva bioplina .....	26
5.3	Kogeneracija toplinske i električne energije .....	28
5.3.1	Plinski-Otto motori .....	29

5.3.2	Plinski-dizel motor s pilot paljenjem .....	30
5.4	Upotreba digestata .....	30
5.4.1	Tehnologija anaerobne digestije za upravljanjem krutim i tekućim stajskim gnojem	31
5.4.2	Digestat kao gnojivo .....	31
6	PROJEKT BIOPLINSKOG POSTROJENJA.....	33
6.1	Količina sirovine i bioplina .....	33
6.2	Količina i sastav supstrata.....	37
6.3	Dimenzioniranje digestora .....	39
6.4	Dimenzioniranje predspremnika .....	41
6.5	Toplina potrebna za održavanje temperature procesa.....	41
6.5.1	Toplina potrebna za zagrijavanje supstrata .....	42
6.5.2	Toplinski gubici digestora .....	43
7	PROJEKT POSTROJENJA ZA OBRADU VODE .....	50
7.1	Parametri jezerske vode .....	50
7.2	Odabir pumpi za napojnu vodu i protupranje.....	54
8	ZAKLJUČAK.....	56
	LITERATURA .....	57
	POPIS OZNAKA.....	59
	POPIS SLIKA.....	62
	POPIS TABLICA .....	63
	SAŽETAK.....	64
	SUMMARY .....	65
	PRILOZI.....	66

# 1 UVOD

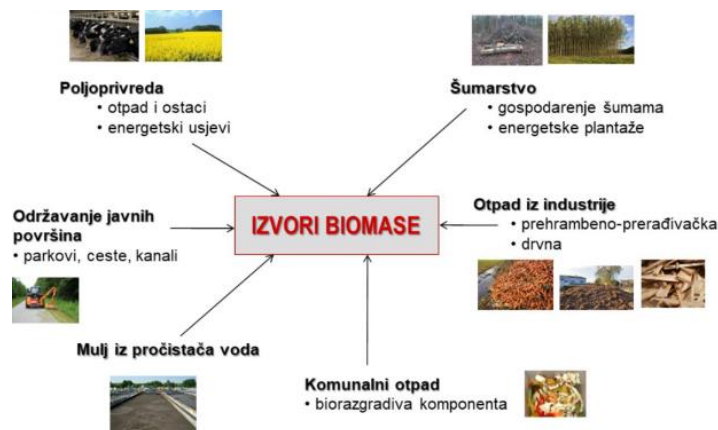
Obzirom na veliki interes za područje obnovljivih izvora energije i obradu vode, posebice u novije vrijeme kada je potreba za energijom iz konvencionalnih izvora i zaliha pitke vode sve manja, odluka je pala na pisanje diplomskog rada iz kolegija pod nazivom „Goriva, maziva i voda“. U kolegiju su obrađene teme biomase, bioplina i vode što je razlog odabiranja teme iz ovog kolegija. Porodični posao vezan za poljoprivredu i stočarstvo rezultirao je pisanjem rada na temu bioplinskog postrojenja uz dobivanje pitke vode radi motiviranja grada Novske na upotrebu obnovljivih izvora energije i maksimalnog iskorištavanja potencijala vode.

## 1.1 Biomasa i bioplin

U svijetu raste potreba za sve većim količinama toplinske i električne energije, no i dalje se oslanjamo na fosilna goriva kao primarni izvor energije, iako je njihova dostupnost u stalnom padu. S obzirom na njihov štetan utjecaj na okoliš, ključno je podizanje svijesti o mogućnostima koje pružaju nove tehnologije i korištenje obnovljivih izvora energije u svakodnevnom životu. Sunčeva energija, energija vjetera, energija vode, geotermalna energija i energija biomase predstavljaju najznačajnije obnovljive izvore energije koji mogu zamijeniti fosilna goriva i pridonijeti očuvanju okoliša.

Biomasa se odnosi na razgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biljnog i životinjskog podrijetla koji potječu iz različitih sektora kao što su poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo te industrijski i komunalni otpad [1]. Podjela biomase uključuje drvenu, otpadnu i poljoprivrednu biomasu te energetske usjeve. Drvena biomasa sadrži drvo iz šuma, energetske plantaže te ostatke iz drvnoprerađivačke i drvne industrije. Otpadna biomasa uključuje industrijski otpad, ugostiteljski otpad, komunalni otpad te mulj dobiven pročišćavanjem otpadnih voda. Poljoprivredna biomasa uključuje ostatke usjeva kao što su stabljike, lišće, korijenje i slično. Slika 1.1 prikazuje izvore biomase iz različitih sektora.





Slika 1.1 Izvori biomase [1]

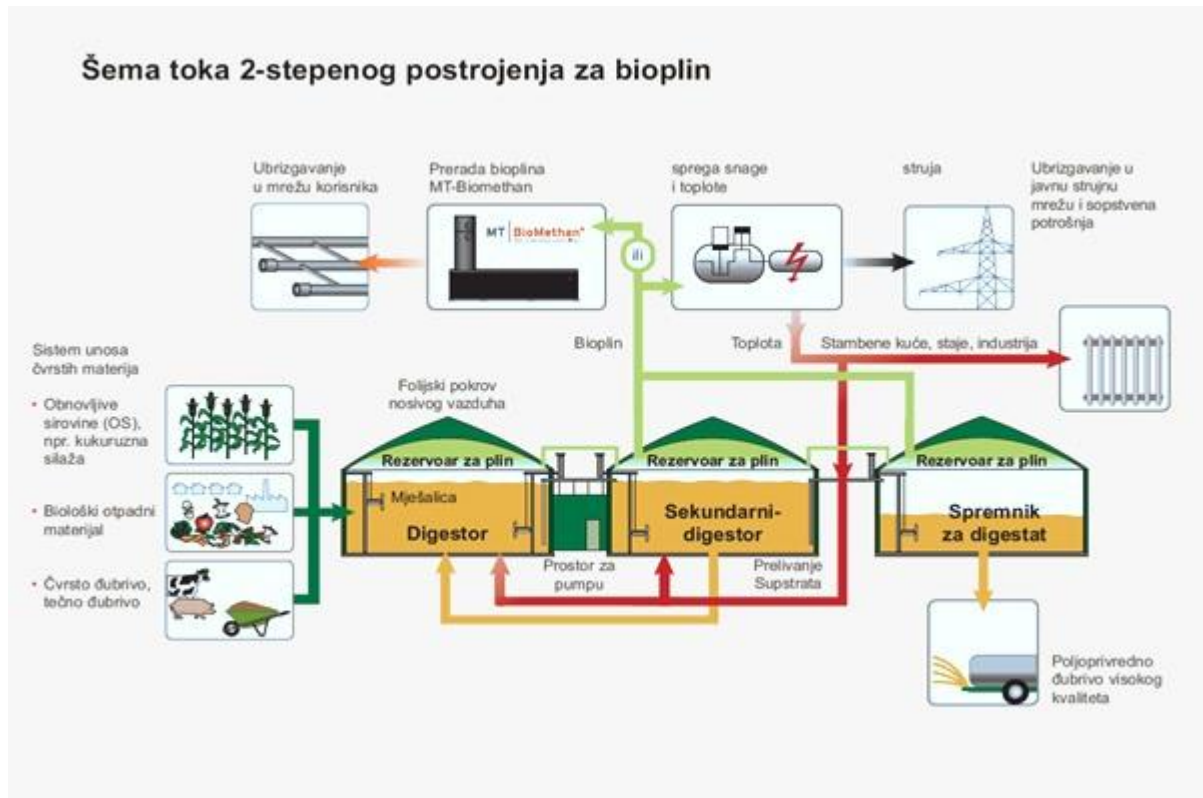
Biomasa, gledano s pozicije obnovljivih izvora energije, suočava se s nizom izazova, među kojima su: priprema i obrada prije upotrebe, transport i potrebne specifične tehnologije za korištenje. Usporedno s drugim obnovljivim izvorima energije poput sunca i vjetra, tehnologije za iskorištavanje biomase često su skuplje. Također, važno je napomenuti da biomasa ima nižu energetska vrijednost u usporedbi s ostalim energentima. Međutim, iskorištavanje biomase donosi i nekoliko ključnih prednosti. Kroz ovu vrstu energetike stvaraju se nove radne prilike za srednje i visoko kvalificirane radnike, što pozitivno utječe na zaposlenost. Također, povećava se gospodarska aktivnost, pridonoseći ukupnom razvoju i stabilnosti ekonomije. Još jedan značajan aspekt je povoljan utjecaj na okoliš, jer se upotrebom biomase smanjuje emisija štetnih plinova, što pomaže u borbi protiv klimatskih promjena.

Bioplin je rezultat anaerobne digestije organske tvari, poput biljnih ostataka, životinjskog otpada ili otpadne biomase, u uvjetima bez prisustva zraka. Tijekom ovog procesa, različite vrste bakterija razgrađuju kompleksne organske spojeve, što rezultira proizvodnjom bioplina i digestata. Anaerobna digestija je postupak koji se odvija u okruženju bez kisika, omogućujući održivo i ekološki prihvatljivo stvaranje bioplina.

Plin	Donja ogrjevna vrijednost	
	MJ/m <sup>3</sup>	kWh/Nm <sup>3</sup>
Prirodni plin	36	9,9
Bioplin (60% CH <sub>4</sub> )	21,6	6
Biometan (95 % CH <sub>4</sub> )	36	9,5

Slika 1.2 Usporedba toplinske vrijednosti bioplina i prirodnog plina [1]

Njegovu široku primjenu nalazimo u proizvodnji električne i toplinske energije, te kao gorivo za vozila. Donja ogrjevna vrijednost bioplina je  $H_{d,bp} = 21,6 \text{ MJ/m}^3$  čiji udio metana iznosi 60 %. Donja ogrjevna vrijednost i udjeli plinova u bioplina su prikazani na slikama 1.2 i 1.3. Bioplin ima širok spektar primjena, uključujući opskrbu domaćinstava, industrije i javnih mreža električnom energijom putem bioplinskih postrojenja (sliku 1.4). Osim toga, koristi se za grijanje i hlađenje prostora, te kao alternativno gorivo za vozila koja su prilagođena za korištenje bioplina.



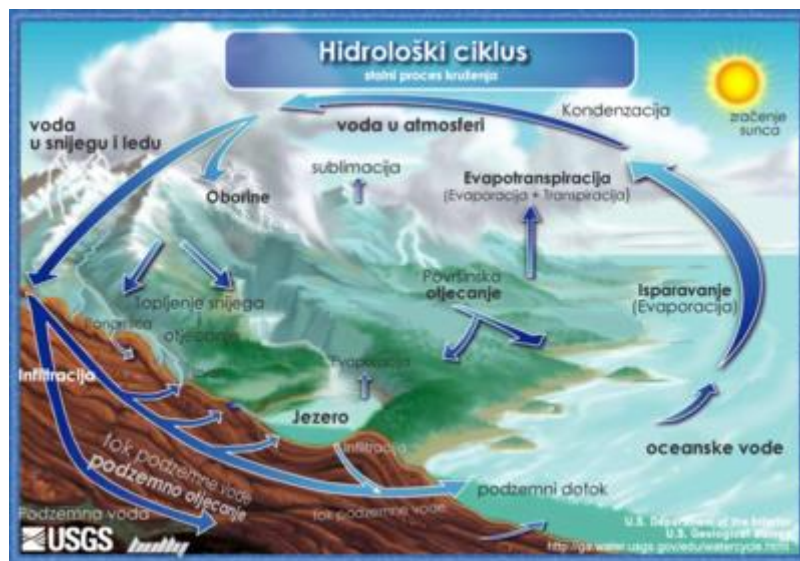
*Slika 1.3 Upotrebljivost bioplina [2]*

Primjena anaerobne digestije u bioplinskim postrojenjima ima potencijal da značajno smanji globalnu emisiju stakleničkih plinova za 3300 do 4400 milijuna tona CO<sub>2</sub>, što predstavlja udio od 11-14% u ukupnoj emisiji stakleničkih plinova. Prema najnovijem izvješću *World Biogas Association* [3], trenutno postoji oko 57 milijuna mikro digestora, 140 000 manjih, srednjih i velikih digestora, te 750 postrojenja za kondicioniranje bioplina diljem svijeta.

## 1.2 Voda

Voda je kemijski spoj sastavljen od dva atoma vodika i jednog atoma kisika povezana kovalentnim vezama kojeg obično nalazimo kao prozirnu bezbojnu tekućinu bez okusa i mirisa. Zauzima oko 71% Zemljine površine od kojih 97% vode čini slana voda, a preostalih 3% slatka

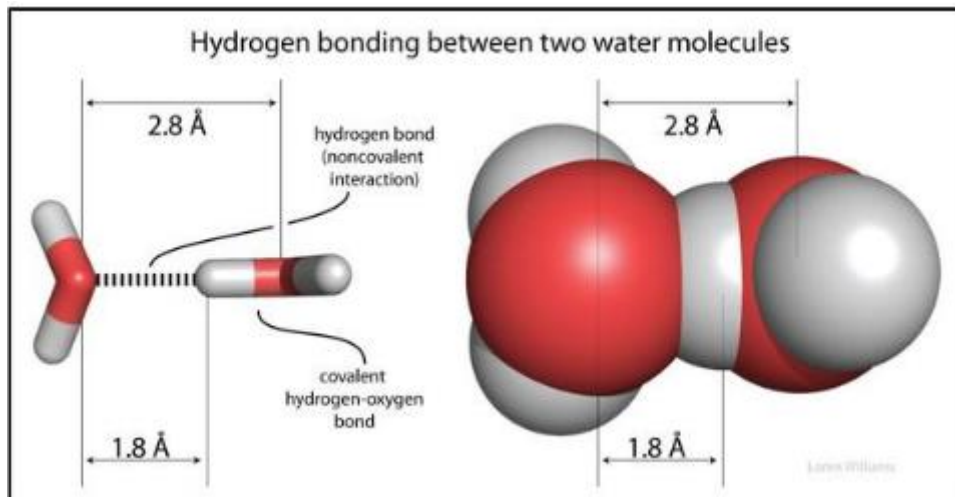
voda. Neizostavan je element za život na Zemlji i funkciju svakog živog organizma. Pri normalnim uvjetima (25° C, 1000 hPa) pojavljuje se u tekućem stanju, pri 0 °C prelazi u kruto stanje i pretvara se u led, a pri 100 °C prelazi u plinovito stanje i pretvara se u vodenu paru [4]. Najbitnije svojstvo vode je polarnost što omogućava otapanje kapljevina, plinova i krutih tvari. Djelovanjem Sunčeva zračenja voda konstantno isparava na površinama oceana, mora i ostalih vodenih površina u atmosferu, gdje kondenzira u obliku raznih padalina vraćajući se na Zemlju, zatvarajući krug kruženja vode u prirodi. Kretanje odnosno kruženje vode u prirodi naziva se globalni hidrološki ciklus u kojem ukupna količina vode je i dalje neizmijenjena.



Slika 1.4 Hidrološki ciklus vode [4]

### 1.2.1 Struktura i svojstva vode

Fizikalna i kemijska svojstva su definirana snažnim vodikovim vezama u strukturi vode. Vodikove veze su usko povezane uz polarnost koja u velikoj mjeri određuju svojstva vode, a definiraju se kao međumolekulske interakcije između atoma vodika jedne molekule i elektronegativnog atoma kisika druge molekule. Po jakosti se vodikova veza nalazi između van der Waalsove privlačne sile i kovalentne veze. Na slici 1.5 prikazana je jakost vodikove veze i kovalentne veze kod molekule vode.



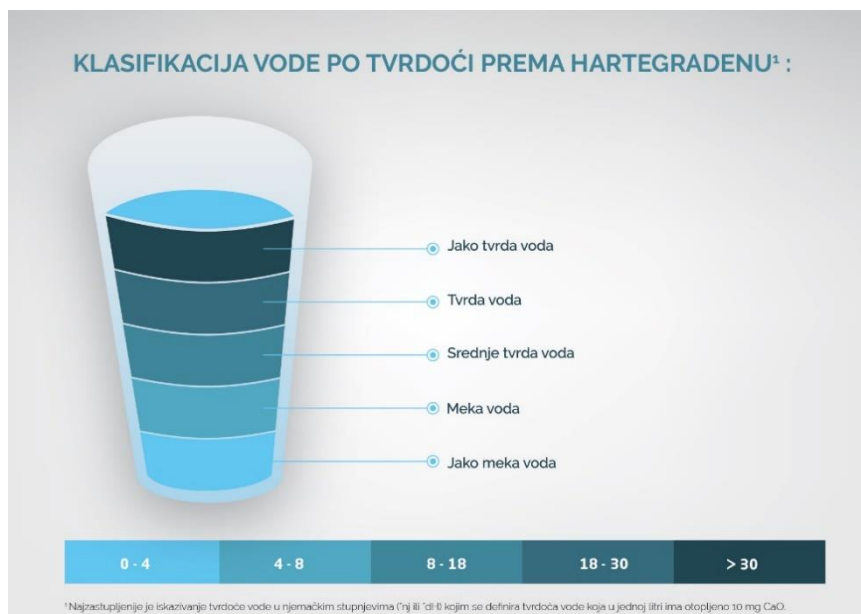
*Slika 1.5 Jakost vodikove veze [5]*

Zbog vodikovih veza, voda posjeduje veliki specifični toplinski kapacitet ( $c_w=4,1813 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ ) tj. sposobnost primanja velike količine topline u promatranom procesu kako bi se temperatura povisila za  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ili  $1 \text{ K}$ . Prilikom zagrijavanja vode dolazi do kidanja vodikovih veza pa je zbog toga potrebna velika količina topline za povišenje temperature vode, a prilikom hlađenja se energija kidanja vodikovih veza predaje [6]. Osim visokog specifičnog toplinskog kapaciteta vrlo bitna su ostala svojstva, a to su: visoka točka leđišta i vrelišta, visoka latentna toplina taljenja i toplina isparavanja, toplinska vodljivost, velika napetost površine i kapilarnost (vidi tablicu 1.1).

Tablica 1.1 Fizikalna svojstva vode [7]

Svojstvo	Vrijednost	Mjerna jedinica
<b>Ledište (1,013 bar)</b>	0	°C
<b>Vrelište (1,013 bar)</b>	100	°C
<b>Kritična temperatura</b>	374,15	°C
<b>Kritični tlak</b>	220,5	bar
<b>Kritična gustoća</b>	314	kg m <sup>-3</sup>
<b>Temperatura trojne točke</b>	0,01	°C
<b>Tlak trojne točke</b>	0,006113	bar
<b>Gustoća (0 °C)</b>	999,8	kg m <sup>-3</sup>
<b>Gustoća (3,98 °C)</b>	1000	kg m <sup>-3</sup>
<b>Gustoća (20 °C)</b>	997,01	kg m <sup>-3</sup>
<b>Dinamička viskoznost (20 °C)</b>	0,00101	Pas
<b>Površinska napetost (20 °C)</b>	0,07275	N m <sup>-1</sup>
<b>Površinska napetost (100 °C)</b>	0,05250	N m <sup>-1</sup>
<b>Toplina isparavanja (1,013 bar, 100 °C)</b>	2256,9	kJ kg <sup>-1</sup>
<b>Toplinski kapacitet (15 °C)</b>	4186,8	J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Električna provodnost (čista voda, 20 °C)</b>	$4,2 \times 10^{-6}$	S m <sup>-1</sup>
<b>Konstanta dielektričnosti (25 °C)</b>	78,25	-
<b>Dipolni moment</b>	$6,2 \times 10^{-30}$	C m <sup>-1</sup>
<b>Brzina zvuka (20 °C)</b>	1482,3	m s <sup>-1</sup>

Obzirom da je voda izvrsno otapalo zbog svoje polarnosti, uvijek možemo naći otopljene tvari kao što su soli. Udio rastvorenih soli u vodi definira se kao tvrdoća pa se time voda dijeli na meku, srednje tvrdu, tvrdu i vrlo tvrdu vodu.



*Slika 1.6 Klasifikacija vode po tvrdoći [8]*

Slika 1.6 prikazuje klasifikaciju vode po tvrdoći prema Hartegradenu u njemačkim stupnjevima (°dH) kojim se definira tvrdoća vode gdje 1 °dH označava 10 mg CaO u litri vode odnosno meka voda od 5 °dH ima 50 mg CaO/l.

### 1.2.2 Onečišćenje vode

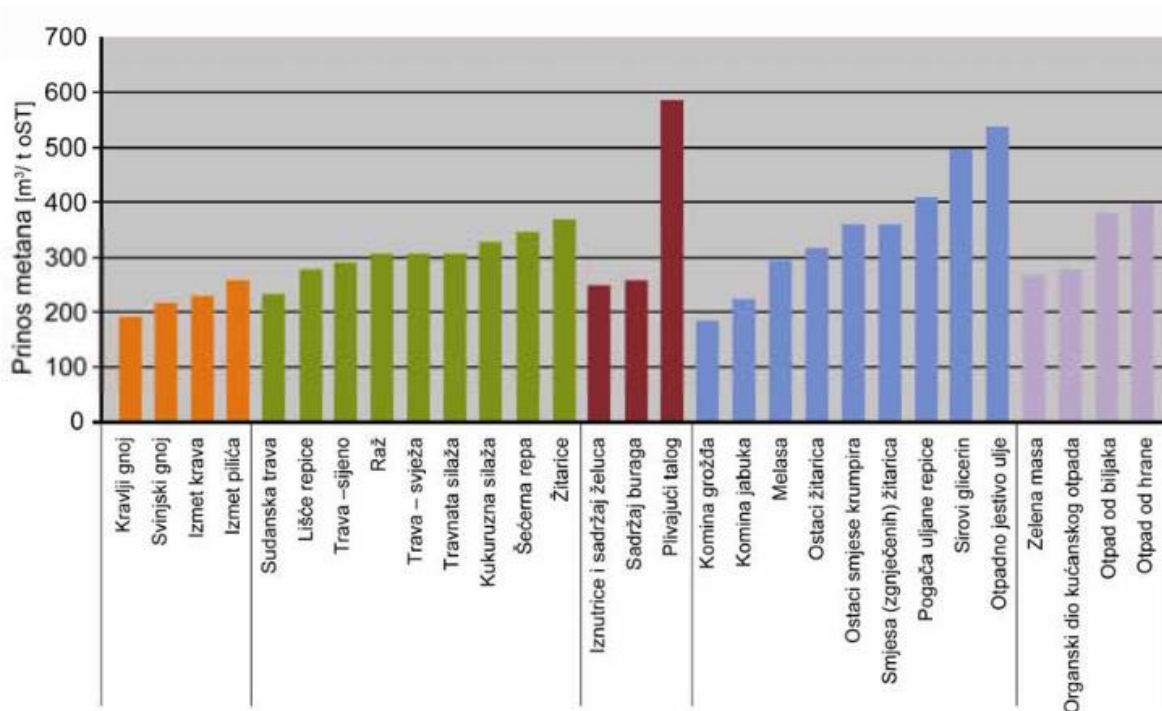
Postoje raznoliki izvori kroz koje onečišćujuće tvari mogu prodrijeti u vodu, a značajne razlike mogu se vidjeti u fizikalno-kemijskim svojstvima, prirodi onečišćenja vode, kao i samom utjecaju na okoliš, posebno kada je riječ o njihovom utjecaju na zdravlje ljudi. Razlikujemo nekoliko vrsta onečišćenja vode, a neki od njih su:

- **Fizičko onečišćenje** - što uključuje promjenu boje, prisutnost raspršenih tvari, neobičan miris, okus, mutnoću i promjenu temperature vode.
- **Kemijsko i radiološko onečišćenje** - može biti prirodno geološkog podrijetla (arsen, fluoridi, sulfati, nitrati, nitriti i natrijeve soli), povezuju se s pojavom karijesa, različitim trovanjima, povišenim krvnim tlakom i slično
- **Mikrobiološko onečišćenje** - uzrokovano prisutnošću patogenih mikroorganizama (bakterije, virusi, gljive) koji nisu prirodno prisutni u vodi i ulaze kao onečišćenje [9]

## 2 ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija (AD), također poznata kao razgradnja ili fermentacija, predstavlja biokemijski proces u kojem različite vrste bakterija razgrađuju kompleksne organske spojeve u uvjetima bez prisustva kisika, stvarajući bioplin i digestat [11]. Bioplin se sastoji od metana i ugljičnog dioksida, te se koristi kao izvor energije za proizvodnju električne ili toplinske energije. S druge strane, digestat, bogat hranjivim tvarima, koristi se kao gnojivo u poljoprivredi. Supstrat je naziv za tvar koja se podvrgava razgradnji u anaerobnoj digestiji. Ovaj proces proizvodi plinove, uključujući metan ( $\text{CH}_4$ ), ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), vodenu paru ( $\text{H}_2\text{O}$ ) i fermentirane ostatke.

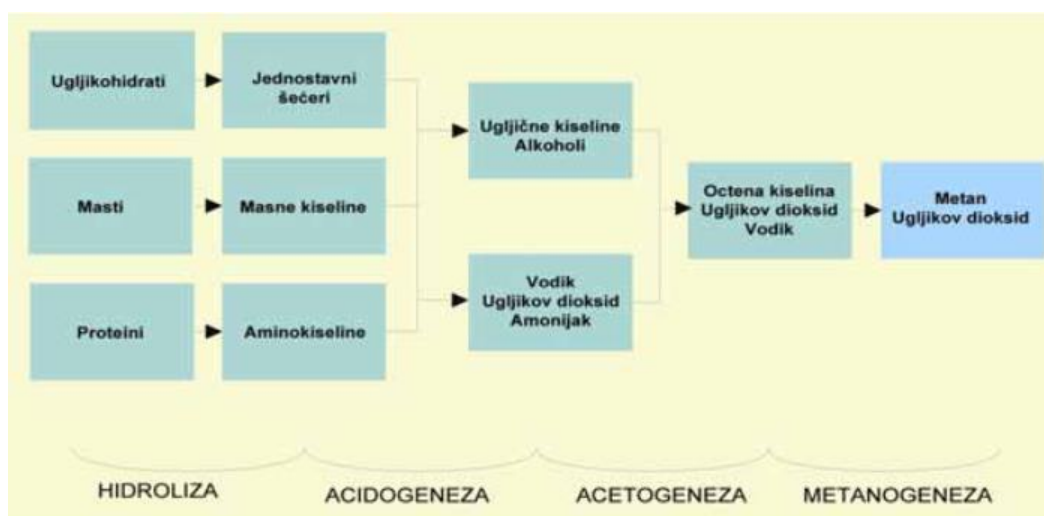
Proizvodnja bioplina često se ostvaruje putem procesa anaerobne digestije, poznate i kao kodigestija, koja uključuje upotrebu nekoliko supstrata istovremeno kako bi se povećala efikasnost i stabilnost tog postupka. Supstrati koji se koriste u ovom procesu uključuju gnojnicu i stajski gnoj, ostatak od poljoprivredne proizvodnje, ostatak biljnog i životinjskog porijekla iz prehrambene i poljoprivredne industrije, otpad iz sektora ugostiteljstva i komunalni otpad, otpadne muljeve te usjeve poput pšenice, konoplje i kukuruza. Kombinacijom stajskog gnoja s ostacima i nusproizvodima iz poljoprivredne proizvodnje se unapređuje proces anaerobne digestije zahvaljujući visokoj vlažnosti i prisutnosti neophodnih anaerobnih bakterija. Rezultati proizvodnje metana variraju u zavisnosti od vrste korištenih supstrata, kao što je prikazano na dijagramu 2.1.



Slika 2.1 Prinos metana za različite supstrate [12]

## 2.1 Biokemijski postupak anaerobne digestije

Proces nastajanja bioplina prolazi kroz četiri uzastopne faze tijekom kojih se supstrat razgrađuje na jednostavne spojeve. Svaki korak uključuje djelovanje specifičnih mikroorganizama koji razlažu supstrat. U procesu nastanka bioplina odvijaju se 4 osnovne transformacije supstrata, a to su: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza (vidi sliku 2.2).



Slika 2.2 Četiri faze prilikom nastanka bioplina [11]



Hidroliza označava inicijalnu fazu anaerobne razgradnje, u kojoj se kompleksni organski polimeri dekomponiraju u manje komponente, koje su poznate kao monomeri i oligomeri. Bakterije prisutne u ovoj fazi luče enzime za hidrolizu koji razgrađuju biopolimere u jednostavnije i rastvorljive spojeve, kao što su glukoza, glicerol, purini i piridini.

U fazi acidogeneze, produkti hidrolize se razgrađuju u metanogene spojeve putem fermentacije pod uticajem acidogenih bakterija. Monosaharidi, aminokiseline i masne kiseline razlažu se u acetat, ugljični dioksid i vodik, koji čine 70% ukupnih produkata, kao i u hlapljive masne kiseline (HMK) i alkohole, koji čine preostalih 30%.

Proizvodi fermentacije u fazi acetogeneze, koji nisu u stanju direktno se pretvarati u metan uz pomoć metanogenih bakterija, podvrgavaju se oksidaciji kako bi se formirali metanogeni spojevi. Oksidacijom alkohola i HMK stvara se acetat, vodik i ugljični dioksid. Proizvodnja vodika može inhibirati metabolizam acetogenih bakterija, što može usporiti oksidaciju alkohola i HMK.

Bitna faza u cijelom procesu anaerobne razgradnje je metanogeneza, jer se u njoj proizvode metan i ugljični dioksid putem razvoja metanogenih bakterija. Otprilike 70% ukupnog metana potiče od acetata, dok se preostalih 30% razvija pretvorbom vodika i ugljičnog dioksida. Efikasnost metanogeneze značajno zavisi od radnih uslova, kao što su sastav materijala, napunjenost digestora, temperatura procesa i pH vrednost supstrata. Preopterećenje digestora, oscilacije temperature i povećani unos kisika obično rezultiraju prekidom proizvodnje metana.

## **2.2 Parametri anaerobne digestije**

Učinkovitost anaerobne digestije i proizvodnja bioplina ovise o optimalnim uvjetima za razvoj anaerobnih bakterija. Ključni parametri koji utječu na ovaj proces uključuju temperaturu, pH-vrijednost, udio hlapljivih masnih kiselina (HMK), udio amonijaka i udio elemenata u tragovima. Posebno je važno osigurati hermetičko okruženje kako bi se spriječio ulazak zraka u digestor, jer je to ključno za uspješan tijek anaerobne digestije

### **2.2.1 Temperatura procesa**

Anaerobna digestija odvija se u različitim temperaturnim zonama koje se dijele na psihrofilnu, mezofilnu i termofilnu. Vrijeme procesa razgradnje unutar digestora zavisi od temperature procesa, a vrijeme za svaku temperaturnu zonu je definirano u tablici 2.1.

Tablica 2.1 Vrijeme trajanja procesa za određene temperaturne zone [11]

Temperaturna zona	Procesne temperature, °C	Minimalno vrijeme trajanja procesa, dan
Psihrofilna	< 20	70 - 80
Mezofilna	30 - 42	30 - 40
Termofilna	43 - 55	15 - 20

Većina današnjih bioplinskih postrojenja preferira rad u termofilnoj zoni zbog mnogih prednosti u odnosu na mezofilnu i psihrofilnu temperaturnu zonu. Rad na termofilnim temperaturama donosi sljedeće prednosti:

- uklanjanje neželjenih mikroorganizama
- prirast bakterija koje proizvode metan
- brži i učinkovitiji proces razgradnje
- veća razgradljivost hranjive tvari u supstratu
- učinkovitije odvajanje tekućeg od krutog dijela supstrata.

Unatoč mnogim prednostima, postoje i neki nedostaci rada na termofilnim temperaturama:

- veća neuravnoteženost mikroorganizama u sustavu
- povećana potrošnja energije zbog viših temperatura
- mogućnost inhibicije procesa od strane amonijaka.

Unatoč tim nedostacima, prednosti termofilnog rada često prevladavaju, te se mnoga bioplinska postrojenja odlučuju za ovu temperaturnu zonu kako bi postigli učinkovit i produktivan proces anaerobne digestije.

Održavanje konstantne radne temperature procesa ima ključnu ulogu jer promjene temperature imaju utjecaj na rast i aktivnost bakterija te na proizvodnju bioplina. Ukoliko dođe do promjena temperature, termofilnim bakterijama je potreban duži period prilagodbe na nove uvjete. Mezofilne bakterije mogu podnijeti varijacije temperature od  $\pm 3$  °C, dok su termofilne bakterije osjetljivije i podnose manje promjene, do  $\pm 1$  °C.

### 2.2.2 pH-vrijednost

pH vrijednost ima direktan utjecaj na aktivnost različitih bakterija u svakoj fazi anaerobne digestije, što zahtijeva pažljivo održavanje željenog pH raspona za svaku fazu. Prekomjerno niska pH vrijednost može inhibirati proizvodnju metana, dok prekomjerno visoka pH vrijednost može uzrokovati poremećaje u procesu anaerobne digestije. Stoga je praćenje i kontrola pH-a od velikog značaja za osiguranje stabilnog i efikasnog rada bioplinskih postrojenja. Optimalna pH zona je između 6,5 i 7,5, što podstiče aktivnost mikroorganizama. Različite faze zahtijevaju specifične pH uslove, a promjene u pH mogu usporiti proizvodnju metana.

### 2.2.3 Amonijak

Amonijak ima važnu ulogu u procesu anaerobne digestije, ali visoke koncentracije tog spoja mogu potpuno zaustaviti sam proces. Kako bi se spriječio ovaj inhibicijski učinak, ključno je održavati koncentraciju amonijaka u smjesi supstrata ispod 80 mg/l jer metanogene bakterije su osjetljive na amonijak. Povećanje pH-vrijednosti i temperature izravno doprinosi većoj inhibiciji i povećanju udjela slobodnog amonijaka. Stoga je kontrola amonijaka u procesu anaerobne digestije ključna za osiguranje optimalnog tijeka reakcija i proizvodnje bioplina.

### 2.2.4 Elementi u tragovima

Neki od ključnih mikronutrijenata potrebnih za rast i preživljavanje u procesu anaerobne digestije uključuju željezo, nikal, kobalt, selen, molibden i volfram. Za optimalan rast, važno je održavati omjer makronutrijenata, poput ugljika, dušika, fosfora i sumpora, u omjeru 600:15:5:1 (C:N:P:S). Nedostatak ovih hranjivih elemenata i elemenata u tragovima može dovesti do inhibicije ili narušavanja cijelog procesa anaerobne digestije. Stoga je održavanje adekvatnih razina svih ključnih elemenata vitalno za osiguranje uspješne i stabilne anaerobne digestije.

## 2.3 Radni parametri

Radni parametri anaerobne digestije uključuju udjele organske tvari u digestoru i vrijeme hidraulične retencije. Za određivanje veličine i vrste digestora potrebno je uzeti u obzir unos organske tvari u digestor u danu, a izračunava se prema odgovarajućoj formuli:

$$B_R = \frac{m \cdot c}{V_D}$$

gdje je:

$B_R$  – dnevni protok organske tvari, kg/dan·m<sup>3</sup>

$m$  – masa supstrata unešena tokom dana, kg/dan

$c$  – udio organske tvari, %

$V_D$  – volumen digestora, m<sup>3</sup>.

Za odabir dimenzija digestora, potrebno je uzeti u obzir vrijeme koje supstrat provodi u digestoru, a definira se kao vrijeme hidraulične retencije (VHR). Ovo vrijeme hidraulične retencije izračunava se prema odgovarajućoj formuli:

$$VHR = \frac{V_D}{V}$$

gdje je:

VHR – vrijeme hidraulične retencije, dan

$V_R$  – volumen digestora, m<sup>3</sup>

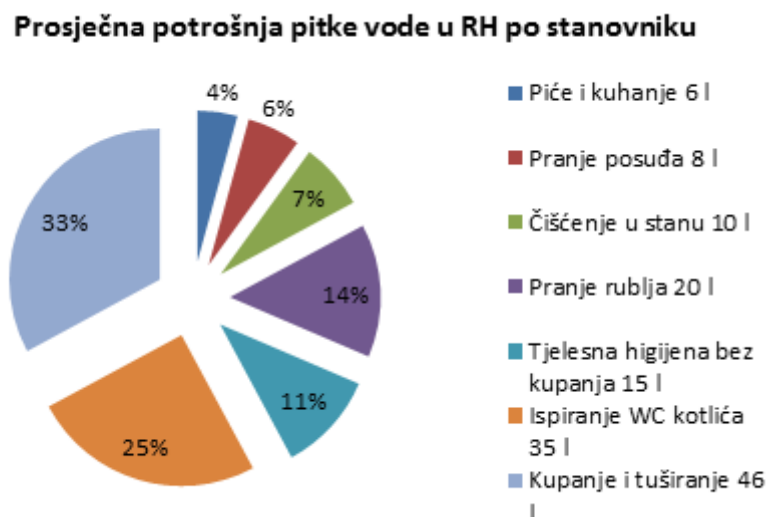
$V$  – volumen supstrata unešen u jednom danu, m<sup>3</sup>/dan.

### 3 TEHNOLOGIJE OBRADJE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

Voda namijenjena ljudskoj potrošnji je voda koja se nalazi u izvornom stanju ili zahtijeva preradu kako bi se osigurala njezina zdravstvena ispravnost prije distribucije potrošačima odnosno koristila za piće, pripremanje hrane, kuhanje i druge kućanske potrebe. Bezbojna je, nema mirisa i okusa, ali radi okusa sadrži topive tvari (kisik, ugljikov dioksid i različite soli). Prilikom obrade vode, primjenjuje se niz tehnoloških postupaka, a odabir odgovarajućeg postupka ovisi o fizikalno-kemijskom i mikrobiološkom sastavu sirove vode. Obrada vode ima za cilj zadovoljiti specifična svojstva vode, ovisno o njezinoj namjeni, kako bi se osiguralo da obrađena voda odgovara zahtjevima određenog potrošača.

Voda za ljudsku potrošnju može biti:

- voda iz javnog vodoopskrbnog sustava
- prirodna mineralna voda
- izvorska voda
- stolna voda
- soda-voda



*Slika 3.1 Potrošnja vode u kućanstvu na dan u Republici Hrvatskoj[13]*

Zbog velike potrošnje, velikih onečišćenja pitke vode radi sve veće koncentracije industrije i stanovništva, voda za piće postaje sve teže raspoloživa ili neraspoločiva za milijune ljudi širom planete. Za dostupnost vode ljudima potrebna je vodoopskrbna infrastruktura i vodovodna instalacija u kućanstvu, također je potrebno obraditi vodu kako bi se uklonile štetne tvari prije

konzumiranja. Obrada vode prema njenoj namjeni dijeli se na obradu vode za domaćinstvo, obradu vode za industrijsku namjenu i obradu otpadne vode (komunalne, industrijske i posebne otpadne vode) [14].

Pri pripremi vode za ljudsku potrošnju, često se koriste sljedeće uobičajene metode:

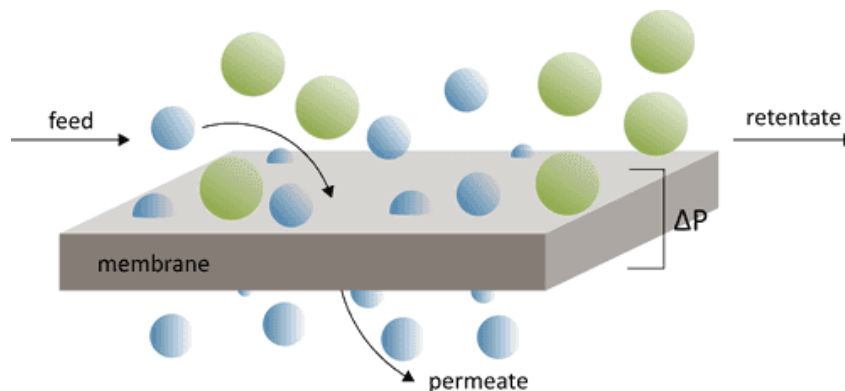
- taloženje
- koagulacija i flokulacija
- pješčana i membranska filtracija
- uklanjanje željeza i mangana
- dezinfekcija

U nastavku će biti opisana membranska filtracija (ultrafiltracija) zbog primjene pri filtraciji jezerske vode u blizini bioplinskog postrojenja. Obradom jezerske vode se dobiva produkt koji će se upotrebljavati za opskrbu stoke vodom i za ljudsku upotrebu.

### **3.1 Membranska filtracija**

Filtracija je izuzetno važan proces u pripremi vode za ljudsku upotrebu. Radi se o tehnic i tehnološkoj operaciji koja omogućuje razdvajanje heterogene smjese čvrste (neotopljenih) tvari od tekućina ili plinova pomoću filtara. Filtri su opremljeni poroznim pregradama koje propuštaju tvari određene veličine, omogućujući uklanjanje primjesa čija se specifična težina razlikuje od specifične težine vode. Kod membranske filtracije se uklanjaju dodatno suspendirane i koloidno dispregirane čestice, separiraju se otopljene tvari i plinovi [15].

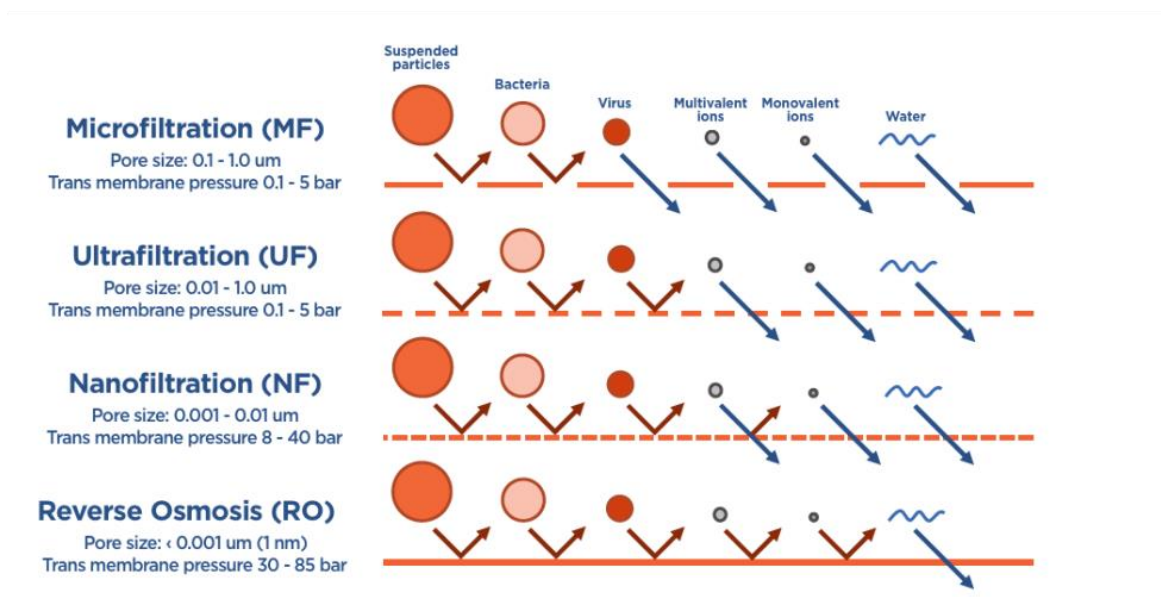
Membranski filtracija se temelji na korištenju polupropusnih membrana s određenom fizičkom i kemijskom strukturom, sa sposobnošću selektivnog propuštanja ili zaustavljanja određenih molekula i iona (vidi slika 3.2). U ovim procesima, membrana kao tanki sloj odvaja dvije tekuće faze (fluida) i osigurava selektivni prijenos tvari kroz membranu uz pomoć pogonske sile (tlak). Membranski procesi se razlikuju po mehanizmu i principu same separacije, ali karakteristično za sve procese je djelovanje tlaka koje potiskuje ulaznu otopinu kroz membranu razdvajajući je u dvije struje: permeat i retentat. Permeat čini struja koja je prošla kroz membranu i ima manju koncentraciju otopljenih tvari, a retentat čini struja koja nije prošla kroz membranu te ima veću koncentraciju otopljenih tvari.



Slika 3.2 Princip rada membranske filtracije [16]

Podjela membranskih procesa obzirom na odvajanje čestica, veličinu šupljina i potrebnu silu za transport kroz membranu (razlika tlaka):

- mikrofiltracija (MF)
- ultrafiltracija (UF)
- nanofiltracija (NF)
- reverzna osmoza (RO)



Slika 3.3 Membranski procesi [17]

Na slici 3.3 je prikazana veličina pore i tlak potreban za prolaz vode kroz membranu za svaki od navedenih membranskih procesa.

*Mikrofiltracija* (MF) je jedan od membranskih procesa koji ima najviše sličnosti s klasičnim postupkom filtracije. U ovom procesu, koriste se mikroporozne simetrične membrane s

veličinom pora u rasponu od 0,1 do 1 mikrometara i debljinom membrane do 150 mikrometara. Takve membrane omogućuju prolazak tekućine kroz njih, ali zadržavaju veće čestice poput čestica suspendiranih tvari, mikroorganizama i nekih makromolekula.

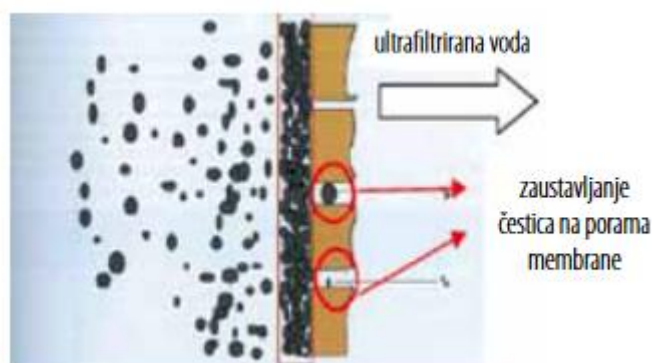
Postupak koji će se koristiti za pročišćavanje jezerske vode u ovom radu se zove *ultrafiltracija*. Proces ultrafiltracije koristi se za odvajanje koloida, anorganskih soli, makromolekula i manjih organskih molekula. Upotrebljava se asimetrična membrana s veličinom pora od 1 do 100 nanometra i debljinom membrane oko 150 mikrometara.

Jedan od membranskih procesa je *nanofiltracija* koja se koristi za odvajanje još manjih molekula odnosno anorganskih soli i manjih organskih molekula tj. šećera (monosaharidi, disaharidi). Koristi se kompozitna membrana s veličinom pora oko 1 nanometar.

*Reverzna osmoza* je membranski proces koji se upotrebljava za odvajanje mikromolekula otopljenih tvari kao što su sitne organske molekule i anorganski ioni. Koristi se asimetrična membrana s veličinom pora od 0,1 do 1 nanometar.

### 3.1.1 Ultrafiltracija

Ultrafiltracija predstavlja jednostavan fizikalni postupak u kojemu se koristi membrana s finim porama. Ovaj proces se odvija pri niskom tlaku (0,1 - 5 bar-a), a voda koja se pročišćava dolazi u dodir s membranom. Zbog mikroskopske veličine pora na membrani, čestice, mikroorganizmi i organske tvari prisutne u vodi zaustavljaju se na površini membrane. Sve čestice veće od 1  $\mu\text{m}$  ne mogu proći kroz membranu i zaustavljaju se pred njenom preprekom. Kao rezultat ovog procesa, dobivamo vrlo čistu vodu koja je oslobođena većine neželjenih tvari i mikroorganizama (vidi sliku 3.4).



Slika 3.4 Ultrafiltracijski proces [18]



Prednosti ultrafiltracijskog procesa su:

- visoka kvaliteta vode
- uklanjanje mikroorganizama
- ekološki prihvatljivo
- jednostavnost pri održavanju
- minimalna upotreba kemikalija
- visoka učinkovitost

Sustav za ultrafiltraciju odabire se prema određenim značajkama kao što su [18]:

- oblik, sastav i svojstva ulazne vode
- fizikalna i kemijska svojstva vode
- karakteristike membrane
- tangencijalni protok i transmembranski tlak
- sposobnost uklanjanja tvari
- vijek trajanja membrane
- rukovanje i održavanje sustava

Postupak obrade vode ultrafiltracijom dijeli se u nekoliko koraka:

1. Predtretman
2. Filtracija
3. Ispiranje
4. Dezinfekcija
5. Distribucija

Ultrafiltracija je široko primjenjivana u različitim industrijama, uključujući tekstilnu, farmaceutsku, prehrambenu, kemijsku, metaluršku i kožarsku industriju. U prehrambenoj industriji, npr. mljekarstvu se koristi za dobivanje koncentrata proteina sirutke (whey protein) i obranog mlijeka. Također, ultrafiltracija se koristi pri pročišćavanju otpadnih voda i bistrenju voćnih sokova.

## 4 POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOPLINA

Uslijed sve rigoroznijih propisa o pohrani i korištenju stajskog gnoja i otpada organskog podrijetla, gospodarstvenici će morati uvesti anaerobnu digestiju kako bi zbrinuli otpad. Anaerobna digestija se koristi kao metoda za stabilizaciju primarnog i sekundarnog mulja prilikom obrade otpadnih voda iz organskih, prehrambeno-prerađivačkih i fermentacijskih industrija. Osim toga, zbog rastuće potrebe za električnom i toplinskom energijom, primijećen je interes za uzgoj energetskih usjeva namijenjenih proizvodnji bioplina

### 4.1 Poljoprivredna bioplinska postrojenja

Poljoprivredna bioplinska postrojenja najčešće prerađuju supstrate izravno povezane s poljoprivrednom proizvodnjom, uključujući stajski gnoj, gnojnicu, ostatke i nusproizvode usjeva te posebno uzgojene energetske usjeve. Kravlji i svinjski gnoj, zajedno s gnojovkom, često se koriste za gnojidbu poljoprivrednih površina, no korištenjem anaerobne digestije, njihova vrijednost može se dodatno poboljšati na različite načine:

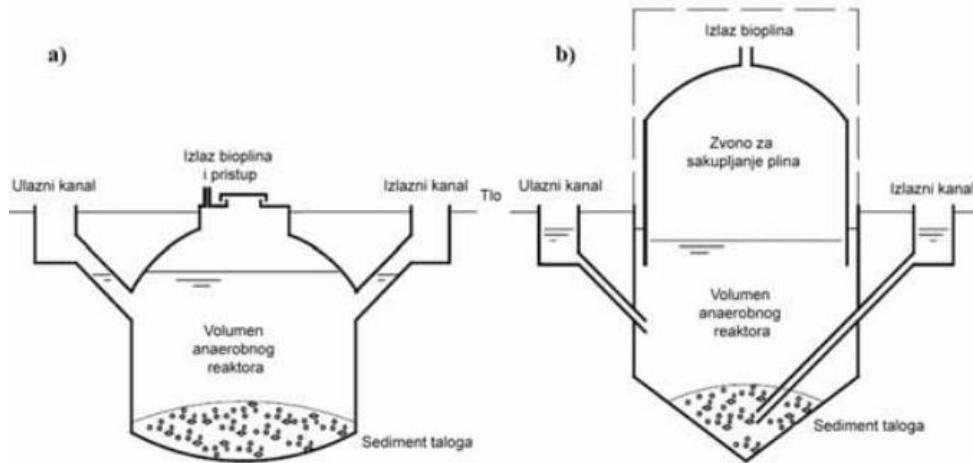
- poboljšava se omjer hranjivih tvari miješanjem stajskog gnoja i gnojnice različitog porijekla (krave, svinje, perad)
- razgradnjom kompleksnih organskih tvari povećava se dostupnost hranjivih tvari koje biljke mogu direktno iskoristiti
- kombiniranjem stajskog gnoja s drugim supstratima (kao što su otpad iz klaonica, otpadne masti i ulja, otpad iz kućanstava, biljni ostaci) značajno se obogaćuje mješavina supstrata hranjivim vrijednostima

Postoje tri glavne vrste poljoprivrednih bioplinskih postrojenja prema njihovoj veličini, funkciji i lokaciji, a to su:

- bioplinska postrojenja za obiteljska gospodarstva (mala postrojenja),
- bioplinska postrojenja za poljoprivredna gospodarstva (srednje velika postrojenja),
- centralizirana bioplinska postrojenja sa zajedničkom kodigestijom (velika postrojenja).

*Bioplinska postrojenja za obiteljska gospodarstva* su manja postrojenja koja obično služe manjem poljoprivrednom gospodarstvu ili domaćinstvu kako bi iskoristili otpadni materijal iz kućanstva ili gospodarstva. Ovisno o vremenskim uvjetima, zakonodavnim okvirima i financijskim mogućnostima, mogu se pronaći različite izvedbe ovih postrojenja diljem svijeta. Najveći broj takvih postrojenja nalazi se u zemljama Azije, a konstrukcija digestora je

jednostavna, s minimalnom potrebom za upravljanjem i održavanjem. Ova postrojenja često su smještena ispod zemlje kako bi se uštedio prostor na obiteljskoj parceli, a često se koriste kineski i indijski tipovi postrojenja (slika 3.1).



Slika 4.1 Tipovi obiteljskih postrojenja u zemljama Azije [11]

*Bioplinska postrojenja za poljoprivredna gospodarstva* su postrojenja srednje čiji je cilj proizvodnja vlastite energije, zbrinjavanja otpada i proizvodnje kvalitetnog đubriva. Njihov kapacitet je dimenzioniran kako bi zadovoljio potrebe pojedinog gospodarstva, uzimajući u obzir količinu otpada koji se proizvodi. Ova postrojenja obično koriste između 15% i 35% ukupno proizvedene energije za grijanje i osvjetljavanje farme, kao i grijanje postrojenja, dok se ostatak energije koristi za proizvodnju električne energije. Rad ovih postrojenja temelji se na istom principu, ali njihova izvedba može varirati ovisno o dimenzijama, tehnologiji i izgledu. Digestor mora biti zatvoren i ne smije propuštati plinove, a prije ulaska u digestor, supstrat se sakuplja u predspremnike koji se pumpom ili pužnim valjcima odvede do digestora. Mogu biti izvedeni u horizontalnoj ili vertikalnoj izvedbi. Unutar digestora se koriste grijači koji su smješteni na podu i zidu digestora kako bi se supstrat ravnomjerno zagrijao na odgovarajuću temperaturu. Također se koristi miješalica (najčešće s lopaticama) kako bi se postigao kompaktniji supstrat i smanjilo taloženje na stijenkama. Na ovaj način postrojenje ostvaruje učinkovitu obradu biomase i proizvodnju bioplina

*Centralizirana bioplinska postrojenja s zajedničkom kodigestijom* predstavljaju postrojenja većih kapaciteta koja skupljaju supstrat za anaerobnu digestiju s nekoliko poljoprivrednih gospodarstava i farmi koje su relativno kratko udaljene. Gnoj i gnojnica se prikupljaju u spremnicima i dopremaju traktorima s prikolicama ili cisternama do predviđenih spremnika

unutar postrojenja. S obzirom na skupljanje supstrata s različitih mjesta, provodi se sanitarni pregled kako bi se osigurala sigurna primjena digestata kao gnojiva. Prije korištenja, digestat se analizira kako bi se utvrdio njegov sastav. Prednosti koje centralizirana bioplinska postrojenja imaju su:

- smanjeni troškovi recikliranja organskog otpada i stajskog gnoja
- korištenje obnovljivih izvora energije
- manji udio stakleničkih plinova
- poboljšani sanitarni uvjeti pri obradi digestata
- proizvodnja kvalitetnijeg gnojiva (digestata)
- smanjena prisutnost neugodnih mirisa i insekata
- financijska isplativost.

Većina centraliziranih postrojenja organizirana su kao zadruge ili dionička društva, gdje poljoprivrednici čiji se materijali prikupljaju sa svojih farmi i polja postaju vlasnici poduzeća.

#### **4.2 Ostala postrojenja vezana za anaerobnu digestiju**

U ovom diplomskom radu će se fokusirati na bioplinsko postrojenje za poljoprivredno gospodarstvo te se neće detaljno objašnjavati pojedino postrojenje za anaerobnu digestiju. Navesti će se nekoliko postrojenja koja se mogući naći u današnjoj upotrebi, a neki od njih su:

- postrojenje za obradu otpadne vode
- postrojenje za obradu čvrstog komunalnog otpada
- industrijsko postrojenje za proizvodnju bioplina
- postrojenje za proizvodnju deponijskog plina.

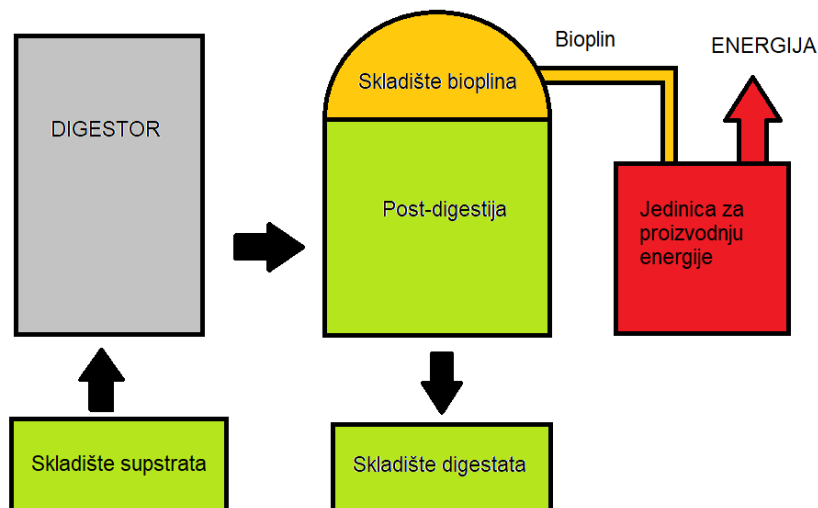
*Postrojenja za obradu otpadne vode* su sustavi koji čiste vodu do određenih standarda prije nego što je ispuštaju u okoliš. Različiti tipovi onečišćenja koja se nakupljaju imaju potencijal za upotrebu u anaerobnom procesu kao biomasa. Otpadne vode obično dolaze iz različitih izvora, uključujući domaćinstva, industriju, poljoprivredu i atmosferske padaline.

*U postrojenjima za obradu čvrstog komunalnog otpada*, organski materijal se izdvaja i koristi za proizvodnju bioplina. Prepoznavanje podrijetla organskog otpada je ključno za odabir najučinkovitije metode prerade otpada.

Kako bismo zaštitili okoliš, važno je sakupljati *deponijski plin* kako bismo smanjili emisiju metana i drugih plinova koji se stvaraju na odlagalištima. Proces pretvaranja čvrstog otpada u metan odvija se u deponijskom bioreaktoru koji djeluje poput velikog digestora. Deponijski plin se smatra povoljnim izvorom energije sličnog sastava kao i bioplina.

### 4.3 Dijelovi bioplinskog postrojenja

Središnji dio svakog bioplinskog postrojenja predstavlja digestor (poznat i kao fermentor ili bioplinski reaktor), u kojem se odvija ključni proces anaerobne digestije. Ostali neophodni elementi za funkcionalnost bioplinskog postrojenja uključuju prihvatnu jedinicu, dio za kondicioniranje i skladištenje sirovine, sustav punjenja, armaturu i cjevovode, spremište za bioplina i digestat, kontrolnu jedinicu te jedinicu za generiranje energije. Na slici 6.1 možete vidjeti prikaz osnovnih dijelova bioplinskog postrojenja.



Slika 4.2 Shema bioplinskog postrojenja [11]

U *prihvatnoj jedinici* se prima i pohranjuje dovezena sirovina, a istovremeno se bilježe podaci o vrsti sirovine, količini, volumenu, masi i datumu dostave, posebno ako je sirovina potjecala s drugih farmi. Kako je kontinuirana opskrba ključna za uspješan proces anaerobne digestije, dio sirovine se skladišti i kondicionira. Vrsta skladištenja ovisi o tipu supstrata, energetski usjevi se pohranjuju u bunker silosima, dok se tekući supstrati skladište u zatvorenim i nepropusnim spremnicima.

*Sustav za punjenje* koristi se za unošenje supstrata u digestor nakon skladištenja i kondicioniranja ovisno o vrsti supstrata i mogućnostima pumpanja. Tekući supstrati poput gnojnice i tekućeg organskog otpada mogu se lako pumpati u digestor. Krute sirovine poput

vlaknatih materijala, silaža, trava i gnojiva s visokim postotkom slame dodaju se u manjim količinama u sustav punjenja pomoću punilice, a zatim se stave u digestor. Obično se supstrat dodaje u nekoliko obroka kako bi se održao kontinuirani tijek procesa i uštedjela energija. Za transport iz spremnika u digestor koriste se dvije vrste pumpi: centrifugalna i volumetrička pumpa.

*Digestor* ili *fermentor* predstavlja središnji i ključni dio bioplinskog postrojenja, u kojem se odvija anaerobna digestija. Najčešće se izrađuju od čelika, betona, cigle ili plastike. Moraju biti zračno nepropusni, opremljeni sustavima za punjenje sirovine te za izlaz bioplina i digestata. U hladnijim područjima potrebna je toplinska izolacija i grijanje kako bi se osigurao stabilan rad procesa. Promjene temperature procesa mogu biti uzrokovane unošenjem nove sirovine, nedovoljnom toplinskom izolacijom, nepravilnim pozicioniranjem izmjenjivača topline te vanjskim temperaturnim razlikama tijekom ljeta i zime. Sustav za grijanje se obično postavlja tako da koristi toplinu generiranu unutar postrojenja, odnosno kogeneracijske jedinice ili dijela proizvedenog iz plinskog kotla.



*Slika 4.3 Digestor s nepropusnom mebranom za skladištenje bioplina [19]*

*Spremište za bioplin* se u većini slučajeva postavlja na vrh digestora kao posebna membrana. Međutim, kod većih bioplinskih postrojenja može se izgraditi odvojeno spremište. Spremište bioplina mora biti otporno na propuštanje plina, izdržljivo prema različitim tlakovima, UV zračenju, temperaturnim promjenama i vremenskim uvjetima, što smanjuje gubitke bioplina i povećava sigurnost i pouzdanost postrojenja. Ovisno o tlaku, spremnici za bioplin mogu biti niskotlačni (0,05 do 0,5 mbar), srednjetačni (5 do 250 bar) ili visokotlačni (do 300 bar).

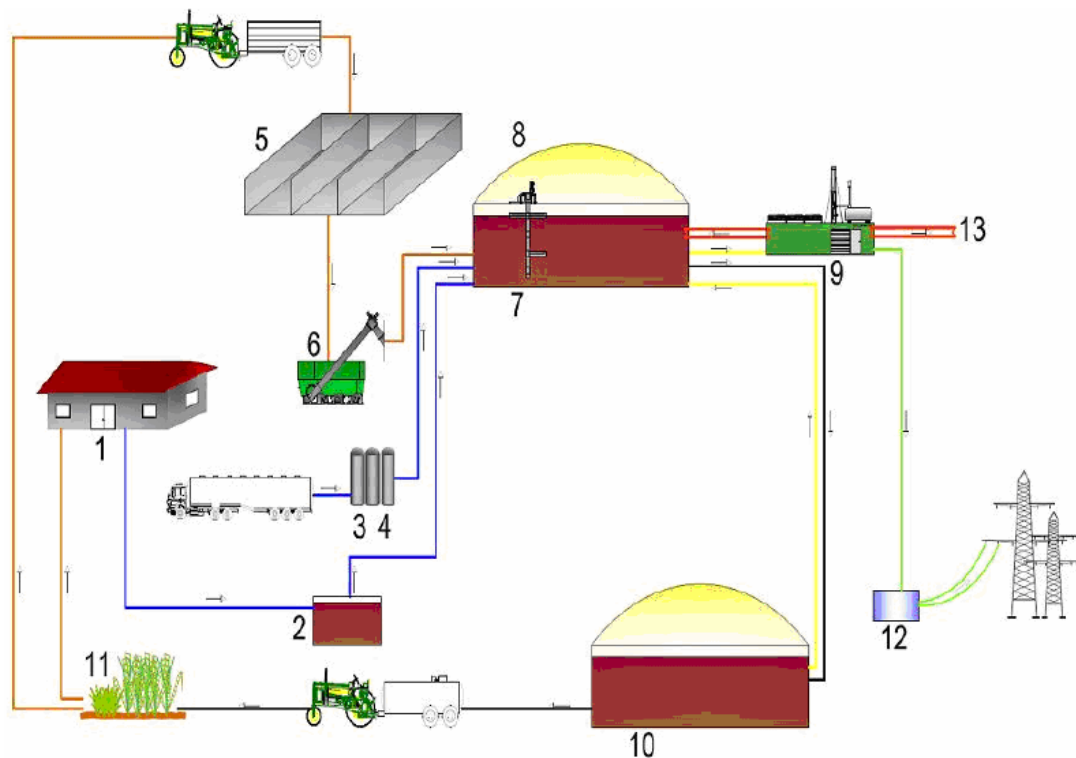
Digestat se redovito ispumpava iz digestora i transportira cjevovodima *do spremišta za digestat*, koje se nalazi u blizini digestora. Spremište može biti privremeno, zadržavajući digestat nekoliko dana, ili dugotrajno, gdje se može skladištiti nekoliko mjeseci. U slučaju manjih kapaciteta i privremenih spremišta, digestat se mora odvoziti svakih nekoliko dana do dugotrajnih spremišta, koja su obično smještena blizu polja koja se gnoje. Postoje dvije vrste spremišta za digestat - otvoreni i zatvoreni tip. Zatvoreni tip ima krov ili nepropusnu membranu koja prikuplja bioplin nastao iz digestata (do 20% ukupno proizvedenog bioplina), dok je otvoreni tip nepokriven i često zahtijeva sloj koji prekriva površinu digestata kako bi se smanjile emisije metana i amonijaka.

#### **4.4 Princip rada bioplinskog postrojenja**

Bioplinsko postrojenje može se razlikovati u svojoj izvedbi, tehnologijama i tehnikama koje se koriste za preradu različitih vrsta sirovina, kao i ovisno o veličini i uvjetima rada. Odabir tehnologija za kondicioniranje, skladištenje i korištenje bioplina i digestata temelji se na specifičnom tipu postrojenja, njegovoj veličini te uvjetima u kojima se proces odvija.

Proizvodnja bioplina u poljoprivrednom bioplinskom postrojenju (slika 4.4) obuhvaća 4 faze [11]:

1. faza u procesu (pohranjivanje, kondicioniranje, transport i punjenje sirovinom) obuhvaća spremnik za skladištenje stajskog gnoja (2), posude za sakupljanje organskog otpada (3), spremnik za sanitaciju (4), spremnik za skladištenje uz pomoć vozila (5), sustav za punjenje digestora krutom sirovinom (6),
2. faza u procesu obuhvaća proizvodnju bioplina unutar digestora (7),
3. faza u procesu uključuje spremnik za pohranjivanje digestata (10) i upotrebu digestata na poljoprivrednim površinama (11),
4. faza u procesu (pohranjivanje bioplina, kondicioniranje i korištenje) odvija se u spremniku za skladištenje bioplina (8) i jedinici za kogeneraciju (9).



- |  |   |
|--|---|
| 1 objekti za uzgoj životinja                       | 8 spremnik za bioplin   |
| 2 spremišta za tekući gnoj                         | 9 kogeneracijska jedinica                                       |
| 3 kontejneri za sakupljanje biootpada (kosupstrat) | 10 skladište za digestat  |
| 4 spremnik za sanitaciju                           | 11 poljoprivredne površine                                      |
| 5 spremnici za silažu na otvorenom                 | 12 transformacijska stanica/predaja električne energije u mrežu |
| 6 sustav za unošenje krute sirovine                | 13 korištenje toplinske energije                                |
| 7 digestor (bioplinski reaktor)                    |   |

Slika 4.4 Princip rada bioplinskog postrojenja na poljoprivrednom gospodarstvu [11]

Potrebno je postaviti elemente bioplinskog postrojenja što bliže jedan drugome kako bi se smanjio utrošak energije prilikom transporta. Također, važno je da se navedene faze odvijaju paralelno kako bi se osigurao neprekidan rad digestije. Na primjer, kada se dio supstrata ubaci u digestor, taj dio treba zamijeniti novim supstratom, a korištenje bioplina oslobađa prostor za novi bioplin. Veličina digestora, kapacitet skladišta i bioplinskog postrojenja ovise o količini sirovine, dok procesna tehnologija ovisi o kvaliteti sirovine, kao što su udio suhe tvari, porijeklo i struktura.



## **5 PRIMJENA BIOPLINA I DIGESTATA**

Bioplin i digestat postaju sve važniji u podržavanju održivog razvoja okoliša, napredovanju tehnologija za korištenje bioplina i upravljanju otpadom. Njihova primjena ima pozitivan utjecaj na okoliš jer smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i kemijskim gnojivima, te pridonosi energetske sigurnosti i ekonomskoj održivosti.

### **5.1 Upotreba bioplina**

U suvremenom svijetu, bioplin se koristi u različite svrhe kao obnovljiv izvor energije. Najčešće se primjenjuje za proizvodnju električne energije kroz gorivne ćelije ili plinske turbine, te za dobivanje toplinske energije putem direktnog izgaranja. Također, bioplin može istovremeno služiti za proizvodnju električne i toplinske energije u kogeneracijskim postrojenjima. Osim toga, koristi se i kao pogonsko gorivo u vozilima u transportnom sektoru, te u kućanstvima za kuhanje i grijanje, posebice kada je dobiven iz malih obiteljskih digestora.

### **5.2 Svojstva bioplina**

Bioplin je energent koji se dobiva putem anaerobne digestije organske tvari, uključujući stajski gnoj, ostatke hrane, kanalizacijski mulj ili drugi biorazgradivi otpad. Sadrži uglavnom metan i ugljični dioksid, a njegova količina, sastav i svojstva ovise o vrsti supstrata, načinu proizvodnje i parametrima procesa anaerobne digestije.

Tablica 5.1 Sastav bioplina [11]

Kemijski spoj	Kemijski simbol	Volumni udio, %
Metan	CH <sub>4</sub>	50-75
Ugljikov dioksid	CO <sub>2</sub>	25-45
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

Sadržaj bjelančevina, masti i ugljikohidrata utječe na prinos metana u procesu digestije. Tablica 5.2 prikazuje prosječni teoretski prinos plina, a tablica 5.3 pokazuje prinos bioplina od pojedinog supstrata.

Tablica 5.2 Teoretski prinos plina [11]

Supstrat	Prinos bioplina, l plina / kg suhe tvari	Volumni udio CH <sub>4</sub> , %	Volumni udio CO <sub>2</sub> , %
Bjelančevine	700	70	30
Masti	1225	67	33
Ugljikohidrati	795	50	50

Tablica 5.3 Prinos bioplina od različitih supstrata [11]

Supstrat	Prinos bioplina, m <sup>3</sup> /t svježeg supstrata	Udio CH <sub>4</sub> , %
Tekuća gnojnica (krava i goveda)	25	60
Tekuća gnojnica (svinje)	28	65
Žitarice iz destilacije s otpadnim tvarima	40	61
Gnoj goveda	45	60
Gnoj svinja	60	60
Gnoj peradi	80	60
Repica	88	53
Organski otpad	100	61
Sirak	108	54
Stočna repa	111	51
Travnata silaža	172	54

### 5.3 Kogeneracija toplinske i električne energije

Kogeneracija toplinske i električne energije predstavlja jednu od najefikasnijih metoda za iskorištavanje bioplina. Kogeneracijska postrojenja na bioplin obično su termoelektrane modularnog tipa s unutrašnjim motorima povezanim s generatorima. Takva postrojenja postižu stupanj iskoristivosti od oko 85-90%, gdje 35% energije koristi za proizvodnju električne energije, a 65% za toplinsku energiju. Proizvedena električna energija iz bioplina često se preusmjerava u elektroenergetsku mrežu zbog propisane povlaštene otkupne cijene električne energije iz obnovljivih izvora ("feed-in tarifa"). Energija potrebna za rad postrojenja se potom ponovno kupuje iz mreže po povoljnijim cijenama. Toplinska energija dobivena iz postrojenja koristi se za grijanje digestora, a preostali dio, oko 2/3, koristi se za različite potrebe kao što su grijanje kućanstava, plastenika ili sušionica. Važno je maksimalno iskoristiti toplinsku energiju radi veće učinkovitosti i održivosti, s obzirom na porast cijena energenata i sirovina. Postoji

nekoliko izvedbi za generiranje električne energije u kogeneracijskim postrojenjima, poput plinskih Otto i dizelskih motora, te plinskih-dizelskih motora s pilot paljenjem. Također, u razvoju su i alternative, uključujući plinske mikroturbine, Stirlingove motore i gorivne ćelije.

### 5.3.1 Plinski-Otto motori

Plinski-Otto motori s unutrašnjim sagorijevanjem predstavljaju inovativnu alternativu tradicionalnim benzinskim motorima i sve su više privlačna opcija zbog svoje veće energetske učinkovitosti. Ovi motori rade na Ottovom principu i upotrebljavaju plin koji ima minimalno 40% metana. Prednost korištenja različitih plinova je što se oni mogu koristiti i za pokretanje bioplinskih postrojenja za grijanje digestora. Jedna od ključnih prednosti plinskih-Otto motora je manja emisija štetnih plinova, uključujući dušikove okside i čestice koje doprinose onečišćenju zraka i klimatskim promjenama. Također, plinsko gorivo je čišće i sagorijeva učinkovitije od benzina, što rezultira većim energetske iskorištenjem i manjom potrošnjom goriva. Jedan od plinskih motora tvrtke "GE Power Jenbacher" koji je prikazan na slici 5.1. koristit će se u diplomskom radu. GE Power Jenbacher je vodeća svjetska tvrtka u proizvodnji i razvoju plinskih motora i energetske sustava koji koriste različite vrste goriva, uključujući prirodni plin, bioplin, naftni plin i druge. Ova tvrtka dio je General Electric (GE) grupacije i ima naslijeđe u industriji plinskih motora koja traje više od 50 godina. Tvrtka je poznata po raznolikosti svoje ponude, koja obuhvaća male modularne jedinice (motori) snage od 0,4 MW pa sve do velikih 9 MW, što omogućuje prilagodbu različitim potrebama kupaca [20].



*Slika 5.1 Kontejnerska izvedba "Jenbacher" plinskog motora [20]*

### 5.3.2 Plinski-dizel motor s pilot paljenjem

Plinski dizel motori s pilot paljenjem predstavljaju naprednu tehnologiju unutarnjeg izgaranja koja kombinira prednosti oba goriva - dizela i prirodnog plina. Ovi motori koriste glavno gorivo, obično prirodni plin, za glavno sagorijevanje, ali također koriste pilot plamenik koji koristi malu količinu dizela za inicijalno paljenje goriva „pilot gorivo“. Jedna od ključnih prednosti plinskih dizel motora s pilot paljenjem je njihova veća energetska učinkovitost u usporedbi s klasičnim dizel motorima. Kombinacija prirodnog plina i dizela omogućava bolje iskorištenje goriva, čime se postiže veći stupanj energetske učinkovitosti i smanjuju emisije štetnih plinova poput dušikovih oksida i čestica. Osim toga, ovi motori su fleksibilni u pogledu izbora goriva i omogućuju prijelaz između prirodnog plina i dizela prema potrebama i dostupnosti goriva.

## 5.4 Upotreba digestata

Digestat je nusprodukt procesa anaerobne digestije koji se formira tokom nastanka bioplina. Posjeduje velik udio organskih i anorganskih tvari kao što su dušik, fosfor, kalij i ostali mikronutrijenti. Kvaliteta digestata može varirati ovisno o sirovini koja se koristi kao ulazni materijal. Primjetno je da se sve više prepoznaje vrijednost digestata u usporedbi s

tradicionalnim stajskim gnojem. To je zbog njegove sposobnosti homogenizacije hranjive tvari, veće gnojidbene vrijednosti u usporedbi sa svježim stajskim gnojem, te dosljednosti u sastavu hranjivih tvari i minerala koje biljke mogu efikasno apsorbirati [21].

#### 5.4.1 Tehnologija anaerobne digestije za upravljanjem krutim i tekućim stajskim gnojem

Uslijed rastuće potražnje u industriji, stočarstvu i poljoprivrednoj proizvodnji, povećava se proizvodni kapacitet, a tvornice i farme šire svoje operacije. Intenzivna proizvodnja stoke stvara izazove vezane uz ograničenost dostupnih površina za uzgoj stočne hrane, dok istovremeno stvara višak stajskog gnoja i gnojovke. Gnojovka je polu-tekući produkt koji nastaje miješanjem čvrstih i tekućih komponenti životinjskih izlučevina. Ovaj višak hranjivih tvari iz stajskog gnoja može rezultirati ozbiljnim posljedicama kao što su:

- zagađenje podzemne i površinske vode
- uništavanje strukture, teksture i mikrobiologije tla
- uništavanje vegetacijskih površina
- povećan udio emisije metana
- neugodni mirisi i pojava insekata

#### 5.4.2 Digestat kao gnojivo

Osim poboljšane gnojidbene učinkovitosti i apsorpcije hranjivih tvari, digestat kao gnojivo donosi i sljedeće prednosti:

- biološka razgradnja organske tvari
- manji udio neugodnih mirisa
- sanitacija virusa, bakterija i parazita
- izbjegavanje „opeklina“ na listovima
- poboljšana sposobnost hranjenja.

Za pravilnu upotrebu, potrebno je označiti sastav hranjivih tvari za biljke kako bi se omogućilo precizno korištenje na poljoprivrednim površinama. Prilikom optimalnog korištenja digestata kao gnojiva, važno je slijediti osnovne principe gnojidbe kao i kod neobrađene gnojovke:

- potreban volumen spremnika
- savjesno korištenje gnojiva
- potrošnja gnojiva po obradivoj površini

- direktna primjena gnojiva i minimalni gubitak mineralnih i hranjivih tvari.

## 6 PROJEKT BIOPLINSKOG POSTROJENJA

Kroz prethodna poglavlja prikazane su osnovne informacije o bioplinu, načinu dobivanja i potrošnje bioplina te je opisan sam princip rada bioplinskog postrojenja. U ovom poglavlju će se kroz ulazne podatke količine sirovine i kemijske analize stajskog gnoja dimenzionirati i odabrati elementi koji su nužni za rad bioplinskog postrojenja. Proizvedena električna energija bi se isporučivala u mrežu hrvatske elektroprivrede, dok bi toplinska energija bila iskorištena za grijanje digestora i drugih potrebnih prostora.

U zapadnom dijelu Slavonije, značajan dio poljoprivrednih površina koristi se za uzgoj ratarskih kultura. Osim toga, ljudi se bave uzgojem sitne i krupne stoke za proizvodnju hrane i sirovina. U naselju Rajić nalazi se farma s oko 300 grla goveda, a vlasnici farme obrađuju oko 2000 ha poljoprivrednih površina. Na ovim površinama, posebno se uzgaja pšenica namijenjena izvozu. Kako bi se proizveo bioplin, razmatra se korištenje ostataka pšenice, odnosno žetvenih ostataka (kao kosupstrata sa stajskim gnojem s farme). Iako je u zadatku navedeno dimenzioniranje postrojenja sa 3000 grla goveda, proračun će se provesti s 300 grla jer u Hrvatskoj i okolici ne postoji postrojenje koje bi moglo manipulirati s tom količinom stajskog gnoja.



*Slika 6.1 Ostatak od žetve [22]*

### 6.1 Količina sirovine i bioplina

Kao sirovina će se koristiti izmet i mokraća od goveda te ostaci od branja pšenice. Farma se sastoji od štale koja broji 300 grla goveda i većeg broja čestica (raspršene u više naselja) čija je sveukupna površina oko 2000 ha. Minimalan prostor koji mora biti osiguran za jedno grlo



određen je u *Pravilniku o minimalnim uvjetima za zaštitu teladi* (NN 110/2010; 22.9.2010.) te farma mora poštivati *Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljavati farme i uvjetima za zaštitu životinja na farmama* (NN 136/2005; 16.11.2005.).

U komunikaciji sa vlasnikom farme došlo se je do informacija o procesu uzgoja junaca i telaca (goveda), o načinu držanja, hranjenja, čišćenja i zbrinjavanja. Stoka u farmi odnosno boksovima provodi svih 365 dana u godini gdje se prilikom čišćenja pregradom zatvori boks koji se treba očistiti. Podatci o količini izmeta i mokraće dobiveni su od nadležnog veterinara farme, a masa izmeta po grlu iznosi  $m_i = 30$  kg i masa mokraće  $m_m = 20$  kg. Procijenjeno je da farma godišnje može dobiti  $m_{gi} = 3285$  t/god izmeta i  $m_{gm} = 2190$  t/god mokraće, odnosno ukupna godišnja masa stajskog gnoja iznosi:

$$m_{sg} = m_{gi} + m_{gm} = 3285 + 2190 = 5475 \text{ t/god}$$

Za daljnji proračun [23] također će biti bitna gustoća stajskog gnoja, a izračunati će je prema formuli:

$$\rho_{sg} = x_{gi} \cdot \rho_{gi} + x_{gm} \cdot \rho_{gm}, \quad \text{kg/m}^3$$

gdje je:

$\rho_{sg}$  – gustoća stajskog gnoja,  $\text{kg/m}^3$

$x_{gi} = 0,6$  – maseni udio govedeg izmeta

$\rho_{gi} = 700 \text{ kg/m}^3$ , gustoća govedeg izmeta

$x_{gm} = 0,4$  – maseni udio govede mokraće

$\rho_{gm} = 1050 \text{ kg/m}^3$ , gustoća govede mokraće

$$\rho_{sg} = 0,6 \cdot 700 + 0,4 \cdot 1050 = 840 \text{ kg/m}^3$$

Izračun količine proizvedenog bioplina provest će se pomoću bioplinskog kalkulatora, koji pruža informacije o potencijalu bioplina i pruža teoretsku procjenu financijske isplativosti. Korišteni kalkulator dostupan je na web stranici tvrtke PlanET Biogas Global [24]. Potrebni podaci za izračun uključuju vrstu supstrata i unos u tonama godišnje, kao i udio suhe tvari u postotcima. Budući da će se koristiti stajski gnoj i ostaci od branja pšenice u zrnu, njihove proizvedene količine bioplina izračunat će se odvojeno, a zatim će se njihove vrijednosti zbrojiti. Za izračun količine bioplina iz stajskog gnoja, odabrana je opcija "govedo" s obzirom

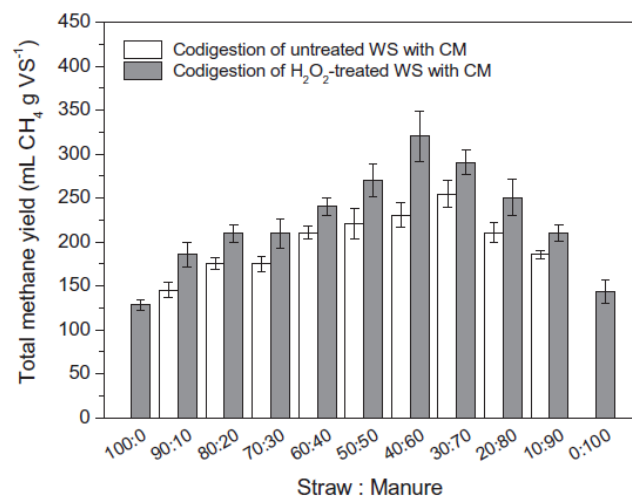
na to da se goveda koriste za tovljenje i proizvodnju mesa. Podaci o broju goveda i masi izmeta i mokraće dobiveni su od gospodarstva koje je također provelo kemijsku analizu stajskog gnoja (vidi sliku 6.2). "Analizom je utvrđen udio suhe tvari koji sam koristio za daljnji proračun ( $ST_g = 31.57\%$ ).

redni broj	Analiza	G 136 /22
1.	suha tvar	31,57 %
*2.	pH H2O	8,65
*3.	ukupni N	0,86 %
4.	organski C	15,20 %
5.	ukupni P	0,55 %/ST
6.	ukupni K	2,14 %/ST

Slika 6.2 Udio suhe tvari u stajskom gnoju (Prilog 1)

Unosom podataka o godišnjoj količini stajskog gnoja i suhoj tvari ( $m_g=5475$  t/god,  $ST_g = 31.57\%$ ) u *PlanET Biogas Calculator*, dobivena je količina bioplina  $V_{bpsg}=521\ 220$  m<sup>3</sup>.

Za izračun proizvedene količine bioplina iz ostataka od branja pšenice u zrnu, u korištenom kalkulatoru potrebno je odabrati opciju "žitarica", s obzirom na to da pšenica pripada toj skupini. Iako kalkulator omogućuje izračun količine bioplina za svaki supstrat pojedinačno, u stvarnosti se oni često kombiniraju. Omjer miješanja odabran je na temelju znanstvenog istraživanja [25], gdje je analiziran prinos metana iz različitih omjera ostataka pšenice i stajskog gnoja, varirajući od 100:0 do 0:100 (pšenica:stajski gnoj)."



Slika 6.3 Omjer miješanja Pšenica : Stajski gnoj [25]

Obzirom da se neće koristiti anaerobna digestija s prethodno tretiranim ostacima od pšenice vodikovim peroksidom, odabrao sam omjer 30:70 (pšenica:stajski gnoj) jer se s tim omjerom dobiva najviše metana što je vidljivo na slici 6.3. Iz omjera se izračunava godišnja potreba ostataka pšenice za digestiju. Godišnja proizvodnja farme iznosi  $m_g=5475$  t/god gnoja (70%) pa prema tome količina ostataka pšenice iznosi 30%, tj.  $m_o=2346$  t/god. Vlasnik farme obrađuje oko 2000 ha zemlje, a posijane pšenice ima do 700 ha. Po hektaru ima oko 13 bala sjena koje su teške oko 300kg odnosno 3,9 t/ha. S tom količinom može zadovoljiti odabrani omjer (2346 t/god < 2730 t/god). Udio suhe tvari od ostataka pšenice je vidljiv na stranici Feedipedia [26] čija je prosječna vrijednost iznosi 91 %. Iz 2346 t/god ostataka od branja pšenice u zrnu, s udjelom suhe tvari  $ST_o = 91\%$  dobiva se  $V_{bpo} = 1\,573\,819$  m<sup>3</sup> bioplina. Donja ogrjevna moć bioplina (60% CH<sub>4</sub>) iznosi  $H_{d,bp} = 21,6$  MJ/m<sup>3</sup>.

Ukupni volumen bioplina:

$$V_{bp} = V_{bpsg} + V_{bpo} = 521\,220 + 1\,573\,819 = 2\,095\,039 \text{ m}^3/\text{god.}$$

gdje je:

$V_{bp}$  - ukupna količina bioplina, m<sup>3</sup>/god

$V_{bpsg}$  - količina bioplina dobivena iz stajskog gnoja, m<sup>3</sup>/god

$V_{bpo}$  – količina bioplina dobivena iz ostataka pšenice, m<sup>3</sup>/god

Godišnja proizvodnja s donjom ogrjevnom vrijednosti bioplina  $H_{d,bp} = 21,6$  MJ/m<sup>3</sup> = 6 kWh/m<sup>3</sup> iznosi:

$$P = V_{bp} \cdot H_{d,bp} = 2\,095\,039 \cdot 6 = 12\,570\,234 \text{ kWh/god.}$$

gdje je:

$H_{d,bp}$  – donja ogrjevna vrijednost bioplina, MJ/m<sup>3</sup>

Ako pretpostavimo da će postrojenje raditi 365 dana u godini, generira se snaga:

$$P = 12\,570\,234 \frac{\text{kWh}}{365 \cdot 24} = 1435 \text{ kW.}$$

## 6.2 Količina i sastav supstrata

Supstrat (organski otpad) je količina sirovine koja ulazi u digestor. U ovom poglavlju će se izračunati količina sirovine koja se unosi u digestor. U ovom poglavlju će se izračunati količina sirovine koja se unosi u digestor. Tablica 6.1 prikazuje fizikalne veličine supstrata.

Tablica 6.1 Ulazni podaci supstrata

	<b>Masa (<math>m</math>), t/god</b>	<b>Udio (<math>x</math>)</b>	<b>Suha tvar (ST), %</b>	<b>Gustoća (<math>\rho</math>), kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Stajski gnoj</b>	5475	0,7	31.57	840
<b>Ostaci pšenice</b>	2346	0,3	91	100
<b>Ukupno</b>	7821	1	-	-

Ukupna masa sirovine iznosi:

$$m_s = m_{sg} + m_o = 5475 + 2346 = 7821 \text{ t/god} .$$

gdje je:

$m_s$  – masa supstrata, t/god

$m_o$  – masa ostataka od branja pšenice, t/god

Količina sirovine koju je potrebno unesti u digestor obzirom da će postrojenje raditi 365 dana u godini:

$$m_s = 7821 \frac{t}{365} = 21,4 \text{ t/dan} .$$

Za izračun volumena, potrebna nam je gustoća:

$$\rho_s = x_{sg} \cdot \rho_{sg} + x_o \cdot \rho_o, \quad \text{kg/m}^3$$

gdje je:

$\rho_s$  – gustoća supstrata, kg/m<sup>3</sup>

$x_{sg} = 0,7$  – maseni udio stajskog gnoja u supstratu

$\rho_{sg} = 840 \text{ kg/m}^3$ , gustoća stajskog gnoja,

$x_o = 0,3$  – maseni udio ostataka od branja pšenice u zrnju u supstratu

$\rho_o = 100 \text{ kg/m}^3$ , gustoća ostataka od branja pšenice u zrnu

$$\rho_s = 0,7 \cdot 840 + 0,3 \cdot 100 = 618 \text{ kg/m}^3 .$$

Volumen koji se unese u jednom danu u digestor je:

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{21,4}{618} = 34,6 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Obzirom na vrijeme zadržavanja supstrata u digestoru, sirovinu je potrebno skladištiti.

Dimenzije spremnika moraju skladištiti jednogodišnju količinu ostataka pšenice tj.  $m_o = 2346 \text{ t}$ .

Procijenjena gustoća ostataka od pšenice je  $\rho_o = 100 \text{ kg/m}^3$ , a pomoću nje se dobije volumen spremnika za ostatke koji iznosi:

$$V_{\text{pso}} = \frac{m_o}{\rho_o} = \frac{2\,346\,000}{100} = 23\,460 \text{ m}^3$$

gdje je:

$V_{\text{pso}}$  – volumen pšeničnih ostataka,  $\text{m}^3$

$V_{\text{so}}$  - spremnik za skladištenje ostataka od pšenice,  $\text{m}^3$

Predviđena su tri otvorena, armirano betonska spremnika u obliku kvadra sa dimenzijama:

širina,  $a = 15 \text{ m}$

duljina,  $b = 50 \text{ m}$

visina,  $h = 4,5 \text{ m}$

$$V_{\text{so}} = a \cdot b \cdot h = 15 \cdot 50 \cdot 4,5 = 8437,5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{so,uk}} = 3 \cdot V_{\text{so}} = 3 \cdot 8437,5 = 25\,312,5 \text{ m}^3 > 23\,460 \text{ m}^3$$

Veličina spremnika za stajski gnoj dimenzionira se pomoću količine gnoja koja se proizvede u razdoblju od 73 dana odnosno 1/5 godine. Količina stajskog gnoja za 1/5 godine jednaka je  $m_{\text{g}0,2} = 1095 \text{ t}$  pa prema tome potrebni volumen iznosi:

$$V_{\text{g}0,2} = \frac{m_{\text{g}0,2}}{\rho_{\text{g}}} = \frac{1\,095\,000}{840} = 1\,307 \text{ m}^3 .$$

Predviđaju se dva spremnika istih dimenzija ( $a \times b \times h = 10 \times 30 \times 3$  m) čiji je ukupni volumen  $V_{o,uk} = 1\ 800\ m^3$  ( $2 \cdot 900$ ). Spremnik je predimenzioniran za  $500\ m^3$  radi moguće potrebe gnojidbe poljoprivrednih površina.

### 6.3 Dimenzioniranje digestora

Za utvrđivanje potrebnog volumena za digestor, važno je razmotriti temperaturnu zonu u kojoj će se provoditi proces anaerobne digestije. U ovom slučaju, odabrana je mezofilna temperaturna zona s procesnom temperaturom od  $40\ ^\circ C$  i vremenom hidraulične retencije od 40 dana ( $VHR = 40$ ). Supstrati s visokim udjelom slame, poput sjene, idealni su za upotrebu u horizontalnim kontinuiranim digestorima, a karakterizira ih mokra digestija. To znači da digestat mora biti fluidan i protočan kako bi se omogućila mogućnost pumpanja. Međutim, važno je napomenuti da udio suhe tvari ne smije prelaziti 15 %. Udio suhe tvari u smjesi supstrata definiranoj kao 70 % stajskog gnoja i 30 % ostataka od branja pšenice u zrnu:

$$ST_S = x_{sg} \cdot ST_{sg} + x_o \cdot ST_o = 0,7 \cdot 0,3157 + 0,3 \cdot 0,91 = 0,494$$

$$ST_S = 49\ \% > 15\ \% \Rightarrow \text{dodavanje vode}$$

gdje je:

$ST_S$  – suha tvar supstrata

$ST_{sg}$  – suha tvar stajskog gnoja

$ST_o$  – suha tvar ostataka od branja pšenice

Potrebno je dodati vodu obzirom da je udio suhe tvari veći od graničnog:

$$m_{uk} \cdot ST_{uk} = m_S \cdot ST_S + m_V \cdot ST_V$$

gdje je:

$m_{uk} = m_S + m_V$  – ukupna masa smjese supstrata i vode, t/god

$ST_{uk} = 15\%$  – udio suhe tvari u smjesi supstrata i vode,

$m_S = 5\ 475$  t/god – masa supstrata

$ST_S = 49\%$  – udio suhe tvari u supstratu

$m_V$  – masa vode, t/god

$ST_V = 0$  – udio suhe tvari u vodi

Potrebna količina vode:

$$m_V = \frac{m_S}{ST_{uk}} \cdot (ST_S - ST_{uk}) = \frac{5\,475}{0,15} \cdot (0,49 - 0,15) = 12\,410 \text{ t/god.}$$

Dnevna potrebna količina vode iznosi:

$$m_V = 12\,410 \cdot \frac{t}{365} = 34 \text{ t/dan.}$$

Volumen vode koji je dnevno potrebno unijeti u digestor pri gustoći vode od  $\rho_v = 1\,000 \text{ kg/m}^3$  je:

$$V_V = \frac{m_V}{\rho_v} = \frac{34\,000}{1\,000} = 34 \text{ m}^3.$$

Prema tome potrebni volumen digestora jednak je:

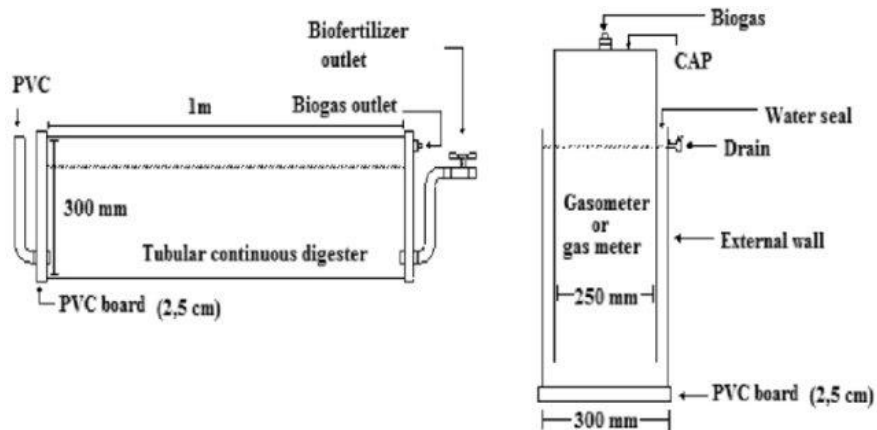
$$VHR = \frac{V_D}{V_{uk}} = \frac{V_D}{V_S + V_V} \Rightarrow V_D = VHR \cdot V_S = 40 \cdot (24,3 + 34) = 2\,332 \text{ m}^3.$$

Odabiru se 4 digestora sa dimenzijama ( $b \times h \times L = 5 \times 5 \times 24 \text{ m}$ ), volumena digestora koji iznosi:

$$V_{1D} = b \cdot h \cdot L = 5 \cdot 5 \cdot 24 = 600 \text{ m}^3.$$

Odnosno za sva 4 digestora:

$$V_{4D} = 4 \cdot V_{1D} = 4 \cdot 600 = 2\,400 \text{ m}^3 > 2\,332 \text{ m}^3.$$



Slika 6.4 Horizontalni kontinuirani digestor

#### 6.4 Dimenzioniranje predpremnika

Najčešće se dimenzionira za dvodnevnu količinu supstrata (bez vode), a iznosi:

$$V_{PS,uk} = 2 \cdot V_S = 2 \cdot 24,3 = 48,6 \text{ m}^3.$$

Obzirom da su dimenzionirana 4 digestora, potrebna su i 4 predpremnika u koji se unosi četvrtina dnevne količine supstrata, a potreban volumen jednog predpremnika iznosi:

$$V_{1PS} = 2 \cdot \frac{V_S}{4} = 2 \cdot \frac{24,3}{4} = 2 \cdot 6,075 = 12,15 \text{ m}^3.$$

Prema dobivenom volumenu odabiru se dimenzije predpremnika cilindričnog oblika:

promjer,  $d = 2,5 \text{ m}$

visina,  $h = 2,5 \text{ m}$ .

Volumen predpremnika za odabrane dimenzije:

$$V_{1PS} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{2,5^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2,5 = 12,27 \text{ m}^3 > 12,15 \text{ m}^3.$$

#### 6.5 Toplina potrebna za održavanje temperature procesa

U proračunu za digestor odabrali smo vrijeme hidraulične retencije za 40 dana (VHR=40 dana) te je time određen raspon temperatura u procesu od 32 °C do 40 °C odnosno temperatura procesa:

$\mathcal{G}_p = 40 \text{ °C}$ , temperatura na koju je potrebno zagrijati i održavati supstrat



$VHR = 40$  dana

### 6.5.1 Toplina potrebna za zagrijavanje supstrata

Toplina koju je potrebno svakodnevno dovoditi supstratu iznosi:

$$Q = m_s \cdot c_s \cdot (\vartheta_p - \vartheta_s) + m_v \cdot c_v \cdot (\vartheta_p - \vartheta_v), \quad \text{kJ}$$

gdje je:

$m_s = 21,4$  t/dan = 21 400 kg/dan, masa supstrata

$c_s$  – specifični toplinski kapacitet supstrata, kJ/(kgK)

$\vartheta_s = 0$  °C, pretpostavljena temperatura supstrata u zimskom periodu,

$m_v = 34$  t/dan = 34 000 kg/dan, masa vode

$c_v = 4,187$  kJ/(kgK), specifični toplinski kapacitet vode, kJ/(kgK)

$\vartheta_v = 15$  °C, pretpostavljena temperatura vode koja se stavlja u digester

Specifični toplinski kapacitet supstrata računa se prema:

$$c_s = x_{pg} \cdot c_{pg} + x_o \cdot c_o, \quad \text{kJ/kgK}$$

gdje je:

$x_{pg} = 0,7$  – maseni udio stajskog gnoja u supstratu

$c_{pg} = 2,3$  kJ/(kgK), pretpostavljeni specifični toplinski kapacitet

$x_o = 0,3$  – maseni udio ostataka od branja pšenice u zrnu u supstratu

$c_o = 1,6$  kJ/(kgK), pretpostavljeni specifični toplinski kapacitet ostataka od branja pšenice u zrnu

$$c_s = 0,7 \cdot 2,3 + 0,3 \cdot 1,6 = 2,09 \text{ kJ/(kgK)}.$$

Potrebna toplina tada iznosi:

$$Q = 21\,400 \cdot 2,09 \cdot (40 - 0) + 34\,000 \cdot 4,187 \cdot (40 - 15) = 3\,684\,350 \text{ kJ}$$

Ako pretpostavimo da će se digester puniti cijeli dan u razmaku od sat vremena, potrebna snaga za zagrijavanje supstrata je:

$$\phi_{gs} = \frac{Q}{n \cdot 3600} = \frac{3\,684\,350}{24 \cdot 3\,600} = 42,6 \text{ kW.}$$

### 6.5.2 Toplinski gubici digestora

Izmjena topline s okolišem odvija se preko bočnih strana te preko tla, prijelaz topline kroz krov sa supstrata na okolišni zrak se zanemaruje jer se ispod nepropusne membrane na digestoru nalazi određena razina bioplina. Dimenzije digestora su  $b \times h \times L = 5 \times 5 \times 24$  m, a temperatura supstrata je 40 °C. Vanjska projektna temperatura za Novu Gradišku iznosi  $\vartheta_{ok} = -18$  °C pa toplinski gubitak jednog digestora iznosi:

$$\phi_{g1d} = A_{zid} \cdot U_{zid} \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{ok}) + A_{pod} \cdot U_{pod} \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{ok}), \text{ W}$$

gdje je:

$A_{zid}$  – površina zidova digestora, m<sup>2</sup>

$U_{zid} = 0,3$  W/(m<sup>2</sup>K) – koeficijent prolaza topline za zid

$\vartheta_p = \vartheta_s = 40$  °C – temperatura procesa, tj. supstrata

$A_{pod}$  – površina poda digestora, m<sup>2</sup>

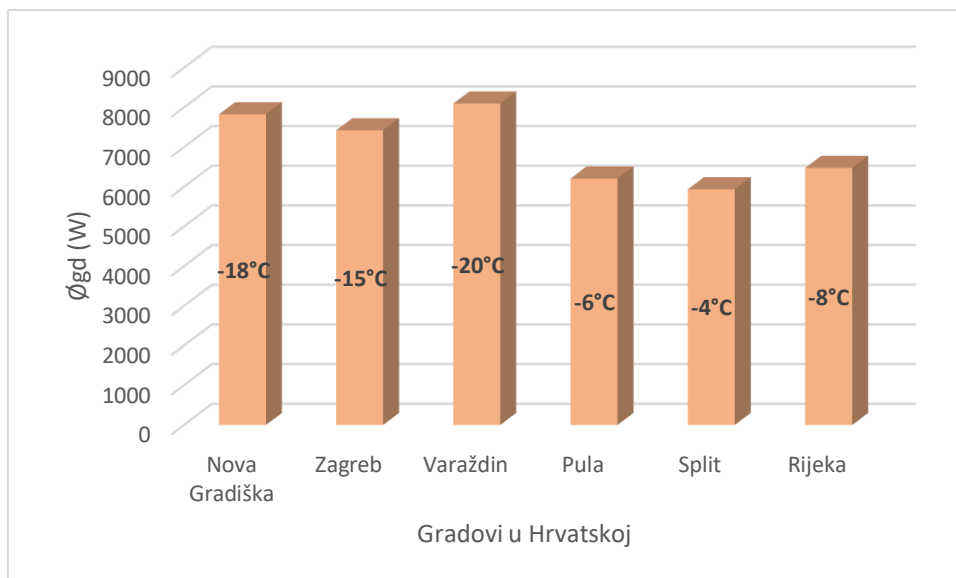
$U_{pod} = 0,4$  W/m<sup>2</sup>K – koeficijent prolaza topline za pod

$$\phi_{g1d} = (2 \cdot 5 \cdot 5 + 2 \cdot 5 \cdot 24) \cdot 0,3 \cdot (40 - (-18)) + 5 \cdot 24 \cdot 0,4 \cdot (40 - (-18)) = 7\,830 \text{ W.}$$

*Tablica 6.2 Toplinski gubici digestora za različite gradove*

Grad	Nova Gradiška	Zagreb	Varaždin	Pula	Split	Rijeka
Vanjska projektna temperatura (°C)	-18	-15	-20	-6	-4	-8
Toplinski gubitak digestora (W)	7830	7425	8100	6210	5940	6480

Obalni gradovi imaju niže vanjske temperature, ali puno manje obradivih poljoprivrednih površina za razliku od kontinentalnog dijela koji je hladniji. U većini slučajeva bioplinska postrojenja se grade u kontinentalnom dijelu radi dostupnosti resursa. Graf prikazuje gubitke topline digestora kroz stijenke u različitim gradovima za jednaku količinu supstrata u digestoru pri procesnoj temperaturi od 40 °C.



Slika 6.5 Prikaz toplinskih gubitaka digestora kroz stijenku za različita područja u Republici Hrvatskoj

Toplinski gubici za 4 digestora iznose:

$$\phi_{g4d} = 4 \cdot \phi_{g1d} = 4 \cdot 7\,830 = 31\,320 \text{ W} = 31,32 \text{ kW}.$$

Minimalna toplinska snaga potrebna za zagrijavanje supstrata i održavanje temperatura procesa u digestoru jednaka je:

$$\phi = \phi_{gs} + \phi_{g4d} = 42,6 + 31,32 = 73,9 \text{ kW}.$$

## 6.6 Dimenzioniranje spremnika digestata

Volumen supstrata koji je potrebno unesti u digestor na godišnjoj razini:

$$V_S = \frac{m_S}{\rho_S} = \frac{7\,821\,000}{618} = 12\,655 \text{ m}^3.$$

Volumen vode koji je potrebno unesti u digestor na godišnjoj razini:

$$V_V = \frac{m_V}{\rho_V} = \frac{12\,410\,000}{1\,000} = 12\,410 \text{ m}^3.$$

Ukupni volumen vode i supstrata koji je potrebno unesti u digestor na godišnjoj razini:

$$V_{uk} = V_S + V_V = 12\,655 + 12\,410 = 25\,065 \text{ m}^3.$$

Volumen spremnika digestata na polugodišnjoj razini tada iznosi:

$$V_{sd} = \frac{V_{uk}}{2} = \frac{25\,065}{2} = 12\,532,5 \text{ m}^3.$$

Odabrane su dimenzije za 4 spremnika digestata:

promjer,  $d = 25 \text{ m}$

visina,  $h = 7 \text{ m}$



*Slika 6.6 Membranski spremnik digestata*

Volumen jednog spremnika digestata iznosi:

$$V_{1sd} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7 = 3\,436,1 \text{ m}^3.$$

Volumen sva 4 spremnika iznosi:

$$V_{4sd} = 4 \cdot V_{1sd} = 4 \cdot 3\,436,1 = 13\,745 \text{ m}^3 > 12\,532,5 \text{ m}^3.$$

Digestat iz digestora izbacivati će se u spremnik digestata pumpom.

## 6.7 Volumen spremnika bioplina

Prostor iznad digestora i spremnika digestata je prekriven plinonepropusnom mebranom koja je izrađena od PVC-a, a služi za sakupljanje i skladištenje bioplina. Volumen bioplina koji se u tom prostoru može uskladištiti, uz pretpostavku da se membrana izdigne 1,5 m iznad supstrata iznosi:

$$V_{sb1d} = b \cdot h \cdot L = 5 \cdot 1,5 \cdot 24 = 127 \text{ m}^3$$

gdje je:

$V_{sb1d}$  – volumen bioplina u digestoru,  $\text{m}^3$

$h$  – izdignuta visina membrane, m

Volumen bioplina koji se može uskladištiti u sva 4 digestora je:

$$V_{sb4d} = 4 \cdot V_{sb1d} = 4 \cdot 127 = 508 \text{ m}^3.$$



*Slika 6.7 PVC plinonepropusna membrana [27]*

Volumen bioplina koji bi se u izdignutom prostoru (slika 6.6) mogao skladištiti uz pretpostavku da ima oblik krnjeg stošca i da je membrana izdignuta za 6 m iznosi:

$$V_{sb1sd} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 12,5^2 \cdot 6 = 1\,014 \text{ m}^3$$

gdje je:

$V_{sb1sd}$  – volumen bioplina u spremniku digestata,  $\text{m}^3$

$r$  – polumjer spremnika digestata, m

Volumen bioplina koji se može uskladištiti u sva 4 spremnika digestata je:

$$V_{sb4sd} = 4 \cdot V_{sb1sd} = 4 \cdot 1\,014 = 4\,056 \text{ m}^3.$$

Ukupni volumen bioplina koji se može uskladištiti u digestoru i spremniku digestata je:

$$V_{sb,uk} = V_{sb4d} + V_{sb4sd} = 508 + 4\,056 = 4\,564 \text{ m}^3.$$

Ukupni volumen spremnika bioplina može uskladištiti količinu bioplina (postrojenje radi 365 dana godišnje) proizvedenu za:

$$\frac{V_{sb}}{V_{bp}} = \frac{4564}{5740} = 0,79 \text{ dana.}$$

## 6.8 Odabir motor generatora

Izračunata količina bioplina koja se godišnje proizvodi iznosi  $V_{bp} = 2\,095\,039 \text{ m}^3$ , uz donju ogrjevnu moć bioplina  $H_{d,bp} = 21,6 \text{ MJ/m}^3 = 6 \text{ kWh/m}^3$  i procjenu da postrojenje radi 365 dana godišnje, dobiva se snaga  $P = 1435 \text{ kW}$ . Prema navedenim podacima izabran je motor generator *Jenbacher JMS 312 GS-B.L. 548 kW* (slika 6.7) čije su karakteristike prikazane u tablici 6.2.

Tablica 6.3 Specifikacije motor generatora

Tehnički podaci		
Raspored cilindara	-	linijski
Promjer cilindra	mm	135
Stapaj	mm	170
Volumen cilindra	l	29,2
Brzina vrtnje	o/min	1500
Vrsta motora	-	J312
Broj cilindara	-	12
Vrsta goriva	-	bioplin
Emisija NO <sub>x</sub>	mg/mN <sup>3</sup>	< 500
Izvedba	-	kontejnerska
Dimenzije kontejnera (d×š×v)	m	12,2×2,5×2,6
Masa kontejnera	kg	21900
Izlazna snaga i korisnost		
$P_{el}$	kW	548
$\eta_{el}$	%	41,9
$P_t$	kW	557
$\eta_t$	%	42,6
$\eta_{uk}$	%	84,5

$P_{el}$  – izlazna snaga, kW

$\eta_{el}$  – stupanj djelovanja motor generatora

$P_t$  – povratna toplinska snaga, kW

$\eta_t$  – termički stupanj djelovanja

$\eta_{uk}$  – ukupni stupanj djelovanja

Potrebna snaga koju treba dovesti u motor da bi se generirala električna snaga  $P_{el} = 548$  Kw iznosi:

$$P_{el} = P \cdot \eta_{el} \Rightarrow P = \frac{P_{el}}{\eta_{el}} = \frac{548}{0,419} = 1307,9 \text{ kW} < P = 1435 \text{ kW},$$

što je manja vrijednost od ukupnog potencijala bioplina. Prema dobivenoj potrebnoj snazi određuje se stvarna potrošnja goriva:

$$B = \frac{P}{H_{d,bp}} = \frac{1307,9}{21600} = 0,06055 \text{ m}^3/\text{s} = 218 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$B = 5\,232 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}} < V_{\text{bp}} = 5\,740 \text{ m}^3/\text{dan},$$

Toplina dobivena kogeneracijom koja iznosi  $P_t = 557 \text{ kW}$  koristiti će se za grijanje digestora i supstrata čija je potreba za toplinom  $\Phi = 73,9 \text{ kW}$ , a ostatak će se odvoditi u okoliš.



*Slika 6.8 Jenbacher JMC 312 GS-B.L. u kontejnerskoj izvedbi [28]*



## **7 PROJEKT POSTROJENJA ZA OBRADU VODE**

Voda je iznimno važan element u prehrani goveda, jer je ključna za probavu, termoregulaciju, rast, reprodukciju te normalno funkcioniranje krvožilnog i živčanog sustava. Odrasla goveda dnevno trebaju unositi između 50 do 70 litara vode, ovisno o njihovoj veličini, prehrani, općem stanju i vremenskim uvjetima. Istraživanja su pokazala da pristup čistoj vodi pozitivno utječe na unos hrane i dnevni prirast težine goveda, povećava proizvodnju mlijeka i smanjuje incidenciju bolesti. Suprotno tome, ograničen pristup vodi ili loša kvaliteta vode mogu negativno utjecati na produktivnost goveda i potencijalno uzrokovati bolesti ili smrt. Važno je osigurati da izvor vode bude čist i da nije kontaminiran mineralima, solima, dušikom, bakterijama, algama ili gnojem. Loš miris i okus vode mogu odvratiti stoku od pijenja dovoljne količine vode te izazvati ozbiljne zdravstvene probleme ili čak smrt [29].

Prije upotrebe vode, potrebno ju je analizirati i testirati na sadržaj nitrata, otopljene krutine, soli, pH vrijednost, mutnoću i prisutnost fekalnih koliformnih bakterija. Važno je osigurati da izvor vode može zadovoljiti potrebe stoke, posebno u sušnim razdobljima i tijekom toplijeg vremena.

### **7.1 Parametri jezerske vode**

U daljnjem tekstu će se dimenzionirati osnovne komponente sustava za obradu jezerske vode primjenom tehnologije ultrafiltracije kroz konkretan primjer odnosno jezero koje se nalazi u blizini farme. Tehnologija ultrafiltracije je odabrana jer zauzima malo prostora i pruža automatizaciju rada i visoku pouzdanost. Pri dimenzioniranju koristit će se program "INGE System Design" američke tvrtke "DuPont" koja ima bogato iskustvo i stručnost u području tehnologija za obradu vode te pruža inovativna rješenja za različite industrije i sektore koji se bave vodom. Njihovi proizvodi i usluge baziraju se na membranskim tehnologijama, kemijskim aditivima, opremi i sustavima za obradu vode te održavanju i podršci. Softverski program "INGE System Design" je program koji se koristi za projektiranje ultrafiltracijskih sustava unošenjem određenih parametara kako bi se pronašlo optimalno rješenje. Potrebno je unesti ulazne parametre odnosno ulazni protok vode, sastav vode i mikrobiološke komponente, a potrebni dijelovi sustava dobivaju se unosom navedenih parametara.

Također, program izračunava maksimalni transmembranski tlak pa se time određuje pumpa za sustav. Obzirom da farma raspolaže sa 300 grla čija je dnevna potreba oko 70 litara

vode, uz korištenje vode za ljudsku upotrebu, ulazni protok vode iznosit će 1 m<sup>3</sup>/h uz ulaznu mutnoću od 20 NTU (jedinica замуćenja).

$$q_v = \frac{n \cdot V_{\text{dnevno}}}{24} + q_{v,lj.potr.} = \frac{300 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{24} + 0,125 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$n$  – broj grla

$V_{\text{dnevno}}$  – dnevna potrošnja vode po grlu, l

$q_{v,lj.potr.}$  – ljudska potrošnja vode, m<sup>3</sup>/h

$q_v$  – ulazni protok vode za filtriranje, m<sup>3</sup>/h

The image shows a software interface with the following fields:

- Capacity \***: Input field containing '1', with units 'm³/h' indicated to the right.
- Design basis**: A dropdown menu currently showing 'Filtrate' with a downward arrow.
- Water type \***: A dropdown menu currently showing 'surface water' with a downward arrow.

Slika 7.1 Odabir vode za filtraciju [30]

Slika 7.1 prikazuje izabranu opciju „površinska voda“ u programu "INGE System Design" i ulazni volumni protok s kojim se ulazi u daljnji proračun.

Tablica 7.1 Parametri jezerske vode [31]

pokazatelj	vrijednost	jedinica
<b>temperatura</b>	14,5	°C
<b>pH vrijednost</b>	8,3	-
<b>ukupne suspenzije (TSS)</b>	5	mg L <sup>-1</sup>
<b>električna provodnost</b>	1230	μS cm <sup>-1</sup>
<b>mutnoća</b>	20	NTU
<b>otopljeni organski ugljik (DOC)</b>	1,4	mg L <sup>-1</sup>
<b>utrošak KMnO<sub>4</sub></b>	5,5	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
<b>ukupna tvrdoća</b>	325	mg L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>
<b>alkalitet</b>	4,5	mmol L <sup>-1</sup>

Ulazni parametri su uzeti iz rada u kojem se nalaze rezultati ispitivanja jezerskih voda te su prikazani u tablici 7.1.

Parameter	Unit	Value
Turbidity	NTU	20
DOC	ppm	1.4
KMnO4 consumption	ppm	
TSS	ppm	5
COD	ppm	0
Alkalinity	mmol/l	4.5
Temperature	°C	14.5
Additional parameter		
pH-value	-	8.3
Conductivity	μS/cm	1230

Slika 7.2 Unos parametara jezerske vode [30]

Field	Selected Value
Module type *	IntegraTec™ MB 80
Rack type *	T-Rack™

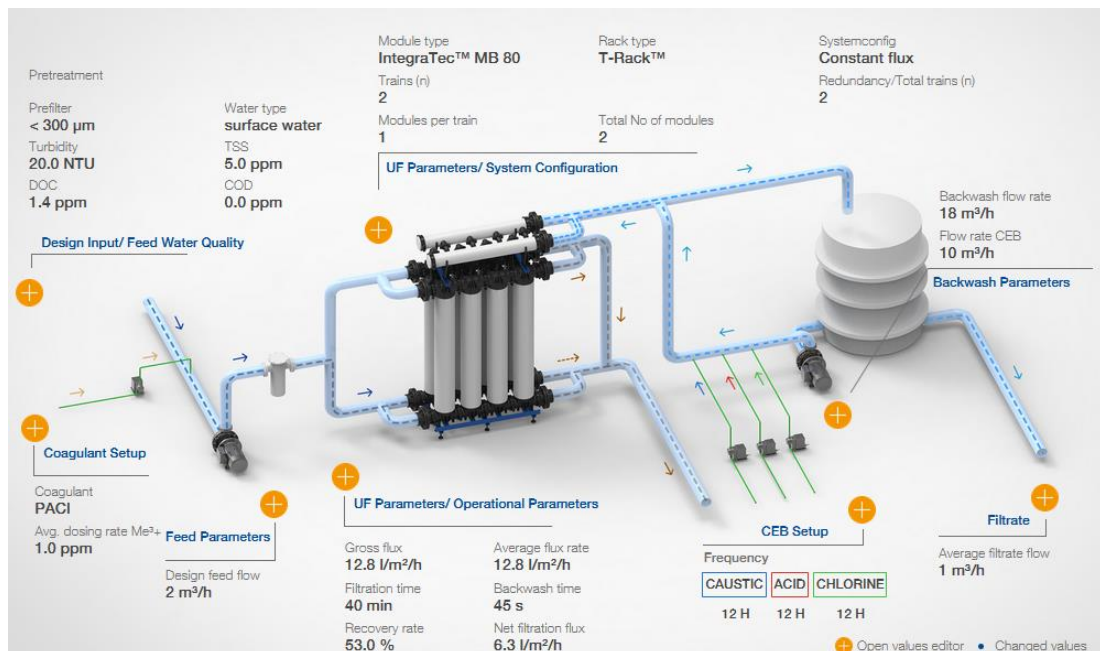
Slika 7.3 Odabir modula i postolja za ultrafiltraciju [30]

Nakon unosa ulaznih parametara jezerske vode, određuje se postolje i ulazni modul koji se koristi za ultrafiltraciju. Odabran je tip modula *IntegraTec MB 80* i postolje *T-Rack* (slika 7.3). Aktivna površinska membrana jednog modula iznosi 80 m<sup>2</sup>, a duljina modula je 1.72 m. Pod aktivnom membranskom površinom podrazumijeva se visoka gustoća slaganja membrana u modulu.



Slika 7.4 Modul IngraTec MB 80 [30]

Pomoću programa izračunati će se vrijeme ciklusa jedne filtracije, protoci napojne vode i protupranja, tlakovi pumpe napojne vode i protupranja i potreban unos određenih kemikalija. Također je prikazano strujanje napojne vode i protupranje gdje je protupranje definirano suprotnim smjerom od smjera napojne vode (slika 7.5). Vizualizacija sustava za ultrafiltraciju te dodatni podaci će se nalaziti u prilogima ovog rada.



Slika 7.5 Prikaz sustava za ultrafiltraciju jezerske vode u programu INGE System Design [30]

## 7.2 Odabir pumpi za napojnu vodu i protupranje

Koristeći program INGE System Design, izračunat je protok filtrirane vode za protupranje i padovi tlaka. Filtriranom vodom će se pomoću većeg tlaka ispirati pore u modulu s membranama od naslaga. Dobiveni protoci i padovi tlaka koristiti će se za odabir pumpe koje se upotrebljavaju za filtriranje i protupranje.

Feed pumps	BW pump & CIP pumps
Number of feed pumps in operation	BW pumps in op. per BW system
2	1
Feed pump design pressure	BW pump design pressure
1.6 bar	2.8 bar
Design flow feed pump	Design flow BW pumps
1.0 m <sup>3</sup> /h	18.4 m <sup>3</sup> /h

Slika 7.6 Protoci i padovi tlaka u pumpama "Feed and Backwash pump" [30]

Za ultrafiltraciju jezerske vode odabire se „Booster pumpa“ proizvođača Groundfos CMB 1-36 A-C-A-A-A-A (slika 7.7) putem Groundfos web-stranice [32] prema dobivenim vrijednostima protoka i pada tlaka za normalan rad sustava. Također je prikazan Q-H (protok-dobavna visina) dijagram i dijagram snage za dobivene vrijednosti sa toleriranim odstupanjima u priložima. Specifikacije i dijagrami pumpe se nalaze u priložima ovog rada.



Slika 7.7 Booster pumpa Groundfos CMB 1-36 A-C-A-A-A-A [32]

Za protupranje modula odabire se centrifugalna pumpa proizvođača Groundfos BMS 17-3 HP-A-C-P-A-A (slika 7.9) putem Groundfos web-stranice prema dobivenim vrijednostima protoka

i pada tlaka za normalan rad sustava. Također je prikazan Q-H dijagram i dijagram snage za dobivene vrijednosti sa toleriranim odstupanjima u priložima. Specifikacije i dijagrami pumpe se nalaze u priložima ovog rada.



*Slika 7.8 Centrifugalna pumpa Grundfos BMS 17-3 HP-A-C-P-A-A [32]*

## 8 ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije igraju ključnu ulogu u suzbijanju klimatskih promjena, smanjenju emisije stakleničkih plinova i osiguravanju održive energetske budućnosti. Bioplinska postrojenja predstavljaju značajan dio ovog tranzicijskog procesa, pružajući mogućnost proizvodnje bioplina iz biomase. Emisija stakleničkih plinova, koja se u velikoj mjeri pripisuje fosilnim gorivima i industrijskim postrojenjima, ozbiljno ugrožava okoliš i uzrokuje klimatske promjene. Europska unija planira smanjiti emisiju stakleničkih plinova te postavlja ciljeve za postizanjem klimatski neutralnosti kontinenta do 2050. godine.

Ovim radom je osmišljeno i projektirano bioplinsko postrojenje za farmu u općini Rajić gdje se za ulaznu sirovinu koristi mješavina stajskog gnoja i ostataka od branja pšenice za proizvodnju električne i toplinske energije te visokokvalitetnog digestata. Stajski gnoj se sakuplja sa farme u čijoj neposrednoj blizini je planirano bioplinsko postrojenje, a ostaci od branja pšenice sakupljaju se sa poljoprivrednih čestica. Uz bioplinsko postrojenje, izveden je sustav za obradu vode u jezeru primjenom ultrafiltracije kojim se dobiva pitka voda koja će se upotrebljavati za napajanje stoke i objekata u sklopu farme. Ovaj sustav ne zahtijeva puno prostora, ali je pogodan za filtriranje većih količina vode. Planirana uporaba digestata na poljoprivrednim površinama i toplinske energije za grijanje digestora, staklenika, stambenih i poslovnih objekata pruža novu mogućnost za otvaranje radnih mjesta i osvješćivanje lokalne zajednice o važnosti obnovljivih izvora energije. Samim time bi se omogućilo postizanje energetske i vodoopskrbne samostalnosti naselja ili farme i pridonijelo učinkovitijem gospodarenju organskog otpada. U budućnosti se sve više očekuje upotreba ovakvih sustava, naročito u Republici Hrvatskoj zbog dostupnosti ulazne sirovine i dobara, potpora iz Europskih fondova i strategija energetskeg razvoja.

## LITERATURA

- [1] Đurđević, D., Wolf I., materijali s predavanja s kolegija „Obnovljivi izvori energije“, <https://moodle.srce.hr/2022-2023/course/view.php?id=141189> , svibanj 2023.
- [2] <https://bioen.hr/biopljin-proizvodnja/>, Shema bioplinskog postrojenja, svibanj 2023.
- [3] [https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/09/WBA-globalreport-56ppa4\\_digital-Sept-2019.pdf](https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/09/WBA-globalreport-56ppa4_digital-Sept-2019.pdf), Broj bioplinskih postrojenja u svijetu, svibanj 2023.
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki\\_ciklus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus) , Hidrološki ciklus vode, svibanj 2023.
- [5] [https://williams.chemistry.gatech.edu/structure/molecular\\_interactions/mol\\_int.html](https://williams.chemistry.gatech.edu/structure/molecular_interactions/mol_int.html), Jakost vodikove veze, svibanj 2023.
- [6] Senčić T., materijali s predavanja s kolegija „Goriva, maziva i voda“, <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=100737> , svibanj 2023.
- [7] Čuljak K., „Projekt sustava za membransku filtraciju bunarske vode“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [8] <https://www.kamenac.com/kvaliteta-vode/tvrdoca-vode/> , Kvaliteta vode, svibanj 2023.
- [9] Damljanjević D., „Otpadne vode i utjecaj na čovjeka i okoliš“, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.
- [10] <https://denicandjelina.wordpress.com/izvori-zagadivanja/biolosko-zagadivanje/> , Izvori zagađenja, lipanj 2023.
- [11] Al Seadi T. i dr.: „Priručnik za biopljin“, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2009.,
- [12] Zemljak Davor, „Analiza mogućnosti bioplinskog postrojenja BIOplinar organica Kalnik 1 d.o.o.“, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zagreb, 2023.
- [13] <https://www.kcvode.hr/racionalno-gospodarenje-pitkom-vodom/> , Gospodarenje pitkom vodom, lipanj 2023.
- [14] Dragičević V., materijali s predavanja s kolegija „Inženjerstvo zaštite okoliša“, <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=100743> , svibanj 2023.
- [15] Bakula I., „Membranski procesi u prehrambenoj industriji“, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.
- [16] <https://openmembranedatabase.org/membrane-science/> , Princip rada membrane, lipanj 2023.
- [17] <https://fiizk.com/en/product/membrane-filtration-technology/> , Vrste membranskih filtracija, lipanj 2023.
- [18] <https://www.hidroenerga.hr/wp-content/uploads/2015/03/UltrafiltracijaUPripraviPitkeVode.pdf> , Ultrafiltracija, lipanj 2023.



- [19] <https://mci-ridglok.com/msu-anaerobic-digester-agricultural-storage-tank-insulation/> , Izolacija digestoralipanj 2023.
- [20] <http://hr.camdagenerator.com/innio-power/ge-jenbacher-gas-engines.html>, Odabir motora za bioplinsko postrojenje, lipanj 2023.
- [21] <https://hrcak.srce.hr/file/344290>, Upotreba digestata, lipanj 2023.
- [22] <https://gospodarski.hr/rubrike/sto-sa-zetvenim-ostacima/> , Žetveni ostatci, lipanj 2023.
- [23] Petar Kuljak, „Idejni projekt bioplinskog postrojenja“, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, srpanj 2022.
- [24] <https://planet-biogas.com/en/biogas-calculator/>, Kalkulator bioplina, lipanj 2023.
- [17] Zilin Song, Chao Zang „Anaerobic codigestion of pretreated wheat straw with cattle manure and analysis of the microbial community“, College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China, svibanj 2015.
- [26] <https://feedipedia.org/node/12758>, Udio suhe tvari u pšeničnim ostacima, srpanj 2023.
- [27] <https://www.luckyinternational.net/biogas-covers.html>, Membrana spremnika digestata, travanj 2023.
- [28] <https://zorg-biogas.com/equipment/generators>, Motor generator Jenbach, svibanj 2023.
- [29] <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1264&title=maintaining-a-clean-water-trough-for-cattle> , Kvaliteta i kakvoća vode za stoku, srpanj 2023.
- [30] <https://isd-online.inge.ag/#/dashboard> , INGE System Design, srpanj 2023.
- [31] Muljko I., Tomec M., Lovrić E., Telišman E., „Neka ispitivanja jezerskih voda u SR Hrvatskoj“, srpanj 2023.
- [32] <https://www.grundfos.com/hr> , Q-H dijagram i dijagram snage pumpe, srpanj 2023.

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$B_R$	kg/dan·m <sup>3</sup>	dnevni protok organske tvari
$m$	kg/dan	masa supstrata unešena tokom dana
$c$	%	udio organske tvari
$V_D$	m <sup>3</sup>	volumen digestora
$V_{HR}$	dan	vrijeme hidrauličke retencije
$V_R$	m <sup>3</sup>	volumen digestora
$V$	m <sup>3</sup> /dan	volumen supstrata unešen u jednom danu
$\rho_{sg}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća stajskog gnoja
$x_{gi}$	%	maseni udio govedeg izmeta
$\rho_{gi}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća govedeg izmeta
$x_{gm}$	%	maseni udio goveđe mokraćé
$\rho_{gm}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća goveđe mokraćé
$V_{bp}$	m <sup>3</sup> /god	ukupna količina bioplina
$V_{bpsg}$	m <sup>3</sup> /god	količina bioplina dobivena iz stajskog gnoja
$V_{bpo}$	m <sup>3</sup> /god	količina bioplina dobivena iz ostataka pšenice
$H_{d,bp}$	MJ/m <sup>3</sup>	donja ogrjevna vrijednost bioplina
$m_s$	t/god	masa supstrata
$m_o$	t/god	masa ostataka od branja pšenice
$m_{sg}$	t/god	masa govedeg izmeta
$m_{gi}$	t/god	masa goveđe mokraćé
$m_{sg}$	t/god	masa stajskog gnoja
$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća supstrata
$x_{sg}$	%	maseni udio stajskog gnoja u supstratu

$\rho_{sg}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća stajskog gnoja
$V_{bpo}$	m <sup>3</sup> /god	– količina bioplina dobivena iz ostataka pšenice
$x_o$	%	maseni udio ostataka od branja pšenice u zrnu u supstratu
$\rho_o$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća ostataka od branja pšenice u zrnu
$V_{g0.2}$	m <sup>3</sup>	volumen stajskog gnoja za 1/5 godine
$ST_s$	%	suha tvar supstrata
$ST_{sg}$	%	suha tvar stajskog gnoja
$ST_o$	%	suha tvar ostataka od branja pšenice
$m_{uk}$	t/god	ukupna masa smjese supstrata i vode
$ST_{uk}$	%	udio suhe tvari u smjesi supstrata i vode
$m_s$	t/god	masa supstrata
$m_v$	t/god	masa vode
$ST_v$	%	udio suhe tvari u vodi
$V_{PS}$	m <sup>3</sup>	volumen predspremnika
$c_s$	kJ/(kgK)	specifični toplinski kapacitet supstrata
$\vartheta_s$	°C	pretpostavljena temperatura supstrata u zimskom periodu
$m_v$	kg/dan	masa vode
$c_v$	kJ/(kgK)	specifični toplinski kapacitet vode
$\vartheta_v$	°C	pretpostavljena temperatura vode koja se stavlja u digestor

$x_{pg}$	%	maseni udio stajskog gnoja u supstratu
$c_{pg}$	kJ/(kgK)	pretpostavljeni specifični toplinski kapacitet
$x_o$	%	maseni udio ostataka od branja pšenice u zrnu u supstratu
$c_o$	kJ/(kgK)	pretpostavljeni specifični toplinski kapacitet ostataka od branja pšenice u zrnu
$\phi_{gs}$	W	potreban toplinski toga za zagrijavanje supstrata
$A_{zid}$	m <sup>2</sup>	površina zidova digestora
$U_{zid}$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline za zid
$\vartheta_p$	°C	temperatura procesa
$A_{pod}$	m <sup>2</sup>	površina poda digestora
$U_{pod}$	W/m <sup>2</sup> K	koeficijent prolaza topline za pod
$V_{sb1d}$	m <sup>3</sup>	volumen bioplina u digestoru
$h$	m	izdignuta visina membrane
$V_{sb1d}$	m <sup>3</sup>	volumen bioplina u spremniku digestata
$r$	m	polumjer spremnika digestata
$P_{el}$	kW	izlazna snaga
$\eta_{el}$	%	stupanj djelovanja motor generatora
$P_t$	kW	povratna toplinska snaga
$\eta_t$	%	termički stupanj djelovanja
$\eta_{uk}$	%	ukupni stupanj djelovanja

## POPIS SLIKA

Slika 1.1 Izvori biomase [1].....	2
Slika 1.2 Usporedba toplinske vrijednosti bioplina i prirodnog plina [1] .....	2
Slika 2.1 Prinos metana za različite supstrate [12].....	9
Slika 2.2 Četiri faze prilikom nastanka bioplina [11].....	9
Slika 3.1 Potrošnja vode u kućanstvu na dan u Republici Hrvatskoj[13] .....	14
Slika 3.2 Princip rada membranske filtracije [16].....	16
Slika 3.3 Membranski procesi [17] .....	16
Slika 3.4 Ultrafiltracijski proces [18] .....	17
Slika 4.1 Tipovi obiteljskih postrojenja u zemljama Azije [11] .....	20
Slika 4.2 Shema bioplinskog postrojenja [11] .....	22
Slika 4.3 Digestor s nepropusnom mebranom za skladištenje bioplina [19].....	23
Slika 4.4 Princip rada bioplinskog postrojenja na poljoprivrednom gospodarstvu [11] .....	25
Slika 5.1 Kontejnerska izvedba "Jenbacher" plinskog motora [20] .....	30
Slika 6.1 Ostatak od žetve [22] .....	33
Slika 6.2 Udio suhe tvari u stajskom gnoju (Prilog 1) .....	35
Slika 6.3 Omjer miješanja Pšenica : Stajski gnoj [25] .....	35
Slika 6.4 Horizontalni kontinuirani digestor.....	41
Slika 6.5 Prikaz toplinskih gubitaka digestora kroz stijenku za različita područja u Republici Hrvatskoj.....	44
Slika 6.6 Membranski spremnik digestata.....	45
Slika 6.7 PVC plinonepropusna membrana [27].....	46
Slika 6.8 Jenbacher JMC 312 GS-B.L. u kontejnerskoj izvedbi [28] .....	49
Slika 7.1 Odabir vode za filtraciju [30] .....	51
Slika 7.2 Unos parametara jezerske vode [30].....	52
Slika 7.3 Odabir modula i postolja za ultrafiltraciju [30].....	52
Slika 7.4 Modul IngraTec MB 80 [30].....	53
Slika 7.5 Prikaz sustava za ultrafiltraciju jezerske vode u programu INGE System Design [30] .....	53
Slika 7.6 Protoci i padovi tlaka u pumpama "Feed and Backwash pump" [30] .....	54
Slika 7.7 Booster pumpa Groundfos CMB 1-36 A-C-A-A-A-A [32].....	54
Slika 7.8 Centrifugalna pumpa Groundfos BMS 17-3 HP-A-C-P-A-A [32] .....	55

## POPIS TABLICA

Tablica 1.1 Fizikalna svojstva vode [7].....	6
Tablica 2.1 Vrijeme trajanja procesa za određene temperaturne zone [11].....	11
Tablica 5.1 Sastav bioplina [11].....	27
Tablica 5.2 Teoretski prinos plina [11] .....	27
Tablica 5.3 Prinos bioplina od različitih supstrata [11].....	28
Tablica 6.1 Ulazni podaci supstrata .....	37
Tablica 6.2 Toplinski gubici digestora za različite gradove .....	43
Tablica 6.3 Specifikacije motor generatora .....	48
Tablica 7.1 Parametri jezerske vode [31] .....	51

## SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je izrada postrojenja koje će proizvoditi električnu i toplinsku energiju iz bioplina uz dobivanje pitke vode. U uvodnom dijelu opisana su svojstva biomase i bioplina uz osvrt na podrijetlo biomase te proces dobivanja bioplina putem anaerobne digestije. Također su u sklopu uvodnog dijela opisana svojstva i struktura vode, tehnologije za obradu vode i detaljnije ultrafiltracija koja je upotrebljena u radu. Drugi dio se odnosio na primjenu bioplina i digestata te opis dijelova postrojenja i princip rada. U završnom dijelu se fokus stavio na dimenzioniranje bioplinskog postrojenja i sustava za obradu vode gdje je ulazni parametar 300 grla goveda na farmi u općini Rajić. Pomoću broja grla goveda dobiva se količina stajskog gnoja i ostataka od branja pšenice te potrebna količina vode za napajanje stoke. Bioplin dobiven anaerobnom digestijom koristio bi se u motor generatoru za proizvodnju električne i toplinske energije. Za obradu vode u jezeru odabire se tehnologija ultrafiltracije, a sukladno s njome membranski moduli za pročišćavanje te napojne pumpe.

Ključne riječi:

Bioplin, voda, anaerobna digestija, ultrafiltracija, bioplinsko postrojenje, plinski motor-generator

## **SUMMARY**

The topic of this master thesis is the construction of a plant that will produce electricity and thermal energy from biogas while obtaining drinking water. In the introductory part, the properties of biomass and biogas are described with reference to the origin of biomass and the process of obtaining biogas through anaerobic digestion. Also, in the introductory part, the properties and structure of water, technologies for water treatment and the ultrafiltration used in the work are described in more detail. The second part is related to the application of biogas and digestate with the description of the biogas plant and the principle of operation. In the final part, the focus was placed on the calculation of the biogas plant and water treatment system, where the input parameter is 300 cattles on the farm in Rajić. Feedstock is obtained by using the cattle manure and residues from wheat harvesting. Biogas obtained by anaerobic digestion would be used in a motor generator for the production of electricity and heat. For the treatment of water in the lake, ultrafiltration technology is chosen with proper membrane modules and feed pumps.

Key words: Biogas, anaerobic digestion, ultrafiltration, biogas plant, gas motor-generator



## **PRILOZI**

1. Funkcionalna shema bioplinskog postrojenja
2. Funkcionalna shema ultrafiltracijskog sustava za obradu vode u jezeru
3. Prostorna shema bioplinskog postrojenja i sustava za obradu vode u jezeru
4. Poprečni presjek digestora s dijelovima
5. Sustav za ultrafiltraciju jezerske vode u programu INGE System Design
6. Specifikacija i dijagrami Booster pumpe Grundfos CMB 1-36 A-C-A-A-A-A
7. Specifikacija i dijagrami centrifugalne pumpe Grundfos BMS 17-3 HP-A-C-P-A-A
8. Kemijska analiza stajskog gnoja za farmu u općini Rajić