

# Mjere sigurnosti pri proizvodnji bioplina anaerobnom digestijom

---

**Kozarić, Vlatka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:706731>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Biotehnologija**

**Vlatka Kozarić**

7240/BT

**MJERE SIGURNOSTI PRI PROIZVODNJI BIOPLINA  
ANAEROBNOM DIGESTIJOM**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet:** Biotehnologija 3

**Mentor:** Red. prof. dr. sc. Vlatka Petravić Tominac

**Zagreb, 2019.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski sveučilišni studij Biotehnologija**

**Zavod za biokemijsko inženjerstvo**  
**Laboratorij za biokemijsko inženjerstvo, industrijsku mikrobiologiju i tehnologiju**  
**piva i slada**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**  
**Znanstveno polje: Biotehnologija**

**Mjere sigurnosti pri proizvodnji bioplina anaerobnom digestijom**

***Vlatka Kozarić, 0058208343***

**Sažetak:** Bioplin pripada obnovljivim izvorima energije i kao takav koristan je za okoliš, a uz to ima brojne ekonomske koristi. Dobiva se procesom anaerobne digestije pri čemu nastaje i digestat kao sekundarni produkt. Sirovine koje se u Hrvatskoj najčešće koriste u proizvodnji bioplina su životinjski gnoj i poljoprivredni otpad. Proizvodnja bioplina nosi sa sobom određene opasnosti kako za čovjeka tako i za okoliš. Kako bi se nesreće u što većoj mjeri izbjegle, provode se organizacijske, tehničke i osobne mjere zaštite u skladu s nacionalnim zakonima, propisima, normama i smjernicama.

**Ključne riječi:** bioplin, mjere zaštite, opasnosti, sigurnost

**Rad sadrži:** 35 stranica, 18 slika, 5 tablica, 32 literaturna navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** Red. prof. dr. sc. Vlatka Petravić Tominac

**Datum obrane:** 18. rujan 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**University undergraduate study Biotechnology**

**Department of biochemical engineering**  
**Laboratory for biochemical engineering, industrial microbiology and beer and malt technology**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**

**Sciences Scientific field: Biotechnology**

**Safety measures for biogas production by anaerobic digestion**

***Vlatka Kozarić, 0058208343***

**Abstract:** Biogas belongs to renewable energy sources and like that is beneficial for the environment, but also has many economic benefits. It is produced by anaerobic digestion process whereby is also a secondary product, digestate formed. The most commonly used raw materials for biogas production in Croatia are animal manure and agricultural waste. Biogas production carries a certain risks for both man and the environment. Organizational, technical and personal protective measures are implemented in accordance with national laws, regulations, norms and guidelines in order to avoid accidents as much as possible.

**Keywords:** biogas, hazards, protection measures, safety

**Thesis contains:** 35 pages, 18 figures, 5 tables, 32 references

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** Vlatka Petravić Tominac, Full Professor

**Defence date:** September 18<sup>th</sup>, 2019

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Općenito o bioplinu.....	2
2.1.1. Proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom.....	6
2.1.2. Bioplinska postrojenja.....	6
2.1.3. Konstrukcija postrojenja za anaerobnu digestiju.....	6
2.1.4. Proizvodnja bioplina u Hrvatskoj.....	6
2.2. Potencijalna opasnost u bioplinskim postrojenjima.....	7
2.2.1. Opasnosti za okoliš i za zdravlje čovjeka.....	8
2.2.1.1. Opasne tvari i biološki agensi.....	8
2.2.1.2. Opasnost od buke.....	9
2.2.2. Opasnosti od električne opreme.....	9
2.2.3. Mehaničke opasnosti.....	9
2.2.4. Opasnosti od plina, eksplozije i požara.....	10
2.2.5. Opasnosti od životinjskih nusproizvoda.....	12
2.2.5.1. Životinjski nusproizvodi kategorije 1.....	12
2.2.5.2. Životinjski nusproizvodi kategorije 2.....	13
2.2.5.3. Životinjski nusproizvodi kategorije 3.....	13
2.2.6. Drugi oblici opasnosti.....	13
2.2.7. Procjena opasnosti.....	13
2.3. Mjere zaštite.....	15
2.3.1. Organizacijske mjere zaštite.....	15
2.3.2. Tehničke mjere zaštite.....	16
2.3.3. Osobne mjere zaštite.....	17
2.4. Specifični sigurnosni zahtjevi za pojedine dijelove bioplinskog postrojenja.....	21
2.4.1. Sustav punjenja.....	21
2.4.2. Sustav za obradu sirovine.....	22
2.4.3. Pripadni spremnici.....	23
2.4.4. Digestor.....	23
2.4.5. Spremnik plina.....	24
2.4.6. Drvena krovna struktura u spremnicima plina.....	25
2.4.7. Instalacijska prostorija za spremnike plina.....	25
2.4.8. Dijelovi bioplinskog postrojenja za prijenos sirovine.....	26

2.4.9. Dijelovi bioplinskog postrojenja za prijenos plina .....	26
2.4.10. Kondenzacijski filtri .....	27
2.4.11. Sigurnosni uređaji za nadtlak i podtlak.....	27
2.4.12. Pročišćavanje plina .....	28
2.4.13. Analize plina.....	28
2.4.14. Oprema i sigurnosni uređaji koji su u kontaktu s plinom.....	28
2.4.15. Plinske baklje .....	28
2.4.16. Sustav kontrole procesa .....	29
2.4.17. Elektrotehnika .....	29
2.4.18. Sustav zaštite od munja .....	29
2.4.19. Prostorije sa dijelovima bioplinskog postrojenja koji prenose sirovinu i/ili plin... 29	
2.5. Inspekcije i ispitivanja.....	30
<b>3. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>31</b>
<b>4. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>32</b>

# 1. UVOD

Proizvodnja bioplina je dobro poznata tehnologija koja ima brojne koristi kako ekonomske tako i za okoliš. Pripada obnovljivim izvorima energije i dobiva se od organskog otpada čija je reciklacija jeftina i nije štetna za okoliš (Bušić i sur., 2018). Primjenom bioplina smanjuje se emisija stakleničkih plinova te se sprječavaju klimatske promjene (Bušić i sur., 2018; Petersson i Wellinger, 2009; Hoyer i sur., 2016; Awe i sur., 2017; Scholwin i sur., 2018). Bioplin se proizvodi anaerobnom digestijom (AD) ili metanogenezom u anaerobnim uvjetima iz organskog materijala uz pomoć mikroorganizama (Bušić i sur., 2018). Prosječno sadrži 60 % (v/v) metana, 38 % (v/v) ugljikovog dioksida i 2 % (v/v) ostalih plinova (Al Seadi i sur., 2008).

Bioplin ima veoma široku primjenu. U Europi se najviše koristi za proizvodnju topline i električne energije, a u nekim slučajevima se prevodi u biometan i koristi u mreži zemnog plina ili kao gorivo za vozila (Salvi i sur., 2012, Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017). Biometan se sve više koristi kao osnovna kemikalija (Flach i sur., 2017; Moghaddam i sur., 2016; Bagi i sur., 2017; Verbeeck i sur., 2018). Primjerice u Švedskoj i Njemačkoj, bioplin se prevodi u biometan koji se koristi kao gorivo za vozila (Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017). Može se koristiti i sekundarni produkt AD tzv. digestat (Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017).

Stoga su ciljevi ovog završnog rada:

- navesti moguće primjene bioplina
- navesti opasnosti koje prijete čovjeku i okolišu iz bioplinskog postrojenja
- opisati načine kako se zaštititi od potencijalnih nesreća
- navesti specifične sigurnosne zahtjeve za pojedine dijelove bioplinskog postrojenja

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Općenito o bioplinu

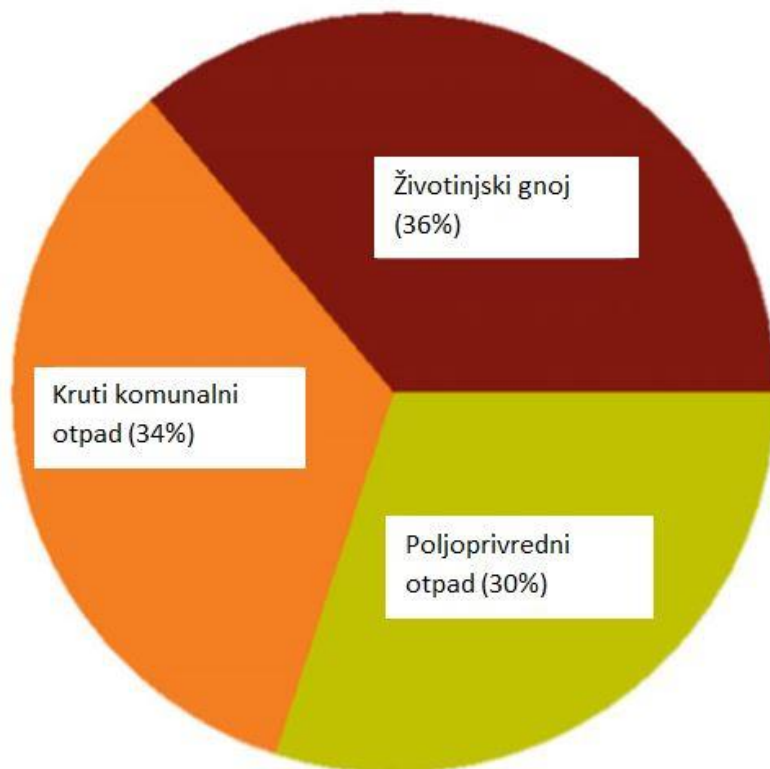
Bioplin je obnovljivi izvor energije i zamjena za fosilna goriva te je glavni produkt AD (Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017). Dobiva se obradom biomase u bioplinskom postrojenju (BP) u kontroliranim uvjetima. Vezano uz proizvodnju bioplina spominje se pojam biomasa, koji treba razjasniti jer u ovom slučaju ima različito značenje od onog koje je uobičajeno u biotehnologiji. Pojam biomase se u biotehnologiji odnosi na mikrobnu biomasu koja nastaje kao proizvod ili sekundarni proizvod. Mikrobnu biomasu se u biotehnoškom procesu dobiva kao proizvod ako se proces provodi samo radi umnožavanja odabranog mikroorganizma (npr. pekarski kvasac). Ona također može nastati i kao sekundarni proizvod ako se proces provodi radi dobivanja nekog metabolita djelovanjem odgovarajućeg radnog mikroorganizma (npr. biomasa kvasca kao sekundarni proizvod pri dobivanju etanola) (Marić, 2000). Međutim pojam biomase uvriježio se u nekim drugim strukama kao naziv za organski materijal s energetsom vrijednosti podložan pretvorbi u gorivo (kruto gorivo kao npr. drvo i peleti, tekuće gorivo kao npr. biodizel i bioulja, plinovito gorivo kao npr. bioplin i vodik) ili direktno u toplinu (Šimić, 2010). U zakonodavstvu se također koristi pojam biomasa, ali s potpuno drugačijim značenjem nego u biotehnologiji (NN 68/2001). Najčešće pod pojmom biomase navode biomasu biljnog porijekla, tj. lignoceluloznu biomasu koja se koristi kao jedan od obnovljivih izvora energije.

Deublein i Steinhauser (2008) definiraju biomasu kao sve biljke i životinje u ekosustavu kao i sav biootpad iz kućanstava. Usprkos brojnim organskim sirovinama koje bi se mogle koristiti za proizvodnju bioplina, najčešće korištene sirovine su životinjski gnoj, kruti komunalni otpad te poljoprivredni otpad (Slika 1) (Valijanian i sur., 2018). Sastav bioplina razlikuje se ovisno o mjestu na kojem se mjeri koncentracija pojedinih sastojaka. U Tablici 1 su prikazani volumni udjeli različitih komponenata bioplina (Salvi i sur., 2012, Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017).

Digestat, kao sekundarni produkt AD, ima ekonomske, socijalne i ekološke koristi. Sadrži sve nutrijente i mikronutrijente potrebne za modernu poljoprivredu, uključujući dušik, fosfor i kalij. Sigurnije je gnojivo od nutrijenata iz sirovog materijala te može povećati isplativost bioprocesa koji se vodi u velikom mjerilu (EBA, 2017; Holm-Nielsen i sur., 2009). Dio proizvedene topline koristi se za grijanje u samom BP, a ostatak topline se može prodati i distribuirati u sustave grijanja za druge potrošače u blizini BP. Proizvedena električna struja prodaje se u mrežu električne energije. Proizvodnja električne energije i hvatanje procesne topline u isto vrijeme zove se kogeneracija (Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017). Na



Slikama 2 i 3 prikazane su mogućnosti primjene bioplina proizvedenog AD (Salvi i sur., 2012, Horváth i sur., 2016; Flach i sur., 2017; Petravić Tominac i sur. 2018).

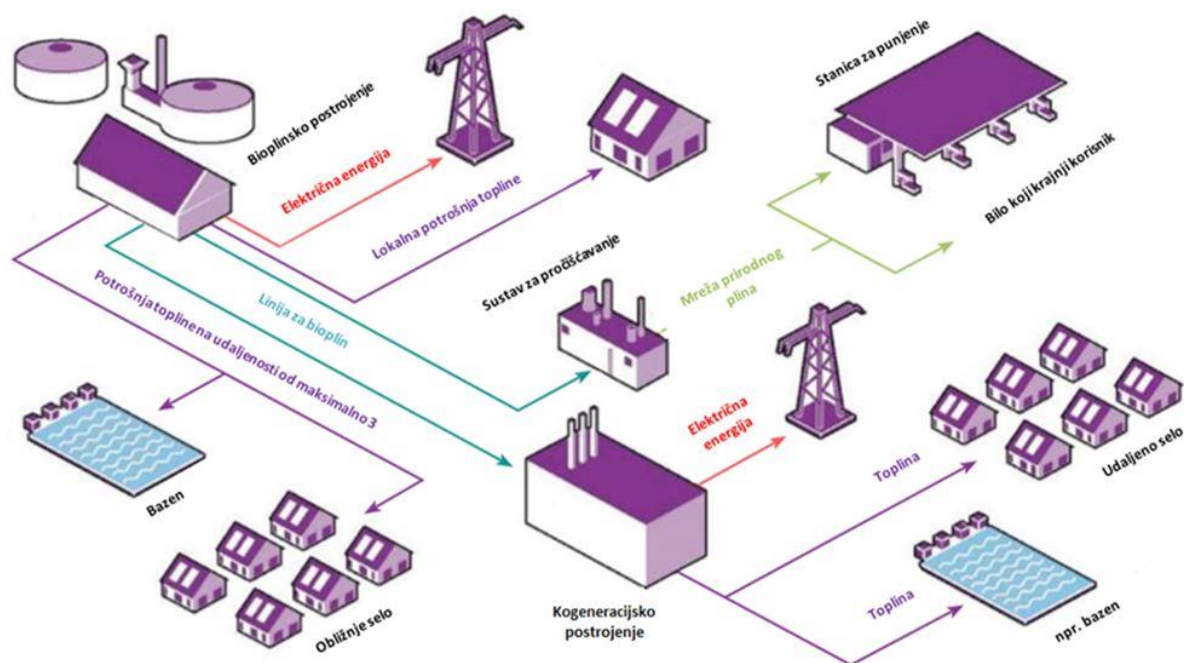


**Slika 1.** Glavne organske sirovine koje se koriste u svjetskoj proizvodnji bioplina (Valijanian i sur., 2018).

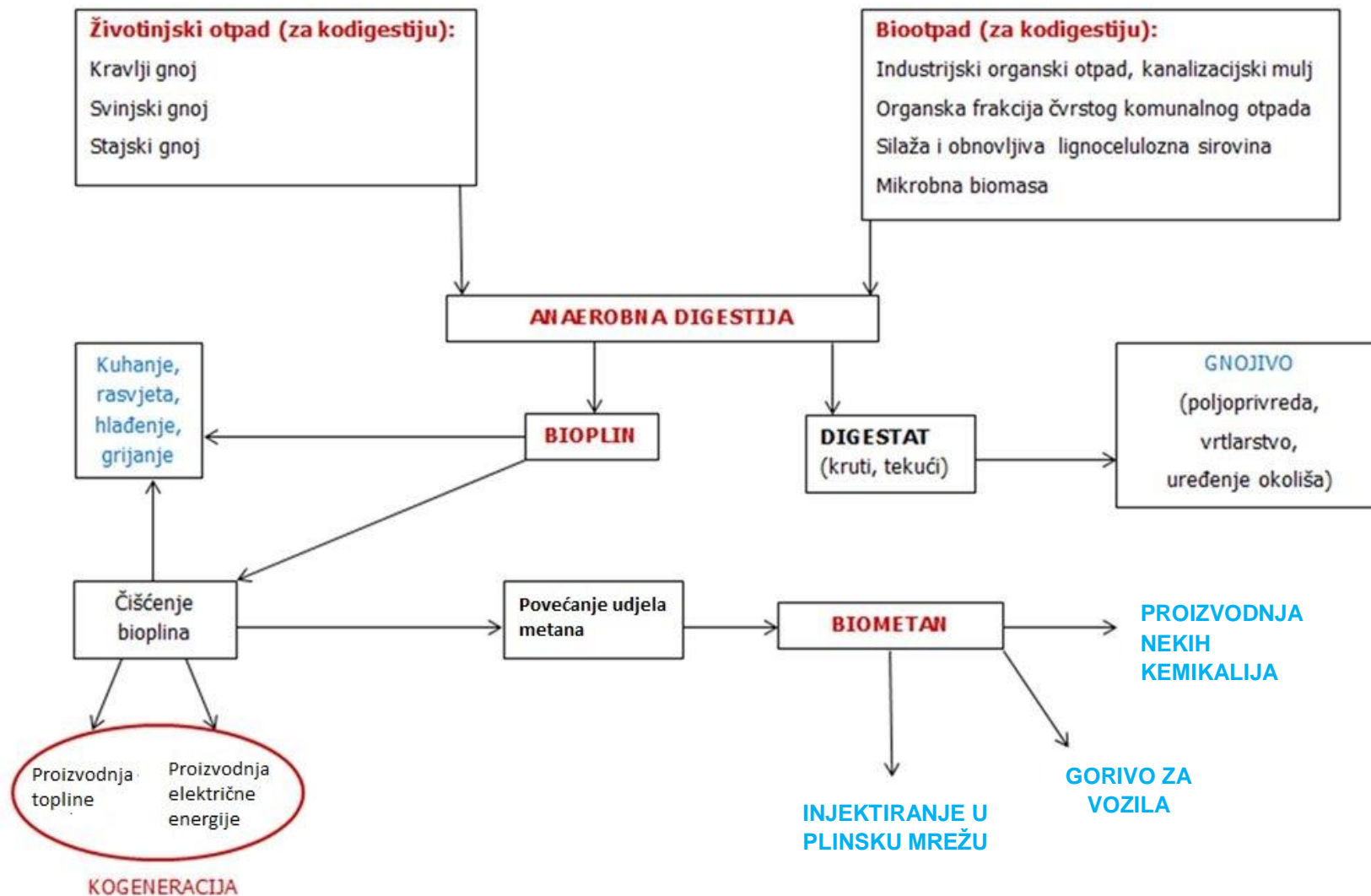
**Tablica 1.** Sastav bioplina (Salvi i sur., 2012).

<b>Bioplin</b>	<b>CH<sub>4</sub></b> [%]	<b>CO<sub>2</sub></b> [%]	<b>O<sub>2</sub></b> [%]	<b>N<sub>2</sub></b> [%]	<b>H<sub>2</sub>S</b> [ppm]	<b>Benzen</b> [mg/m <sup>3</sup> ]	<b>Toluen</b> [mg/m <sup>3</sup> ]
Odlagalište otpada (eng. landfill)	47-57	37-41	<1	<1-17	36-115	0,6-2,3	1,7-5,1
Digestor otpadnih voda (eng. sewage digester)	61-65	36-38	<1	<2	b.d.	0,1-0,3	2,8-11,8
Bioplinско postrojenje farme (eng. farm biogas plant)	55-58	37-38	<1	<1-2	32-169	0,7-1,3	0,2-0,7

b.d. - ispod granice detekcije (eng. below detection)



**Slika 2.** Primjena bioplina (Salvi i sur., 2012).



**Slika 3.** Mogućnosti primjene bioplina proizvedenog AD u velikim postrojenjima (Petračić Tominac i sur., 2018).

### **2.1.1. Proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom**

AD je mikrobn proces, kojim se bez prisutnosti kisika, organski otpad prevodi u bioplin. Različite grupe mikroorganizama sudjeluju u nizu koraka koji čine proces proizvodnje bioplina. Sirovina i mikrobna biomasa miješaju se u bioreaktoru (tzv. anaerobnom digestoru) gdje se proces može voditi na više načina. Kontinuirani proces podrazumijeva neprekidno odvođenje i dovođenje sirovina, dok se kod šaržnog procesa digestor puni i prazni u određenim vremenskim intervalima (Valijanian i sur., 2018).

### **2.1.2. Bioplinska postrojenja**

Proizvodnja bioplina nosi sa sobom određene opasnosti kako za čovjeka tako i za okoliš. Stoga države donose zakone, propise, norme i smjernice kako bi se osigurala sigurnost i nesmetano funkcioniranje BP (Deublein i Steinhauser, 2008). Svi mehanički i pokretni dijelovi BP predstavljaju potencijalne opasnosti, kao i nekontrolirano istjecanje bioplina ili produkata fermentacije. Ovisno o veličini, vrsti i okolišu BP, različite države donijele su pravila za tehničku sigurnost BP, koja su barem dijelom propisana europskim direktivama (Da Costa Gomez, 2013).

### **2.1.3. Konstrukcija postrojenja za anaerobnu digestiju**

Svako BP sastoji se od nekoliko karakterističnih područja, a to su: područje gdje se manipulira sa supstratom (prihvat, skladištenje, transport), područje gdje se vrši punjenje i/ili predobrada, područje gdje se vrši AD, zatim skladištenje, obrada i potrošnja plina te skladištenje, potrošnja i uklanjanje digestata (Talia, 2018; Pietrangeli i sur., 2013). Ispravno izgrađeno BP jednostavnije je za održavanje i može proizvesti plina za barem 15-20 godina bez većih problema i dodatnih troškova (Poudel, 2018).

### **2.1.4. Proizvodnja bioplina u Hrvatskoj**

U Hrvatskoj trenutno postoji 38 BP koja su potpisala ugovore za proizvodnju električne energije s Hrvatskim operatorom tržišta energije (HROTE). Samo jedno od njih spada u skupinu elektrana na deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, dok ostala proizvode bioplin anaerobnom digestijom (HROTE).

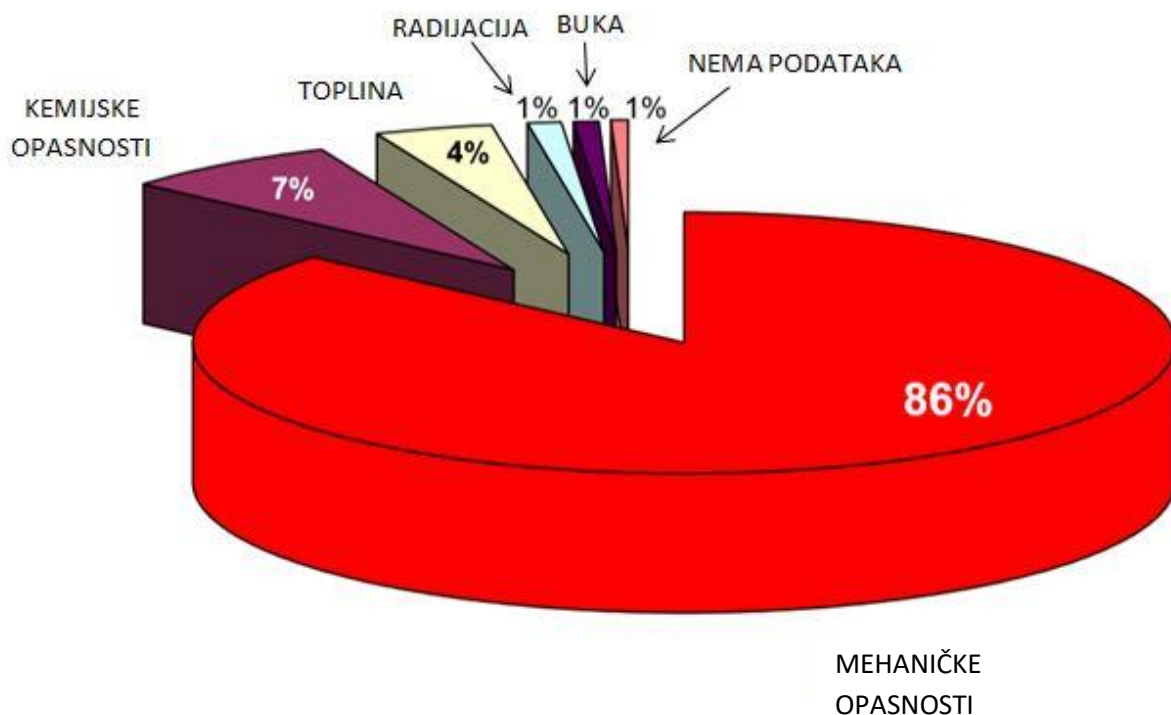
Procijenjeni su parametri BP izgrađenog za obradu gnoja i sirutke od mliječnih krava na hrvatskim farmama. Korištenjem gnoja i sirutke od 450 krava, godišnje se može u digestoru proizvesti 686 830 m<sup>3</sup> metana koji može generirati najviše 2 160 000 kWh električne energije i 2 448 000 kWh topline. BP bi bilo isplativo u dvanaestoj i petnaestoj godini. Emisija ugljikovog dioksida bi se na godišnjoj razini smanjila za oko 1,7 kilotona za

svaki kWh proizvedene električne energije i za oko 1,8 kilotona za svaki kWh proizvedene topline (Hublin i Čurlin, 2014).

## 2.2. Potencijalna opasnost u bioplinskim postrojenjima

Kao najčešće nesreće u BP, Salvi i sur. (2012) navode curenje u spremniku i/ili distribucijskoj mreži bioplina, slučajno ispuštanje H<sub>2</sub>S pogotovo u smjesi sa septičkim otpadom, zagađenje vode uzrokovano ispuštanjem otpadne vode, prelijevanje kanalizacijskog sustava ili sustava za kontrolu oborinskih voda uzrokovano obilnim pljuskovima, prisutnost opasnih tvari u sirovini za proizvodnju bioplina te prekomjerno zamrzavanje ventila, visoki tlak unutar digestora.

Prema podacima sakupljenima u Njemačkoj, analizirani su uzroci ozljeda radnika u bioplinskim postrojenjima u razdoblju od 2009. do 2012. godine (Bontempo i sur., 2016). Najčešći uzroci nesreća bili su mehaničke prirode (Slika 4) (Findeisen, 2015; Bontempo i sur., 2016).



**Slika 4.** Vrste opasnosti koje su dovele do nesreća ljudi u BP u Njemačkoj (Findeisen, 2015; Bontempo i sur., 2016).

### **2.2.1. Opasnosti za okoliš i za zdravlje čovjeka**

Okolišu prijeti opasnost od zagađenja samo ako bioplin dospije u atmosferu ili u radni materijal u postrojenju (npr. digestat, silažni otpad, ulja ili goriva) ili ako uđe u obližnje vode. Opasnosti za okoliš se mogu podijeliti na one koje djeluju na zrak te one koje djeluju na tlo i vodu. Analize postrojenja pokazuju da je spremnik digestata jedan od glavnih izvora emisije metana pogotovo ako nema poklopac koji je nepropustan za plin (*eng. gas-tight cover*). Istjecanje bioplina se može dogoditi na mjestima gdje se spajaju spremnik bioplina i digestor (Bontempo i sur., 2016).

U BP razlikujemo četiri kategorije opasnosti za ljudsko zdravlje, a to su: opasne tvari, električne i mehaničke opasnosti te opasnost od vatre i eksplozije. Opasne tvari su tvari, materijali ili smjese koje pokazuju određena štetna svojstva kao što su „štetno za zdravlje“, „otrovno“, „vrlo otrovno“, „korozivno“, „nadražujuće“ i „kancerogeno“ (Bontempo i sur., 2016). Shafiei (2018) navodi eksplozije, trovanje sumporovodikom (H<sub>2</sub>S) i gušenje kao najvažnija sigurnosna pitanja. Sumporovodik u koncentracijama iznad 700 ppm može dovesti do trenutne smrti (Shafiei, 2018). Sirovine u BP mogu sadržavati bakterije, viruse i parazite koji mogu uzrokovati bolesti u čovjeka, životinja i biljaka (Da Costa Gomez, 2013). Termičkom obradom određenih vrsta sirovina može se izbjeći moguća infekcija mikroorganizmima.

Faktori koji utječu na zdravstveno stanje sirovine uključuju temperaturu, vrijeme retencije, pH i sadržaj amonijaka, a definirani su sastavom sirovine, metodom digestije i higijenskom jedinicom koja može biti ugrađena (Shafiei, 2018).

#### **2.2.1.1. Opasne tvari i biološki agensi**

Biološki agensi su svi mikroorganizmi, stanične kulture ili ljudski endoparaziti koji mogu uzrokovati infekciju, alergijsku reakciju, trovanje ili na neki drugi način naštetiti ljudskom zdravlju. Tijekom proizvodnje bioplina velika je opasnost od udisanja prašine ili aerosola koji sadrže plijesni, bakterije ili endotoksine. Prilikom radnji koje su povezane s vidljivo plijesnivim otpadom, nemoguće je ukloniti akutnu toksičnost uzrokovanu udisanjem mikotoksina ili drugih mikrobioloških metaboličkih produkata (Bontempo i sur., 2016).

Sirovine koje se koriste za AD sadrže razne patogene, parazite i viruse koji se mogu raširiti i ući u životinjske i ljudske hranidbene lance. Stoga je važno kontrolirati zdravlje stoke i ispravnost ulazne sirovine te obavezno vršiti preliminarnu sanitarnu obradu sirovina koja je propisana Europskom uredbom EC 1774/2002. Sirovine poput životinjskog izmeta i gnojnice, energetskih usjeva, otpada biljnog porijekla bilo kakve vrste i slično, ne zahtijevaju odvojenu sanitarnu obradu već je samim procesom AD osigurana obavezna sanitarna obrada i

redukcija patogena. Na učinkovitost sanitarne obrade procesom AD, utječu neki procesni parametri (direktno ili indirektno) poput temperature, vremena zadržavanja (retencije) u digestoru, pH-vrijednosti i dr. Porastom temperature povećava se učinak redukcije patogena. U vremenu od 0,7 sati pri temperaturi od 53 °C (termofilna digestija) ili u vremenu od 2,4 dana pri 35 °C (mezofilna digestija), uništava se 90 % populacije vrste *Salmonella typhimurium*. Organske kiseline djeluju toksično na bakterije pa se sniženjem pH-vrijednosti, reducira broj mikroorganizama za 90 %. Za evaluaciju potencijalnog uništavanja patogena, koriste se indikatorske vrste koje se oslanjaju na aktivaciju, rast i infektivnost test-organizama. Soj streptokoka koji preživljava termalno tretiranje dugo nakon termičke obrade drugih patogenih bakterija, virusa i jaja parazita je *Faecal streptococci* (enterokok). Iz tog razloga se taj soj koristi kao indikator učinkovitosti redukcije patogena u digestatu. Testiranje učinkovitosti redukcije patogena i analizu uzoraka provodi ovlaštenu laboratorij koji može biti u sklopu BP ili se radi u vanjskom laboratoriju (Al Seadi i sur., 2008; Trezić, 2015; Pietrangeli i sur., 2013).

#### **2.2.1.2. Opasnost od buke**

Deublein i Steinhauser (2008) opisuju buku kao uznemirujući zvuk. Stoga na mjestima na kojima zvuk (čak i ako je jako glasan) ne stvara smetnje, nije potrebno poduzimati mjere ograničenja. U BP buka je najintenzivnija u blizini plinskog motora. U blizini CHP (eng. Combined heat and power generator) postrojenja, granična vrijednost od 80 dB daleko je premašena. Buka se širi kroz ispušne cijevi i ventilacijske otvore u BP pa se u njih moraju ugrađivati apsorberi zvuka. (Deublein i Steinhauser, 2008). Također je potrebno nositi zaštitne slušalice (Findeisen, 2015). Postrojenje je dužno imati uređaje za zaštitu od buke (slušalice) za zaposlenike i posjetitelje koji su izloženi visokim razinama buke (Trezić, 2015).

#### **2.2.2. Opasnosti od električne opreme**

Oštećeni kablovi (npr. na mješalicama) mogu uzrokovati električni udar. Elektromagnetsko, električno i magnetsko zračenje iz generatora CHP (eng. Combined heat and power) jedinice posebno je opasno za ljude s elektrostimulatorom srca (eng. pacemaker) (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.2.3. Mehaničke opasnosti**

Padanje, udarci, drobljenje i rezanje najčešće su nesreće u BP, a posljedica su mehaničkih opasnosti. Silosi i slična mjesta koja podrazumijevaju rad na visini te rad u blizini

rotirajućih dijelova dovode do nezgoda. Tijekom održavanja, nesreće su neizbježne ukoliko se ne poduzmu odgovarajuće mjere zaštite (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.2.4. Opasnosti od plina, eksplozije i požara**

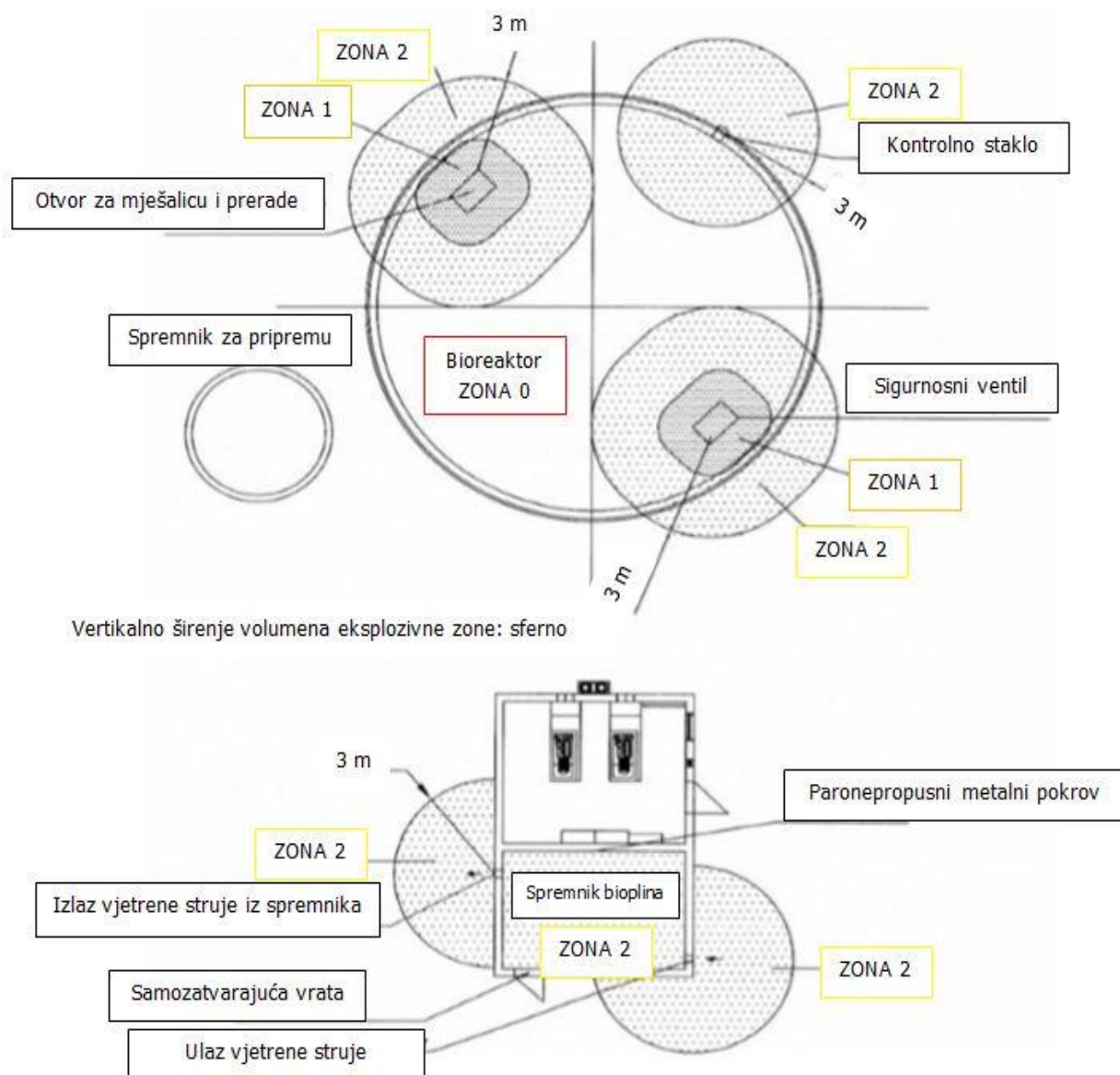
Bontempo i sur. (2016) definiraju eksploziju kao iznenadnu kemijsku reakciju zapaljive tvari (u obliku plina, pare, magle ili prašine) s kisikom ( $O_2$ ) pri čemu se oslobađa velika količina energije. Ljudi koji se nađu unutar eksplozivnog oblaka mogu zadobiti teške ozljede pluća, a na većoj udaljenosti od oblaka postoji opasnost od oštećenja sluha ili ozljeda odbačenim predmetima (Bontempo i sur., 2016). Bioplin je zapaljiv, ali nije eksplozivan. Međutim eksplozivna okolina može se razviti ako je metan prisutan u niskoj koncentraciji od 6-12 % (Da Costa Gomez, 2013). Ako je koncentracija bioplina u atmosferi između 6 i 22 %, postoji opasnost od eksplozije u prisutnosti zapaljivog izvora (eksplozivno područje ili eksplozivna atmosfera) (Bontempo i sur., 2016).

BP te prostor oko njega svrstava se u zone s obzirom na vjerojatnost pojavljivanja eksplozivne atmosfere (Tablica 2). Na Slici 5 prikazana su područja koja spadaju u pojedine zone (Deublein i Steinhauser, 2008). Za svaku zonu propisana je odgovarajuća oprema. U zoni 0 smije se koristiti samo ona oprema koja je propisno označena da se smije koristiti u zoni 0. U zoni 1 smije se koristiti oprema koja je dozvoljena u zoni 0 ili 1, a u zoni 2 se koristi oprema koja je dozvoljena u zoni 0, 1 ili 2 (Bontempo i sur., 2016; Trezić, 2015).



**Tablica 2.** Podjela zona prema pojavi eksplozivne atmosfere (Deublein i Steinhauser, 2008; Bontempo i sur., 2016; Al Seadi i sur., 2008; Trezić, 2015).

ZONE	KARAKTERISTIKE	PRIMJERI
Zona 0	Prostor u kojemu je <b>stalno, dugotrajno ili često</b> prisutna opasna eksplozivna atmosfera koju čini smjesa zraka i plinova, para ili magle.	U uvjetima kada zrak uđe u unutrašnjost bioreaktora, bioreaktor se nalazi u zoni 0 u koju također spadaju spremnik bioplina, usis zraka za motor s unutrašnjim izgaranjem te komora za izgaranje oslobođenog plina. Motor i plinska baklja moraju iz sigurnosnih razloga biti odvojeni od ostalih plinskih sustava te biti osigurani zaustavljačem plamena.
Zona 1	Prostor u kojemu je <b>povremeno</b> prisutna eksplozivna atmosfera koju čini smjesa zraka i plinova, para ili magle.	Područje unutar 1 m od postrojenja u uvjetima dobre ventilacije spada u zonu 1, ali samo ako je istjecanje bioplina tehnički moguće. U zatvorenim prostorima je područje ugroze prošireno na 4.5 m. Anaerobni mulj se može odvoditi kroz zatvoreni prostor ili kroz jame koji također spadaju u zonu 1.
Zona 2	Prostor u kojemu se ne očekuje pojava opasne eksplozivne atmosfere, a ako se i pojavi, to je <b>vrlo rijetko i kratko traje</b> .	Područje koje se nalazi u krugu od 1 do 3 m od dijelova postrojenja koji su klasificirani kao nepropusni, smatra se zonom 2. Zatvoreni prostori u potpunosti spadaju u zonu 2.



**Slika 5.** Eksplozivna područja u BP (Deublein i Steinhauser, 2008; Bontempo i sur., 2016; Trezić, 2015).

### 2.2.5. Opasnosti od životinjskih nusproizvoda

Prema Uredbi o životinjskim nusproizvodima EC 1774/2002, definirane su tri glavne kategorije životinjskih nusproizvoda te zahtjevi za tretman i sanitarnu obradu, neophodnu opremu i dr. (Al Seadi i sur., 2008).

#### 2.2.5.1. Životinjski nusproizvodi kategorije 1

Nusproizvodi kategorije 1 uvijek se uništavaju spaljivanjem. U tu kategoriju spadaju životinje koje nisu s poljoprivrednog gospodarstva i divlje životinje, posebni ljubimci, zoološke i cirkuske životinje te otpad iz ugostiteljstva u međunarodnom prometu. Posebno su

rizične životinje za koje se sumnja na infekciju s TSE (Al Seadi i sur., 2008; Al Seadi i sur., 2013).

#### **2.2.5.2. Životinjski nusproizvodi kategorije 2**

Kategoriji 2 pripada izmet svih vrsta i sadržaj propavnog sustava sisavaca, zatim sav životinjski materijal prikupljen nakon obrade otpadnih voda klaonica ili iz kategorije 2 proizvodnih postrojenja, osim kategorije 1 postrojenja za obradu otpadnih voda klaonica te proizvodi životinjskog porijekla, koji sadrže ostatke veterinarskih lijekova, mrtve životinje (osim preživača).

Svi nusproizvodi kategorije 2 (osim tekućeg stajskog gnoja, sadržaja želuca i crijeva, mlijeka i kolostruma koji se tretiraju samo u slučaju opasnosti od širenja opasnih bolesti) moraju se sterilizirati na temperaturi  $\geq 133$  °C i tlaku  $\geq 3$  bara tijekom 20 minuta. Veličina čestica materijala koji se podvrgava takvom tretmanu mora biti  $< 50$  mm (Al Seadi i sur. 2008; Al Seadi i sur., 2013).

#### **2.2.5.3. Životinjski nusproizvodi kategorije 3**

U kategoriju 3 spadaju svi dijelovi zaklanih životinja, podobni za ljudsku prehranu, ili koji nemaju simptome neke bolesti te koža. Takav materijal se mora sanitarno obraditi u posebnom tanku na 70 °C tijekom jednog sata kako bi se mogao koristiti u procesu AD. Čestice materijala moraju biti  $< 12$  mm (Da Costa Gomez, 2013; Al Seadi i sur., 2008; Al Seadi i sur. 2013).

#### **2.2.6. Drugi oblici opasnosti**

Opasnosti koje prijete BP iz okoliša su poplave, potresi, oluje, led i/ili snijeg, nestanak struje, obilne kiše ili mraz. Blizina susjednih tvrtki može biti izvor opasnosti, kao i stanje u prometu. Nepropisno ponašanje poput postupanja novlaštenih osoba, također može dovesti do nesreća (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.2.7. Procjena opasnosti**

Kako bi se spriječile nesreće u BP, opasnosti se moraju sustavno otkrivati, procjenjivati i biti svedene na minimum. U tu svrhu rade se analize rizika. Alat za provođenje ove analize je matrica rizika, koja pokazuje vjerojatnost neželjenih događaja u odnosu na posljedice tog događaja, u obliku tablice (Tablica 3) (Bontempo i sur., 2016).

**Tablica 3.** Analize rizika (Bontempo i sur., 2016).

			MOGUĆE POSLJEDICE				
			Manje ozljede ili poremećaji. Nije potrebna medicinska skrb, nema značajnih fizičkih posljedica.	Ozljede i bolesti koje zahtijevaju medicinsku skrb. Privremeno oštećenje.	Ozljede ili bolesti koje zahtijevaju bolnički pristup	Ozljede ili bolesti koje uzrokuju trajna oštećenja	Kobne posljedice
			Nije značajno	Minorno	Umjereno	Značajno	Ozbiljno
VJEROJATNOST POJAVE	Očekuje se pojava redovito u normalnim okolnostima	Gotovo sigurno	<b>Srednje</b>	<b>Visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>
	Očekuje se pojava u nekom trenutku	Vjerojatno	<b>Srednje</b>	<b>Visoko</b>	<b>Visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>
	Može se pojaviti u nekom trenutku	Moguće	<b>Nisko</b>	<b>Srednje</b>	<b>Visoko</b>	<b>Visoko</b>	<b>Vrlo visoko</b>
	Ne događa se u normalnim okolnostima	Malo vjerojatno	<b>Nisko</b>	<b>Nisko</b>	<b>Srednje</b>	<b>Srednje</b>	<b>Visoko</b>
	Može se dogoditi, ali vjerojatno nikada neće	Rijetko	<b>Nisko</b>	<b>Nisko</b>	<b>Nisko</b>	<b>Nisko</b>	<b>Srednje</b>

## 2.3. Mjere zaštite

Kako bi se nesreće u što većoj mjeri izbjegle, potrebno je provoditi mjere zaštite koje obuhvaćaju organizacijski i tehnički segment te osobne mjere zaštite (Bontempo i sur., 2016).

### 2.3.1. Organizacijske mjere zaštite

Zadaća rukovoditelja je dizajnirati i dokumentirati organizacijske strukture BP na način da se sve aktivnosti i zadatci mogu izvesti na siguran način i nadzirati cijelo vrijeme. Tijekom prisutnosti zaposlenika u opasnim područjima, mora biti osiguran odgovarajući nadzor. Radnici moraju dobiti upute prije rada s novom opremom i prije rukovanja s novim opasnim tvarima.

Određene aktivnosti nikako ne smije izvoditi samo jedan zaposlenik nego ih mora biti barem dvoje (Slika 6). Takve aktivnosti su primjerice poslovi unutar spremnika i u skućenim prostorima te u područjima gdje se radi održavanje ili popravak, a postoji opasnost od eksplozije. Sigurnosne mjere podrazumijevaju stalno promatranje pomoću nadzornih kamera, korištenje osobnih signalnih uređaja s funkcijom automatskog alarma, rad unutar vidnog polja, nadzor putem inspeksijskih obilazaka (Bontempo i sur., 2016).



**Slika 6.** Mjere sigurnosti kod održavanja digestora (Bontempo i sur., 2016).

### 2.3.2. Tehničke mjere zaštite

Ovisno o klimatskim uvjetima, ako postoji opasnost od smrzavanja, dijelovi BP moraju biti dizajnirani na način da su otporni na smrzavanje. Potrebno je osigurati separatore za uklanjanje neželjenih tvari gdje god su potrebni. Sigurnosni ventil je neophodan kontrolni uređaj koji se postavlja na vrh digestora, a reagira kod povećanja tlaka bioplina, kao i kod mogućih vakuum uvjeta (Slika 7) (Ghanavati, 2018; Deublein i Steinhauser, 2008; Pietrangeli i sur., 2013.). Svaki sustav za skladištenje trebao bi imati sigurnosne ventile za nadtlak i podtlak, koji oslobađa plin u slučaju neispravnog manipuliranja (Talia, 2018). U trenutku kada se očekuje formiranje pjene, moraju se poduzeti strože sigurnosne mjere, a izlazna cijev plina mora biti barem 70 cm iznad razine tekućine (Talia, 2018).



**Slika 7.** Sigurnosni ventil (Ghanavati, 2018).

### 2.3.3. Osobne mjere zaštite

Izbor mjera zaštite koje će se poduzeti ovise o procijenjenoj opasnosti. Opasnost predstavljaju čestice koje se šire zrakom poput mikroorganizama, aerosolova, sastojaka bioplina te aditiva i pomoćnih tvari. Opasne su i čestice koje se prenose dodirrom, a tu spadaju plijesni, bakterije, virusi, endotoksini te aditivi i pomoćne tvari. Osoba se stoga mora zaštititi vodoopornom odjećom i obućom te nositi radne rukavice koje su nepropusne za tekućinu i ne uzrokuju alergije. Također se moraju zaštititi oči i lice naočalama odnosno maskom (Bontempo i sur., 2016).

Opasnost od udisanja patogena je stalno prisutna, ali je ipak opasnost od eksplozija i od udisanja toksičnog sumporovodika značajnija (Salvi i sur., 2012). Statičko pražnjenje i neispravni kablovi predstavljaju električne opasnosti od kojih se ljudi štite zaštitnim cipelama i čizmama, koje su također uz zaštitnu odjeću zaštita od mehaničkih opasnosti (padanje, spoticanje, drobljenje, rezanje). Osoblje može postati statički nabijeno, primjerice prilikom hodanja, ustajanja sa stolice, presvlačenja odjeće, rukovanja s plastikom, obavljanja posla koji uključuje izlivanje ili punjenje te putem indukcije ako stoje u neposrednoj blizini nabijenih objekata. Kada statički nabijena osoba dotakne predmet koji je provodljiv (npr. kvaka na vratima), dolazi do iskrenja. Na Slici 8 su prikazani dijelovi osobne zaštitne opreme (Bontempo i sur., 2016; Trezić, 2015), a u Tablici 4 i Tablici 5 nalazi se popis znakova opasnosti koji se mogu naći u BP (Bontempo i sur., 2016; Findeisen, 2015).
















**Slika 8.** Osobna zaštitna oprema u BP (*eng. Personal protective equipment, PPE*) (Bontempo i sur., 2016).



**Tablica 4.** Znakovi opasnosti u BP (Bontempo i sur., 2016).

ZNAK	ZNAČENJE
	Plinske boce
	Eksplozivno
	Nagrizajuće
	Pozor
	Otrovno
	Opasno za zdravlje
	Zapaljivo
	Oksidirajuće
	Opasno za okoliš

**Tablica 5.** Znakovi opasnosti koji se pojavljuju u BP (Bontempo i sur., 2016; Findeisen, 2015).

ZNAK	ZNAČENJE
	Opasnost od eksplozivne atmosfere
	Biološke opasnosti
	Opasnost od trovanja
	Opasnost od električnog udara
	Opasnost od buke
	Opasnost od utapanja/ Opasnost od plina
	Opasnost od rotirajućih dijelova
	Opasnost od pada s visine
	Opasnost od uklještenja
	Opasnost od toplinskih ozljeda
	Opasnost od mehaničkih ozljeda

## 2.4. Specifični sigurnosni zahtjevi za pojedine dijelove bioplinskog postrojenja

Prilikom izgradnje BP potrebno je ispuniti sigurnosne zahtjeve bez kojih se ne može dobiti građevinska ni uporabna dozvola (Al Seadi i sur., 2008; Trezić, 2015). Specifični sigurnosni zahtjevi obuhvaćaju tehničke i organizacijske mjere zaštite te podjelu područja na zone s obzirom na opasnost od eksplozije.

Sustavi za koje postoje specifični zahtjevi su: sustav punjenja, sustav za obradu sirovine, prihvatni spremnici, digestor, spremnik plina, drvena krovna struktura u spremnicima plina, instalacijska prostorija za spremnike plina, dijelovi BP za prijenos sirovine, dijelovi BP za prijenos plina, kondenzacijski filtri, sigurnosni uređaji za natlak i potlak, pročišćavanje plina, analize plina, oprema i sigurnosni uređaji koji su u kontaktu s plinom, plinske baklje, sustav kontrole procesa, elektrotehnika, sustav zaštite od munje, prostorije sa dijelovima BP koji prenose sirovinu i/ili plin (Deublein i Steinhauser 2008; Bontempo i sur., 2016).

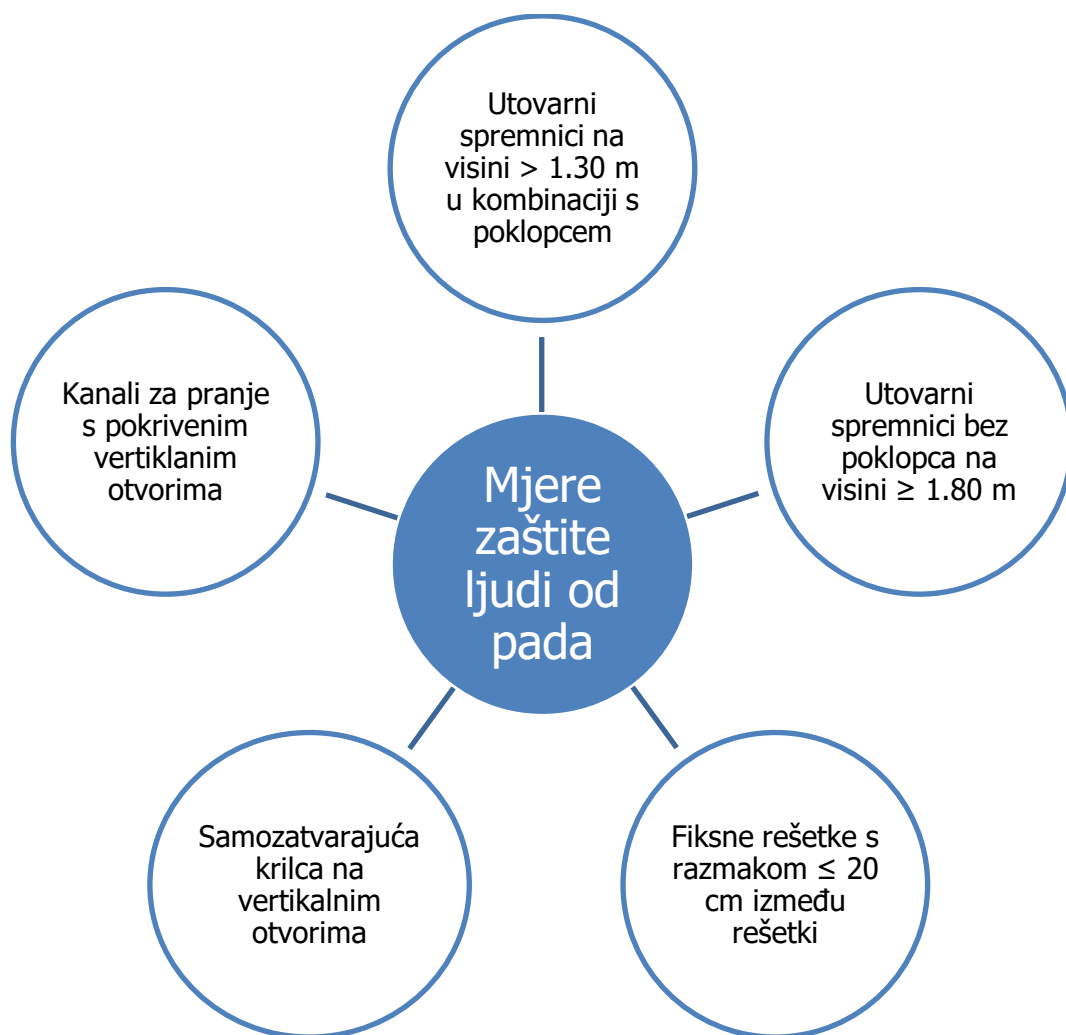
### 2.4.1. Sustav punjenja

Materijali od kojih se rade sustavi punjenja, moraju biti otporni na vanjske utjecaje poput kiselina, pijeska i slično. U najosjetljivijim područjima preporuča se korištenje nehrđajućeg čelika ili premaza. Ovisno o klimatskim uvjetima, ako postoji opasnost od smrzavanja, dijelovi BP moraju biti dizajnirani na način da su otporni na smrzavanje. Na Slici 9 prikazani su različiti sustavi punjenja.

Otvori kroz koje se vrše punjenja moraju biti osigurani kako bi se zaštitilo ljude od pada (Slika 10). Svakako treba imati na umu najčešći smjer vjetra kod pozicioniranja otvora za punjenje kako bi se plinovi otpuhivali od radnog područja (Bontempo i sur., 2016).



**Slika 9.** Različiti sustavi punjenja (Bontempo i sur., 2016).



**Slika 10.** Mjere zaštite ljudi od pada (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.2. Sustav za obradu sirovine**

U postrojenjima gdje se koriste poljoprivredne sirovine, u zraku je prisutna velika količina spora gljiva i bakterija uključujući i aktinomicete koji se mogu lako udahnuti i uzrokovati bolesti (Pietrangeli i sur., 2013). Postupci koji se primijenjuju za obradu sirovine ovise o potrebama procesa koji se vodi. Razlikujemo mehaničke, kemijske i biotehnološke sustave. Prilikom korištenja mehaničkog sustava treba imati u vidu opasnosti koje prijete od pokretnih dijelova te opasnost od pada osobito tijekom održavanja. Kod korištenja aditiva i pomoćnih tvari u kemijskim sustavima, moraju se uzeti u obzir relevantni sigurnosni papiri (Bontempo i sur., 2016).

### 2.4.3. Pihvatni spremnici

Prihvatni spremnici za sirovine moraju imati prikladnu ekstrakcijsku jedinicu primjerice za zaštitu od eksplozija, koja ima barem pet izmjena zraka po satu i nadzor protoka s alarmom u slučaju nezgode. Oprema za ekstrakciju plinova mora biti automatski uključena u procesu punjenja. Otvori na prihvatnim spremnicima moraju biti zatvoreni osim za vrijeme punjenja. Na Slici 11 je prikazan prihvatni spremnik (Bontempo i sur., 2016).



**Slika 11.** Pihvatni spremnik (*eng. preliminary pit*) (Bontempo i sur., 2016).

### 2.4.4. Digestor

Digestori imaju oblik silosa, rovova, bazena ili laguna te se izrađuju od gline, plastike, čelika ili cigle i instaliraju iznad ili ispod površine tla. Moraju biti projektirani, izgrađeni i smješteni tako da se uklone svi izvori paljenja (Trezić, 2015). Betonski spremnici moraju podnositi toplinska naprezanja koja mogu nastati zbog izolacije i temperature sirovine (Slika 12).

Na mjestima gdje se tekućina može uzdići iznad razine okolnog tla, potrebno je izgraditi zaštitni zid koji će u slučaju nezgode zadržati volumen koji je istekao sve dok se ne poduzmu daljnje mjere za uklanjanje štete. Prostor oko zida može biti okružen kohezivnim tlom, betonom ili asfaltom. Svaki spremnik u kojem se zadržava plin, sirovina ili produkti digestije, mora imati mogućnost da se pojedinačno isključi od ostatka sustava (Al Seadi i sur., 2008; Bontempo i sur., 2016).



**Slika 12.** Unutrašnjost digestora prije puštanja u rad (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.5. Spremnik plina**

Spremnik plina mora biti nepropustan za plin i tlak te otporan na UV-zračenje, temperaturu i vremenske nepogode (Trezić, 2015; Bontempo i sur., 2016). Spremnik i njegova oprema moraju biti zaštićeni od mehaničkih oštećenja. Kod spremnika napravljenih od plastičnih membrana, važno je zadovoljiti određene karakteristike materijala kao što su čvrstoća, propusnost, toplinska stabilnost koja ovisi o tome je li proces digestije mezofilan ili termofilan.

Spremnici moraju biti testirani na curenje, osobito u lagunskim sustavima (Slika 13). Skladišta plina povezana s lagunskim digestorima, imaju jako veliku površinu i stoga je opasnost od istjecanja veća. U tu svrhu koriste se infracrvene kamere pa nije potrebna direktna kontrola membrana.

Pravilan rad sustava za skladištenje plina zahtjeva kompletnu dokumentaciju, redovite kontrole i održavanje (Bontempo i sur., 2016). Relativna gustoća bioplina je oko  $1,2 \text{ kgN}^{-1}\text{m}^{-3}$  te je lakši od zraka, ali se razdvaja na komponente. Ugljikov dioksid je lakši pa se uzdiže do atmosfere te se u zatvorenim prostorima mora osigurati odgovarajuća ventilacija (Al Seadi i sur., 2008).



**Slika 13.** Lagunski digester (Anonymous 1, 2019).

#### **2.4.6. Drvena krovna struktura u spremnicima plina**

Drvene krovne strukture se često koriste kao podstrukture u spremnicima (Slika 14). Vizualno neprimjetna oštećenja drva, smanjuju nosivost greda do te mjere da mogu neprimjetno propasti. Između greda mora biti ugrađena armatura radi dodatne stabilnosti. Redovito se provode vizualne inspekcije i kontrole kroz kontrolna stakla (Bontempo i sur., 2016).



**Slika 14.** Drvena krovna struktura u digestoru (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.7. Instalacijska prostorija za spremnike plina**

Instalacijske prostorije za spremnike plina moraju imati ulaze i izlaze za zrak koji se ne mogu zatvoriti te omogućuju unakrsnu ventilaciju. Kada se koristi prirodna ventilacija tada ulaz zraka mora biti blizu poda dok se izlaz nalazi na suprotnom zidu blizu stropa. U slučaju tehničkog sustava ventilacije, ispušni zrak mora biti ekstrahiran iz područja stropa. Prije rada u opasnim područjima potrebno je izmjeriti razinu čistoće. Vreća s plinom leži na tlu i zaštićena je od vremenskih nepogoda fiksnim kućištem. Kućištu se može pristupiti sa svih strana čak i kad je vreća puna (Slika 15) (Bontempo i sur., 2016).





**Slika 15.** Skladište plina (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.8. Dijelovi BP za prijenos sirovine**

Cijevi za prijenos sirovine u BP (uključujući armature, ventile, priрубnice, brtvila i transportnu opremu) moraju biti nepropusne i dovoljno otporne na mehaničke, kemijske i toplinske utjecaje koji se očekuju s obzirom na predviđeni radni vijek. Moraju biti uzdužno zaključani i otporni na smrzavanje. Cijevi moraju biti instalirane tako da se njihov položaj ne može nehotice promijeniti. Materijal od kojeg su cijevi građene bira se na temelju kemijskih karakteristika sirovine koja se njima prenosi (Bontempo i sur., 2016; Deublein i Steinhauser, 2008).

#### **2.4.9. Dijelovi BP za prijenos plina**

Dijelovi BP kojima se prenosi plin, moraju biti zaštićeni od kemikalija, oborina, mehaničkih utjecaja i štete te moraju biti u skladu s nacionalnim zahtjevima. Cijevi moraju biti označene kako bi se znalo koji medij se njima prenosi i u kojem smjeru (Slika 16). Mjesta gdje cijevi prolaze ispod zemlje, označavaju se trakama koje upozoravaju da se ispod nalazi plinovod (Bontempo i sur., 2016). Cijevi se uglavnom stavljaju iznad zemlje kako bi se lako uočile promjene na njima poput korozije ili curenja (Deublein i Steinhauser, 2008).





**Slika 16.** Plinske cijevi (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.10. Kondenzacijski filtri**

Potrebno je omogućiti lako i sigurno pregledavanje i održavanje kondenzacijskih filtera, bez potrebe za penjanjem. Trajno pričvršćene penjalice nisu dozvoljene osim u slučaju kada osovina kondenzacijskog filtra ima ventilaciju sa grijanim zrakom (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.11. Sigurnosni uređaji za nadtlak i podtlak**

Svaki spremnik, koji je nepropusan za plin, mora imati barem jedan sigurnosni uređaj za sprječavanje porasta tlaka iznad granice odnosno pada tlaka ispod zadane granice (Slika 17). U slučaju previsokog tlaka, plin se mora ispustiti ili prema gore ili sa strane. Ispušne cijevi uređaja za nadtlak i podtlak moraju voditi do krajnje točke najmanje 3 m iznad tla ili radne razine i 1 m iznad krova ili ruba skladišnog prostora illi moraju biti barem 5 m udaljene od zgrada i javnih prostora (Bontempo i sur., 2016; Talia, 2018; Ghanavati, 2018; Deublein i Steinhauser, 2008).



**Slika 17.** Sigurnosni uređaj za nadtlak i podtlak smješten na digestoru (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.12. Pročišćavanje plina**

Bioplin se obično pročišćava prije upotrebe. Uz fine filtere najčešće korišteni je sustav za odsumporavanje (Bontempo i sur., 2016). Različite su tehnike uklanjanja sumporovodika ( $H_2S$ ) poput doziranja zraka u bioplin ili dodatka željezovog klorida u bioreaktor. Kako bi se izabrala odgovarajuća tehnika uklanjanja sumporovodika, potrebno je prvo izabrati tehniku uklanjanja  $CO_2$  iz bioplina (Bušić i sur., 2018). Ugljikov dioksid je potrebno ukloniti kako bi se povećala gustoća i ogrjevna moć bioplina da bi se zadovoljila kvaliteta i tehnički zahtjevi koje nameće Wobbeov Index (Awe i sur., 2017). Trenutno se koriste sljedeće tehnike za uklanjanje  $CO_2$ : adsorpcija pod tlakom, fizička apsorpcija (pročišćavanje vode i organskih otapala), kemijska apsorpcija, kriogeno razdvajanje, membransko razdvajanje, biološko obogaćivanje metana (Bušić i sur., 2018; Awe i sur., 2017).

#### **2.4.13. Analize plina**

U praksi se rade različite analize sustava, a komponente čija se koncentracija redovito mjeri su  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  i  $O_2$ . Plin čiji se sastav mjeri mora se ili ispustiti u zrak ili vratiti u plinsku mrežu (Bontempo i sur., 2016). Mjerenja se vrše pomoću analizatora plinova koji mogu biti upravljani ručno ili automatski (Trezić, 2015).

#### **2.4.14. Oprema i sigurnosni uređaji koji su u kontaktu s plinom**

Različita oprema i sigurnosni uređaji u BP, izloženi su plinu, a to su uređaji za zaštitu od nadtlaka i podtlaka, odvodnik plamena, izlazni ventil, slavina za uzorkovanje, zaporni ventil, separator prljavštine itd (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.15. Plinske baklje**

Kako bi se spriječili štetni utjecaji na okoliš zbog oslobođenog metana, BP mora imati alternativni sustav trošenja plina, npr. plinske baklje (Slika 18). Postoji više vrsta baklji, a mogu se podijeliti u tri skupine: otvorena baklja, zatvoreni plamen ( $>850\text{ }^\circ C$ ) i zatvoreni plamen visoke temperature ( $>1000\text{ }^\circ C$ ) (Bontempo i sur., 2016; Valijanian i sur., 2018).



**Slika 18.** Plinska baklja (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.16. Sustav kontrole procesa**

Upravljački sustavi sa sigurnosnim funkcijama, moraju biti projektirani tako da jamče sigurnost, osim ako nisu podržani rezervnim sustavom (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.17. Elektrotehnika**

Električna vodljivost određuje se kao procjena sadržaja soli, mjerenjem sadržaja otopljne tvari u vodenim ekstraktima krutih organskih produkata (Ghanavati, 2018). Svi električki vodljivi dijelovi postrojenja moraju biti povezani međusobno i na zaštitni vodič. Kvalificirani električar bi trebao provjeriti instalacije prije puštanja u rad, a također i u redovitim intervalima (Bontempo i sur., 2016). U slučaju požara uzrokovanog električnim instalacijama, mora se koristiti ABC klasificirani višenamjenski aparat za gašenje požara i nikako ne gasiti vodom jer bi to moglo dovesti do strujnog udara (Trezić, 2015).

#### **2.4.18. Sustav zaštite od munja**

Unutarnji sustavi za zaštitu od munja služe za zaštitu instalacija od udara groma dok vanjski služe za preusmjerenje udara groma pomoću gromobrana koji bi izravno pogodio zaštićenu instalaciju (Bontempo i sur., 2016).

#### **2.4.19. Prostorije sa dijelovima BP koji prenose sirovinu i/ili plin**

Stanice za održavanje i upravljanje i kontrolu ventila, uređaja za miješanje, pumpanje i ispiranje, uvijek bi trebale biti smještene iznad razine tla. Ako to nije moguće, mora se osigurati odgovarajuća tehnička ventilacija s najmanje pet izmjena zraka u satu (Bontempo i sur., 2016).

## **2.5. Inspekcije i ispitivanja**

Zaštitna oprema i planiranje gradnje i tehničkih sustava mora biti u skladu sa specifičnostima pojedinim bioplinskim postrojenjem (Pietrangeli i sur., 2013). Da bi rad postrojenja bio trajno siguran, moraju se provoditi inspekcije i ispitivanja za cijelo postrojenje, kako na početku tako i u različitim periodičkim ponavljanjima.

Inspekcije i ispitivanja mogu se podijeliti u sljedeće odvojene segmente: strukturna sigurnost, zaštita od eksplozije, sustavi pod tlakom, električne instalacije, zaštita vodnih resursa, kontrola zagađenja, funkcionalna sigurnost, zaštita od požara i organizacija poslovanja. Inspekcije i testove provode posebno obučeni stručnjaci osposobljeni za vođenje inspekcija i ispitivanja. (Bontempo i sur., 2016; Deublein i Steinhauser, 2008).

### 3. ZAKLJUČAK

Na temelju činjenica iznesenih u teorijskom dijelu mogu se donijeti slijedeći zaključci:

1. Sve više zemalja okreće se obnovljivim izvorima energije te je samim time primjena bioplina u znatnom porastu. Stoga je važno osigurati odgovarajuće uvjete proizvodnje u svrhu postizanja što većih prinosa, ali i omogućiti siguran rad u svakom dijelu bioplinskog postrojenja.
2. Od prihvata i obrade sirovine preko procesa proizvodnje bioplina pa sve do konačnih produkata i nusprodukata te njihovog daljnjeg distribuiranja, svaki korak se mora voditi prema propisanim pravilima o sigurnosti. Organizacijske strukture bioplinskog postrojenja moraju biti dizajnirane i dokumentirane na način da se sve aktivnosti i zadatci mogu izvesti na siguran način i nadzirati cijelo vrijeme.
3. Nezgode se najčešće događaju zbog mehaničkih opasnosti u postrojenju, ali prijetnju također predstavljaju opasne tvari i biološki agensi, buka, elektronička oprema i životinjski nusproizvodi.
4. Curenje plina, eksplozije i požari mogu uzrokovati velike štete stoga je potrebno poduzeti mjere zaštite kako do takvih događaja ne bi došlo. Područje bioplinskog postrojenja podijeljeno je na zone (zona 0, zona 1 i zona 2) s obzirom na mogućnost pojave eksplozivne atmosfere.
5. Alat za provođenje analize opasnosti je tzv. matrica rizika, koja pokazuje stupanj vjerojatnosti da se dogodi neželjeni događaj povezan s posljedicama tog događaja.
6. Radnici moraju dobiti upute prije rada s novom opremom i prije rukovanja s novim opasnim tvarima. Određene aktivnosti nikako ne smije izvoditi samo jedan zaposlenik nego ih mora biti barem dvoje.
7. Kako bi se omogućio trajno siguran rad postrojenja, moraju se provoditi inspekcije i ispitivanja za cijelo postrojenje, kako na početku tako i u različitim periodičkim ponavljanjima.

## 4. POPIS LITERATURE

1. Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2008) Priručnik za bioplin. str. 26., 115 – 123, 127.
2. Al Seadi T., Rutz D., Janssen R., Drosg B. (2013) Biomass resources for biogas production. U: The biogas handbook. Science, production and applications, Wellinger A., Murphy J., Baxter D., ur., Woodhead Publishing Limited, 2013. str. 28.
3. Anonymous 1 (2019) Lagunski digestor, <<https://www.en-aqualimpia.com/>> Pristupljeno 10. rujna 2019.
4. Awe O. W., Zhao Y., Nzihou A., Minh D. P., Lyczko N. (2017) A review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies. *Waste Biomass Valori* **8** (2): 267 – 283.
5. Bagi Z., Ács N., Böjti T., Kakuk B., Rákhely G., Strang O., Szuhaj M., Wirth R., Kovács K. L. (2017) Biomethane: The energy storage, platform chemical and greenhouse gas mitigation target. *Anaerobe* **46**: 13 – 22.
6. Bontempo G., Maciejczyk M., Wagner L., Findeisen C., Fischer M., Hofmann F. (2016) Biogas Safety first! Guidelines for the safe use of biogas technology, Fachverband Biogas e. V., <<https://www.biogas.org-edcom/webfvb.nsf/id/en-biogas-know-how-series>> Pristupljeno 15. lipnja 2019. str. 6 – 54.
7. Da Costa Gomez C. (2013) Biogas as an energy option: an overview. U: The biogas handbook. Science, production and applications, Wellinger A., Murphy J., Baxter D., ur., Woodhead Publishing Limited, 2013. str. 11-13.
8. Deublein D., Steinhauser A. (2008) Biogas from Waste and Renewable Resources. An introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. str. 7 – 23, 149., 155., 161 – 164, 183., 199., 209.
9. EBA (2017) Digestate factsheet: the value of organic fertilisers for Europe's economy, society and environment. EBA – European Biogas Association, <<http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2015/07/Digestate-paper-final-08072015.pdf>> Pristupljeno 05. rujna 2019.
10. Findeisen C. (2015) The importance of safety standards, risk assessment and operators training for a successful biogas market development. Workshop on "Biogas for productive uses, industrial and mobility applications", organized by UNIDO, CIBiogás-ER, CTCN i EBA, Vienna 2015 June 17, <<https://www.unido.org/events/workshop-biogas-productive-uses-industrial-and-mobility-applications>> Pristupljeno 14. kolovoza 2019.

11. Flach B., Lieberz S., Rossetti A., Phillips S. (2017) EU-28 Biofuels Annual 2017, GAIN Report Number: NL7015. Washington, DC, USA: USDA Foreign Agricultural Service. <[https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_EU-28\\_6-19-2017.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-19-2017.pdf)> Pristupljeno 05. rujna 2019.
12. Ghanavati H. (2018) Biogas Production Systems: Operation, Process Control, and Troubleshooting. U: Biogas – Fundamentals, Process, and Operation, Tabatabaei M., Ghanavati H., ur., Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. str. 204.
13. Holm-Nielsen J. B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. (2009) The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology* **100** (22): 5478 – 5484.
14. Hoyer K., Hulteberg C., Svensson M., Jernberg J., Nørregård Ø. (2016) Biogas Upgrading – Technical Review, Energiforsk, 2016. <[http://vav.griffel.net/filer/C\\_Energiforsk2016-275.pdf](http://vav.griffel.net/filer/C_Energiforsk2016-275.pdf)> Pristupljeno 05. rujna 2019.
15. HROTE (2018) Povlašteni proizvođači s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije, a čija su postrojenja u sustavu poticanja. Electricity Purchase Agreement with Croatian Energy Market Operator (Hrvatski operator tržišta energije, HROTE). <[https://files.hrote.hr/files/PDF/Sklopljeni%20ugovori/PP\\_HR\\_14\\_12\\_2018.pdf](https://files.hrote.hr/files/PDF/Sklopljeni%20ugovori/PP_HR_14_12_2018.pdf)> Pristupljeno 05. rujna 2019.
16. Hublin A., Čurlin M. (2014) Primjena integriranih tehnologija za smanjenje otpada, uštedu energije i smanjenje emisije stakleničkih plinova u poljoprivredno-prehrambenom sektoru. *Inženjerstvo okoliša* **1** (2): 95 – 101.
17. Marić V. (2000) Biotehnologija i sirovine, Stručna i poslovna knjiga, Zagreb. str. 2., 8.
18. Moghaddam E. A., Ahlgren S., Nordberg Å. (2016) Assessment of novel routes of biomethane utilization in a life cycle perspective. *Front Bioeng Biotechnol* **4**: 89.
19. Petersson A., Wellinger A. (2009) Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA Bioenergy. <[https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading\\_rz\\_low\\_final.pdf](https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf)> Pristupljeno 05. rujna 2019.
20. Petravić-Tominac V., Nastav, N., Šantek B. (2018) Current state of biogas production in Croatia. Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development/3-GREEN2018, Zagreb, Croatia, 5.- 8. June 2018. U: Book of abstracts 3, Radojčić Redovniković I., Jakovljević T., Petravić-Tominac V., Panić M., Stojaković R., Erdec D., Radošević K., Gaurina Srček V., Cvjetko Bubalo M., ur., Zagreb: Faculty of Food

- Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Croatia, 2018. p.89, C05.  
<<http://www.green2018.sumins.hr/>> Pristupljeno 05. rujna 2019.
21. Pietrangeli B., Lauri R., Bragatto P. A. (2013) Safe Operation of Biogas Plants in Italy. *Chemical Engineering Transactions* **32**: 199 – 204.
  22. Poudel R. C. (2018) Small Scale Biogas Production. Biogas – Fundamentals, Process, and Operation, Tabatabaei M., Ghanavati H., ur., Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. str. 445.
  23. Salvi O., Chaubet C., Evanno S. (2012) Revista de Ingeniería. *Improving the Safety of Biogas Production in Europe* **37**: 57 – 65.
  24. Sárvári Horváth I., Tabatabaei M., Karimi K., Kumar R. (2016) Recent updates on biogas production – a review. *Biofuel Research Journal* **3** (2): 394 – 402.
  25. Scholwin F., Grope J., Clinkscales A., Boshell F., Saygin D., Salgado A., Seleem A. (2018) Biogas for road vehicles: Technology brief, International Renewable Energy Agency (IRENA) 2018, Abu Dhabi. <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/IRENA\\_Biogas\\_for\\_Road\\_Vehicles\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/IRENA_Biogas_for_Road_Vehicles_2017.pdf)> Pristupljeno 05. rujna 2019.
  26. Shafiei M. (2018) Techno – Economic Aspects of Biogas Plants. U: Biogas – Fundamentals, Process, and Operation, Tabatabaei M., Ghanavati H., ur., Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. str. 336.
  27. Šimić Z. (2010) Korištenje energije biomase za proizvodnju električne energije (topline i goriva), <<http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Biomasa%20prezentacija.pdf>> Pristupljeno 26. srpnja 2019.
  28. Talia L. (2018) Biogas Plants: Design and Fabrication. U: Biogas – Fundamentals, Process, and Operation, Tabatabaei M., Ghanavati H., ur., Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. str. 51 – 52, 82 – 83, 90.
  29. Trezić M. (2015) Protueksplozijska zaštita kod postrojenja za dobivanje bioplina iz otpada. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
  30. Valijanian E., Tabatabaei M., Aghbashlo M., Sulaiman A., Chisti Y. (2018) Biogas Production Systems. U: Biogas – Fundamentals, Process, and Operation, Tabatabaei M., Ghanavati H., ur., Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. str. 95 – 97.
  31. Verbeeck K., Buelens L. C., Galvita V. V., Marin G. B., Van Geem K. M., Rabaey K. (2018) Upgrading the value of anaerobic digestion via chemical production from grid injected biomethane. *Energy & Environmental Science* **11** (7): 1788 – 1802.



32. Zakon o energiji (2001) *Narodne novine* **68** (NN 68/2001).

Zadnja stranica završnog rada

(uključiti u konačnu verziju završnog rada u pdf formatu, kao skeniranu potpisanu stranicu)

## Izjava o izvornosti

*Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.*

Vlatka Kozarić

ime i prezime studenta