

# Utjecaj temperature na dinamiku proizvodnje bioplina iz siliranog repinog rezanca

---

Jeleč, Zdenka

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:137287>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-19**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI U OSIJEKU

Zdenka Jeleč Milošević

Sveučilišni diplomski studij Agroekonomika

Smjer Agroekonomika

**UTJECAJ TEMPERATURE NA DINAMIKU PROIZVODNJE  
BIOPLINA IZ SILIRANOG REPINOGRANCA**

Diplomski rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI U OSIJEKU

Zdenka Jeleč Milošević, absolvent

Sveučilišni diplomski studij Agroekonomika

Smjer Agroekonomika

**UTJECAJ TEMPERATURE NA DINAMIKU PROIZVODNJE  
BIOPLINA IZ SILIRANOG REPINOGRANCA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za obranu i ocjenu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Bojan Stipešević, predsjednik
2. prof. dr. sc. Davor Kralik, mentor
3. prof. dr.sc. Ljubica Ranogajec, član

Osijek, 2020.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	5
<b>2. PREGLED LITERATURE</b>	6
2.1. Obnovljivi izvori energije	6
2.2. Biomasa	8
2.3. Bioplin	10
2.3.1. Proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom	10
2.3.2. Supstrati za proizvodnje bioplina	11
2.3.3. Biološke faze nastanka bioplina	12
2.3.4. Parametri za proizvodnju bioplina	13
2.3.5. Svojstva bioplina	15
2.4. Općenito o šećernoj repi	17
2.5. Morfološka i biološka svojstva	18
2.6. Agroekološki uvjeti i agrotehnike	19
2.7. Tehnološki postupci proizvodnje šećera	21
2.8. Nusproizvodi šećerne repe	21
2.9. Potencija šećerne repe za proizvodnju bioplina	22
<b>3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA</b>	24
3.1. Uzorkovanje	24
3.2. Metoda anaerobne fermentacije	24
3.3. Analiza sastava bioplina	25
3.4. Određivanje pH	25
3.5. Analiza suhe tvari	25

<b>4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b>	26
4.1. pH vrijednost	26
4.2. Udio suhe tvari	27
4.3. Količina proizvedenog bioplina	29
4.4. Dinamika stvaranja bioplina	30
4.5. Sastav bioplina	32
<b>5. RASPRAVA</b>	38
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	42
<b>7. POPIS LITERATURE</b>	43
<b>8. SAŽETAK</b>	46
<b>9. SUMMARY</b>	47
<b>10. POPIS TABLICA</b>	48
<b>11. POPIS SLIKA</b>	49
<b>12. POPIS GRAFIKONA</b>	50
<b>TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA</b>	52
<b>BASIC DOCUMENTATION CARD</b>	53

## 1. UVOD

Izvore energije dijelimo na neobnovljive i obnovljive izvore. U neobnovljive izvore ubrajamo fosilna goriva (ugljen, nafta) i nuklearna goriva (uran i torij). S obzirom na činjenicu da su neobnovljivi izvori energije ograničeni, te njihovo korištenje uzrokuje velike štete za okoliš, kao što je emisije stakleničkih plinova posebice ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), a koji najvećim dijelom doprinosi globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Jedan od razloga tog problema je globalni i regionalni rast potražnje za energijom, koji je rezultat sve većeg broja stanovništva i životnog standarda.(Šljivac D.,2009) Dugoročno rješenje tog problema je razvoj i iskorištavanje obnovljivih izvora energije, koji će umanjiti emisiju štetnih i stakleničkih plinova, te donijeti energetske stabilnost pojedinih države.

Obnovljivi izvori energije su izvori energije koji se dobivaju iz prirode i mogu se obnovljati, te se smatraju jednim od presudnih čimbenika budućeg razvoja Zemlje. Kako u Europi tako i u Republici Hrvatskoj sve se više ulaže u obnovljive izvore energije kako bi se spriječile klimatske promijene.

Jedan od načina korištenja obnovljivih izvora energije je biomasa koja se temelji na ugljikovom ciklusu, za razliku od ostalih prirodnih izvora. U biomasu ubrajamo sva biorazgradivi materijal od poljoprivrednih ostataka, ostataka prehrambene industrije, ostataka drvne industrije, jedan dio komunalnog otpada do algi i trava iz riječnih korita i mora. Najzastupljenija je drvna masa koja je nastala kao sporedni proizvod (otpadi koji se ne mnogi više koristiti). Također jedan od načina korištenja obnovljivih izvora energije je izgradnja bioplinskih postrojenja za anaerobnu fermentaciju u kojoj se iz biomase proizvodi bioplin.

Velik potencijal unutar obnovljivih izvora energije ima i Republika Hrvatska osobito kod izgradnje bioplinskih postrojenja i proizvodnje bioplina zbog velikih poljoprivrednih površina koje proizvode velike količine biomase (ostatci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje), te gnoj (kruti ili tekući) koji dobijemo iz stočarske proizvodnje.(T. Krička,2006.)

U ovom istraživanju koristili smo silirani repin rezanac kao supstrat za proizvodnju bioplina. Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj temperature na dinamiku proizvodnje bioplina iz siliranog repinog rezanca. Također utvrditi količine suhe tvari, pH u supstratu prije i nakon fermentacije pri mezofilnim i termofilnim uvjetima.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Obnovljivi izvori energije

Prema Hrvatskom zakon obnovljivi izvori energije definiraju se kao izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija itd." ([www.fzoeu.hr](http://www.fzoeu.hr))

Možemo reći da su obnovljivi izvori energije izvori energije koje možemo dobiti iz prirode, te se mogu obnavljati. Zbog manjka neobnovljivih izvora energije zahtjevi za korištenje i razvojem obnovljivih izvora energije je sve veći

*Razvoj i korištenje obnovljivih izvora energije važan je iz nekoliko razloga:*

- obnovljivi izvori energije imaju važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferi. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu je politika Europske unije
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetska održivost sustava. Pomaže u poboljšanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost u uvozu energetske sirovine i električne energije.
- Očekuje se da će obnovljivi izvori energije postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije ([www.zicer.hr](http://www.zicer.hr))

*Obnovljivi izvori energije mogu biti:*

- kinetička energija vjetra (energija vjetra)
- sunčeva energija
- biomasa
- toplinska energija Zemljine unutrašnjosti i vrući izvori (geotermalna energija)
- potencijalna energija vodotoka (vodne snage)
- potencijalna energija plime i oseke i morskih valova
- toplinska energija mora ([www.fzoeu.hr](http://www.fzoeu.hr))

Nekoliko tehnologija posebno energija vjetra, energija iz biomase i sunčeva energija su ekonomski konkurentne, jer ostale tehnologije ovise o potražnji na tržištu da bi postale ekonomski isplative u odnosu na klasične izvore energije. ([www.solarno.hr](http://www.solarno.hr)) Razlog tome je početna cijena za instalaciju novih postrojenja što povećava cijenu dobivene energije u prvih nekoliko godina do praga neisplativosti u odnosu na ostale komercijalne dostupne izvore energije. Od svih obnovljivih izvora energije najveći se doprinos očekuje od biomase zbog svoje prednosti, jer se sagorijevanjem biomase u svrhu proizvodnje energije smatra tehnologijom bez CO<sub>2</sub>. ([www.energijanasabuducnost.hr](http://www.energijanasabuducnost.hr))



Slika 1. Obnovljivi izvori energije

Izvor: [www.buje.hr](http://www.buje.hr)



## 2.2. Biomasa

Prema članku 4. Zakona o obnovljivima izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/2015) biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biološkog podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnoga i životinjskoga podrijetla), šumarstva i srodnih proizvodnih djelatnosti, uključujući ribarstvo i akvakulturu, kao i biorazgradivi dio industrijskoga i komunalnoga otpada.

Biomasa predstavlja najstariji oblik izvora energije koji su ljudi koristili (grijanje i kuhanje na drva), a danas ima veliki potencijal kao obnovljiv izvor energije, te kao takav izvor može doprinijeti zaštiti okoliša smanjenju emisije CO<sub>2</sub>. Osim drva koriste se i različite druge sirovine biomase, koje se različitim tehnologijama pretvaraju u različite vrste upotrebljivog goriva. Biogoriva mogu biti kruta (peleti i drvo), tekuća (bioetanol, biodizel, bioulja) i plinovita (bioplina, vodik), a sirovine iz različitih izvora, kao na primjer sirovine iz poljoprivrede (slama, kukuruz, oklasci, stabljike, ljuske, koštice), sirovine šumske i drvne industrije (ostatci i otpad iz redovitog gospodarenja šumama, ogrjevno drvo, ostatci i otpadi iz drvne industrije), sirovine sa životinjskih farmi (stajski gnoj, stelja), energetske nasadi (miskantus, sirak, ... itd.). Jedan od najvažnijih potencijala biomase pripada poljoprivrednom sektoru, koji može osigurati proces pretvaranja u energiju uz pomoć poljoprivrednih usjeva ili ostataka. A najveći izbor predstavlja gnoj koji može biti kruti ili tekući, koji dobijemo iz stočarske proizvodnje. ([www.gospodarski.hr](http://www.gospodarski.hr))

*Postoje različite vrste postupaka prerade i uporabe biomase neki od njih su:*

- Kompostiranje (radi dobivanja gnojiva)
- Anaerobna fermentacija (radi dobivanja metana i krutog/tekućeg ostatka koji se koristi kao gnojivo)
- Fermentacija i destilacija (radi dobivanja etilnog alkohola)
- Destruktivna destilacija (radi proizvodnje metilnog alkohola iz otpada bogatog celulozom)
- Piroliza (radi proizvodnje zapaljivog plina i ugljena, zagrijavanjem organskog otpada bez prisutnosti zraka).
- Spaljivanje (radi dobivanja toplinske i električne energije)

- Korištenje celulozних vlakana za proizvodnju građevinskog materijala, biorazgradive plastike i papira ([www.energijanasabuducnost.hr](http://www.energijanasabuducnost.hr))



Slika 2. Izvori biomase

Izvor: [www.energieavenir-tpe.e-monsite.com](http://www.energieavenir-tpe.e-monsite.com)

## **2.3. Bioplin**

Bioplin je smjesa nastala razgradnjom organske tvari, pod djelovanjem bakterija u anaerobnim uvjetima (Kralik D.,2006.). Predstavlja mješavina metana i ugljičnog dioksida sa tragovima amonijaka, vodika, dušika, sumpor vodika, ugljičnog monoksida i vodene pare. Bioplin se može proizvoditi gotovo iz svih organskih sirovina, a kao takav ima pozitivna učinak na okoliš. Globalni problem negativnih utjecaja na okoliš suvremenog društva je kontinuirani porast nastajanja organskog otpada. A na smanjenje negativnog utjecaja na okoliš predstavlja izgradnja bioplinskih postrojenja u kojima se iz biljnih i životinjski ostataka (npr. energetske usijevi i gnoj) proizvodi bioplin. Možemo reći da su bioplinska postrojenja idealno rješenje za ispunjenje svih nacionalnih i europskih propisa iz područja gospodarenja otpadom i iskorištavanja organskog otpada za proizvodnju energije prilikom čega se organskih otpada može preraditi u gnojivo. Nadalje, primjena bioplina pozitivno utječe na smanjenje neugodnih mirisa i insekata putem anaerobne fermentacije. Proizvodnja i korištenje bioplina iz anaerobne digestije ima i društveno gospodarski pozitivan učinak za društvo u cjelini i za same poljoprivrednike. No što je zapravo anaerobna digestija? Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima bez prisustva kisika. Kada se za proces anaerobne fermentacije koriste homogene mješavine iz dvaju ili više različitih supstrata kao npr. stajski gnoj i ostatci ili nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje postupak se naziva kodigestija koji je najčešći način proizvodnje bioplina. (Al Seadin i sur.,2008). Tako bi se proizvodnjom električne energije i toplinske energije putem kogeneracije umanjila energetska ovisnost od drugim državama, povećao broj zaposlenih, smanjila bi se potrošnja vode, smanjila bi se emisija stakleničkih plinova u atmosferi, te bi se smanjila i koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi jer se smanjuje potrošnja fosilnih goriva.

### **2.3.1. Proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom**

Kao što smo već spomenuli anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima bez prisustva kisika. Anaerobna razgradnja prirodan je proces koji se svakodnevno događa u prirodi (prilokom nastanka treseta). U bioplinskim postrojenjima rezultat procesa anaerobne digestije su bioplin i digestat, te predstavljaju glavni proizvod ovog procesa.

Bioplin gorivi plin koji se uglavnom sastoji od metana i ugljikovog dioksida. Tijekom proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnom razgradnjom ili kompostiranjem stoga energija koja se nalazi u kemijskim vezama supstrata oslobađa se u obliku metana. U pojedinim fazama proizvodnje bioplina djeluju specifične grupe mikroorganizama. Četiri glavne faze u procesu nastanka bioplina : hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza (Al Seadin i sur.,2008). Neke od prednosti anaerobne digestije za proizvodnju bioplina su bioplin se koristi kao energent, digestat je visoko vrijedno organsko gnojivo, uništavanje patogenih bakterija, smanjena emisija neugodnih mirisa i ekološki značaj.

### **2.3.2. Supstrati za proizvodnje bioplina**

Za supstrate koji u proces proizvodnje bioplina dodajemo mogu poslužiti različiti tipovi biomase. Najčešće se koristi stajski gnoj i gnojnice sa drugim supstratima biljnoga porijekla na primjer bogati šećerom, ili uljima, te životinjskog podrijetla na primjer bogati proteinima.(Al Seadin i sur.,2008)

*Supstrati koje se najčešće koriste za proizvodnju bioplina su:*

- stajski gnoj, gnojnica
- ostatci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje
- energetske usjevi - kukuruz, sirak, uljana repica, šećerna repa
- razgradivi organski otpad iz poljoprivrede i prehrambene industrije - ostatci biljnog i životinjskog porijekla
- organski dio komunalnog otpada iz ugostiteljstva, ostatci biljnog i životinjskog podrijetla
- otpadni muljevi

Stajski gnoj sam ima mali metanski potencijal, te se iz tog razloga promiješa sa supstratima koji imaju veći potencijal za proizvodnju metana. (Al Seadin i sur.,2008)

### 2.3.3. Biološke faze nastanka bioplina

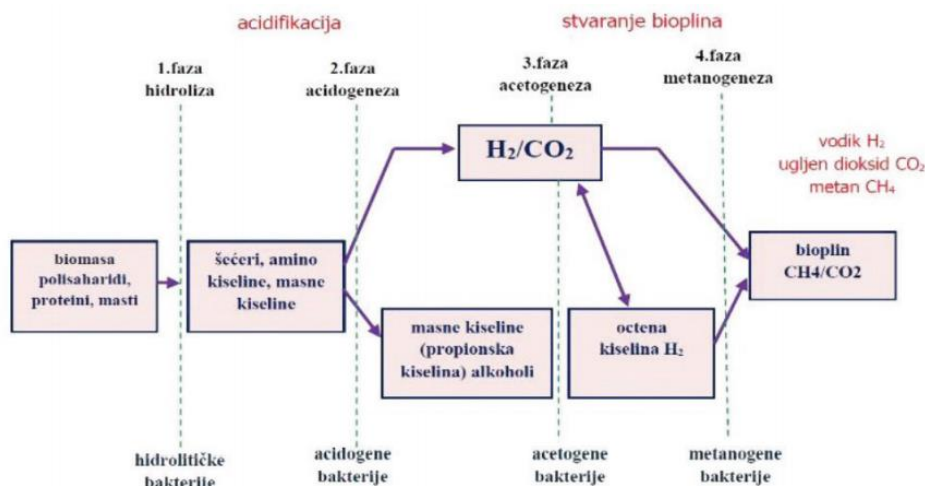
Proizvodnja bioplina iz biomase odvija se kroz četiri faze pod utjecajem mikroorganizama.

*Hidroliza* – je prva fazu gdje hidrolitičke bakterije vrše hidrolizu ugljikohidrata, masti i bjelančevina pomoću hidrolitičkih enzima na manje spojeve, te šećere, glicerine, aminokiseline i hlapljive masne kiseline. (Al Seadin i sur.,2008)

*Acidogeneza* – u drugoj fazi spojevi hidrolize se pomoću acidogenih bakterija (fermentiraju) transformiraju u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70%) te hlapljive masne kiseline i alkohole. (Al Seadin i sur.,2008).

*Acetogeneza* - tijekom acetogeneze proizvodi fermentacije koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u metan pretvaraju se u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Važan proizvod ove faze predstavljaju acetate, jer oko 70% metana nastane iz acetata ali i veliku važnost ima i vodik. (Al Seadin i sur.,2008)

*Metanogeneza* – je zadnja faza u proizvodnji bioplina. Aktivnošću metanogenih bakterija potaknuta je proizvodnja metana i ugljikovog dioksida. Oko 70% metana nastaje iz acetata dok ostalih 30% nastaje pretvorbom iz vodika i ugljičnog dioksida. Metanogeneza ovisi o uvjetima rada, odnosno uvjetima medija. Na uspješnost metanogeneze utječe niz čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata. (Al Seadin i sur.,2008)



Slika 3. Četiri faze anaerobne fermentacije

Izvor: [www.repozitorij.ptfos.hr](http://www.repozitorij.ptfos.hr)

### 2.3.4. Parametri za proces proizvodnje bioplina

Digestija predstavlja mehaničku i kemijsku razgradnju organskog materijala u manje čestice na makro i mikro. Učinkovitost anaerobne digestije ovisi o nekoliko bitnih parametara, te je presudno osigurati optimalne uvjete za razvoj anaerobnih mikroorganizama. Anaerobne bakterije koje su zastupljene u tvarima kao mikroorganizmi zadužne su za proces razgradnje, pa na njihovu rast i aktivnost snažno utječe nedostatak kisika, pH vrijednost, temperatura, hranjive tvari, intenzitet miješanja, prisutnost inhibitora i dr. Metanske bakterije su prije svega anaerobi, pa se zbog toga mora spriječiti svaki dotok kisika u digestoru. (Al Seadin i sur.,2008)

#### *Temperatura*

Sam postupak anaerobne fermentacije može se odvijati pri različitim temperaturama. Svakako treba naglasiti da promjena temperature negativno utječe na proizvodnju bioplina, te je važno temperaturni proces održavati konstantnim. Temperatura se klasificira u tri temperaturne zone:

1. *Psihofilna temperaturna zona (ispod 25°C) - minimalno vrijeme trajanja procesa 70-80 dana*
2. *Mezofilna temperaturna zona (25 - 45 °C) - minimalno vrijeme trajanja procesa 30-40 dana*

### *3. Termofilna temperaturna zona (45 - 70 °C) - minimalno vrijeme trajanja procesa 15- dana*

Suvremena bioplinska postrojenja rade na termofilnim temperaturama, jer imaju brojne prednosti u odnosu na procese koji se odvijaju pri psihrofilnim i mezofilnim temperaturama. Neke od prednosti su učinkovito uništavanje patogena, viša je stopa rasta metanogenih bakterija na višim temperaturama, kraće je vrijeme fermentacije pa je i samim time proces brži, poboljšana je razgradnja i iskoristivost hranjivih tvari iz supstrata te bolja mogućnost razdvajanja tekuće i krute frakcije supstrata. (Al Seadin i sur.,2008)

#### ***pH vrijednost***

Kiselost odnosno bazičnost kod anaerobne digestije mješavine supstrata izražava se pH vrijednošću. pH vrijednost supstrata utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama te i na kvalitetu odvijanja pojedinih spojeva za postupak anaerobne digestije (organske kiseline, amonijak). Nastanak metana odvija se relativno uskom području pH vrijednosti oko pH 5,5 do pH 8,5 s optimumom između pH 7 i 8, za acidogene bakterije su optimalne niže vrijednosti pH-a. Optimalne vrijednosti pH za mezofilnu digestiju su u rasponu od 6,5 do 8, a do inhibicije procesa dolazi ako pH vrijednost padne ispod 6 ili poraste iznad 8,3. Topljivost ugljikovog dioksida u vodi otpada s povećanjem temperature pa je pH vrijednost u termofilnim digstorima veća nego u mezofilnim digstorim, budući da otopljeni ugljični dioksid u reakciji s vodom stvara ugljičnu kiselinu. Amonijak koji nastaje razgradnjom proteina iz organske tvari ili sadržaja amonijaka unesenog supstratom može uzrokovati povećanje pH vrijednosti, a dok nagomilavanje hlapljivih masnih kiselina u supstratu snižava pH vrijednost. Unutar anaerobnih reaktora pH vrijednost se kontrolira sustavom bikarbonatnih pufera. Tako pH vrijednost unutar reaktora ovisi o parcijalnom tlaku ugljikovog dioksida i sadržaja bazičnih i kiselih spojeva u tekućoj fazi supstrata, a u slučaju promijene koncentracije supstrata bilo lužnatih, kiselih spojeva bikarbonatni puferi sprečavaju promijene pH vrijednosti do određene razine. Važno je napomenuti da pH vrijednost je pouzdan i jeftin način praćenje neravnoteže. (Al Seadin i sur.,2008)

### ***Hlapljive masne kiseline***

Hlapljive masne kiseline su spojevi sa šest ili manje atoma ugljika na primjer octena kiselina, propionska kiselina, mliječna kiselina. Stabilnost anaerobne digestije i nastalih međuspojeva su povezani, a nestabilnost procesa dovodi do akumulacije hlapljivih masnih kiselina u digestora, što može dovesti do pada pH vrijednosti, tako se akumulacija hlapljivih masnih kiselina se neće uvijek odraziti padom pH vrijednosti, zbog puferske sposobnosti određenih supstrata. Hlapljive masne kiseline ne mogu se preporučiti kao zaseban indikator procesa. (Al Seadin i sur.,2008)

### ***Amonijak***

Amonijak označava važnu hranjivu tvar i ima važnu funkciju u anaerobnoj digestiji. Javlja se u obliku plina, karakteristično odbojnog mirisa, glavni izvor amonijaka u procesu anaerobne digestije su bjelančevine, tako previsoka koncentracija amonijaka (u meioniziranom obliku) može potpuno zaustaviti proces digestije. Kako bi se spriječio inhibitorni učinak koncentracija amonijaka u smjesi supstrata treba održavati ispod 80mg/l. Metanogene bakterije izrazito su osjetljive na inhibiciju amonijakom. Nadalje, koncentracija slobodnog amonijaka je proporcionalan temperaturi te je rizik od inhibicije amonijakom veći kod termofilnih procesa nego kod mezofilnih. Ali i elementi u tragovima poput željeza, nikla, kobalta, selena prikazuju važne elemente za rast i preživljavanje anaerobnih bakterija jednako kao i makronutrijenti. Nedostatak hranjivih tvari i elemenata u tragovima, pa i prevelika razgradivost supstrata može uzrokovati inhibiciju i narušavanje procesa anaerobne digestije. Uzročnik koji može djelovati na životni ciklus bakterija su toksične tvari koje u digestor dopijevaju zajedno sa supstratima ili mogu nastati tijekom samog postupka digestije.(Al Seadin i sur.,2008)

### **2.3.5. Svojstava bioplina**

Svojstva i sastav bioplina prije svega ovise o tipu supstrata, načinu proizvodnje, temperaturi pri kojoj se odvija proces, o vremenu zadržavanja, volumenu fermentora i drugim čimbenicima. Energetska vrijednost bioplina nalazi se kemijski vezana u metan. Prosječna toplinska vrijednost bioplina je oko 20-21 MJ/Nm<sup>3</sup>, njegova prosječna gustoća iznosi 1,22 kg/Nm<sup>3</sup> sa 50% udjela metana, a njegova težina iznosi 1,29 kg/Nm<sup>3</sup>. (Al Seadin i sur., 2008)



Spoj	Kemijski simbol	Udio (Vol.-%)
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

Tablica 1.: Sastav bioplina

Izvor: [www.big-east.eu](http://www.big-east.eu)

Bioplin je mješavini metana CH<sub>4</sub> (50-75%), ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> (25-45%) i otprilike 2 % ostalih plinova (vodik, sumporovodik, ugljikovog monoksida). Najvažniji sastojak bioplina je metan, po njemu mjerimo kvalitetu bioplina, što je njegov udio veći bioplin je kvalitetniji. Bioplin je otprilike 20 % lakši od zraka i bez mirisa i boje. Temperatura zapaljenja mu je između 650 i 750°C, a gori čisto plavim plamenom. [www.gornjogradska.eu](http://www.gornjogradska.eu)

## 2.4. Općenito o šećernoj repi

Današnja kultivirana bijela repa (*Beta vulgaris* var. *Saccharifera*) potječe od divljih vrsta repe. Uzgaja se i upotrebljava od kraja 18 stoljeća. Dvogodišnja je poljoprivredna kultura koja u prvoj godini formira rozetu bazalnog lišća i mesnati korijen sa sadržajem saharoze do 18 - 20% (digestija). Najveći proizvođači šećerne repe u svijetu su Francuska sa 375.760 ha, Rusija 884.990 ha i Njemačka 376.039 ha, a ostale zemlje uzgajaju manje od 400.000 ha. Površine pod šećernom repom u Republici Hrvatskoj variraju, ovisi od godini i kreću se od 20.000 do 30.000 ha. (Pospišil, 2013.) Jedna je od najprofitabilnijih ratarskih kultura. Iz korijena šećerne repe dobije se oko 16% svjetske proizvodnje šećera. Prosječni prinos korijena šećerne repe je od 25-30 t/ha, od 50-70 t/ha, a sadržaj šećera 14,57 %. ([www.pinova.hr](http://www.pinova.hr)) U komercijalne svrhe repa se proizvodi radi dobivanja šećera. Proizvodnja šećerne repe je vrlo značajna zbog mogućnosti prerade, te nusproizvoda koji su vrlo značajni proizvodi u ishrani stoke. Glavni proizvod ove kulture je korijen koji sadrži 15-25 % šećera u svježoj tvari. Sporedni proizvodi su list i glava šećerne repe, te u preradi repini rezanci, melasa i saturacijski mulj. Pri prinosu od 50 t/ha korijena dobije se prosječno 6,25 t šećera, 30 t lišća sa glavom, 2,7 t suhih repinih rezanaca, 2,1 t melase i 2,5 t saturacijskog mulja. (Pospišil, 2013.). Uzgoj šećerne repe moguć je u umjereno kontinentalnim područjima. Kod nas se uzgaja u istočnim i sjeverozapadnim dijelovima. (Gagro, M.,1990.)



Slika 4. Značaj šećerne repe

Izvor: [www.klett.de](http://www.klett.de)

## 2.5. Morfološka i biološka svojstva

Korijen šećerne repe sastoji se od glave, vrata, tijela i repe. *Glava* se nalazi na vrhu i na njoj se oblikuju listovi i pupovi. Mali postotak šećera se nalazi u glavi šećerne repe. Njena duljina ovisi o kultivarima, te uvjetima uzgoja, oštećenju listova od bolesti i štetnika. U vrijeme vađenja se glava odstranjuje. *Vrat* - se nastavlja na glavu i spaja se s tijelom korijena. Vrat predstavlja najdeblji dio korijena na kojem nema pupova, listova, brazdica ni korjenčića. *Tijelo* – se nastavlja na vrat korijena gdje počinje razvoj bočnih korjenčića, brazdice gdje se razvijaju korijenčice u površinskom sloju. Kako se duljina tijela sve više smanjuje i pri debljini od oko jedan centimetar prelazi u rep korijena Tijelo korijena repe ima oko 75 % vode i oko 25 % suhe tvari, te se u tih 25 % suhe tvari najčešće šećeri (17,5%) a manji dio nešećeri (7,5%) sve ostale tvari, pored saharoze, repa sadrži vrlo malu količinu invertnog šećera. Od nešećernih tvari 5% predstavljaju tvari ne topive u vodi, a 2,5 % su tvari topive u vodi, te sa saharozom ulaze u sastav sirovog soka repe. Netopivi šećeri se pretežno sastoje od celuloze, hemiceluloze, pektinskih tvari, bjelančevina i dr. Topivi nešećeri su organski nešećeri s dušikom, organski nešećeri bez dušika i mineralne tvar, te od ukupne količine nešećeri s dušikom 60 % čine bjelančevine a preostalih 40 % čine betain, aminokiseline, amid, nitrati i nitriti. oko 1 % mineralnih tvari, neznatan postotak masti. Na smanjenje vrijednosti korijena u preradi utječe povećanje sadržaja dušičnih tvari. Kod prerade korijena se dobiva difuzni sok u kojem se nalaze dušični spojevi, koji se naziva štetni dušik. Digestija je postotak šećera u korijenu repe, prosječno iznosi oko 15-18 %. Digestija se značajno može povećati pravilnom agrotehnikom. Nisu sve štetne, štetne su sam one koje se tijekom tehnološkog procesa ne mogu izdvojiti i sprečavaju kristalizaciju šećera. Dušičnih tvari ima oko 1,2 % u topivom i netopivom obliku. (Pospišil, 2013.). *List* – niče sa dva kotiledonska listića, oni opskrbljuju biljku hranjivima do oblikovanju pravih listova. Iz vegetativne kupe se razvijaju prvi pravi listovi (peteljke i plojke) koje sadrže puno parenhimskih stanica. Šećerna repa iz sredine glave razvija nove listove. *Stabljika* – razvija se u drugoj godini vegetacije iz pupova u osnovi list na glavi korijena, te se iz više pupova može razviti više stabljika, Šećerna repa može i u prvoj godini formirati stabljiku koju nazivamo prorasicama. *Cvijet* – Cvjetovi se razvija na glavnoj stabljici, postranim granama, u pazuhu listova i na vrhovima. S genetskim jednoličnim sjemenom kultivari imaju pojedinačne cvjetove. Njihovo oprašivanje obavljaju insekti (stranooplodna). *Plod* – repa oblikuje nepravi plod – srasli orašac, u kojem nekoliko plodova sraste u kvržicu. (Gagro, M.,1990.)

## 2.6. Agroekološki uvjeti i agrotehnika

Šećerna repa ima velike potrebe za toplinom. U prvoj godini uzgoja za proizvodnju korijena suma topline iznosi oko 2.500 °C. (Pospišil, 2013.) Repa treba puno svjetla, jer smanjeno osvjetljenje uzrokuje niži prirast korijena i šećera. U vrijeme intenzivnog stvaranja šećera dobro je da se izmjenjuje sunčano i oblačno vrijeme. Tijekom cijele vegetacije šećerna repa treba biti dobro opskrbljena vodom. Najveće potrebe za vodom su u vrijeme intenzivnog porasta krajem srpnja, početkom kolovoza. Ekstremne suše tijekom srpnja i kolovoza mogu jako smanjiti prirast. Šećernoj repi odgovaraju tla velike plodnosti, dubokog oraničnog sloja, dobrih vodopropusnih odnosa, dobre strukture, rahla, neutralne do slabo kisele reakcije (pH 6 – 7). Najbolji tipovi tla za uzgoj šećerne repe su černozem i njegovi varijeteti, aluvijalna tla i livadske crnice. ([www.pinova.hr](http://www.pinova.hr)) Šećerna repa je intenzivna kultura, za njenu uspješnu proizvodnju i zadovoljavajući prinos potrebno je zadovoljiti više elemenata proizvodnje kao na primjer: širok plodored, kvalitetna osnovna i dopunska obrada tla, gnojidba organskim i mineralnim gnojivima, pravovremena zaštita od korova, bolesti i štetnika, vađenje i transport. *Plodored* je uz obradu zemljišta i gnojidbu jedan od najstarijih i najvažnijih zahvata u agrarnoj praksi. Šećerna repa zahtjeva 4-5 godišnji plodored. Ne podnosi monokulturu zbog: jednostranog korištenja hranjiva, jačeg napada bolesti i štetnika te izlučevina korijena koje uništavaju neke korisne mikroorganizme. (Jurišić, M.,2006.)

*Predusjev* Najpovoljniji predusjevi za proizvodnju šećerne repe su one kulture koje na vrijeme napuštaju tlo i ostavljaju ga čisto od korova (jednogodišnje zrnate i višegodišnje leguminoze). *Obrada tla* ovisi o predkulturi, a u našim krajevima šećerna repa obično dolazi iza pšenice i ječma. Ona traži kvalitetnu obradu tla i pripremu za sjetvu kako bi postigla visoke prinose i dobru kvalitetu. Osnovna obrada tla sastoji se od: prašenje strništa (na dubini od 12-15 cm), Srednje duboko oranje (dubini od 20-25 cm obično u kolovoza) i Duboko oranje (na dubini od 35-40 cm u listopadu). Predsjetvena obrada tla obavlja se kada to dozvole vremenske prilike. Ona se sastoji od zatvaranja zimske brazde, teškim klinastim drljačama. Tamo gdje se nije obavilo zatvaranje zimske brazde, to se obavlja u proljeće, laganim klinastim drljačama. Neposredno pred sjetvu, tlo se priprema sjetvospremačem. (Jurišić, M.,2006.) Gnojidba šećerne repe (mineralnim i organskim gnojivima). mineralnih gnojiva najznačajnija su dušična, fosforna i kalijeva gnojiva. Za ishranu šećerne repe važni su mikroelementi, posebno bor (B) i mangan (Mn). Od organskih gnojiva je najviše zastupljen stajnjak. Gnojidba dušikom je vrlo značajna u proizvodnji šećerne repe. Dušik je element prinosa, biljke ga usvajaju u NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i HN<sub>4</sub><sup>-</sup> obliku. Šećerna repa zahtjeva fosfor

tijekom cijele vegetacije, prvenstveno u početku kada fosfor utječe na izgradnju korijenovog sustava. Fosfor povoljno utječe na nakupljanje šećera u šećernoj repi i ubrzava njeno sazrijevanja, te poništava na taj način suvišak dušika. Kalij ima velik značaj za kvalitetu korijena šećerne repe, povisuje količinu šećera u korijenu. Šećerna repa je kaliofilna biljka, zahtjeva veliku količinu kalija u ishrani. Kalij povećava otpornost na sušu i otpornost na bolesti. Najznačajniji mikoelementi su bor (B) i mangan (Mn). Bor povećava dužinu života lišća, sudjeluje u procesima transporta i odlaganja šećera u korijenu. *Njega usjeva: zaštita od korova* suzbijanje korova obavlja se mehaničkim i kemijskim putem. Mehaničke mjere su kultivacija, okopavanje i osnovna obrada. Kemijske mjere obavljaju se primjenom herbicida. Dvije vrste korova kod šećerne repe (korovi koji niču sa šećernom repom i korovi koji niču poslije šećerne repe). *Zaštita od štetnika* Tijekom cijele vegetacije šećernu repu napada velik broj štetnika. *Zaštita od štetnika* obavlja se plodoredom i kemijskim mjerama (insekticidima). Najčešći štetnici su: buhač, repina pipa, crne repine lisne uši, lisne sovice i repina nematoda. *Zaštita od bolesti* izuzetan značaj ima zaštita od bolesti jer se pravovremenim mjerama može utjecati direktno na prinos i kvalitetu korijena šećerne repe. *Vrijeme i dubina sjetve* Vrijeme sjetve ovisi o vremenskim prilikama i stanju tla. Optimalan agrotehnički rok za sjetvu je od 10. ožujka do 5. travanja a optimalna dubina sjetve je 2-3 cm, te treba biti ujednačena. *Količina i izbor sjemena* optimalan sklop biljaka po hektaru smatra se 70.000 – 90.000 biljaka/ha. Obično se sjetva izvodi tako da međuredni razmak bude 45 – 50 cm, a razmak u redu je najčešće 15 – 17 cm. *Vađenje šećerne repe* odvija se u vrijeme tehnološke zrelosti koja se utvrđuje analizom količine šećera u korijenu i općim izgledom biljke. Preranim vađenjem smanjuje se prinos i digestija, a produženom vegetacijom povećava se prinos korijena i sadržaj šećera. Korijen šećerne repe može se deponirati na rubnim djelovnim parcele. Period vađenja kod nas pada od sredine rujna do sredine studenoga. Šećer koji dobijemo preradom šećerne repe ima veliku hranidbenu vrijednost i višestruku primjenu. (Gagro, M.,1990.) Bogat je izvor energije 1700kJ/100g te predstavlja vrlo lako probavljivu hranu. (Pospišil, 2013.)

## 2.7. Tehnološki postupak proizvodnje šećera

Tehnološki postupak proizvodnje šećera iz šećerne repe je kontinuirana, a odvija se po fazama procesa koji su međusobno povezani u tehnološku cjelinu. Pored osnovnog tehnološkog procesa proizvodnje šećera tehnologija uključuje operacije i pomoćne procese u pogonu za proizvodnju energije pomoću materijala i nusproizvoda.

Osnovne tehnološke postupke proizvodnje šećera možemo podijeliti u 7 faza:

1. *Dovoz i vaganje šećerne repe, uzimanje uzoraka*
2. *Mokri ili suhi istovar šećerne rep, pranje repe, rezanje repe na rezance*
3. *Ekstrakcija repinih rezanaca, izdvajanje soka i izluženih rezanaca*
4. *Čišćenje soka*
5. *Koncentriranje i uparivanje soka*
6. *Kristalizacija saharoze*
7. *Dorada kristalnog šećera ([www.scribd.com](http://www.scribd.com))*

## 2.8. Nusproizvodi šećerne repe

**List i glava** prilikom vađenja čine 35-65 % ukupnog prinosa. Koristi se kao kvalitetna stočna hrana zbog povoljnog odnosa bjelančevina i ugljikohidrata. Sadrži puno vode, a malo suhe tvari 13 – 15 %. U svježem stanju upotreba je ograničena na vađenje repe, a sušenje je skupo. Treba silirati u kombinaciji s repinim rezancima i slamom. (Antunović, 2009.)

**Melasa** je ostatak sirupa iz kojeg se ne može iskristalizirati šećer, tako da je sadržaj šećera vrlo visok 42 – 46 %. Koristi se kao stočna hrana, za proizvodnju etilnog alkohola, proizvodnji kvasca, penicilina, limunske i glutaminske kiseline. (Antunović, 2009.)

**Kreč ili saturacijski** mulj služi za popravljavanje pH vrijednosti kiselih tala. Nizak postotak suhe tvari 45 – 50 %, neprikladan za transport na veće udaljenosti ( do 12 km ) osim ako se ne ispreša -> KARBOKALK (70 % suhe tvari , 30 % CaO, N, Mg, P, Ca). (Antunović, 2009.)

**Repini rezanci** predstavljaju količinski značajan sporedni proizvod proizvodnje šećera. Od 1000 kilograma repe dobije se oko 625 kilograma svježih rezanaca sa oko 8 % suhe tvari.

Sirovi rezanac se dalje podvrgava prešanju, pa se suši ili isporučuje farmama kao sirovi rezanac. Repin rezanac se koristi u ishrani stoke kao mokri (suha tvar niska 8 – 10%, velika količina vode, nepogodni za transport), suhi (prešani, suha tvar 88% , vlaga 12 % pogodni za transport, lako se prodaju, izvoze se iz RH) i rjeđe kao melasni (prije sušenja se preliju melasom, energetska vrijednost je veća te sadrže 20 % šećera). Rezanac šećerne repe je energetsko hranjiv sa visokim koeficijentom probavljivosti. Odmah poslije proizvodnje rezanci se mogu kratko koristiti u svježem stanju, jer se brzo kvare, pljesnive i trunu. Zahvaljujući dvokratnom prešanju sirovih repinih rezanaca u suvremenim pogonima dobivaju se rezanci sa 20 % ili više suhe tvari što je bolje za siliranje i dobivanje kvalitetnije silaže. Odmah nakon prešanja temperatura rezanaca je 50 do 60 °C, a u silosima se dnevno ova temperatura snižava za 0,5 do 1,5 °C. ([www.poljosfera.rs](http://www.poljosfera.rs))

## **2.9. Potencijal šećerne repe za proizvodnju bioplina**

Šećerna repa kao supstratna podloga za biopliniska postrojenja do sada je bila podcijenjena, Sve se više smatra supstratom za proizvodnju bioplina zbog prednosti visokog prinosa biomase i dobre fermentiranosti. Kemijski sastav šećerne repe i njezino ponašanje pri raspadanju značajno se razlikuju od ostalih biljnih proizvoda. Suha tvar šećerne repe sastoji se otprilike od 94% direktno fermentiranih ugljikohidrata, šećer je u tom obliku vrlo učinkovit za pohranu energije. Presudna je ovdje brza pretvorba natrag u energiju. Također preostali biljni supstrat tzv. srž je vrlo dobro za fermentaciju. Može se brzo provesti u biopliniska postrojenja budući da ne sadrži lignocelulozu (ili drvenu tvar). Nedostatak je njihov ograničeni vijek trajanja i rezultirajuća potreba da se konzerviraju kao silaža ako će se koristiti tijekom cijele godine. Pri siliranju šećerne repe, kao i kod ostalih vrsta biljne biomase, moraju se očekivati gubici organske tvari. Za korištenje svježe ubrane ili uskladištene šećerne repe potrebno je da repa bude usitnjena. Veličina isječene repe također ima utjecaj na pretvorbu, ovdje vrijedi pravilo: Što veći komadi, treba duže vremena za pretvorbu repe. Manji komadi se pretvaraju brže, ali vrlo brzo mijenjaju kiselinsku strukturu u bioreaktoru ([www.kws.de](http://www.kws.de))

U istraživanjima Državnog zavoda za poljoprivredu Bavarske (LfL Bayern) pokazuje se da je šećerna repa najveći nositelj metana po kg/suhe organske tvari te zbog toga pokazuje veliku konkurentnost naspram ostalih biopliniskih supstrat koji u ovom trenutku dominiraju u bioenergetici.

<i>Supstrat</i>	<i>Prinos t/ ha</i>	<i>m<sup>3</sup>/t oST metana</i>	<i>m<sup>3</sup>/ ha metana</i>	<i>kWh/ha Brutto</i>	<i>kWh/ha Netto</i>	<i>Relativni</i>
<i>Žitarica</i>	8	426	2.749	26.669	9.601	50%
<i>Kukuruz</i>	60	325	5.496	53.307	19.191	100%
<i>Šećerna repa</i>	70	442	6.757	65.539	23.594	123%
<i>List repe</i>	42	324	1.306	12.672	4.562	24%
<i>Repa + list</i>	112	417	8.063	78210	28.156	147%

Tablica 2.: Prinos bioplina po ha kod različitih kultura

Izvor: [www.kws.de](http://www.kws.de)

Jedan pogled na efikasnost po ha pokazuje razliku između repe i lista. Učinkovitost i prednosti u energetsom prinosu po hektaru kreće između plus 20% i 30% iznad kukuruzne silaže na bazi žetve repe bez lista ovisno o načinu i lokaciji. Prema istraživanja Starke P. i Hoffmann C. M. (2011.) pokazuju da repa proizvodi 735 do 760 litara bioplina po kilogramu suhe organske tvari, list repe od 665 do 700 litara plina po kilogramu suhe organske tvari. To rezultira prinos volumena plina od 18.000 Sm<sup>3</sup> po hektaru, odnosno glava plus lišće od 20.000 do 22.800 Sm<sup>3</sup> po hektaru. Tako šećerna repa predstavlja konkurentan supstrat u usporedbi s drugim energetske usjevima. Ako će se šećerna repa isključivo uzgajati za proizvodnju bioplina, moguće je prilagoditi proizvodnju kako bi se njena potencijalna dobit mogla iskoristi. Za razliku od proizvodnje šećera gdje imamo melasotvorne elemente (kalij, natrij i amino-N tvari) u proizvodnji metana na bioplinskim postrojenjima nemamo nikakav negativan efekt jer ovdje samo gleda suha tvar/ha iz žetve. ([www.kws.de](http://www.kws.de) )



### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Uzorkovanje

Uzorak goveđe gnojovke korišten za istraživanju uzet je s farme muznih krava Mala Branjevina d.o.o, Vuka Na farmi koja je kompletno rekonstruirana i modernizirana 2008 godine smješteno je 900 muznih krava pasmine Holstein.



Slika 5.: Farma muznih krava Mala Branjevina d.o.o.

Izvor: [www.zito.hr](http://www.zito.hr)

Uzorak je uzet iz prijemne jame prije separatora i kao takav korišten je kao kontrolna skupina i dio eksperimentalne skupine uzoraka

Uzorak silirano repinog rezanca korišten kao supstrat uzet je sa farme muznih krava Mala Branjevina.

#### 3.2. Metoda anaerobne fermentacije

Za proizvodnju bioplina koristile su se 4 skupine uzoraka:

- a) svježa goveđa gnojovka 500 g (100%) - kontrola skupina KM pri mezofilnim uvjetima (37°C)
- b) svježa goveđa gnojovka 500 g (100%) - kontrola skupina KT pri termofilnim uvjetima (55°C)

c) smjesa 475 g (95% ukupne biomase) svježe goveđe gnojovke + 25 g siliranog repinog rezanca (5% ukupne biomase) pri mezofilnim uvjetima (37°C) - eksperimentalna skupina SRRM

d) smjesa 475 g (95% ukupne biomase) svježe goveđe gnojovke + 25 g siliranog repinog rezanca (5% ukupne biomase) pri termofilnim uvjetima (55°C) - eksperimentalna skupina SRRT

Objekti kontrole (KM i KT) postavljene su u 4 ponavljanja kao i eksperimentalne skupine (SRRM i SRRT).

Anaerobna fermentacija odvijala se u diskontinuiranim bioreaktorima volumena 1,0 litara pri termofilnim uvjetima (55°C) u kupelji 1 tijekom 62 dana (KT i SRRT) i pri mezofilnim uvjetima u kupelji 2 tijekom 62 dana. Količina plina se svakodnevno pratila, a proizvedeni bioplin sakupljan je kroz prezasićenu otopinu NaCl u staklane posude volumena 720 mL spojenim na bioreaktore silikonskim cjevčicama.

### **3.3. Analiza sastava bioplina**

Sastav uzorka bioplina i to udio metana (CH<sub>4</sub>), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i dušika (N), analiziran je pomoću plinskog kromatografa Varian 3900 opremljen TCD detektorom prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974-4:2000. Temperatura injektora bila je 150°C, Temperatura detektora 150°C, Temperatura kolone 90°C. Tip kolone: 10x1/8" od nehrđajućeg čelika (Restek SN: C14030) za analizu metana, dušika, ugljičnog dioksida, a plin nositelj je helij s protokom kroz kolonu 1 mL/min.

### **3.4. Određivanje pH**

Određivanje pH vrijednosti u uzorcima obavljeno je pH metrom Mettler Toledo FiveEasy

### **3.5. Analiza suhe tvari**

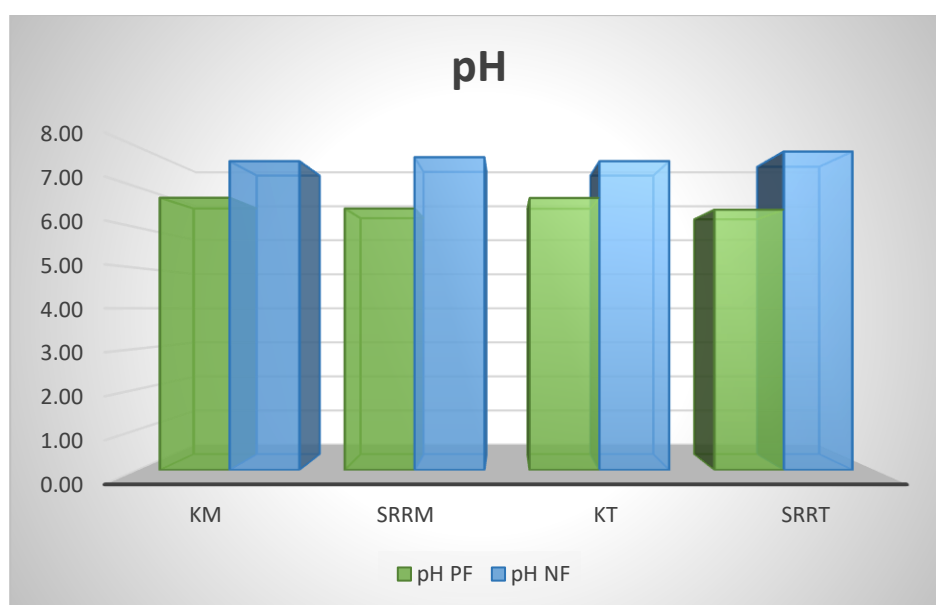
Suha tvar u uzorcima utvrđena je sušenjem 100 g svježe tvari uzorka u sušioniku, na 75°C kroz 24 sata, zatim dodatna 3 sata na temperaturi od 105°C do konstantne mase (Thompson, 2001.). Udio ukupne suhe tvari u uzorku izračunata je prema jednadžbi:

Ukupna suha tvar (%) = [ neto suha tvar (g) ÷ neto svježi uzorak (g) ] × 100

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

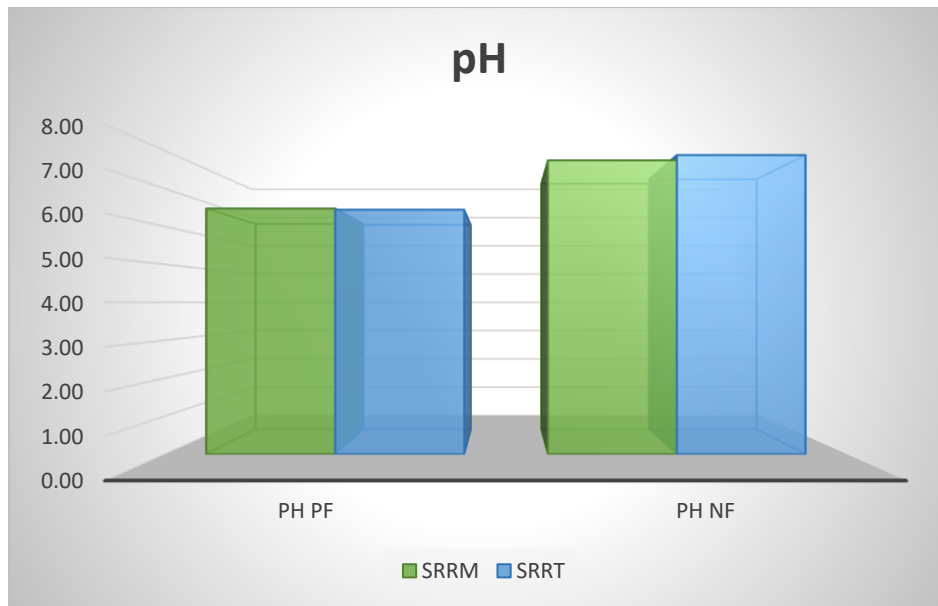
### 4.1. pH vrijednost

Početna vrijednost pH (prije fermentacije) u kontrolnoj skupini pri mezofilnim uvjetima (KM) iznosila je 6,74, a pri termofilnim uvjetima (KT) 6,73 a u eksperimentalnoj skupini 6,47 pri mezofilnim uvjetima (SRRM) a 6,44 pri termofilnim uvjetima (SRRT). Nakon fermentacije pH vrijednost KM porasla je na 7,64, KT na 7,74, u eksperimentalnim uzorcima SRRM na 7,74 i SRRT na 7,88.



Grafikon 1. Prosječne vrijednosti pH u kontrolnoj skupini (K) i eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca

Usporedba pH eksperimentalnih uzoraka (SRRM/SRRT) pokazuje da je kod prosječnog početnog pH od 4,46 pH nakon fermentacije bio niži u skupini SRRM vrijednosti 7,74 u odnosu na pH vrijednost SRRT 7,88 pH.

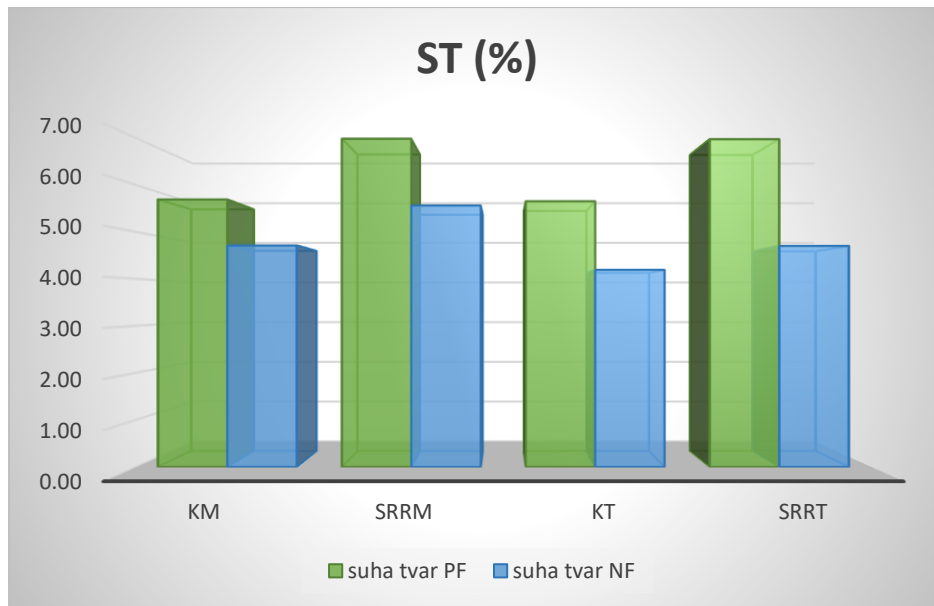


Grafikon 2. Usporedba prosječne vrijednosti pH u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca

#### 4.2. Udio suhe tvari

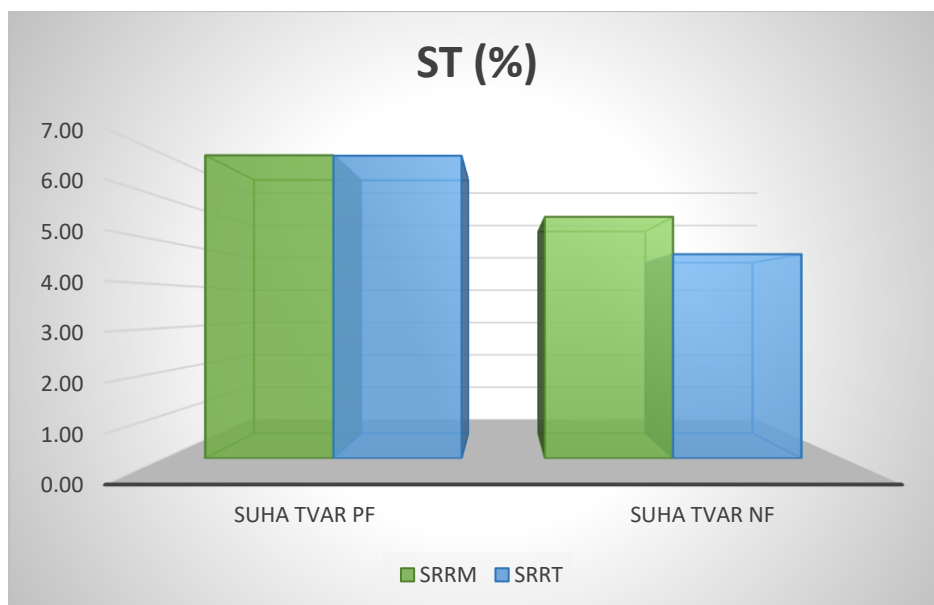
Udio suhe tvari u uzorcima kontrolne skupine KM i KT prije fermentacije je jednak i iznosi 5,69/5,65 što se podrazumijeva s obzirom da je za fermentaciju korištena jedna kontrolna skupina pri različitoj temperaturi. Udio suhe tvari u eksperimentalnim uzorcima (SRRM i SRRT) prije fermentacije je također identičan iz istog razloga kao i kod kontrolne skupine i iznosi 6,98/6,97.

Nakon fermentaciju dio suhe tvari smanjio se kod kontrolne skupine KM na 4,71 a kod kontrolne skupine KT na 4,19. Kod eksperimentalnih skupina udio suhe tvari nakon fermentacije iznosio je za SRRM 5,56 i za SRRT 4,70.



Grafikon 3. Prosječne vrijednosti suhe tvari (ST) u % u kontrolnoj skupini (KM, KT) i eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca (SRRM i SRRT)

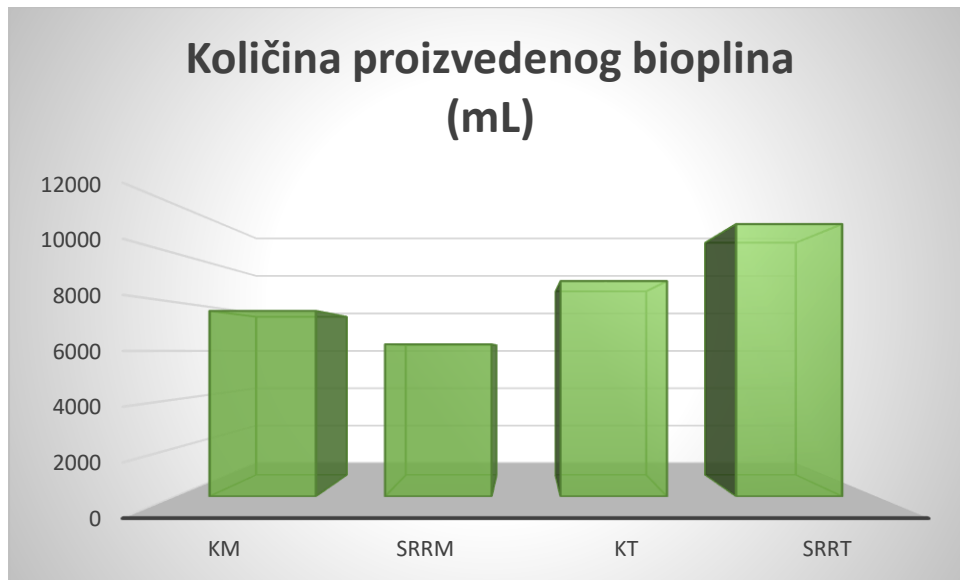
Usporedba suhe tvari (%) eksperimentalnih uzoraka(SRRM/SRRT) pokazuje da je kod prosječne početne vrijednosti ST(%) od 6,98 ST(%) nakon fermentacije bila manja u skupini niži u skupini SRRT vrijednosti 4,70 u odnosu na vrijednost ST(%) u SRRM koja je iznosila 5,56.



Grafikon 4. Usporedba prosječne vrijednosti suhe tvari u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca

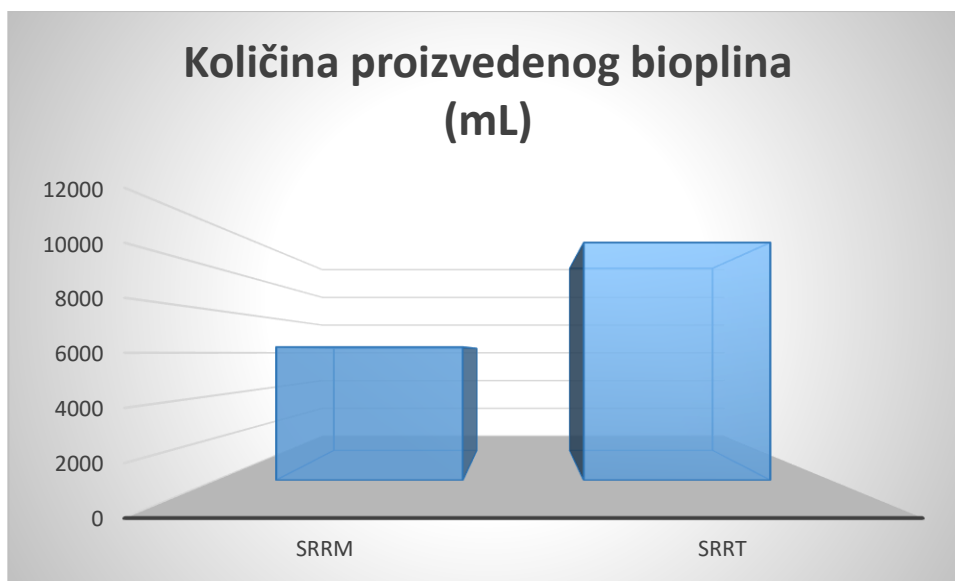
### 4.3 Količina proizvedenog bioplina

Ukupna prosječna količina bioplina proizvedena tijekom 62 dana fermentacije u kontrolnim skupinama iznosila je za KM 7640 ml, za KT 8862,5 ml, za eksperimentalne skupine SRRM 6273 mL i za SRRT 11195 ml.



Grafikon 5. Ukupna količina proizvedenog bioplina (ml) u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama

Usporedba prosječne ukupne količine proizvedenog bioplina (%) eksperimentalnih uzoraka (SRRM/SRRT) pokazuje veliku razliku u količini proizvedenog bioplina. Naime eksperimentalna skupina SRRT proizvela je 44% više bioplina od eksperimentalne skupine SRRM



Grafikon 6. Usporedba ukupne prosječne vrijednosti količine proizvedenog bioplina u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca

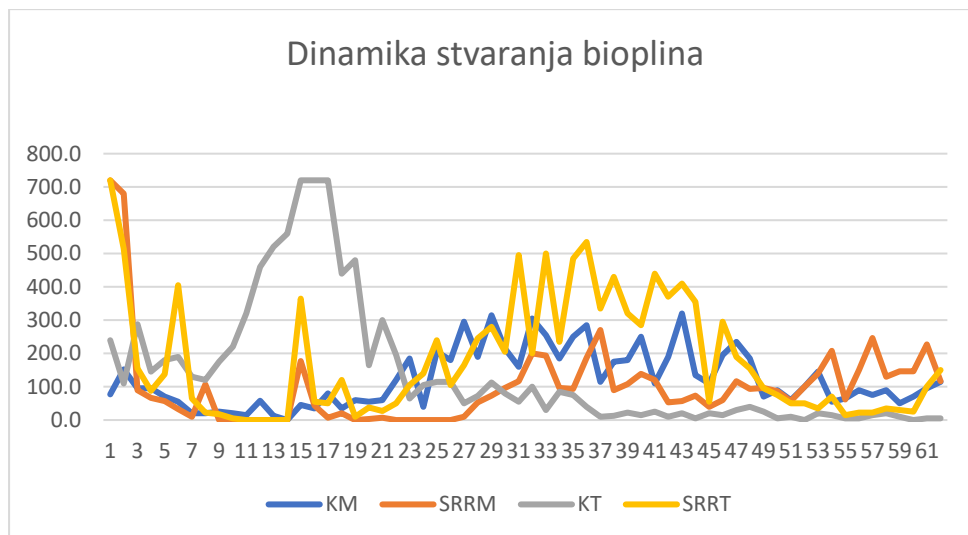
#### 4.4. Dinamika stvaranja bioplina

Proizvodnja bioplina praćena je kroz period od 62 dana. Kontrolna mezofilna (KM) je u prvih 7 dana prosječno stvarala oko 100 ml bioplina da bi zatim smanjila proizvodnja. Naime zbog kvara na instalacijama, vodena kupelj u kojoj su se nalazili uzorci pri mezofilnoj temperaturi morala se ugasi i što je rezultiralo padom temperature i prestankom idealnih uvjeta za metanogene bakterije. Nakon ukljućenja kupelji uzorcima (kontrolne i eksperimentalne) bilo je potrebno neko vrijeme za oporavak što je vidljivo na grafikonu. Proizvodnja se povećala nakon 21 dana i KM je u prosjeku proizvodila oko 250 mL plina/dan. Ova dinamika proizvodnje zadržala se do 48 dana kada počinje opadati i taj trend zadržava do kraja.

Eksperimentalni uzorak siliranog repinog rezanca pri mezofilnim uvjetima (SRRM) pokazuje tendenciju rasta u stvaranju bioplina do 7 dana (oko 100 mL) a zatim naglo opada zbog gore navedenih razloga (kao i KM). Oko 27 dana proizvodnja raste na prosječno 150 mL/dan do 40tog dana kada počinje opadati. Do povećanja proizvodnje dolazi opet kod 52 dana i prosječna proizvodnja od ukupno 150 mL ostaje do kraja procesa fermentacije (62 dan)

Dinamika stvaranja bioplina kod Kontrolne termofilne (KT) od početka procesa pokazuje stabilan rast i ujednačenu proizvodnju prvih 7 dana oko 150 ml da bi oko 8 dana počela rasti i dosegla maksimalnu proizvodnju od 720 mL/dan između 14-18 dana a zatim proizvodnja opada do 25tog dana na prosječno 100mL/dan da bi oko 35 dana počela opadati i taj trend zadržala do kraja procesa fermentacije.

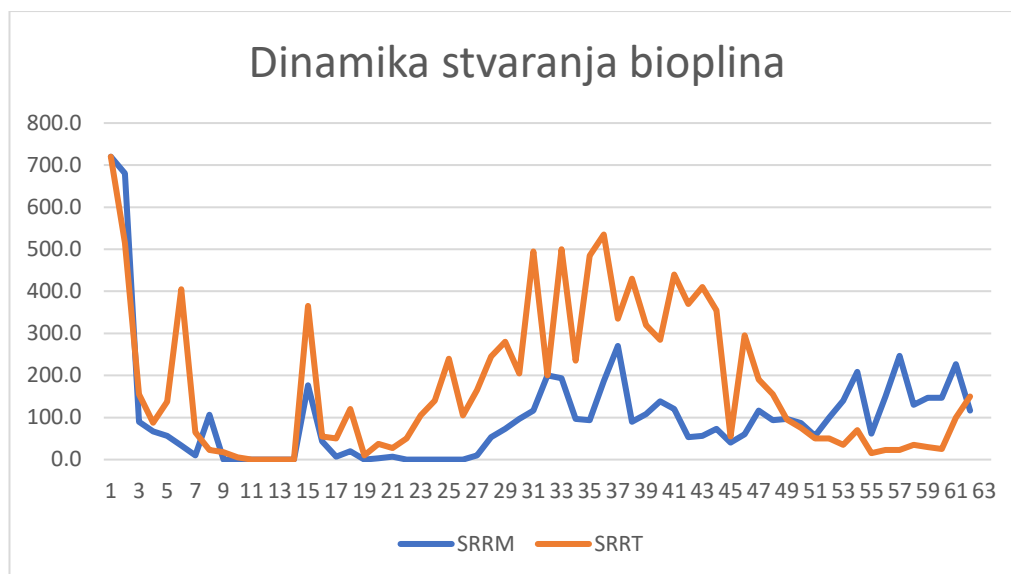
Eksperimentalna skupina siliranog repinog rezanca pri termofilnim uvjetima (SRRT) pokazuje tendenciju rasta i dostiže prosječnu dnevnu proizvodnju oko 7 dana u prosjeku 400mL/dan da bi zatim naglo pala do 14tog dana kada opet počinje proizvodnja uz određene oscilacije (19-21 dan) kad započinje sa rastom i maksimalna proizvodnja od 500mL 7dan manje oscilacije zadržava se do 37 dana kada počinje opadati do 49 dan i taj trend zadržava do kraja procesa.



Grafikon 7. Dinamika proizvodnje bioplina (mL/dan) u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama

Usporedbom dinamike stvaranja bioplina kod eksperimentalnih uzoraka SRRM i SRRT uočava se brže stvaranje veće količine plina kod SRRT nego kod SRRM. Obje eksperimentalne skupine pokazuju pad proizvodnje oko 8 dana da bi se količina stvorenog bioplina povećala oko 15 dana i kod SRRT nastavila tendenciju rasta do 52 dana dok je kod SRRM nema rasta do 27 dana a zatim je proizvodnja bioplina uz manje oscilacije ujednačena.

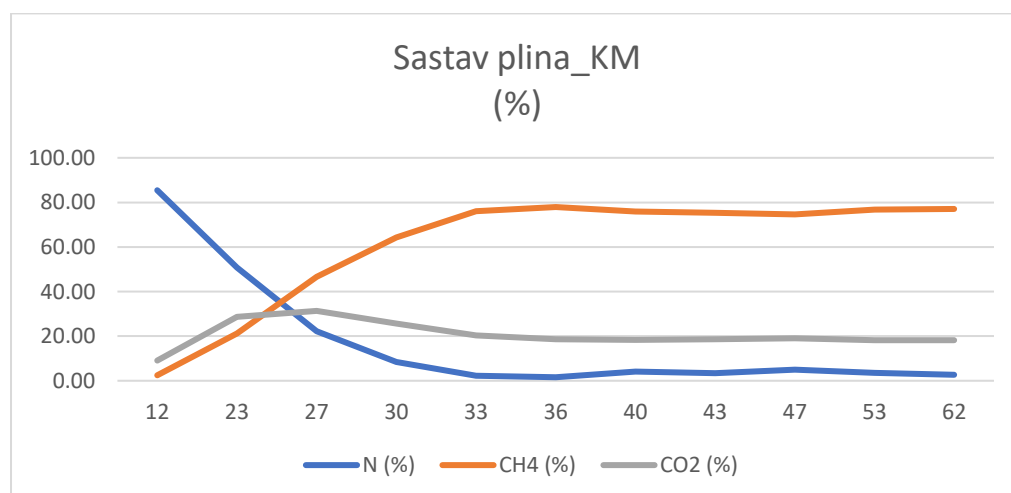




Grafikon 8. Usporedba ukupne prosječne vrijednosti dinamike proizvodnje bioplina (mL/dan) u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca

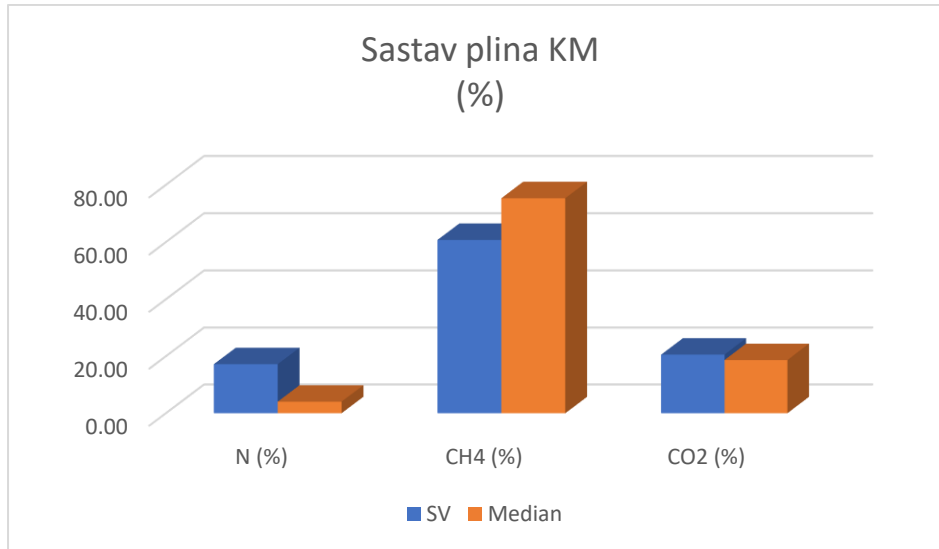
#### 4.5. Sastav plina

U kontrolnoj grupi KM na početku procesa koncentracija metana ( $\text{CH}_4$ ) iznosi 2,46 i kontinuirano raste. Oko 30tog dna koncentracija iznosi 64,2% i zatim raste na prosječno 76 % i do kraja procesa zadržava približnu vrijednost. Koncentracija dušika ( $\text{N}_2$ ) iznosi 85,45 % i zatim pada do 30 dna na koncentraciju od oko 2% i ostaje na toj vrijednosti do kraja procesa, Koncentracija ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) na početku procesa iznosi 9,07% i raste do 30tog dana na vrijednost 31,30%. Nakon toga pada i oko 36tog dana do kraja procesa zadržava prosječnu vrijednost oko 19%.



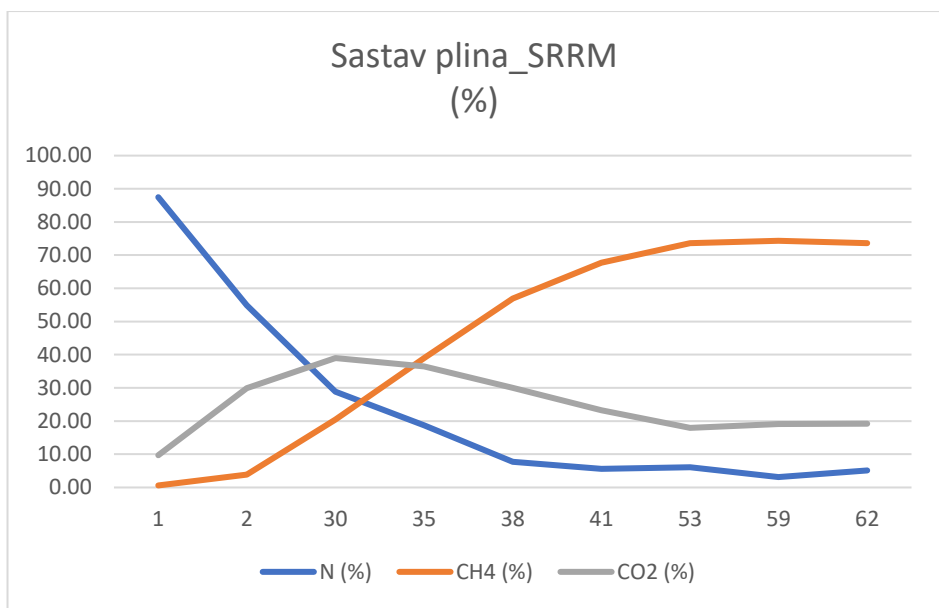
Grafikon 9. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u kontrolnoj skupini KM

Prosječni sastav bioplina u KM iznosi 60,74% metana 17,20% dušika i 20,57% ugljičnog dioksida. Izračunate vrijednosti mediana iznosi 75,33 % metana 4,06% dušika i 18,67% ugljičnog dioksida.



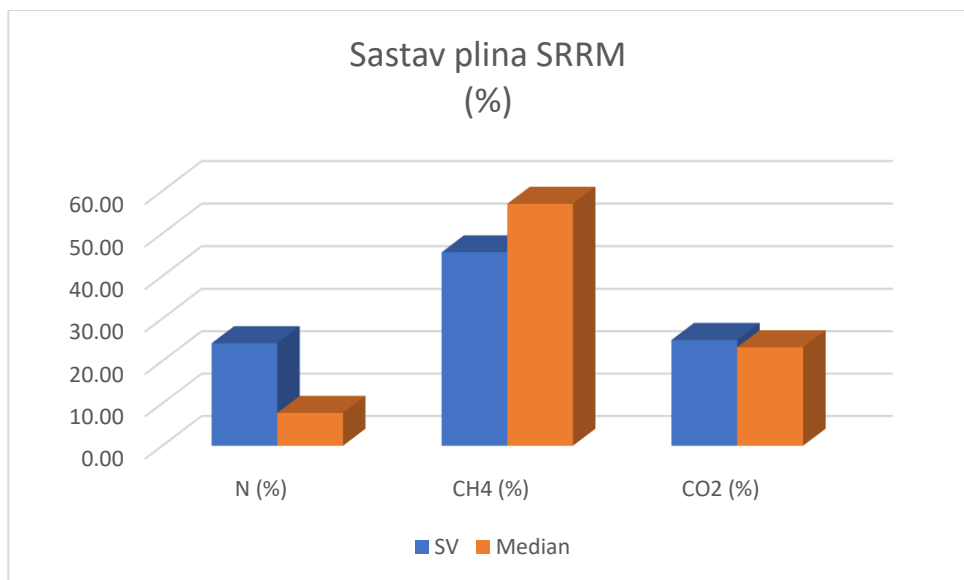
Grafikon 10. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod KM

U eksperimentalnoj grupi SRRM na početku procesa koncentracija metana (CH<sub>4</sub>) iznosi 0,61 i kontinuirano raste. Oko 38tog dna koncentracija iznosi 56,97% i zatim raste na prosječno 74 % i do kraja procesa zadržava približnu vrijednost. Koncentracija dušika (N<sub>2</sub>) iznosi 85,45 % i zatim pada do 38 dana na koncentraciju 7,75 %, opada do kraja procesa na koncentraciju oko 5%, Koncentracija ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) na početku procesa iznosi 9,71% i raste do 35tog dana na vrijednost 36,52%. Nakon toga pada i oko 38tog dana do kraja procesa zadržava prosječnu vrijednost oko 19%.



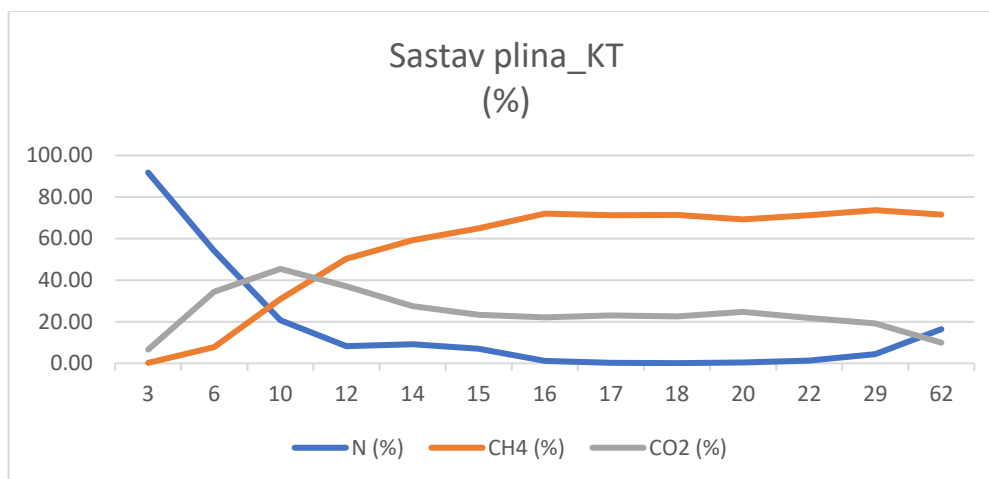
Grafiko 11. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj skupini SRRM

Prosječni sastav bioplina u SRRM iznosi 45,57% metana 24,19 %dušika i 24,96% ugljičnog dioksida. Izračunata vrijednosti mediana iznosi 56,97% metana 7,75% dušika i 23,24% ugljičnog dioksida.



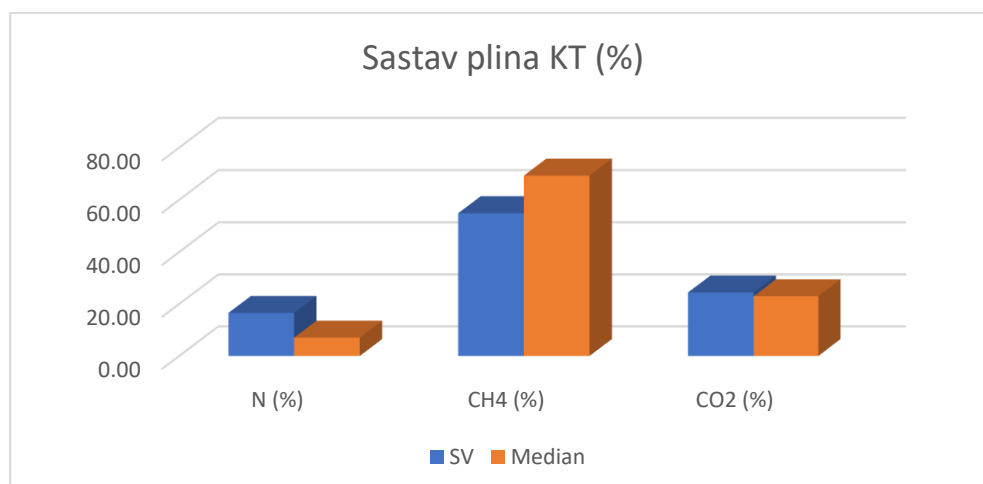
Grafiko12. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod SRRM

U kontrolnoj grupi KT na početku procesa koncentracija metana (CH<sub>4</sub>) iznosi 0,23 i kontinuirano raste. Oko 15. tog dana koncentracija iznosi 64,95% i zatim raste na prosječno 71% i do kraja procesa zadržava približnu vrijednost. Koncentracija dušika (N<sub>2</sub>) iznosi 91,76% i zatim pada do 17. tog dana na koncentraciju od 0,25% do 29. dana kad raste na 4,44% i do kraja na koncentraciju od 16,42%. Koncentracija ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) na početku procesa iznosi 6,61% i raste do 12. tog dana na vrijednost 37,11%. Nakon toga pada i od 15. dana do kraja procesa zadržava prosječnu vrijednost oko 22%.



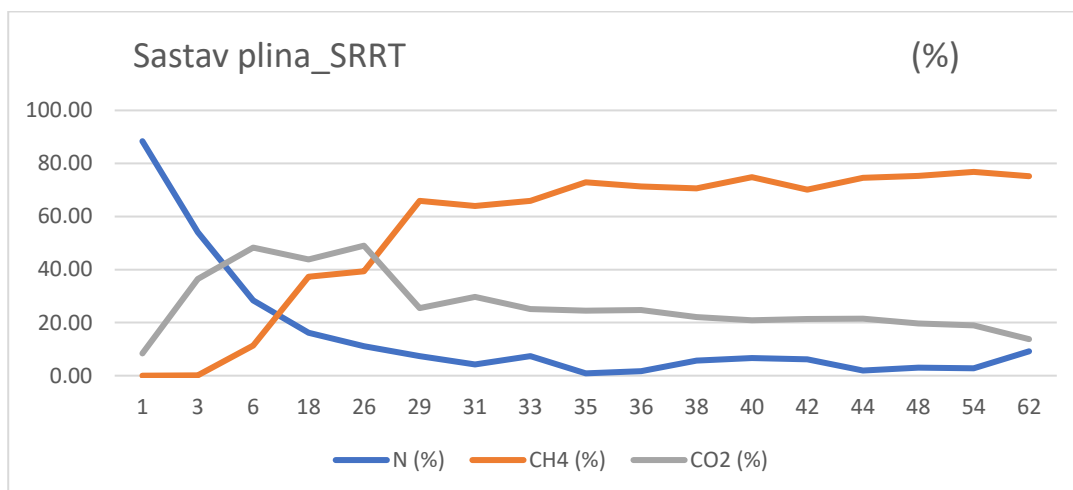
Grafiko 13. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u kontrolnoj skupini KT

Prosječni sastav bioplina u KT iznosi 54,89% metana 16,56% dušika i 24,43% ugljičnog dioksida. Izračunata vrijednosti mediana iznosi 69,28% metana 7,04% dušika i 22,98% ugljičnog dioksida.



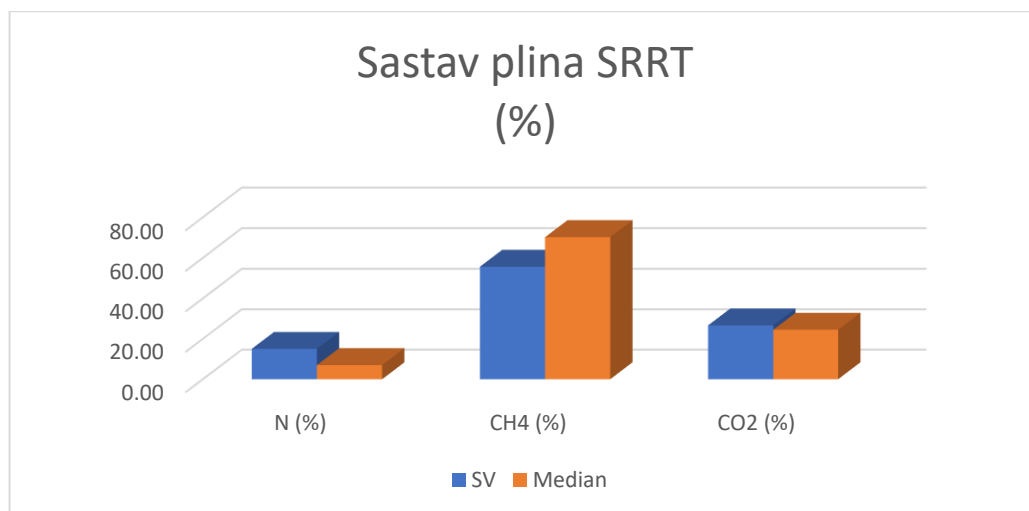
Grafikon 14. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod KT

U eksperimentalnoj grupi SRRT na početku procesa koncentracija metana ( $\text{CH}_4$ ) iznosi 0,0% i kontinuirano raste. Oko 29tog dna koncentracija iznosi 65,92% i zatim raste na prosječno 74 % i do kraja procesa zadržava približnu vrijednost. Koncentracija dušika ( $\text{N}_2$ ) iznosi 88,40 % i zatim pada do 35tog dana na koncentraciju od 0,8% i varira u koncentraciji do kraj procesa kada je vrijednost porasla na 9,18%.. Koncentracija ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) na početku procesa iznosi 8,38% i raste do 260tog dana na vrijednost 49,00%. Nakon toga pada i oko 29tog dana ido kraja procesa zadržava prosječnu vrijednost oko 24%.



Grafikon 15. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj skupini SRRT

Prosječni sastav bioplina u SRRT iznosi 55,62% metana 15,00% dušika i 26,68% ugljičnog dioksida. Izračunata vrijednosti mediana iznosi 70,18 % metana 6,99% dušika i 24,50% ugljičnog dioksida.



Grafikon 16. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod SRRT

## 5. RASPRAVA

Za proizvodnju bioplina koriste se sirovine kao što su stajski gnoj i gnojovka različitih podrijetla energetski usjevi (šećerna repa, uljana repica, kukuruz), ostatci iz poljoprivredne i prehrambene industrije, drvne industrije. Tijekom istraživanja koristili smo silirani repin rezanac kao sirovinu za proizvodnju bioplina. Temeljem prikupljenih podataka vidljivo je da repin rezanac ima veliki potencijal za proizvodnju bioplina. Ali u usporedbi sa kukuruznom silažom možemo primijetiti da je prinos bioplina znato manji. Šećerna repa je industrijska biljka koja se uzgaja za proizvodnju šećera, zbog visoke koncentracije saharoze. Iz njenog korijena potječe 16% svjetske proizvodnje šećera ([www.agroklub.com](http://www.agroklub.com)) Najveći proizvođači šećerne repe u svijetu su Francuska sa 375.760 ha, Rusija 884.990 ha i Njemačka 376.039 ha. Iza Europe slijedi Azija, SAD i Afrika koje uzgajaju manje od 400.000 ha. (Pospišil, 2013.) Površine pod šećernom repom u Hrvatskoj iznosile su u 2012. godine 23 501 ha uz prosječan prinos 39,1 t/ha (Prema priopćenju Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske 2012.). Šećerna repa predstavlja našu najprofitabilniju poljoprivredno-prehrambenu industriju, a šećer kao glavni izvozni proizvod u ukupnom izvozu hrane. Dnevni kapacitet prerade tri hrvatske šećerane iznosi oko 20.400 t šećerne repe ([www.bib.irb.hr](http://www.bib.irb.hr)). Šećerna repa je energetski bogata sirovina koja se koristi za proizvodnju šećera, ali tijekom proizvodnje šećera pojavljuju se nusproizvodi (lišće sa glavama, repini rezanci, melasa i saturacioni mulj) koji su također energetski bogati te se mogu iskoristiti za proizvodnju energije.

Svaki projekt proizvodnje bioplina mora dokazati gospodarsku isplativost u odnosu na druge koncepte iskorištavanja istih sirovina zato što je upotreba poljoprivrednih sirovina za proizvodnju bioplina u izravnoj konkurenciji s proizvodnjom hrane i namirnica, te je potrebno naći sirovinu za proizvodnju bioplina koja je ekonomski isplativa i ne utječe na cijenu prehrane ljudi.

Nusproizvodi šećerne repe koji su zanimljivi za proizvodnju energije su repin rezanac i šećerna melasa. Pema Hutnanu i suradnicima, prosječni sastav repinog rezanaca je 22-30% celuloze, 24,32 % hemiceluloze, 24-32 % pektina i 3-4% lignina, te su zbog svog sastava izuzetno pogodni za biološku razgradnju odnosno kao sirovina za biotehničku proizvodnju. Repin rezanac kao nusproizvod u industriji šećerne repe proizvodi se godišnje u velikim količinama, u Europi se preradi godišnje  $10^8$  tona repe (Hutnan i sur., 2000.) Repin rezanac se u praksi najvećim dijelom prešaju i suše ili se briketiraju i prodaju na tržištu kao stočna

hrana, a u nekim zemljama se baca na odlagališta smeća. Preradom jedne tone šećerne repe dobije se oko 250 kg iscijeđenih prešanih repinih rezanaca sa sadržajem vode od oko 75-80%, te od iste količine možemo dobiti oko 70 kg suhih repinih rezanaca sa oko 10 % vode. (Hutnan i sur., 2000.) Šećerna melasa se koristi kao sirovina za proizvodnju alkohola i kvasca i kao takva ima svoju tržišnu vrijednost. Silirani repin reznac kao sirovina za proizvodnju bioplina ima veliku prednost jer prilikom siliranja, saharoza iz šećerne repe se nakon niza kemijskih reakcija pretvori u alkohol etanol, na ovaj način se znatno povećava prinos metana kao energetska vrijednost za bioplin. ([www.landtechnik-online.eu](http://www.landtechnik-online.eu)) Također jedna od prednosti je ako se nusproizvodi proizvodnje šećera iskoriste za proizvodnju energije potrebne za proizvodnju šećera, na taj način se zatvara energetski ciklus unutar tvornice i smanjuje se ovisnost tvornice šećera o uvjetima na tržištu plina i električne energije (Z.Šutalo, 2017.).

Najveću proizvodnju bioplina tijekom 62 dana imala je kontrolna skupina 4 KT4 (17,725.00 ml), dok je najveću količinu bioplina dala eksperimentalna skupina 4 SRRT (11580,00 ml). Ukupna prosječna vrijednost proizvedenog bioplina u kontrolnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (KT) 8421,75 ml/500 ml, dok u eksperimentalnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (SRRT) 11195 ml/500. Prinos bioplina u odnosu na kontrolnu grupu KT bolji su kod skupine sa dodatkom siliranog repinog rezanca.

Ukupna prosječna vrijednost proizvedenog bioplina u kontrolnim skupinama pri mezofilnim uvjetima iznosi (KM) 7640,00 ml/500, dok u eksperimentalnim skupinama pri mezofilnim uvjetima iznosi (SRRM) 6273,00 ml/500. Eksperimentalni uzorak (SRRM) ostvaruje slabije prinose bioplina u odnosu na kontrolnu grupu. Očekivan je veći prinos ali je proizvedena manja količina bioplina. Razlozi mogu biti višestruki, jedan od mnogih razloga je veće organsko opterećenje u eksperimentalnoj skupini što može izazvati inhibiciju procesa. U grafikona 7. prikazana je dinamika proizvodnje bioplina ali je vidljivo da od 17-tog dana prestaje proizvodnja bioplina i u eksperimentalnoj grupi sve do 27 dana, dok je kod kontrolne grupe proces proizvodnje od 11 dana sve do 62 dana fermentaciji. Proizvodnja bioplina bolje se odvijala u termofilnim uvjetima nego u mezofilnim uvjetima. Eksperimentalna skupina SRRT proizvela je 44% više bioplina od eksperimentalne skupine SRRM. Eksperimentalne skupine u termofilnim uvjetima proizvele su više bioplina nego kontrolne skupine. Mihić i sur. (2011.) navode da se dodatkom 5% pšenične silaže u govedu gnojovku, u eksperimentalnim skupinama u termofilnim uvjetima povećava proizvodnja bioplina za 38,6 %. Usporedbom dinamike stvaranja bioplina vidljivo je i kod kontrolnih i



eksperimentalnih grupa kako su procesi stvaranja bioplina dinamičniji pri termofilnim uvjetima ili višim temperaturama.

Bioplin sadrži 55- 75 % metana ( $\text{CH}_4$ ), 25-45% ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), 0-2 % dušika ( $\text{N}_2$ ), 0-1 % vodika ( $\text{H}_2$ ), 0-1% sumporovodika  $\text{H}_2\text{S}$ , 0-0,5 % kisika ( $\text{O}_2$ ), 0-2 % Vodene pare  $\text{H}_2\text{O}$ , 0-2 % amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) (Đulabić, 1986.). Sastav i osobine bioplina ovise o vrsti materijala i tehnološkim uvjetima pri anaerobnoj razgradnji, te zbog toga variraju. Sastav bioplina u svim skupinama prilično je ujednačen. Prosječna koncentracija metana u eksperimentalnim skupinama u termofilnim uvjetima bila je 54,89 %, dok je u mezofilnim uvjetima bila 60,75 %. Koncentracija metana u kontrolnim skupinama u termofilnim uvjetima i mezofilnim uvjetima bila je u prosjeku 55,62% i 45,57 %. U eksperimentalnim skupinama pri termofilnim i mezofilnim uvjetima prosječna koncentracija ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iznosi 26,68 % odnosno 24,96 %.

Kukuruzne silaže koja je najzastupljenija hrana za životinje svakog proizvođača u stočarstvu najviše u proizvodnji mlijeka i mesa. Kukuruzna silaža se također koristi i u velikom postotku za proizvodnju bioplina. Redovito je tražena voluminozna krma koju je gotovo nemoguće nabaviti na tržištu zbog velikih suša posljednjih godina. Kad pogledamo gore navedene razloge vidimo da cijena kukuruzne silaže značajno varira, te utječe na troškove proizvodnje bioplina i na cijenu hrane.

Prinos kukuruza i šećerne repe ovisi o brojnim čimbenicima kao na primjer vremenskim uvjetima za vrijeme vegetacije, vrsti hibrida, agrotehnici, itd. Prosječni prinos šećerne repe kreće se 39,1 t/ha a kukuruza od 7-10 t/ha. Cijena kukuruzne silaže po toni iznosi u prosijeku oko 207,20 kn a cijena repinog rezanca u prosijeku oko 150 kn/t.

U ovom istraživanju smo utvrdili potencijal siliranog repinog rezanca za proizvodnju bioplina. Ako se promatra energetska vrijednost proizvedenog bioplina može se utvrditi da od jednog  $1 \text{ m}^3$  bioplina dobijemo prosječno 6,4 kWh energije, a od toga se dobije 2 kWh električne energije i 2,8 kWh toplinske energije. Iz jedne tone repinog rezanca prema našim istraživanjima dobijemo  $110,93 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  bioplina odnosno 221,86 kWh električne energije. Otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu iz bioplinskih postrojenja za 2011. god. iznosi 1,36 kn za 1 KW. Prema tome ako iz jedne tone repinog rezanca dobijemo 221,86 kWh električne energije i u obzir uzmemo otkupnu cijenu za električnu energiju od 1,36 kn dobiti ćemo od proizvodnje bioplina u prosijeku oko 301,73kn/t repinog rezanca. Znamo da je cijena repinog rezanca po toni u prosijeku oko 150 kn po toni a iz bioplina imamo 301,73

kn, razlika je 150,73 kn. Što znači da ćemo po jednoj toni (t) repinog rezanca imati dobit od 150,73 kn. Na osnovu navedenih razloga možemo reći da korištenje repinog rezanca u proizvodnji bioplina je ekonomski isplativo.

Prinos bioplina kukuruzne silaže je u prosijeku  $202 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  a iz repinog rezanca  $110,93 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  što kukuruznu silažu čini boljom sirovinom za proizvodnju bioplina. Iz kukuruzne silaže možemo dobiti 404 kWh električne energije, ako uzmemo u obzir otkupnu cijenu za električnu energiju koja iznosi 1,36 kn, dobiti ćemo od proizvodnje bioplina u prosijeku 549,44 kn. Ako od toga oduzmemo cijenu kukuruzne silaže po toni, odnosno 207,20 kn iz jedne tone kukuruzne silaže imati ćemo prosječnu dobit od 342,24 kn. Kad govorimo o toplinskoj energiji iz repinog rezanca moguće je dobiti 310,60 kWh toplinske energije a iz kukuruzne silaže 565,60 kWh toplinske energije. Toplinska cijena iz obnovljivih izvora energije nije još definirana.

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih laboratorijskih istraživanja proizvodnja bioplina iz siliranog repinog rezanca utvrđeno je, da je dodavanjem siliranog repinog rezanca došlo do porasta proizvodnje bioplina. Najveći porast zabilježen je u eksperimentalnoj skupini (SRRT) koja je iznosila 11195 ml/500 ml supstrata, u odnosu na kontrolnu grupu (KT) 8421 ml/500 ml supstrata. Najveće količine bioplina nastale su pri termofilnim uvjetima. pH vrijednost supstrata utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama. Proces metanogeneze se odvija pri pH vrijednosti 6,6-7,6 a kada vrijednost pH padne ispod 6,5 te se aktivnost metanogenih bakterija zaustavlja. Sastav bioplina u svim skupinama bio je poprilično ujednačen. Prosječna koncentracija metana u eksperimentalnim skupinama u termofilnim uvjetima (SRRT) bila je 54,89 %, dok je u eksperimentalnim skupinama u mezofilnim (SRRM) uvjetima bila 60,75 %. Koncentracija metana u kontrolnim skupinama u termofilnim uvjetima (KT) i mezofilnim uvjetima (KM) bila je u prosjeku 55,62% i 45,57 %. Prosječna koncentracija ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> u eksperimentalnim skupinama u termofilnim uvjetima (SRRT) bio je 26,68 %, dok je u eksperimentalnim skupinama u mezofilnim (SRRM) uvjetima bio 24,96 %. Koncentracija ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> u kontrolnim skupinama u termofilnim uvjetima (KT) i mezofilnim uvjetima (KM) bila je u prosjeku 24,43 % i 20,57 %. Sastav i osobine bioplina ovise o mnogim čimbenicima te zbog toga variraju. Osnovni supstrati u većini bioplinskih postrojenja su goveđi i svinjski gnoj i gnojnica. Iz jedne tone repinog rezanca dobijemo 110,93 m<sup>3</sup>t<sup>-1</sup> bioplina odnosno 221,86 kWh električne energije. Za usporedbu se koristila kukuruzna silaža čiji je prinos iznosio 202 m<sup>3</sup>t<sup>-1</sup> te zbog svog udjela metana (67,05%) kukuruzna silaža proizvodi kvalitetniji bioplin. Kukuruzna silaža se upotrebljava u ljudskoj i stočnoj prehrani te izravno sudjeluje u konkurenciji s proizvodnjom hrane i namirnica. Šećerna repa je energetska bogata sirovina koja se koristi za proizvodnju šećera ali se tijekom proizvodnje šećera pojavljuju nusproizvodi koji su također energetska bogati te se mogu iskoristiti za proizvodnju energije (Z.Šutalo,2017.). Repin rezanac zbog svog sastava je pogodan za biološku razgradnju odnosno kao sirovina za biotehničku proizvodnju. Zbog manjka obnovljivih izvora energije zahtjevi za korištenje i razvojem obnovljivih izvora energije je sve veći. Velik potencijal unutar obnovljivih izvora energije ima Republika Hrvatska osobito kod izgradnje bioplinskih postrojenja i proizvodnje bioplina zbog velikih poljoprivrednih površina koje proizvode velike količine biomase, te gnoj (kruti ili tekući) koji dobijemo iz stočarske proizvodnje.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Al Seadi T., Rutz D., Prassel H., M. Kottner, M. Finsterwalder T., Volks S., Janssen R., Kulušić B., Kojaković A. (2008.): Priručnik za bioplin. BiG>East Biogas for Eastern Europe, Intelligent Energy for Europe.ga, Beograd
2. Antunović M. (2009.): Interna skripta: Industrijsko bilje, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
3. Đulabić, M. (1986.): Biogas, dobivanje, korištenje i gradnja uređaja, Tehnička knjiga
4. Gagro, M. (1990.): Industrijsko i krmno bilje. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb
5. Hutnan M, Drtil M, Mrafkova L: Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp. Biodegradation 11: 203–211, 2000.
6. Jurišić, M. (2006.): Agrotehnika ratarskih kultura. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
7. Kralik, D. (2006.): Biomasa – energija iz poljoprivrede, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
8. Mihić, Đ., Jovići, D., Kralik, D., Majkovčan, I., Zovko, A. (2012): Proizvodnja bioplina kodigrstijom pšenične silaže i goveđe gnojovke. Krmiva 53 (5) 187-192
9. Pospišil, M. (2013.): Ratarstvo II. dio – industrijsko bilje. Zrinski. Čakovec.
10. Starke P. i Hoffmann C. M. (2011.): Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung. Sugar Industry 136 (4) 242–250
11. Šljivac D; Šimić Z.(2009): Obnovljivi izvori energije , Elektrotehnički Fakultet Osijek.
12. T. Krička, N. Voća, Ž. Jukić, V. Janušić i A. Matin (2006.): Iskustva u proizvodnji i iskorištavanju obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji, Krmiva, 1 (48) 49-54

Internet:

13. Energija naše budućnosti:

<https://sites.google.com/site/energijanasabuducnost/izvori-energije/obnovljivi-izvori-energije/energija-biomase> (pristupljeno 03.10.2020)

14. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost:

[https://www.fzoeu.hr/hr/energetska\\_ucinkovitost/obnovljivi\\_izvori\\_energije/](https://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/obnovljivi_izvori_energije/)  
(pristupljeno 29.09.2020)

15. Gospodarski list:
16. <https://gospodarski.hr/uncategorized/biomasa-obnovljivi-izvor-energije/> (pristupljeno 02.10.2020)
17. M. Stojić (2015.): Anaerobna kodigestija stajske gnojnice i kukuruzne silaže u pilot postrojenju. Diplomski rad,  
<https://repozitorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos%3A175/datastream/PDF/view>
18. Narodne novine:  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_09\\_100\\_1937.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_09_100_1937.html) (pristupljeno 29.09.2020)
19. Prinova:  
[http://pinova.hr/hr\\_HR/baza-znanja/ratarstvo/secerna-repa](http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/ratarstvo/secerna-repa) (pristupljeno 05.10.2020)
20. Prirodoslovna lepeza za mlade znanstvenike:  
<http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/1-obnovljivi-izvori-energije/> (pristupljeno 02.10.2020)
21. Zagrebački inovacijski centar:  
<https://www.zicer.hr/Poduzetnicki-pojmovnik/Obnovljivi-izvori-energije> (pristupljeno 02.10.2020)
22. [www.solarno.hr](http://www.solarno.hr)  
<https://www.solarno.hr/KATALOG/proizvod/TEKST2/obnovljivi-izvori-zelena-energija> (pristupljeno 01.10.2020)
23. [www.scribd.com](http://www.scribd.com)  
<https://www.scribd.com/doc/221897359/Tehnoloski-postupak-proizvodnje-secera> (pristupljeno 12.10.2020)
24. [www.kws.de](http://www.kws.de)  
[https://mediamaster.kws.com/01\\_Produkte/Zuckerr%C3%BCbe/Infothek-Downloads/10\\_jaaa\\_hre\\_biogas\\_aus\\_rueben\\_broschuere\\_2018.pdf](https://mediamaster.kws.com/01_Produkte/Zuckerr%C3%BCbe/Infothek-Downloads/10_jaaa_hre_biogas_aus_rueben_broschuere_2018.pdf) pristupljeno 12.10.2020)

25. <https://www.buje.hr/hr/novosti/najava-natjecaja--povecanje-energetske-ucinkovitosti-i-koristenja-obnovljivih-izvora-energije-u-proizvodnim-industrijama#lg=1&slide=0>  
<https://termorad.hr/obnovljivi-izvori-energije-2/>  
(pristupljeno 14.10.2020)
26. <http://energieavenir-tpe.e-monsite.com/pages/les-energies-renouvelables/la-biomasse/>  
(pristupljeno 14.10.2020)
27. [https://www.big-east.eu/croatia/handbook/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w%5B1%5D.pdf](https://www.big-east.eu/croatia/handbook/Prirucnik_za_bioplin_w%5B1%5D.pdf)  
<https://www.klett.de/alias/1010396> (pristupljeno 08.10.2020)
28. Z.Šutalo (2017.) Diplomski rad,  
[http://repozitorij.fsb.hr/8171/1/%C5%A0utalo\\_2017\\_diplomski.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/8171/1/%C5%A0utalo_2017_diplomski.pdf) (pristupljeno 09.10.2020)
29. <https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/083618/index.php> (pristupljeno 09.10.2020)
30. <https://gospodarski.hr/uncategorized/isplativost-proizvodnje-kukuruz-a-za-silazu-u-2012/> (pristupljeno 08.10.2020)
31. [file:///C:/Users/Tiho/AppData/Local/Temp/leitfaden\\_biogas\\_web\\_serbisch.pdf](file:///C:/Users/Tiho/AppData/Local/Temp/leitfaden_biogas_web_serbisch.pdf)  
(pristupljeno 10.10.2020)
32. <https://www.buje.hr/hr/novosti/najava-natjecaja--povecanje-energetske-ucinkovitosti-i-koristenja-obnovljivih-izvora-energije-u-proizvodnim-industrijama#lg=1&slide=0>  
(pristupljeno 10.10.2020)
33. <http://energieavenir-tpe.e-monsite.com/pages/les-energies-renouvelables/la-biomasse/>  
(pristupljeno 10.10.2020)
34. <https://repozitorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos%3A175/datastream/PDF/view>  
(pristupljeno 10.10.2020)
35. [www.landtechnik-online.eu](http://www.landtechnik-online.eu) (pristupljeno 10.10.2020)
36. [www.eihp.hr](http://www.eihp.hr) (pristupljeno 10.10.2020)
37. [www.calendula.com.hr](http://www.calendula.com.hr) (pristupljeno 10.10.2020)
38. [www.agroklub.com](http://www.agroklub.com) (pristupljeno 10.10.2020)
39. [www.bib.irb.hr/692326](http://www.bib.irb.hr/692326) (pristupljeno 10.10.2020)
40. [www.suedzucker.de](http://www.suedzucker.de) (pristupljeno 10.10.2020)

## 8. SAŽETAK

Šećerna repa kao supstratna podloga za bioplinska postrojenja do sada je bila podcijenjena. Sve se više smatra supstratom za proizvodnju bioplina zbog prednosti visokog prinosa biomase, i dobre fermentiranosti. Kemijski sastav šećerne repe i njezino ponašanje pri raspadanju značajno se razlikuju od ostalih biljnih kultura.

Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj temperature na dinamiku proizvodnje bioplina iz siliranog repinog rezanca, utvrditi količine suhe tvari i pH u supstratu prije i nakon fermentacije pri mezofilnim i termofilnim uvjetima. Istraživanje je provedeno diskontinuiranim procesom pri mezofilnim 37°C i termofilnim 55°C uvjetima uz retencijsko vrijeme od 62 dan. Za istraživanje smo koristili goveđa gnojovka (475 g) i silirani repin rezanac (25g). Temeljem provedenog istraživanja utvrđeno je da dodavanjem siliranih repinih rezanaca došlo do porasta u proizvodnji bioplina. Proizvodnja bioplina odvijala se bolje u termofilnim nego u mezofilnim uvjetima. Ukupna prosječna vrijednost proizvedenog bioplina u kontrolnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (KT) 8421,75 ml/500 ml, dok u eksperimentalnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (SRRT) 11195 ml/500. Prinos bioplina u odnosu na kontrolnu grupu bolji su kod skupine sa dodatkom siliranog repinog rezanca.

## 9. SUMMARY

Sugar beet as a substrate for biogas plants has been so far underestimated. It is increasingly considered a substrate for biogas production due to its advantages of high biomass yield, and good fermentation properties. The chemical composition of sugar beet and its decomposition behavior differ significantly from other cultivated plants.

The aim of the research is to determine the influence of temperature on the dynamics of biogas production from ensiled beet pulp, to determine the amounts of total solids and pH in the substrate before and after fermentation under mesophilic and thermophilic conditions. The study was done under discontinuous process under mesophilic 37 ° C and thermophilic 55 ° C conditions with a retention time of 62 days. Cattle manure (475 g) and ensiled beet pulp (25 g) were used for the study. Based on the conducted research it was determined that the addition of ensiled beet pulp increased the production of biogas. Biogas production was better under the thermophilic than the mesophilic conditions. The total average value of biogas produced in the control groups under thermophilic conditions was (KT) 8421.75 ml / 500 ml, while in the experimental groups under thermophilic conditions was (SRRT) 11195 ml / 500. The biogas yield compared to the control group was better in the group with the addition of ensiled beet pulp.



## **10. POPIS TABLICA**

Tablica 1.: Sastav bioplina	12
Tablica 2.: Prinos bioplina po ha kod različitih kultura	19

## **11. POPIS SLIKA**

Slika 1. Obnovljivi izvori energije	3
Slika 2. Izvori biomase	5
Slika 3. Četiri faze anaerobne fermentacije	9
Slika 4. Značaj šećerne repe	13
Slika 5. Farma muznih krava Mala Branjevina d.o.o.	20

## 12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prosječne vrijednosti pH u kontrolnoj skupini (K) i eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca	22
Grafikon 2. Usporedba prosječne vrijednosti pH u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca	23
Grafikon 3. Prosječne vrijednosti suhe tvari (ST) u % u kontrolnoj skupini (KM, KT) i eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca (SRRM i SRRT)	24
Grafikon 4. Usporedba prosječne vrijednosti suhe tvari u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca	25
Grafikon 5. Ukupna količina proizvedenog bioplina (ml) u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama	26
Grafikon 6. Usporedba ukupne prosječne vrijednosti količine proizvedenog bioplina u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca	26
Grafikon 7. Dinamika proizvodnje bioplina (mL/dan) u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama	28
Grafikon 8. Usporedba ukupne prosječne vrijednosti dinamike proizvodnje bioplina (mL/dan) u eksperimentalnim skupinama siliranog repinog rezanca	28
Grafikon 9. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u kontrolnoj skupini KM	29
Grafikon 10. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod KM	30
Grafiko 11. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj skupini SRRM	31
Grafiko12. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod SRRM	31

Grafikon 13. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u kontrolnoj skupini KT	32
Grafikon 14. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod KT	32
Grafikon 15. Koncentracija dušika, metana i ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj skupini SRRT	33
Grafikon 16. Prosječna vrijednost i median sastava bioplina kod SRRT	34

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKAKARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, agroekonomika

## Utjecaj temperature na dinamiku proizvodnje bioplina iz siliranog repinog rezanca

Zdenka Jeleč Milošević

### Sažetak

Šećerna repa kao supstratna podloga za biopliniska postrojenja do sada je bila podcijenjena. Sve se više smatra supstratom za proizvodnju bioplina zbog prednosti visokog prinosa biomase, i dobre fermentiranosti. Kemijski sastav šećerne repe i njezino ponašanje pri raspadanju značajno se razlikuju od ostalih biljnih kultura.

Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj temperature na dinamiku proizvodnje bioplina iz siliranog repinog rezanca, utvrditi količine suhe tvari i pH u supstratu prije i nakon fermentacije pri mezofilnim i termofilnim uvjetima. Istraživanje je provedeno diskontinuiranim procesom pri mezofilnim (37°C) i termofilnim (55°C) uvjetima uz retencijsko vrijeme od 62 dan. Za istraživanje su se koristili goveđa gnojovka (475 g) i silirani repin rezanac (25g). Temeljem provedenog istraživanja, utvrđeno je da je dodavanjem siliranih repinih rezanaca došlo do porasta u proizvodnji bioplina. Proizvodnja bioplina odvijala se bolje u termofilnim nego u mezofilnim uvjetima. Ukupna prosječna vrijednost proizvedenog bioplina u kontrolnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (KT) 8421,75 ml/500 ml, dok u eksperimentalnim skupinama pri termofilnim uvjetima iznosi (SRRT) 11195 ml/500. Prinos bioplina u odnosu na kontrolnu grupu KT bolji su kod skupine sa dodatkom siliranog repinog rezanca..

**Rad je izrađen pri:** Fakultetu agrobiotehničkih znanosti Osijeku

**Mentor:** prof. dr. sc. Davor Kralik

**Broj stranica:** 53

**Broj grafikona i slika:** 21

**Broj tablica:** 2

**Broj literaturnih navoda:** 40

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Glavne riječi:** bioplin, silirani repin rezanac, goveđa gnojovka

**Datum obrane:** 30.10.2020

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof.dr.sc. Bojan Stpešević, predsjednik
2. prof.dr.sc. Davor Kralik, mentor
3. prof.dr.sc. Ljubica Ranogajec, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište.J.J. Strossmayer u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek Vladimira Preloga1

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate thesis Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**

**University Graduate Studies, Agroecconomics**

### **The effect of temperature on production of biogas from ensiled sugar beet noodles**

Zdenka Jeleč Milošević

#### **Summary:**

Sugar beet as a substrate for biogas plants has been so far underestimated. It is increasingly considered a substrate for biogas production due to its advantages of high biomass yield, and good fermentation properties. The chemical composition of sugar beet and its decomposition behavior differ significantly from other cultivated plants.

The aim of the research is to determine the influence of temperature on the dynamics of biogas production from ensiled beet pulp, to determine the amounts of total solids and pH in the substrate before and after fermentation under mesophilic and thermophilic conditions. The study was done under discontinuous process under mesophilic (37 ° C) and thermophilic (55 ° C) conditions with a retention time of 62 days. Cattle manure (475 g) and ensiled beet pulp (25 g) were used for the study. Based on the conducted research it was determined that the addition of ensiled beet pulp increased the production of biogas. Biogas production was better under the thermophilic than the mesophilic conditions. The total average value of biogas produced in the control groups under thermophilic conditions was (KT) 8421.75 ml / 500 ml, while in the experimental groups under thermophilic conditions was (SRRT) 11195 ml / 500. The biogas yield compared to the KT control group was better in the group with the addition of ensiled beet pulp.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** Profesor PhD Davor Kralik

**Number of pages:** 53

**Number of tables:** 21

**Number of graphs:** 2

**Number of references:** 40

**Original in:** Croatian

**Key words:** biogas, ensiled beet pulp, cattle manure

**Thesis defended on date:** 30.10.2020

#### **Reviewers:**

1. Profesor PhD Bojan Stpešević, president
2. Profesor PhD Davor Kralik, mentor
3. Profesor PhD Ljubica Ranogajec, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, J. J. Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1, Osijek

