

# Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus* L.)

---

**Beljan, Bernard**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:683079>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-20**



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  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Bernard Beljan

Diplomski studij Agroekonomika

**Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2016.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Bernard Beljan

Diplomski studij Agroekonomika

**Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

- 1.Prof. dr. sc. Bojan Stipešević, predsjednik
- 2.Prof. dr. sc. Davor Kralik, mentor
- 3.Prof. dr. sc. Zvonimir Steiner, član

**Osijek, 2016.**

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled literature .....	2
2.1	Čičoka ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	2
2.2	Nutritivni sastav i kemijske karakteristike.....	3
2.3	Inulin.....	4
2.4	Morfološke karakteristike čičoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	5
2.5	Ekološko-biološke karakteristike.....	8
2.6	Uzgoj čičoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	10
2.6.1	Sadnja čičoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	10
2.6.2	Gnojidba .....	11
2.6.3	Navodnjavanje .....	12
2.6.4	Žetva .....	13
2.7	Uporaba čičoke .....	14
2.7.1	Ljudska hrana .....	14
2.7.2	Stočna hrana .....	15
2.7.3	Medicinske svrhe.....	16
2.7.4	Industrijska sirovina .....	17
2.8	Obnovljivi izvori energije.....	18
2.9	Globalni potencijal biomase .....	19
2.10	Proizvodnja bioplina .....	21
2.10.1	Svojstva, sastav i primjena bioplina .....	24
2.10.2	Proizvodnja bioplina iz čičoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	25
3	Materijali i metode istraživanja.....	28
3.1	Određivanje sadržaja suhe tvari.....	29
3.2	Određivanje sadržaja pepela i organske tvari .....	29
3.3	Određivanje pH.....	29
3.4	Određivanje količine i sastav plina.....	29
4	Rezultati istraživanja.....	30
4.1	Udio suhe tvari i organske tvari u supstratima .....	30
4.2	Koncentracija pH.....	34
4.3	Količina proizvedenog bioplina.....	36
4.4	Dinamika proizvodnje bioplina .....	38
4.5	Sastav bioplina.....	40
5	Rasprava .....	44
6	Zaključak.....	48
7	Popis literature.....	49

8	Sažetak .....	52
9	Summary .....	53
10	Popis tablica .....	54
11	Popis slika .....	55
12	Popis grafikona.....	56

Temeljna dokumentacijska kartica

Basic documentation card

## 1 Uvod

Zakonodavstvo Europske unije (u daljnjem tekstu EU) za promicanje obnovljivih izvora energije znatno se razvilo posljednjih godina, te je u Direktivi o obnovljivoj energiji iz 2009. godine utvrđen cilj prema kojem 20% potrošene energije u EU mora dolaziti iz OIE (u daljnjem tekstu OIE) do 2020., od čega 10% treba činiti vlastito proizvedeno gorivo za promet obnovljivim izvorima energije. Također, započeti su i pregovori EU za dugoročnu strategiju koja je iznesena u „Energetskom planu za 2050.“, prema kojem udio obnovljive energije do 2030. treba iznositi najmanje 30%. Potreba za zaštitom ekosustava, uslijed višestoljetnog intenzivnog industrijskog iskorištavanja prirodnih resursa, te kritična ugroženost pojedinih ekosustava zbog kontinuiranog rasta emisije stakleničkih plinova, zahtjeva održivo rješenje očuvanja postojećih i adekvatan oporavak (ako je moguć) ugroženih resursa. Kao alternativa dosadašnjem neodrživom iskorištavanju neobnovljivih resursa, i potencijalno rješenje postojeće ekološke krize, javljaju se upravo obnovljivi izvori energije. Obnovljivi izvori energije (energija vjetra, sunčeva energija, hidroenergija, energija oceana, geotermalna energija, biomasa i biogoriva) zamjena su za fosilna goriva i pridonose smanjenju emisija stakleničkih plinova, raznolikoj opskrbi energijom te smanjenju ovisnosti o nepouzdanim i nestabilnim tržištima fosilnih goriva, posebno nafte i plina. Jeruzalemska artičoka (*Helianthus tuberosus L.*) (u daljnjem tekstu čičoka) predstavlja obećavajuću sirovinu za proizvodnju biomase u proizvodnji metana. Relativno brzi rast, svestrana adaptacija na različite negativne agroekološke uvjete, te višenamjensko iskorištavanje, dodatno doprinosi ekonomskoj vrijednosti čičoke. Današnja najkorištenija sirovina za proizvodnju bioplina je kukuruzna silaža, koja je uz iznimnu kvalitetu (visok udio metana) podložna tržišnim i agroekološkim krizama. Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) i dalje ne predstavlja usjev primarno namjenjen ljudskoj prehrani, te su potrebna daljnja istraživanja kako bi se utvrdio njezin potpuni potencijal.

## 2 Pregled literature

### 2.1 Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.)

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) je gomoljasti suncokret koji je porijeklom iz Sjeverne Amerike. U Europu je došla u 17. st. John Goodyer je 1617. godine u Englesku, donio čičoku iz Sjeverne Amerike. Latinsko ime roda *Helianthus* potječe od grčke riječi *helios* što znači sunce i *anthos*, što znači cvijet. Ime vrste *tuberosus* u prijevodu znači gomoljast (Gligić, 1954.). Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) pripada porodici glavočika (*Asteraceae*), rodu suncokreta (*Helianthus*). *Helianthus tuberosus*, jeruzalemska artičoka, sunchoke, topinambur, pataka, slatki krumpir, Zemljišna jabuka, kartuf, divlji krumpir i nahod, samo su neka od imena pod kojima je širom svijeta poznata čičoka. U praksi je ova višegodišnja zeljasta biljka pokazala velike ekonomske i ekološke prednosti jer pokazuje veliku otpornost na tipove tala, klimatske promjene (niske temperature i suše), ali i na štetnike. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) može narasti do visine 3,5 metra, a u rujnu i listopadu se na vrhovima pojavljuju veliki svjetlo žuti cvjetovi slični suncokretu s promjerom od 4 do 8 centimetara (Slika 1.). Smatra se vrlo medonosnom biljkom na kojoj pčele sakupljaju nektar i pelud.

Ispod zemlje se nalaze gomolji krupnog i nepravilnog oblika koji su slični gomolju đumbira. Za razliku od krumpira koji sadrži škrob, gomolj čičoke sadrži inulin zbog čega se koristi u prehrani dijabetičara i pretilih osoba. Smatra se intenzivnom vrstom jer istiskuje autohtone vrste i smanjuje biološku raznolikost, a iz najmanjeg djelića gomolja se može razviti čitava biljka.

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) ima višestruku uporabu, koristi se u medicinske svrhe, kao ljudska i stočna hrana te je kvalitetna sirovina za proizvodnju obnovljivih izvora energije. Energetska vrijednost biljke je vrlo niska (79kcal/100g), a bogata je i vitaminima, mineralima, kalijem, fosforom, kalcijem, magnezijem i željezom.



Slika 1. Cvijet čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Izvor: <http://www.plantea.com.hr/cicoka/>

## 2.2 Nutritivni sastav i kemijske karakteristike

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) u svom kemijskom sastavu ima nizak sadržaj masnoća te je bogata mineralima i vitaminima B-skupine, vitaminom C, vitaminom D i provitaminom A (beta-karoten). Sadrži 80% vode, 15% ugljikohidrata i 1-2% proteina. (Stanley i Nottingham, 2008.).

Gomolji čičoke imaju malu koncentraciju škroba (ili uopće nemaju škroba), gotovo su bez masnoća, sadrže vrlo malo kalorija, te su bogat izvor vlakana zbog inulina. Naime, inulin je polisaharid koji sadrži fruktozu, a kod čičoke on može predstavljati dodanu vrijednost za ljudsku prehranu, medicinske proizvode kao i za stočnu hranu. Kod čičoke (*Helianthus tuberosus L.*), inulin predstavlja glavni oblik ugljikohidrata, dok je kod ostalih biljnih vrsta karakterističan škrob kao glavni oblik ugljikohidrata. Također, inulin je još poznat kao i remineralizant jer poboljšava apsorpciju i nadoknađuje minerale kojih nema u velikim količinama poput natrija, željeza i kalcija. Sadržaj inulina u gomolju varira od 7 do 30% zelene mase (50% suhe tvari), a prosječni sadržaj inulina se kreće u rasponu od 8 do 21% zelene mase. Gomolji i nadzemna biomasa čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) mogu se koristiti kao stočna hrana (krme, silaže i pelete) ili kao prebiotički dodatak hrani za životinje.

Lišće čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) bogatije je proteinima i ostalim hranjivim tvarima u usporedbi s tradicionalnim krmnim usjevima. Sadržaj ukupnog dušika kreće se u rasponu od 0,7% do 2,2 % suhe tvari (tj. 1,23% srednje vrijednosti), alfa amino dušik od 0,012% do 0,118% zelene mase (srednja vrijednost 0,07%), kalij od 0,23% do 0,45% zelene mase (srednja vrijednost 0,40%), natrij od 0,0003 % do 0,0143% zelene mase (srednja vrijednost 0,007%), te ukupni sadržaj šećera iznosi od 13,7% do 22,9% zelene mase (srednja vrijednost 19,1%) (Long i sur., 2011.).



Proteini u čičoki (*Helianthus tuberosus L.*) sadrže sve esencijalne amonokiseline u povoljnim razmjerima. Esencijalne aminokiseline su one koje sam organizam ne može proizvesti. Sadržaj minerala u gomolju iznosi oko 1,2% suhe tvari. U kemijskom sastavu gomolja javlja se željezo (4-37 mg/kg), kalcij (140-370 mg/kg) i kalij (4,20-6,57 g/kg), te relativno malo natrija (18-40 mg/kg) i fosfora (Long i sur., 2011.). Fosfor je važan za procese na staničnoj razini jer je gradivni element kostiju, zubiju, molekula DNA i RNA, dok je kalij važan za prijenos živčanih impulsa, rad mišića i srca, kontrolu i regulaciju vode u tijelu i krvnog tlaka.

Tijekom ljeta sadržaj fruktoze može iznositi i do 7% suhe tvari, dok se razina glukoze nalazi u rasponu od 1% do 4% suhe tvari. Lišće sadrži 151 mg/kg suhe tvari vitamina C što je deset puta više nego u stabljici. Razina proteina u listovima može doseći četiri puta veću količinu nego u gomolju i tri puta veću količinu nego u stabljici. Koncentracija uronske kiseline, lignina i pepela je veća u listovima čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) nego u stabljici, dok je razina pepela tri puta veća u nadzemnom dijelu biljke. U pravilu su listovi za 12-16% suhe tvari pepela bogatiji (Long i sur., 2011.).

### 2.3 Inulin

Inulin je polisaharid koji sadrži fruktozu, biljni polimer koji se nalazi u preko 3600 biljnih vrsta ([www.vitamini.hr](http://www.vitamini.hr)). Pošto je neprobavljiv kao biljno vlakno, razgradnja inulina započinje u debelom crijevu. Prebiotik je koji stimulira razvoj korisnih bakterija u crijevima (bifidobakterija i acidofila) koje eliminiraju štetne mikroorganizme crijevnog flore (*Clostridium sp.*, *Salmonella sp.*, *E. coli*, *Candida sp.* i dr.). Te iste bakterije sprječavaju crijevne infekcije, poboljšavaju apsorpciju minerala za 20% (osobito Ca, Mg i Fe), same proizvode vitamine B-skupine, smanjuju proizvodnju jetrenih toksina te pomažu u prevenciji raka debelog crijeva. Inulin je dijetalno vlakno, izolirano iz prirodnog izvora koje stimulirajuće djeluje na rast i aktivnost korisnih probiotičkih bakterija ([www.probiotikaviva.hr](http://www.probiotikaviva.hr)).

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) se koristi za industrijsku ekstrakciju inulina, polisaharida koji hidrolizom ne daje glukozu, već fruktozu, zbog čega se preporučuje za prehranu dijabetičara. Njegovom razgradnjom ne dolazi do porasta razine šećera, stoga mu je glikemijski indeks jednak nuli, i samim time ne potiče izlučivanje inzulina (Nađ, 2014). Kao takav, inulin pomaže u normaliziranju probave, jačanju imuniteta, revitaliziranju

crijevne flore i pri crijevnim infekcijama. Nadalje, smatra se korisnim dodatkom prehrani kod pretilih ljudi jer sprječava kardiovaskularna oboljenja te postepeno smanjuje masne naslage, normalizira razinu kolesterola i triglicerida u krvi. Inulin predstavlja 80% ukupnog sadržaja šećera gomolja čičoke.

#### 2.4 Morfološke karakteristike čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je visoka, razgranata zeljasta biljka s grubim i dlakavim lišćem i peteljkom s brojnim žutim cvjetovima. Iz gomolja se razvijaju jednogodišnje stabljike koje su na početku krupne, pune pupova i mesnate. Glavna stabljika kasnije može postati drvenasta, s uobičajenim opsegom 3-5 cm.

Glavna stabljika, koja se formira iz gomolja u zemlji, nakon nicanja, a tijekom pupanja poprima oblik glavne stabljike. Broj grana i njihov položaj varira. Stabljike tijekom vremena mogu postati drvenaste dok razgranatost varira ovisno o sorti. Na krajevima glavnih i razgranatih stabljika se nalaze cvjetovi slični suncokretu koji se javljaju individualno ili grupno.

Cvjetovi imaju promjer 4 do 8 centimetara, cvijet u sredini ima tučak koji je okružen s 10 do 20 žutih latica (Ma i sur., 2011.). U normalnim proizvodnim uvjetima čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) može narasti do velikih razmjera kao što je prikazano na slici 2.

Glavnu stabljiku možemo podijeliti u tri skupine (Stanley i Nottingham, 2008.):

1. Visoka (3-4 m)
2. Srednja (2-3 m)
3. Kratka (do 2 m)



Slika 2. Visina biljke

Izvor: <http://www.3d-madonnari.com/you-begin-to-grow-jerusalem-artichokes/>

Listovi čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) su dugački između 10-20 centimetara a široki između 5-10 cm. Broj listova na grani varira od 2-3 lista. Niži listovi su veći i širi, jajolikog oblika te mogu biti dugi 30 cm, dok su viši listovi uži i manji. Kroz sredinu lista prolazi izraslina glavne stabljike koja je od velike važnosti za prinos gomolja. (Long i sur., 2011.).

Korijen čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) je vlaknast i dlakav, pomoću njega se upijaju i prikupljaju hranjive tvari iz tla kako bi se biljka mogla normalno razvijati i rasti. Korijen biljke progresivno raste 24 tjedna nakon sadnje te može dosegnuti 25 g težine i 127 cm dužine (Long i sur., 2011.). Kod kultiviranih sorata čičoke masa i veličina korijena su veće nego kod divljih. Na korijenu čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) razvija se i formira gomolj, nesimetričnog oblika, različite veličine i boje, ovisno o sorti.

Veći dio biomase čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) se nalazi u gomolju, a na gornjoj strani gomolja se nalaze pupoljci iz kojih se razvijaju nove biljke. Gomolj u tlu, prekriven snijegom podnosi temperaturu od  $-30^{\circ}\text{C}$ , dok izvan zemlje brzo dehidrira i gubi hranjivu vrijednost. Kao što je već navedeno, slatki gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus L.*), kao i krumpir, sadži 15-16% ugljikohidrata u obliku inulina, 75-80% vode i 2-3% proteina. Veličina, oblik i boja gomolja se razlikuju ovisno o sorti (Slika 3.). Iz korijena čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) se razvijaju gomolji različitih boja. Varijaju od bijele, smeđe,

crvene do ljubičaste. Oblik gomolja varira od okruglih oblika do dugačkih i vitkih oblika. Omjer duljine i promjera varira ovisno o sorti, dobi i uvjetima uzgajanja.

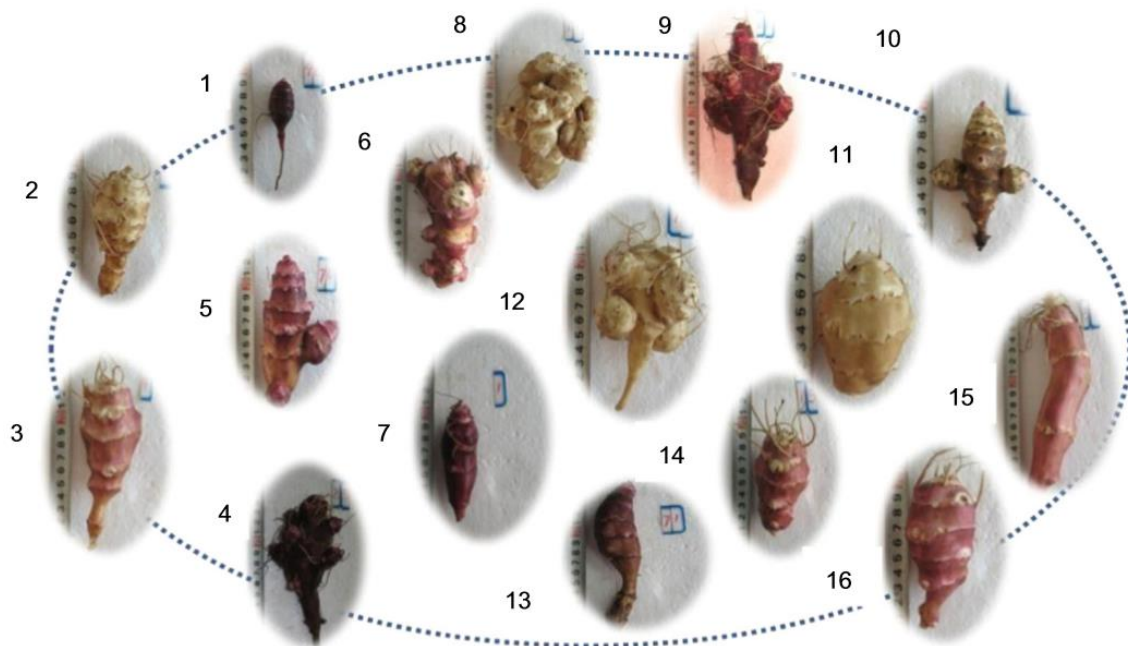
Ovisno o omjeru duljine i promjera gomolje može podijeliti na:

1. Kruška (<1,5 omjer)
2. Kratka kruška (1,5-1,7 omjer)
3. Duguljasti gomolj (2,2-2,5 omjer)
4. Vretenasti gomolj (3,0> omjer)

Prosječna masa gomolja iznosi između 20-100 g, ali mogu biti i veći ovisno o sorti.

Gomolji se također mogu klasificirati na temelju mase (Long i sur., 2011.):

1. Velika (450 g)
2. Srednja (20 do 50 g)
3. Mala (20 g).



Slika 3. Različiti oblici gomolja

Izvor: Long i sur. (2016.), Jerusalem artichoke: a sustainable biomass feedstock for biorefinery

Na slici 3. prikazani su različiti oblici, boje i veličine gomolja. Gomolj broj 1 je vretenastog oblika i crvene boje kao i gomolji pod brojem 4, 7, 9 i 13 dok je pod brojem 10 gomolj crveno-smeđe boje u obliku kratke kruške. Bijeli gomolji duguljastog i vretenastog oblika su pod brojem 2, 6, 8, 11, 12, dok su ljubičasti gomolji vretenastog, kratkog i duguljastog oblika pod brojem 3, 5, 14, 15 i 16.

Genetska varijabilnost čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) ovisi o zemljopisnom podrijetlu biljke. Genetska garnitura u načelu je slična, postoje različite modifikacije glede otpornosti različitih varijeteta prema stresnim uvjetima, trajanju dana, te glede morfoloških karakteristika. Različiti istraživački centri u sklopu gen banki čuvaju brojne germplazme čičoke (*Helianthus tuberosus* L.). Nadalje, navedena genetska varijabilnost može biti od izuzetne koristi prilikom uzgoja čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) kao sirovine za proizvodnju obnovljivih izvora energije.

## 2.5 Ekološko-biološke karakteristike

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) podnosi varijaciju godišnje količine oborina od 31 do 282 mm, te varijaciju godišnje temperature od 6,3 do 26,6 °C, a vrijednosti pH reakcije tla u rasponu od 4,5 do 8,2 (Ma i sur., 2016.).

Za intenzivnu proizvodnju najbolje je uzgajati čičoku (*Helianthus tuberosus* L.) na alkalnom tlu, iako je uzgoj ove biljke moguć u širokom rasponu tipova tala i njihovim pH reakcijama. pH vrijednost pokazuje reakciju tla na kiselost. Reakcija tla određuje sadržaj vodikovih iona u otopini tla, a može biti kisela ili alkalna. Ako je pH vrijednost tla ispod 7 (3-6), reakcija je kisela. Pri pH 7 i više (7-9), reakcija je alkalna ([www.igrow.com.hr](http://www.igrow.com.hr)).

Gomolji se lako mogu oštetiti tijekom žetve. Prozračna i lagana tla su pogodnija za rast gomolja, dok uzgoj na bogatim tlima doprinosi kvalitetnijem prinosu nadzemne mase biljke. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) je pogodna za uzgoj u aridnim područjima, i područjima siromašnih tala, jer ima veći prinos gomolja od krumpira. U sušnim područjima može se proizvesti količina od 18 t/ha. Ako je vlažnost tla manja od 30% u razdoblju formiranja gomolja, prinosi su ograničeni, te je u takvim uvjetima potrebno navodnjavanje za vrijeme klijanja sjemena. S druge strane, prinosi su niski ako je tlo prekomjerno natopljeno vodom tj. ako tlo postaje glineno. Gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) ima izrazito veliku tolerantnost na niske temperature, čak do -30 °C, te može izdržati smrzavanje mjesecima, dok stabljika i lišće ne mogu. Mogu ostati u tlu u zimskom periodu te ih se može vaditi iz zemlje po potrebi. Zbog niskih temperatura, inulin se pretvara u fruktozu čime gomolj dobiva slađi okus.

Gomolj čičoke zahtijeva dulje periode dana od sijanja do sazrijevanja, a kraće periode za vrijeme formiranja gomolja krajem ljeta.

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) je poznata kao biljka koja je umjereno tolerantna na salinitet tla, te se može uzgajati na tlima koja se navodnjavaju morskom vodom 25-50% (Long i sur., 2016.).

Salinitet tla je rezultat akumulacije soli :

- Ca kloridi i sulfati
- Mg
- Na
- K

Glavni izvori soli u tlu su:

- Aridnost klime (oborine < evapotranspiracija)
- Podizanje soli podzemnom vodom
- Natapanje zaslanjenom vodom
- Zaslanjivanje morskom prašinom prenošenom vjetrom
- Trošenjem primarnih materijala

(Bensa i sur., 2011.)

Utjecaj saliniteta utječe na rast i prinos biljaka. Njime se povećava osmotski pritisak i toksičnost elemenata (Na, B, i Cl). Salinitet tla je povezan s količinom minerala u tlu. Mjeri se kao vrijednost električne vodljivosti, a mjerna jedinica je dS/m. Na svaku biljku drugačije utječe salinitet tla, što je prikazano na tablici 1. (www.hannainst.hr).

Tablica 1. Klase saliniteta i utjecaj na biljku

Klase saliniteta	Vodljivost saturacijskog ekstrakta (dS/m)	Utjecaj na rast biljaka
Neslano	0 - 2	Utjecaj saliniteta zanemariv
Slabo zaslanjeno	2 - 4	Moguće smanjenje prinosa osjetljivih kultura
Umjereno zaslanjeno	4 - 8	Smanjenje prinosa većine kultura
Jako zaslanjeno	8 - 16	Samo prinosi otpornih kultura zadovoljavaju
Vrlo jako zaslanjeno	>16	Uspijeva vrlo malo jako otpornih vrsti

Izvor: [http://www.medp.unist.hr/moduli/pedologija/predavanja/Kemijska\\_svojstva\\_tla.pdf](http://www.medp.unist.hr/moduli/pedologija/predavanja/Kemijska_svojstva_tla.pdf)

Kao što je vidljivo u tablici 1., svaka biljka preferira drugačiju vrijednost električne vodljivosti. Visoka električna vodljivost indicira na prezasićenost tla hranjivim elementima, zbog čega je apsorpcija u biljku otežana, a niska električna vodljivost ukazuje na nedostatak hranjivih elemenata. Tolerancija na sol kod čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) istraživala se u Kini. Navodnjavanjem morskom vodom utvrđeno je kako su prinosi gomolja puno osjetljiviji na sol nego nadzemna biomasa. Prinos gomolja je pao za 50% kada je razina soli iznosila 7,5 dS/m. Različite sorte imaju drugačiju toleranciju na sol. Neke sorte se prilagođavaju na NaCl tako što smanjuju stopu fotosinteze smanjenjem transpiracije uz zadržavanje istog intenziteta proizvodnje ATP-a. Dok se neke sorte prilagođavaju koncentraciji soli, akumuliranjem prolina i održavanjem koncentracije klorofila (Yadav i sur.,2011.).

## 2.6 Uzgoj Čičoke (*Helianthus tuberosus* L.)

### 2.6.1 Sadnja Čičoke (*Helianthus tuberosus* L.)

Nađ (2014.) ističe kako su za uzgoj čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) pogodnija lakša pjeskovita tla, uz pH vrijednost između 6 i 7,5. Međutim, čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) jako dobro podnosi različite tipove tla. Dobro podnosi sušu i niske temperature. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) voli vlagu, koja doprinosi razvoju nadzemnog i podzemnog dijela biljke. Gomolji čičoke se sade na dubinu od 6-10 cm u kasnu jesen ili rano proljeće. Kod jesenske sadnje postoji opasnost od glodavaca. Za sadnju su optimalni gomolji teški 30-50 g, odnosno 1000-1300 kg gomolja po hektaru (Lešić i sur., 2002.).

Razmak između biljaka trebao bi biti 45-50 cm, dok bi između redova razmak trebao biti 50-70 cm. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) se sadi ručno ili uz pomoć sadilice za krumpir. Ne sadi se u plodoredu jer ju je teško iskorijeniti. Stoga se sadi na stalnom mjestu, gdje ostaje 2-3 godine.

Prosječni prinos gomolja je između 25 do 35 t/ha, a zelene mase 27 do 35 t/ha. Svježi mladi vrhovi se koriste kao krma, dok se stari ne koriste u ishrani stoke zbog niske probavljivosti (Nađ, 2014.).

Vojnović (2016.) navodi kako je prednost čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) u odnosu na krumpir, što nju ne napada krumpirova zlatica i ne oboljeva od plamenjače. Od

bolesti na čičoki se može javiti pepelnica i alternarija, posebno na kraju vegetacijskog perioda koji traje 130 dana.

## 2.6.2 Gnojidba

Uspoređujući je s drugim usjevima koji trebaju obilnu gnojidbu dušikom za velike prinose, čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je vrlo efikasna u iskorištavanju dostupnih hraniva u tlu. Veliki prinosi se ne mogu očekivati bez gnojidbe, iako čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) vrlo efikasno koristi raspoložive hranjive tvari i ostatke gnojiva, te hraniva koja su ostala u tlu od prethodnih usjeva (Diederichsen, 2010.).

Rezultat prinosa čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) uz dodatnu gnojidbu u korelaciji je s tipom zemlje. Prinos gomolja bio je veći kod aplikacije organskog gnojiva i gnojidbe pri razini od 100 kg/ha NPK (Long i sur., 2016.).

U Njemačkoj je provedeno vrlo opsežno istraživanje na 27 genotipova čičoke koji su gnojeni s različitim rasponom gnojiva (60-120 N/ha). Rezultati su pokazali da nema značajnih razlika u prinosu gomolja. Prekomjerna količina nitrata u tlu može reducirati prinos gomolja kod čičoke (*Helianthus tuberosus L.*). Kontrolirana gnojidba dušikom opravdana je pri gušćem biljnom sklopu (Long i sur., 2016.). Za gnojidbu fosforom potrebno je između 14 i 100 kg P/ha, kalijevog karbonata između 52 i 100 kg/ha. Razina šećera u gomolju značajno se povećava nakon primjene fosfora. Primjena fosfora u velikoj mjeri ovisi o tipu i teksturi tla te drugim poljoprivrednim faktorima. Npr. gnojidba u omjeru 54:108:162 kg/ha NPK rezultirala je povećanjem nadzemne mase sa 14,4 t/ha na 22,7 t/ha suhe tvari šećera (Long i sur., 2016.).

Lešić i sur. (2002.) navode kako je za dobar razvoj potrebno mnogo kalija, te ističu kako je optimalno gnojiti sa 100 kg/ha dušika, 50 kg/ha fosfora i 15 kg/ha kalija, dok dodatna količina dušika pospješuje razvoj nadzemne biomase.

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je kaliofilna biljka te joj je stoga potreban kalij. Tlo je dobro prije sadnje dovoljno obogatiti prirodnim gnojivom, stajnjakom ili kompostom, iz kojih se oslobađa dovoljno kalija (Nađ, 2014.).



### 2.6.3 Navodnjavanje

U koje vrijeme će se navodnjavati usjev, ključno je za konačan prinos. Metode navodnjavanja koje se koriste za navodnjavanje čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) ovise o nekoliko faktora kao što su: tip tla, raspoloživa oprema, nagib zemlje itd. Također, tip tla utječe na režim navodnjavanja. Pjeskovita tla imaju manji kapacitet zadržavanja vode od glinenih tala.

Navodnjavanje predstavlja veliki trošak u proizvodnji. Navodnjavanje mora osigurati ciljni prinos kako bi se kao investicija ekonomski opravdalo. Razlikujemo načine navodnjavanja na otvorenom i u zatvorenim prostorima (staklenici, plastenici). Na otvorenim prostorima navodnjavanje ovisi o klimatskim uvjetima, a u zaštićenim prostorima potrebno je kontinuirano navodnjavati tijekom vegetacije.

Nedostatci vode za biljke u tlu nadoknađuju se navodnjavanjem poljoprivrednih zemljišta. Navodnjavanje je postupak umjetnog dodavanja vode zemljištima kada je nemaju dovoljno, a sa ciljem uzgoja poljoprivrednih kultura. Navodnjavanje nije samo korekcija klime nekog područja, odnosno nadopuna prirodnih oborina već i stvaranje uvjeta za potpunu novu poljoprivrednu proizvodnju. U sušnim dijelovima svijeta (kao što su Afrika, Južna Amerika, Bliski Istok, Južna Azija i mnoga druga područja) gdje nema dovoljno prirodnih oborina za uzgoj poljoprivrednih kultura, navodnjavanje je osnovna agrotehnička mjera i primarni preduvjet za bilo kakvu biljnu proizvodnju (Mađar, 1986.).

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima relativno visoku tolerantnost na sušu, iako njezino stanište nije uvijek u aridnim područjima. Ako je vlažnost tla manja od 30% kapaciteta tla tijekom razvijanja gomolja, tada se posljedice osjete na gomolju i nadzemnoj biomasi. U sušnim uvjetima bitno je osigurati navodnjavanje u početnoj fazi razvoja, posebno u fazi klijanja sjemena. Čičoka iskorištava vodu relativno efikasno. Prinos nadzemne biomase veći je za 36% s niskim tretmanom navodnjavanja (275 mm H<sub>2</sub>O). S visokim tretmanom navodnjavanja (376 mm H<sub>2</sub>O) prinosi su bili veći za 98% (Long i sur., 2016.). Nerijetko bi navodnjavanje dalo dvostruko veći prinos. Na primjer navodnjavanjem bi se prinos gomolja povećao sa 20-30 t/ha na 60-80t/ha, a visina biljaka s 1.0-1.5m na 2.0-3.5m (Stanley i Nottingham, 2008.).

Uzimajući u obzir da je čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) visoka, navodnjavanje u brazdama je vrlo isplativo, dok je navodnjavanje prskalicama teško izvedivo.

S obzirom na veliki problem pitke vode u svijetu, čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je pogodna za istraživanje zbog svoje visoke tolerantnosti na solni stres, odnosno moguće

je navodnjavati polja čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) morskom vodom. Jedno takvo istraživanje provedeno je u Kini, na polju u semiaridnom području Shandong, s 4 tretmana (bez navodnjavanja, navodnjavanje sa 25%, 50% i 75% morske vode). Provedeni tretmani s 25-50% morske vode doprinijeli su većem prinosu gomolja u odnosu na tretman bez navodnjavanja i s navodnjavanjem 75% morske vode (Long i sur., 2011.).

#### 2.6.4 Žetva

Način žetve ovisi o namjeni za koju se pojedini dijelovi biljke uzgajaju. Nadzemni dijelovi bi se trebali žeti prije faze ekspanzije gomolja. Vrhovi bi se trebali odrezati što je moguće bliže korijenu. Optimalno vrijeme rezanja nadzemnog dijela biljke bilo bi kada se masa gomolja krene povećavati. Time osiguravamo dovoljnu količinu biljnog materijala u tlu za klijanje i dovoljno nadzemne mase koja sadrži dovoljnu količinu zaliha ugljikohidrata koju će prenjeti gomolju (Helmi i sur., 2014.).

Gomolji čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) mogu se vaditi od listopada do početka vegetacije u proljeće. Standardne veličine su prikladnije za mehaničku žetvu koja se radi mehanizacijom za vađenje krumpira (Slika 4. i 5.). Gomolji čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) imaju vrlo tanku kožu i nježnu potkožicu koja se pri vađenju lako oštećuje, pa je zato najbolje postupno vaditi prema potrebi. Za čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) koje se planiraju vaditi u zimi, preporučuje se pokrivanje slamom da se izbjegne smrzavanje (Lešić i sur., 2002.). Gomolji koji se vade u jesen su malo gorki, dok su proljetni slađi zbog pretvaranja inulina u fruktozu ističe Vojnović (2016.).



Slika 4. Vadicica krumpira

Izvor: <http://www.jurval.hr/ponuda/poljoprivredna-mehanizacija/oprema-za-krumpir/>



Slika 5. Kombajn za krumpir

Izvor: <http://www.jurval.hr/ponuda/poljoprivredna-mehanizacija/oprema-za-krumpir/>

## 2.7 Uporaba Čičoke (*Helianthus tuberosus* L.)

### 2.7.1 Ljudska hrana

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) je sličnog okusa kao i kineski vodeni kesten. Gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) se tradicionalno koristi kao gurmansko povrće. Svježi čičokin gomolj sadrži 75 do 80 % vode, 2 do 3% proteina i 15 do 16% ugljikohidrata. Ako inulin na kraju svojeg lanca sadrži i glukoznu jedinicu onda gomolj može sadržavati i više od 80% vode. Gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) je odlična zamjena za krumpir (Stanley i Nottingham, 2008.).

U usporedbi s krumpirom čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) ima veći udio željeza. Sadrži 10-12% hranjivih vrijednosti u obliku vlakana, niacina, tiamina, fosfora i bakra. Također, sadrži dovoljan broj mikroelemenata (Ca, Mg, K), a proteini sadrže gotovo sve esencijalne aminokiseline (Rodrigues i sur., 2007.).

Vojnović (2016.) ističe kako se čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) može jesti sirova, kuhana, pržena i pečena. Zbog inulina je nisko kalorična, a glikemijski indeks iznosi nula, zbog čega ju koriste dijabetičari. Inulin sprječava nastanak kardiovaskularnih bolesti jer normalizira razinu triglicerida i kolesterola u krvi. Redovna konzumacija topi masne naslage. U područjima gdje se čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) učestalo koristi u prehrani, pojava dijabetesa je smanjena za 3 puta. Svježe i mlade stabljike se mogu koristiti kao zeleno povrće i varivo, dok se pečeni gomolj smatra zamjenom za kavu.

Od čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) se može proizvesti rakija. Od 100 kg čičoke se može proizvesti 6 litara rakije. Može se također kiseliti, te raditi zinnica, ali i proizvoditi brašno (Rade, 2011.).

## 2.7.2 Stočna hrana

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je ekonomski značajan usjev jer s nadzemnom biomasom i gomoljima (koji sadrže dovoljnu količinu makro i mikro elemenata) služi kao stočna hrana. Kemijski sastav svježih i suhих gomolja prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Kemijski sastav svježih i suhих gomolja

% od apsolutne suhe mase							
	Voda %	Protein %	Mast %	Vlakno %	Pepeo %	Ca %	P %
<b>Svježi gomolj</b>	72,8	11,76	3,61	11,76	12,58	0,05	0,4
	72,5	12,63	4,9	7,37	4,21	0,05	0,3
	87,4	11,11	5,08	7,94	10,32	0,05	0,2
<b>Suhi gomolj</b>	7,5	10,16	1,95	29,95	11,24		
	5,3	11,83	1,37	27,88	12,04		

Izvor: Ma i sur. (2011.), Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use value

Tablica 3. Kemijski sastav svježe nadzemne mase i nadzemne mase u silaži

% od apsolutne suhe mase					
	Voda %	Protein %	Mast %	Vlakno %	Pepeo %
<b>Nadzemna masa</b>	84,1	9,59	1,61	17,16	13,16
<b>Nadzemna masa u silaži</b>	82,8	8,02	2,27	18,9	11,57

Izvor: Ma i sur. (2011.), Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use value

Ako usporedimo gomolj i nadzemnu masu, vidimo da je nadzemna masa biljke bogatija vodom, bjelančevinama, pepelom, a siromašnja mastima i vlaknima (Tablica 3.). Nadzemna biomasa se može silirati, ali to nije preporučljivo zbog velike koncentracije topivih šećera i velike koncentracije vlage u masi biljke. Najbolja kvaliteta stočne hrane postiže se u rujnu kada razina proteina postiže najvišu razinu, međutim tada su prinosi gomolja znatno manji.

Najbolje je napraviti žetvu nadzemnog dijela biljke poslije jakog mraza, kako bi se povećali prinosi gomolja. Tada dobivena stočna hrana neće imati prednost nad drugom stočnom hranom, kao što je npr. lucerna (djetelina), koja nije bogata proteinim, ali dobar je izbor stočne hrane (Ma i sur., 2011.).

Rade (2011.) pojašnjava kako se svježi mladi vrhovi koriste kao krma, dok se stari ne mogu koristiti u ishrani stoke zbog niske probavljivosti. Gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) ima bolju nutritivnu vrijednost od krumpira, te veću energetska vrijednost od ostalih korijenjača i gomoljača. Životinje mogu jesti sirovu čičoku (*Helianthus tuberosus L.*), a svinjama se daje dnevno 1 kg svježije čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) na 10 kg mase. Prvo im se daje skuhana, drugi i treći dan na pola skuhana, a dalje im se može davati sirova. Peradi se može davati 50-100 g dnevno, a kunićima se mogu davati svi dijelovi biljke u količini od 1,5% tjelesne težine. Muznim kravama se daje 40-50 kg čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) na dan, a ovcama i kozama 1-2 kg dnevno. Zelena nadzemna masa se može koristiti u prehrani za visoku divljač. Stabljike i listovi se mogu silirati, pogotovo u kombinaciji s kukuruzovinom u omjeru 40:60.

### 2.7.3 Medicinske svrhe

Prijašnja fitokemijska istraživanja pokazala su da čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) sadrži mnogo spojeva, kao što su kumarin, nezasićene masne kiseline i seskviterpene. Navedeni spojevi imaju antifugalno i antibakterijsko djelovanje.

Nakagawa i sur. (1996) ispitivali su kalus čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) koji se može sačuvati poliferacijom u tekućem mediju. Utvrdili su hemaglutacijsko djelovanje tkiva biljke. Neki autori navode da čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima laksativno i diuretičko djelovanje, te da djeluje kao somatsko i okrepljujuće sredstvo korišteno u narodnoj medicini za liječenje reumatizma. S obzirom na nizak sadržaj poliamina i prisustvo inulina, koji se može konvertirati u fruktozu, funkcionalna uporaba gomolja koristi se kod ishrane ljudi s posebnim prehranbenim potrebama. Kao što su pacijenti

podvrgnuti kemoterapiji i dijabetičari. Inulin, porijeklom iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) može imati ključnu ulogu u oporavku organizma, metabolita krvi i jetrenih enzima. Također, gomolji se mogu koristiti u liječenju pretilih pacijenata koji pate od kardiovaskularnih oboljenja. Tkivo čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) sposobno je lučiti bioaktivne metabolite različitih strukturalnih razreda koji pokazuju uspješao djelovanje protiv stanica tumora (Ma i sur., 2011.).

#### 2.7.4 Industrijska sirovina

Zbog sadržaja inulina, čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) koja pripada obitelji glavočika (*Asteracea*), je važan izvor fruktoze za industriju. Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) se koristi za proizvodnju zaslađivača i brašna bogatih inulinom. Zbog kemijskog sadržaja (monosaharid, fruktooligisaharid i protein) idealna je za proizvodnju aditiva za stočnu hranu. Biljka čičoka može se transformirati u višegodišnji usjev tako što se vrši žetva stabljike i lišća, kao sirovina za ekstrakciju šećera, izbjegavajući sjetvu gomolja do sljedeće godine (Ma i sur., 2011.).

Iako ima veliki potencijal, čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) se za sada sadi na malim površinama. U periodu između 2006. i 2010. u svijetu je uzgajana na ukupno 130 000 ha polja, od čega se 78 000 ha nalazi u Europi (50 000 ha u Italiji, 16 000 ha u Španjolskoj i 9000 ha u Francuskoj). Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima višestruku uporabu (Tablica 4.) i veliki ekonomski potencijal (Izsaki i Nemeth, 2013.).

Tablica 4. Višestruka uporaba čičoke

<b>Proizvodi čičoke iz biomase gomolja i nadzemne biomase</b>	
<b>Proizvodi</b>	<b>Biomasa</b>
Hrana	gomolj
Stočna hrana	stabljika i lišće
Biogoriva	stabljika i lišće
Bioplin	stabljika i lišće
Pulpa za papir	stabljika

Izvor: Ma i sur. (2011.), Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use value

Jeruzalemska čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) može rasti na marginalnim (nepogodnim) područjima te tako neće biti konkurent biljkama koje se uzgajaju na obradivim površinama. To je razlog zbog kojeg čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima veliki potencijal kao sirovina za proizvodnju biogoriva i ostalih obnovljivih izvora energije.

## 2.8 Obnovljivi izvori energije

Zbog zaštite okoliša i klime, razvoj i širenje obnovljivih izvora energije (OIE) u Europskoj uniji (EU) doživjeli su značajan zamah u razvitku tehnologije i njene implementacije. Biomasa, kao sirovina za dobivanje toplinske i električne energije, prioritet je EU jer su pri njezinom iskorištavanju troškovi niži, te je pogodna za smanjivanje koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Potencijal iskorištavanja OIE je 3000 puta veći od sadašnjih potreba u svijetu.

Bitna prednost iskorištavanja bioplinskih sustava u pogledu zaštite okoliša, jest smanjenje emisije stakleničkih plinova. Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) koji se stvara izgaranjem bioplina, zatvara atmosferski krug koji je počeo vezivanjem tog plina u stanični materijal te iste biomase. Bioplinska postrojenja sprječavaju nekontrolirano oslobađanje metana, plina koji 20 puta više pospješuje „efekt staklenika“ od ugljikova dioksida, što je česta pojava u sustavima kompostiranja koji se loše provjetravaju (Potočnik i Lay, 2002.).

Kralik (2007.) navodi kako su OIE zamjena za fosilna goriva, koja mogu biti u obliku:

- Energije vjetra
- Sunčeva energija
- Energija vodenih tokova
- Energija vodika
- Energija biomase

([www.asd2007.pfos.hr](http://www.asd2007.pfos.hr))

EU je vodeća u svijetu na području primjene tehnologija obnovljive energije. Posjeduje 40% patenata OIE u svijetu, a gotovo polovica (44%) svjetskih kapaciteta obnovljive električne energije u 2012. (ne uključujući hidroenergiju) nalazila se u EU. U industriji obnovljive energije u EU trenutno je zaposleno oko 1,2 milijuna ljudi. U Direktivi o obnovljivoj energiji (Direktiva 2009/28/EZ o ukidanju Direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ) utvrđen je cilj prema kojem 20% potrošene energije u EU mora dolaziti iz

OIE do 2020. Osim toga, do 2020. EU mora proizvesti 10% svog goriva za promet iz obnovljivih izvora. EU je započela pregovore za dugoročnu strategiju koja je iznesena u „Energetskom planu za 2050.“(COM(2011)0885/2), prema kojem udio obnovljive energije do 2030. treba iznositi najmanje 30% ([www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu))

Prvo bioplinsko postrojenje u Hrvatskoj je izgrađeno 2009. godine sa snagom od 135 kW (Slika 6.). Bioplinsko postrojenje Dvor u tovu ima 60 000- 90 000 pilića i 300 t pilećeg gnoja u jednom turnusu. Pileći izmet i silažni kukuruz služe proizvodnji bioplina u tri fermentora koji na godišnjoj razini mogu proizvesti 1100 MW h električne energije i 1300 MW h toplinske energije ([www.energetika-net.com](http://www.energetika-net.com)).

Republika Hrvatska postavlja strateški cilj da iz poljoprivredne proizvodnje u energetske svrhe iskoristi u 2020. godini ekvivalent od barem 20% ukupnih uvjetnih grla, i da tako proizvede oko 2,6 PJ energije iz bioplina odnosno oko 100 milijuna m<sup>3</sup> bioplina ([www.obnovljivi.com](http://www.obnovljivi.com)).



Slika 6. Bioplinsko postrojenje u Dvoru iz zraka

Izvor: <http://www.energetika-net.com/specijali/projekt-prica/prvo-hrvatsko-bioplinsko-postrojenje-16513>

## 2.9 Globalni potencijal biomase

Trenutno se u svijetu obrađuje oko 1,6 milijardi hektara zemlje. Procjenjuje se da u svijetu ima 4 milijardi hektara zemljišta pogodnog za proizvodnju hrane. Od toga kulture



za proizvodnju biogoriva čine 20 milijuna hektara. U Hrvatskoj je trenutno 974 080 hektara neiskorištene površine, od ukupno 2 150 000 potencijalnih ha obradivih površina. Za proizvodnju biogoriva mogu se koristiti i degradirana/marginalna tla, ne samo oranična tla. Danas se rade velika istraživanja na kulturama od kojih bi se proizvodio biopljin, a da te kulture nisu izravna konkurencija usjevima za ljudsku i stočnu hranu. Samo 2% oraničnih tala u svijetu se koristi za proizvodnju bioenergije. Dakle, postoji veliki potencijal usjeva koji bi se mogli koristiti kao sirovina za proizvodnju bioenergije ([www.gospodarski.hr](http://www.gospodarski.hr)).

Europska udruga za biomasu AEBIOM (*European Biomass Association*) procjenjuje da se energija dobivena iz biomase može povećati sa ukupno proizvedene 72 Mtoe (mega tone) u 2004., na 220 Mtoe u 2020. Najveći potencijal leži u poljoprivrednoj biomasi (Al Seadi i sur., 2008.).

Biomasa je definirana kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumski otpad i otpad srodnih industrija kao i biorazgradivi dijelovi industrijskog i gradskog otpada, prema Direktivi EU i Vijeća EU (2003/30/EC).

To je najstariji oblik izvora energije koji su ljudi koristili, dok danas ima veliki potencijal kao OIE koji može doprinijeti smanjenju emisije CO<sub>2</sub> i otpadnih voda, zaštititi ekosustava te otvaranju novih radnih mjesta. Istraživanja su pokazala kako je opterećenje atmosfere s CO<sub>2</sub> pri korištenju biomase kao goriva gotovo zanemarivo, jer je količina emitiranog CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljaka.

Šljivac i Šimić (2009.) biomasu dijele na drvnu, nedrvnu i različite vrste otpada:

- Drvna biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo),
- Drvna uzgojena biomasa (brzorastuće drveće),
- Nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave),
- Ostaci i otpaci iz poljoprivrede,
- Životinjski otpad i ostaci,
- Gradski i industrijski otpad.

([www.oie.mingo.hr](http://www.oie.mingo.hr))



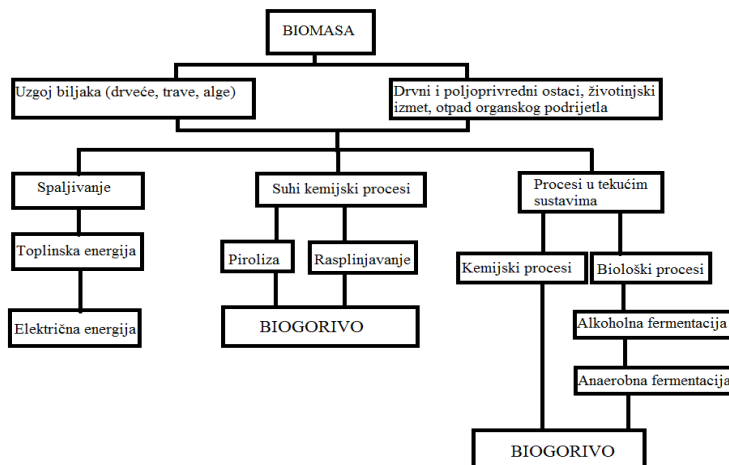
Slika 7: Izvori biomase

Izvor:

<http://marjan.fesb.hr/~fbarbir/PDFs%20Obnovljivi%20izvori/Dodatni%20materijali%20i%20predavanja/Biomasa%20Susa%20CTT.pdf>

## 2.10 Proizvodnja bioplina

Za proizvodnju bioplina kao sirovina koristi se gnoj ili gnojovka u kombinaciji s drugim sirovinama životinjskog ili biljnog porijekla. Biljne sirovine koja se koriste za proizvodnju bioenergije su tzv. energetski usjevi, koji predstavljaju poljoprivredne kulture korištene za proizvodnju bioenergije. Energetski usjevi mogu biti jednogodišnji i višegodišnji nasadi. Biomasa se može konvertirati u bioenergiju pomoću više metoda koje Kralik pokazuje preko shematskog prikaza (Slika 8.).



Slika 8. Načelna shema proizvodnje energije iz biomase

Izvor: [http://www.asd2007.pfos.hr/~dkralik/Predavanja\\_PDF/Biomasa.pdf](http://www.asd2007.pfos.hr/~dkralik/Predavanja_PDF/Biomasa.pdf)

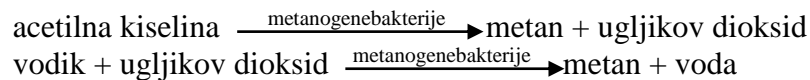
Kao što je prikazano na slici 8., postoje tri različita načina proizvodnje bioenergije iz biomase: spaljivanje, suhi kemijski procesi i procesi u tekućim sustavima. U istraživanjima za ovaj diplomski rad koristio se biološki proces tj. anaerobna fermentacija. Bioplin nastaje anaerobnom fermentacijom organskih tvari u fermentoru, pod utjecajem mikroorganizama koji su prisutni u supstratima i odgovorni za proces razgradnje, u odsustvu kisika. Tako nastaju metan (CH<sub>4</sub>), ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) i dušik, te ostali spojevi u tragovima.

Proces nastanka bioplina je rezultat niza povezanih procesa, tijekom kojih se supstrat razlaže na jednostavnije spojeve. Postoje četiri faze u proizvodnji plina, a u svakoj djeluju specifični mikroorganizmi. Navedene faze su:

- Hidroliza – prva faza anaerobne razgradnje tijekom koje se složena organska tvar (polimeri-proteini, masti i ugljikohidrati) razlaže u manje jedinice (oligomere i monomere). Hidrolitičke bakterije (*Bacteroides*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Peptococcus*, *Propionibacterium*), vrše hidrolizu na manje molekule, te se razmnožavaju puno brže od acetogenih i metanogenih bakterija.
- Acidogeneza – proizvodi hidrolize uz pomoć acidogenih bakterija transformiraju se u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70%) te hlapljive masne kiseline i alkohole (20%).
- Acetogeneza – najvažnije acetogene bakterije su: *Propionibacterium spp.*, *Syntrophobacter spp.*, *Synthromonas spp.* Proces acetogeneze i metanogeneze se uglavnom odvijaju paralelno. Tijekom acetogeneze proizvodi fermentacije koji se ne mogu transformirati metanogenim bakterijama u metan pretvaraju se u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline i alkohol oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid.
- Metanogeneza – aktivnošću metanogenih bakterija nastaje metan (CH<sub>4</sub>) i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Od toga 70% metana nastaje iz acetata, dok ostalih 30% nastaje pretvorbom iz vodika i ugljikovog dioksida. Najvažniji mikroorganizmi su metanogene bakterije iz carstva *Archaeobacteria*, dok su tri roda metanogenih bakterija bitnog značenja (*Methanobacterium* i *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium* i *Meth-*

*anogenium Methanospirillum*). Metanogeneza je najvažniji korak u cijelom procesu koji ovisi o sastavu otpada, stupnju dopune digestora, temperaturi i pH vrijednosti supstrata. Sve metanogene bakterije su strogi anerobi. Anaerobna fermentacije se obično odvija pri pH vrijednosti od 6,5 do 8,0 (www.chren.eu).

Metanogeneza je prikazana jednadžbom:



(Al Seadi i sur., 2008.)

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se kompleksi organskih spojeva razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima. Anaerobna razgradnja je prirodan proces koji se svakodnevno događa u prirodi, npr. u morskom sedimentu, u probavi preživača ili prilikom nastanka treseta. Kod bioplinskih postrojenja rezultati anaerobne digestije su bioplin i digestat. U slučajevima kada se za proces anaerobne digestije koristi homogena mješavina dvaju ili više supstrata, kao na primjer gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije, postupak se naziva kodigestija. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina. Za učinkovitu anaerobnu digestiju vrlo je važno osigurati optimalne uvjete za razvoj gore navedenih mikroorganizama (Al Seadi i sur., 2008.).

Za stabilnost anaerobne digestije ključna je temperatura, koja se može odvijati u nekoliko različitih temperaturnih zona:

1. Psihofilni proces – odvija se na temperaturi od 15-20 °C. Vrijeme potrebno za potpunu razgradnju je 70-80 dana.
2. Mezofilni proces – odvija se na temperaturi 25-35 °C. Vrijeme potrebno za potpunu razgradnju iznosi 30-40 dana.
3. Termofilni proces – odvija se na temperaturi od 50-60 °C. Vrijeme potrebno za potpunu razgradnju iznosi 15-20 dana.

### 2.10.1 Svojstva, sastav i primjena bioplina

Svojstva i sastav bioplina ovise o načinu proizvodnje, tipu supstrata, temperaturi, trajanju retencijskog razdoblja, volumenu digestora itd. Prosječna toplinska energija bioplina je oko 21 MJ/Nm<sup>3</sup>, dok prosječna gustoća iznosi 1,22 kg/Nm<sup>3</sup>, a težina 1,29 kg/Nm<sup>3</sup>. Sastav bioplina prikazan je tablici 5.

Tablica 5. Sastav bioplina

<b>Spoj</b>	<b>Kemijski simbol spoja</b>	<b>Udio (Vol.-%)</b>
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

Izvor: Al Seadi i sur. (2008.), Priručnik za bioplin, Intelligent Energy of Europe

Bioplin je mješavina metana CH<sub>4</sub> (50-75%), ugljikobog dioksida CO<sub>2</sub> (25-45%) i ostalih plinova u tragovima. Metan je pokazatelj kvalitete bioplina, što ga je više bioplin je kvalitetniji. Metan je jedan od stakleničkih plinova, a proizvodnja bioplina u bioreaktorima bi spriječila njegovu proizvodnju u prirodi. Sadržaj metana je različit, ovisno o vrsti supstrata (Tablica 6.).

Tablica 6. Sadržaj metana u različitim vrstama supstrata

Supstrat	Udio metana %	Ukupno bioplina (m <sup>3</sup> /t svježeg supstrata)
Tekuće gnojivo (krava i goveda)	60	25
Tekuća gnojnica (svinje)	65	28
Žitarice iz destilacije s otopljenim tvarima	61	40
Gnoj goveda	60	45
Gnoj svinja	60	60
Gnoj peradi	60	80
Repica	53	88
Organski otpad	61	100
Sirak	54	108
Stočna repa	51	111
Travna silaža	54	172
Kukuruzna silaža	52	202

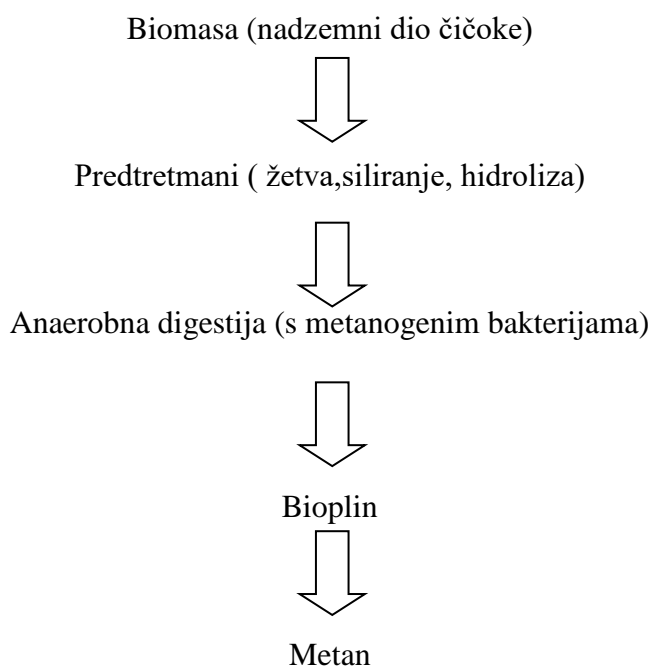
Izvor: Al Seadi i sur. (2008.), Priručnik za bioplin, Intelligent Energy of Europe

Bioplin se može koristiti za proizvodnju toplinske energije s direktnim izgaranjem, za proizvodnju električne energije putem energetske ćelije ili mikro turbinama, te za proizvodnju topline i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima ili kao gorivo za automobile. Anaerobnom digestijom osim bioplina, nastaje i digestat. Digestat je anorganski ostatak koji se kao i nedigestirana gnojovka može koristiti kao gnojivo ([www.chren.eu](http://www.chren.eu)).

#### 2.10.2 Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Čičoka kao potencijalna sirovina za proizvodnju bioplina je odgovarajuć usjev iz nekoliko razloga. Ima brz rast, lako se obrađuje, ima visoke prinose biomase i energije s niskim inputima, visoko je tolerantna na različite klimatske uvjete, otporna je na štetnike i bolesti s dobrom sposobnošću prezimljavanja i sa efikasnom konverzijom u metan. Gomolji se također mogu koristiti za proizvodnju bioplina kao i nadzemna biomasa čičoke. Jednostavni ugljikohidrati u nadzemnom dijelu biljke su spremni za fermentaciju i izboji sadrže veliku količinu ugljikohidrata. Siliranje nadzemne mase je učinkovit način skladištenja nadzemne biomase. Bolje je koristiti svježju nadzmenu masu za silažu nego nadzmenu masu koja je ušla u proces sazrijevanja (Kays i Nottingham, 2008.). Hidroliza inulina je ograničavajući korak u anaerobnoj digestiji kod uporabe čičoke kao supstrata te

predstavlja dodatni trošak. Proizvodnja bioplina prikazna je shematskim prikazom na slici 9.



Slika 9. Faze proizvodnje bioplina iz nadzemne mase čičoke

Izvor: Kays i Nottingham (2008.), *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke*

Kemijski sastav sirovine za proizvodnju bioplina je od iznimne važnosti. Šećeri male molekularne mase, inulin, hemiceluloza i celuloza koji se nalaze u čičoki (*Helianthus tuberosus L.*) su kemijski spojevi koji svojim potpunim sadržajem sudjeluju u digestiji tijekom fermentacije bioplina. U izbojima se nalaze kemijski spojevi koji svojim potpunim sadržajem sudjeluju u digestiji, te su stoga veoma poželjni u velikoj količini u procesu proizvodnje bioplina. Prinosi bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Prinosi bioplina iz nadzemne biomase čičoke iz različitih literatura

<b>Čičoka (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)</b>	<b>Prinos bioplina (1*kg<sup>-1</sup>OT<sup>1</sup>) (m<sup>3</sup>/t)</b>	<b>Izvor:</b>
Nadzemna masa	480-680	Kays i Nottingham, 2008.
Silirana nadzemna masa	468	Zubr, 1988.
Nadzemna masa	296	Zubr, 1988.
Silirana nadzemna masa	331	Zubr, 1988.
Nadzemna masa	480-590	El Bassan, 1988.

Iz tablice 7. je vidljivo kako postoje različiti prinosi bioplina. Rezultati prikazuju prinose bioplina (m<sup>3</sup>/t) nadzemne mase i silirane nadzemne mase čičoke prema suhoj organskoj tvari (OT) u čičoki (*Helianthus tuberosus* L.). Prema Kays i Nottinghamu (2008.) prinos nadzemne biomase od jedne tone suhe organske tvari čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) iznosi 480 do 680 m<sup>3</sup>. Istraživanja koje je proveo Zubr (1988.) iznose rezultate prinosa od jedne tone suhe organske tvari u varijaciji od 296 do 468 m<sup>3</sup>. U pokusima u Finskoj, godišnji prinos čičoke iznosio je između 9 do 16 t suhe tvari po hektaru, što je prinos od 3,100-5,400 m<sup>3</sup> metana CH<sub>4</sub> po hektaru, što je jednako godišnjem potencijalu energije od 30-50 W/ha ili 38 000-68000 km/ha s automobilom (Zubr, 1988.).

---

<sup>1</sup> OT – organska tvar



### 3 Materijali i metode istraživanja

Za potrebe istraživanja koristili su se svježi uzroci goveđe gnojovke i nadzemne zelene mase čičoke (*Helianthus tuberosus L.*).

Supstrati za istraživanja (anaerobna fermentacija) umiješani su u sljedeće mješavine:

- 500g (100%) goveđe gnojovke (kontrolna skupina-KD)
- 12,5g (2,5%) čičoke (nadzemne masa, zelene masa) + 487,5g (97,5%) goveđe gnojovke (eksperimentalna skupina ČM)

Sve grupe postavljene su u tri ponavljanja. Proces anaerobne fermentacije odvijao se u diskontinuiranom procesu pri termofilnim uvjetima ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) u trajanju od 45 dana.

Ciljevi istraživanja su:

- Utvrditi mogućnost proizvodnje bioplina iz čičoke, te
- Utvrditi količinu i sastav proizvedenog bioplina



Slika 10. Analizator bioplina plinski kromatograf Varian 3900

### 3.1 Određivanje sadržaja suhe tvari

Određivanje sadržaja suhe tvari utvrđeno je sušenjem 100 g svježe tvari uzorka u sušioniku, na 75 °C na 24 sata. Zatim dodatno 3 sata na temperaturi od 105 °C (Thompson, 2001.).

Ukupna suha tvar izračunata je iz podataka svježe tvari i suhe tvari nakon sušenja:

$$\text{Ukupna suha tvar (\%)} = [ \text{neto suha tvar (g)} \div \text{neto svježi uzorak (g)} ] \times 100$$

### 3.2 Određivanje sadržaja pepela i organske tvari

Ukupan sadržaj pepela i organske tvari utvrđen je žarenjem na 550 °C tijekom 2 sata (Thompson, 2001.) u peći za žarenje, a korišteni su suhu uzorci čičoke i sljedeće formule:

$$\text{pepeo (\%)} = [ \text{neto masa pepela nakon 550 °C (g)} \div \text{neto suhi uzorak (g)} ] \times 100$$

$$\text{organska tvar (\%)} = [ 1 - \text{neto pepela nakon 550 °C (g)} \div \text{neto suhi uzorak (g)} ] \times 100$$

### 3.3 Određivanje pH

pH – je utvrđen direktno u uzorcima elektrokemijskim mjerenjem (pomoću prijenosnog uređaja 827 Metrohm pH lab).

### 3.4 Određivanje količine i sastav plina

Istraživanje radi utvrđivanja količine bioplina je postavljeno u diskontinuiranom bioreaktoru pri termofilnim uvjetima (>50°C) u dvije grupe (kontrolna i eksperimentalna grupa) s četiri ponavljanja.

Proizvedeni bioplin, kroz zasićenu otopinu, prikupljan je u potopljenim graduiranim posudama (720 ml) i svakodnevno je očitana količina proizvedenog plina.

Proizvedeni plin, nakon završetka fermentacije, analiziran je plinskim kromatografom Varian 3900 prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974 – 4:2000.

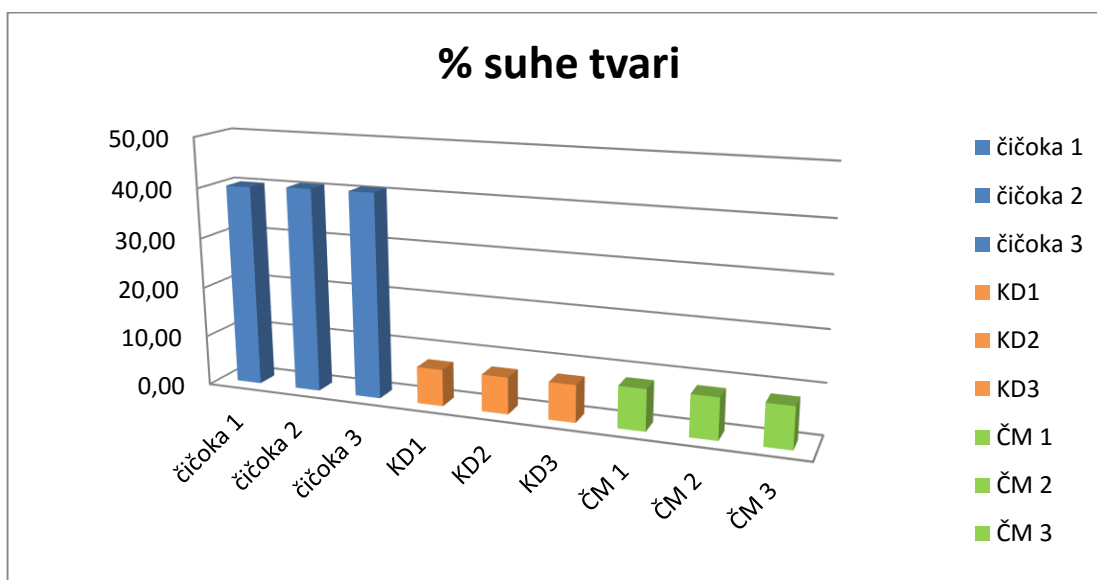
Plinskom kromatografijom utvrđen je udio (%): dušika (N<sub>2</sub>), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>).

## 4 Rezultati istraživanja

### 4.1 Udio suhe tvari i organske tvari u supstratima

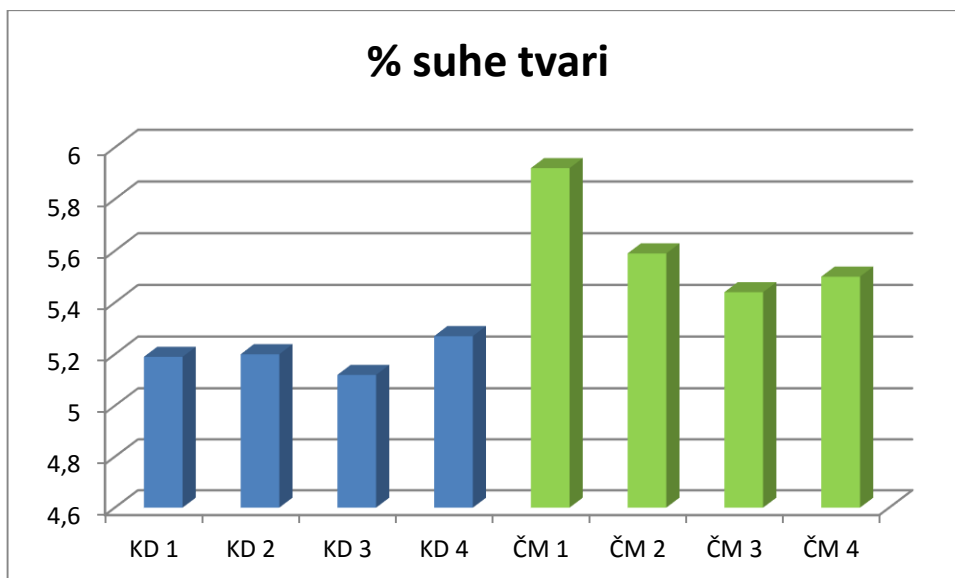
Istraživanjem je utvrđeno da goveđa gnojovka ima nisku koncentraciju suhe tvari. Dodavanjem čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) u goveđu gnojovku mijenja se udio suhe tvari (ST). U eksperimentalni uzorak dodano je 2,5% čičoke (*Helianthus tuberosus* L.). Posljedično tome došlo je do razlike u udjelu suhe tvari između kontrolne i eksperimentalne grupe.

Prije fermentacije najveći udio suhe tvari u eksperimentalnoj grupi (ČM 2) iznosi 8,23%, a prosječna vrijednost suhe tvari u eksperimentalnoj grupi ČM 1, ČM 2, ČM 3 je 8,22%. Najmanji udio suhe tvari u kontrolnoj grupi iznosi 7,29% (KD 1), a prosjek postotaka suhe tvari u kontrolnim uzorcima KD 1, KD 2, KD 3 je 7,33%. Prosječni udio suhe tvari u svježoj čičoki 1, 2, 3 je 40,55%.

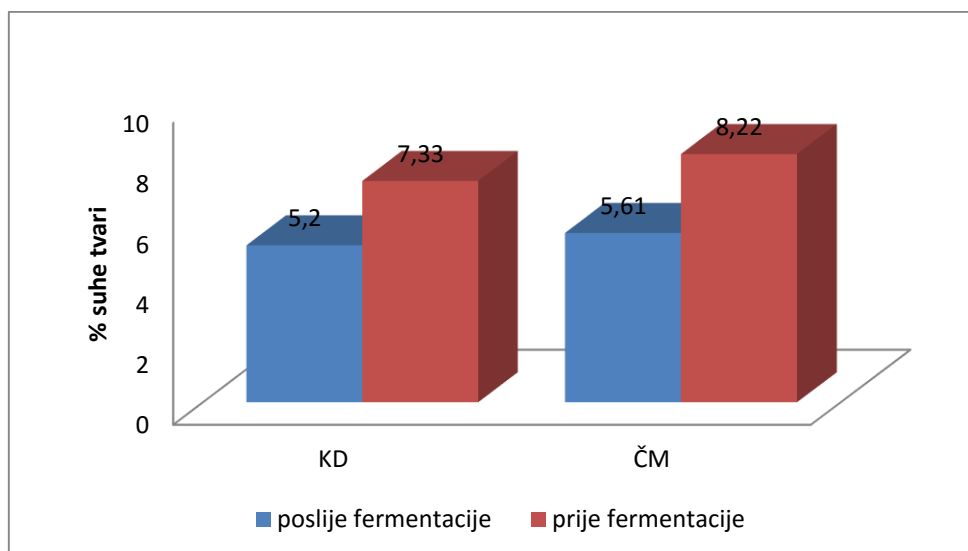


Grafikon 1. Suha tvar (%) u supstratima prije fermentacije

Nakon fermentacije prosječan postotak suhe tvari u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4 se smanjio na 5,20%, a u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4 na 5,61% (Grafikon 2.).



Grafikon 2. Suha tvar (%) u supstratima poslije fermentacije

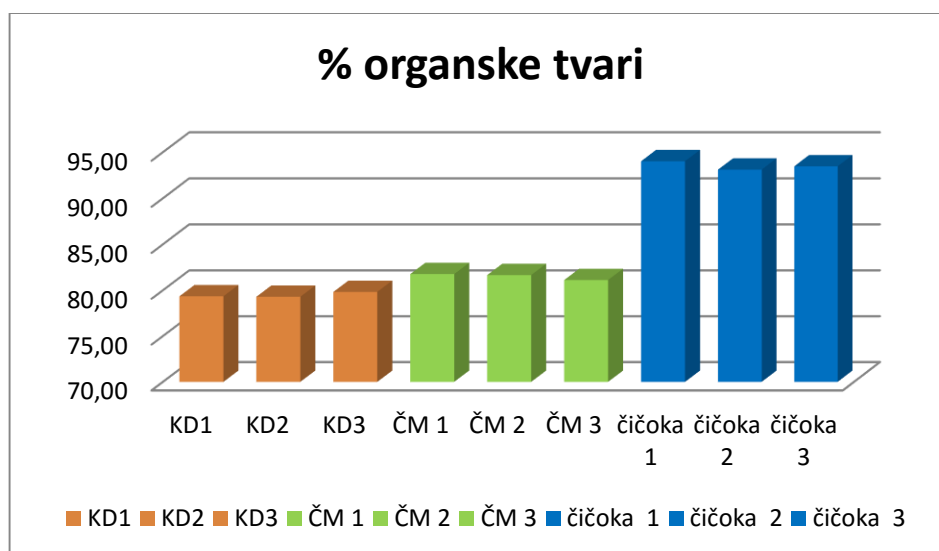


Grafikon 3. Usporedba prosječne vrijednosti suha tvar (%) prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe

Kao što je prikazano na grafikonu 3., prosječna vrijednost suhe tvari u kontrolnoj grupi KD prije fermentacije iznosila je 7,33%. Nakon fermentacije udio suhe tvari iznosio je 5,20%, odnosno došlo je do smanjenja za 29,06%. Prosječna vrijednost suhe tvari u eksperimentalnoj grupi ČM prije fermentacije iznosila je 8,22%, nakon fermentacije prosječna vrijednost suhe tvari je iznosila 5,61%, odnosno gledajući odnos prije i poslije koncentracija se smanjila za 31,75%.

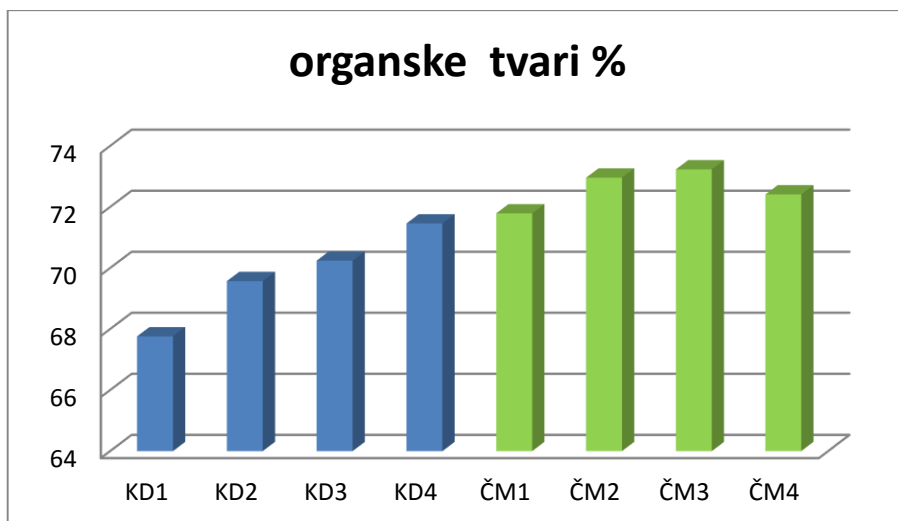
U proizvodnji bioplina količina suhe tvari je jako bitan parametar. Organska tvar u silaži i gnojovci je osnovni izvor koji mikroorganizmi koriste za proizvodnju bioplina tj. metana. Što je veća količina organske tvari, očekuje se i veća količina bioplina.

Najveća količina organske tvari prije fermentacije zabilježena je kod čičoke 1 (*Helianthus tuberosus* L.) koja je iznosila 94,02%, dok je prosječna organska tvar iznosila 93,53%. Prosječna organska tvar u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2 I ČM 3 iznosi 81,51%, dok je u kontrolnim grupama KD 1, KD 2 i KD 3 udio organske tvari prosječno iznosio 79,48%. (Grafikon 4.)

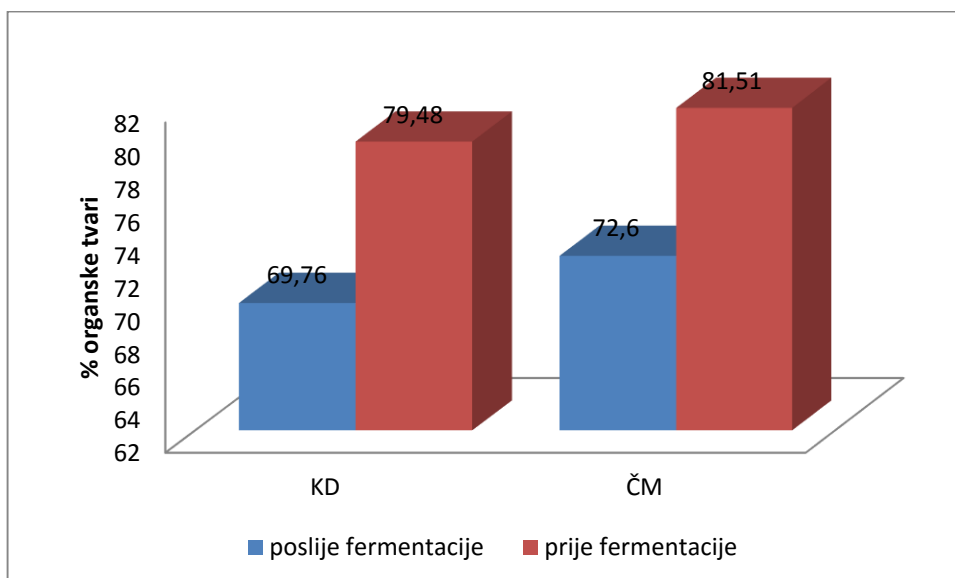


Grafikon 4. Organske tvari (%) u supstratima prije fermentacije

Od kontrolnih grupa najveći udio organske tvari nakon fermentacije zabilježen je kod KD 4 koji iznosi 71,46%. Prosječan postotak organske tvari nakon fermentacije smanjio se u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4 na 69,76%, dok je u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4 na 72,60%. Od eksperimentalnih grupa najveći udio organske tvari nakon fermentacije zabilježen je kod 73,23% (Grafikon 5.).



Grafikon 5. Organske tvari (%) u supstratima nakon fermentacije

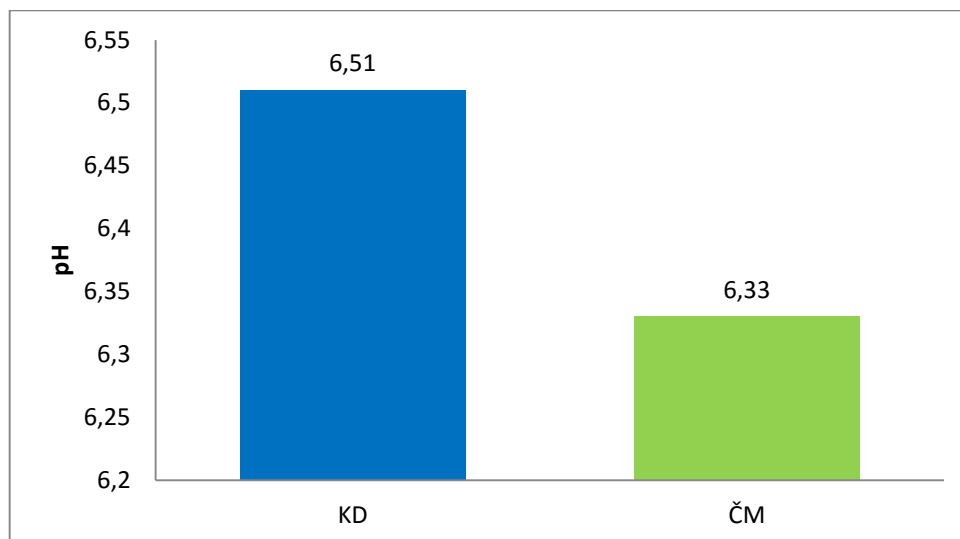


Grafikon 6. Usporedba prosječne vrijednosti organske tvari (%) prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe

Prosječna vrijednost organske tvari u kontrolnoj grupi KD prije fermentacije iznosila je 79,48%. Nakon fermentacije udio organske tvari iznosio je 69,76%, odnosno nakon fermentacije došlo je do smanjenja za 12,23%. Prosječna vrijednost organske tvari u eksperimentalnoj grupi ČM prije fermentacije iznosila je 81,51%, a nakon fermentacije prosječna vrijednost organske tvari iznosila je 72,60% , odnosno gledajući odnos prije i poslije koncentracija se smanjila za 10,94% (Grafikon 6.).

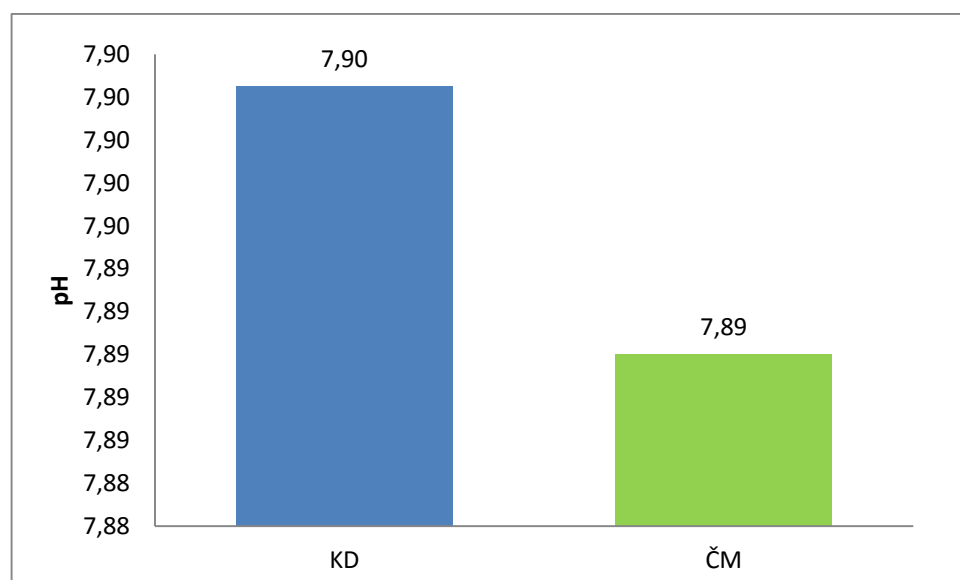
## 4.2 Koncentracija pH

Prije fermentacije vrijednost pH u kontrolnom uzorku KD iznosi 6,51, dok u eksperimentalnom uzorku ČM iznosi 6,33 (Grafikon 7.).



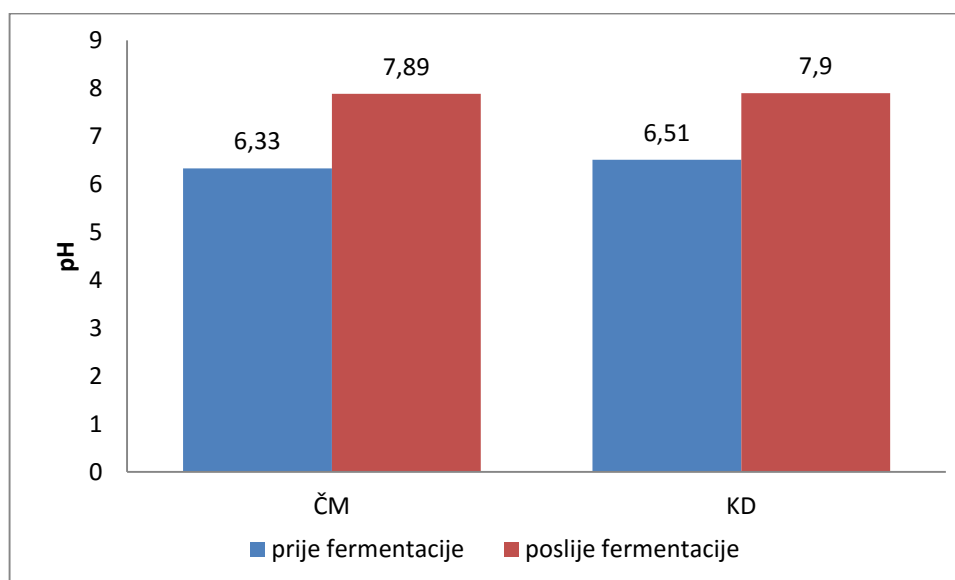
Grafikon 7. Visina pH vrijednosti u uzorcima prije fermentacije

Nakon fermentacije prosječna pH vrijednost se povećala u eksperimentalnoj grupi ČM i kontrolnoj grupi KD. Prosječni pH u kontrolnoj grupi KD iznosi 7,90, dok u eksperimentalnoj grupi ČM 7,89 (Grafikon 8.).



Grafikon 8. Visina pH vrijednosti u uzorcima poslije fermentacije

pH vrijednost je funkcija bikarbonatskog alkaliteta, koncentracije hlapljive masne kiseline i parcijalni pritisak  $\text{CO}_2$  koji imaju veliki utjecaj na proces anaerobne fermentacije. Metageneni mikroorganizmi i acetogene bakterije pokazuju veliku osjetljivost na pH vrijednost supstrata. Tijekom procesa anaerobne fermentacije pH nije stalan nego varira u granicama od 6,6 do 8,2. Proces metanogeneze se razvija pri vrijednosti pH od 6,6 do 7,6. Kada je pH ispod 6,5 aktivnost metagenenih bakterija se zaustavlja jer se preoptereće organskom tvari, udio  $\text{CO}_2$  se diže u plinu dok udio metana opada. Najpovoljnije je da pH vrijednost što manje varira tijekom anaerobne fermentacije, smatra se da je optimalna vrijednost pH u intervalu između 7,0 i 7,2. Do prestanka aktivnosti dolazi ako je pH vrijednost previsoka, tada  $\text{NH}_4$  se pretvara u  $\text{NH}_3$  (Šaloman i sur., 1983.).



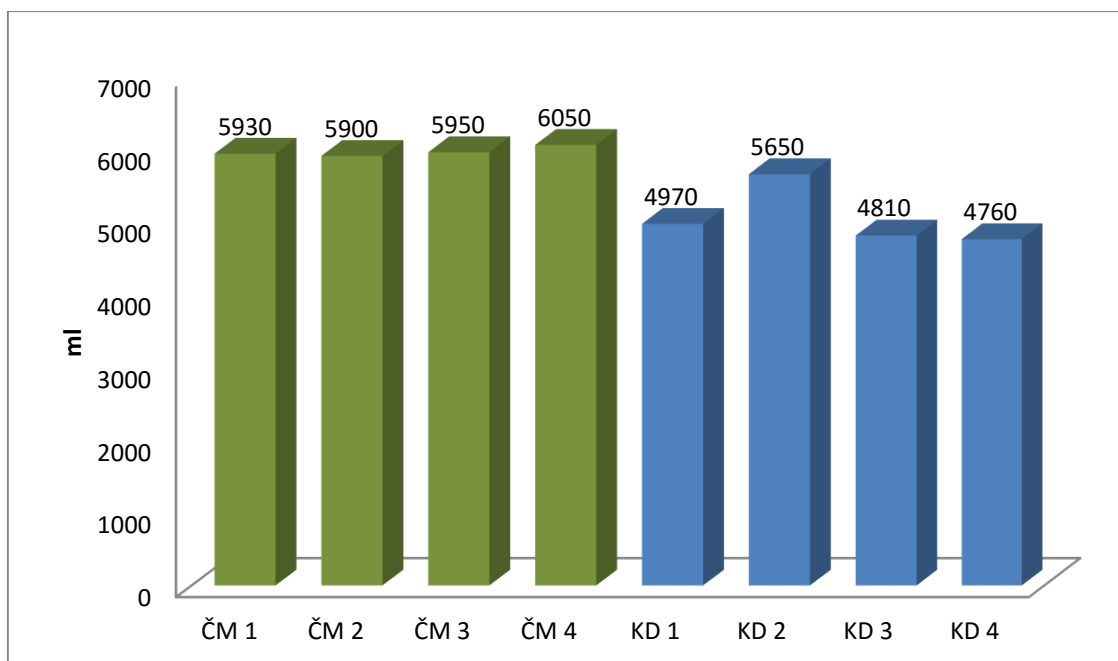
Grafikon 9. Usporedba prosječne visine pH vrijednosti prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe

Kao što je prikazano na grafikonu 9. razina pH je narasla nakon fermentacije kod kontrolne grupe KD i kod eksperimentalne grupe ČM. Prosječna vrijednost pH u kontrolnoj grupi KD prije fermentacije je iznosila 6,51, a nakon 7,90. Prosječna vrijednost pH u eksperimentalnoj grupi ČM je iznosila 6,33 prije fermentacije, a nakon fermentacije je iznosila na 7,89.



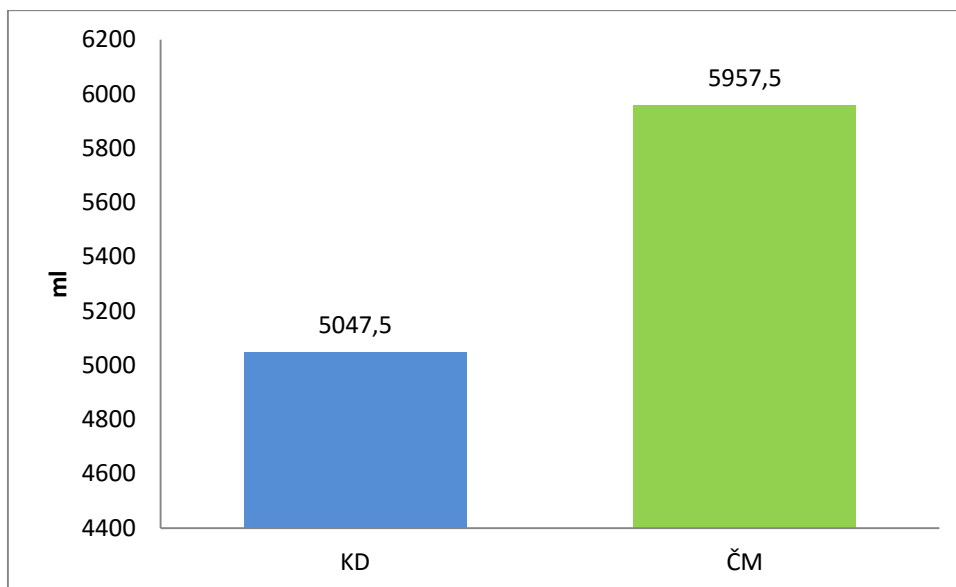
### 4.3 Količina proizvedenog bioplina

Ukupna količina proizvedenog bioplina tijekom retencijskog razdoblja od 31 dana iz 500 ml supstrata prikazana je u grafikonu 10. Dodavanjem 12,5 g nadzemne mase čičoke u 487,5 g goveđe gnojovke proizvodnja bioplina se povećala.



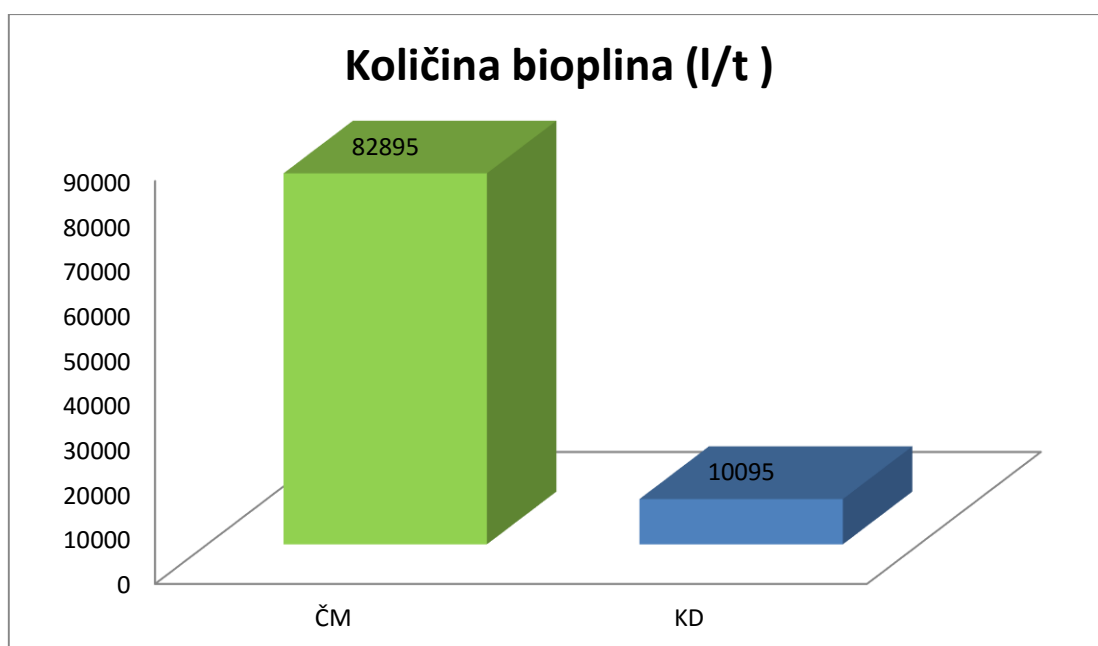
Grafikon 10. Ukupna količina proizvedenog bioplina

Najmanju proizvodnju bioplina imala je grupa ČM 2 sa 5900/500ml, a najveću proizvodnju plina imala je grupa ČM 4 sa 6050/500 ml. Ako se uzmu u obzir ekstremi vrijednosti kontrolne i eksperimentalne skupine jasno se vidi kako eksperimentalne skupine imaju veću proizvodnju bioplina od kontrolnih skupina. Uzimajući u obzir prosječnu vrijednost, eksperimentalna grupa nadmašuje proizvodnju bioplina za 910 ml/500ml, odnosno za 15,27%. Prosječna vrijednost u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4 iznosi 5047,5/500ml, u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4 iznosi 5957,5/500ml (Grafikon 11.).



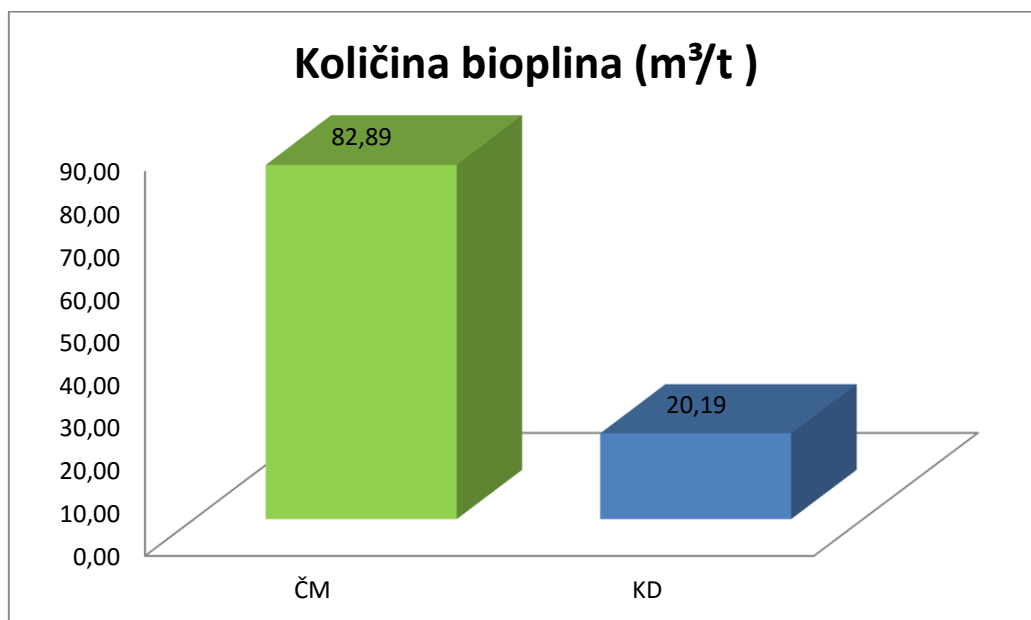
Grafikon 11. Prosječna količina bioplina kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe

Količina proizvedenog bioplina iz jedne tone istraživanih supstrata prikazana je grafikonom 12. Proizvodnja kontrolne skupine KD je 10095 l/t, a eksperimentalne skupine ČM 82895 l/t. odnosno dodavanjem čičoke u supstrat dobili smo 15,27% više plina od kontrolne grupe KD. Može se primjetiti kako eksperimentalna grupa ČM daje više plina i ima daleko veću proizvodnju od kontrolne skupine KD.



Grafikon 12. Prosječna proizvodnja bioplina iz jedne tone

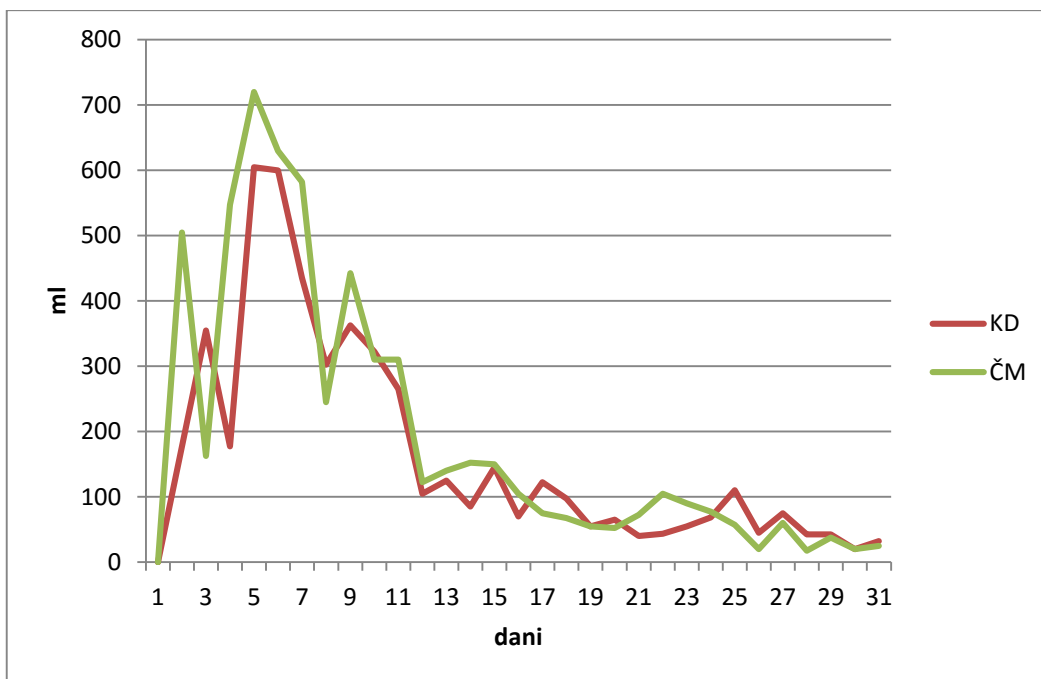
Na grafikonu 13. prikazana je količina bioplina u kubnim metrima po toni eksperimentalne ČM i kontrolne KD grupe. Iz jedne tone mješavine goveđe gnojavke i nadzemne mase čičoke dobije se 82,89 m<sup>3</sup>/t, a od kontrolne grupe KD se dobije 20,19 m<sup>3</sup>/t.



Grafikon 13. Količina proizvedenog bioplina ( m<sup>3</sup>/t)

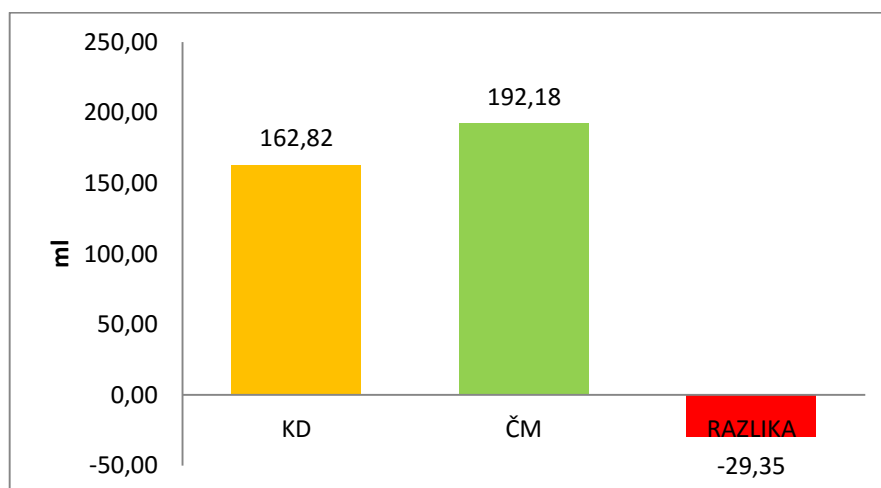
#### 4.4 Dinamika proizvodnje bioplina

Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) skupine prikazana je na grafikonu 14. gdje se može očitati intenzitet stvaranja bioplina tijekom retencijskog razdoblja od 31 dana. Tijekom 31 dana intenzitet stvaranja bioplina je neujednačen. Na početku razdoblja primjećujemo progresivan rast proizvodnje bioplina kontrolne KD i eksperimentalne ČM grupe prvih 8 dana, nakon čega se intenzitet smanjuje te stagnira. Najveći varijacije intenziteta između kontrolne KD i eksperimentalne ČM skupine se javlja 2. dana (25.06.2015), kada je prosječni dnevni prinos eksperimentalne skupine ČM bio veći za 327,5ml, dok je 3. dana (26.06.2015) prosječan dnevni prinos kontrolne skupine KD veći za 192,5 ml. Jednaki prosječni dnevni prinosi bioplina su zabilježeni 19. (12.07.2015) i 20.(23.07.2015) dana.

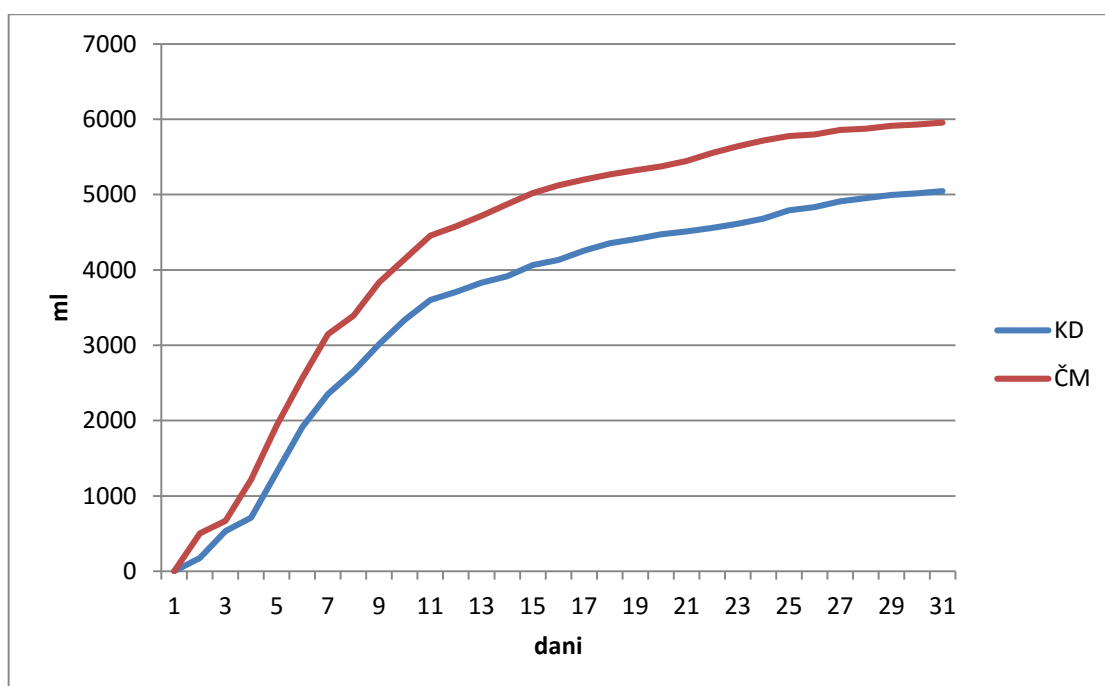


Grafikon 14. Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) skupine

Prosječni dnevni prinos bioplina kod kontrolne KD grupe iznosi 162,82 ml, dok kod eksperimentalne (ČM) grupe iznosi 192,18 ml, što je više za 29,35 ml dnevno tj. 18,03% više (Grafikon 15.).



Grafikon 15. Prosječni dnevni prinos kontrolne KD i eksperimentalne ČM grupe

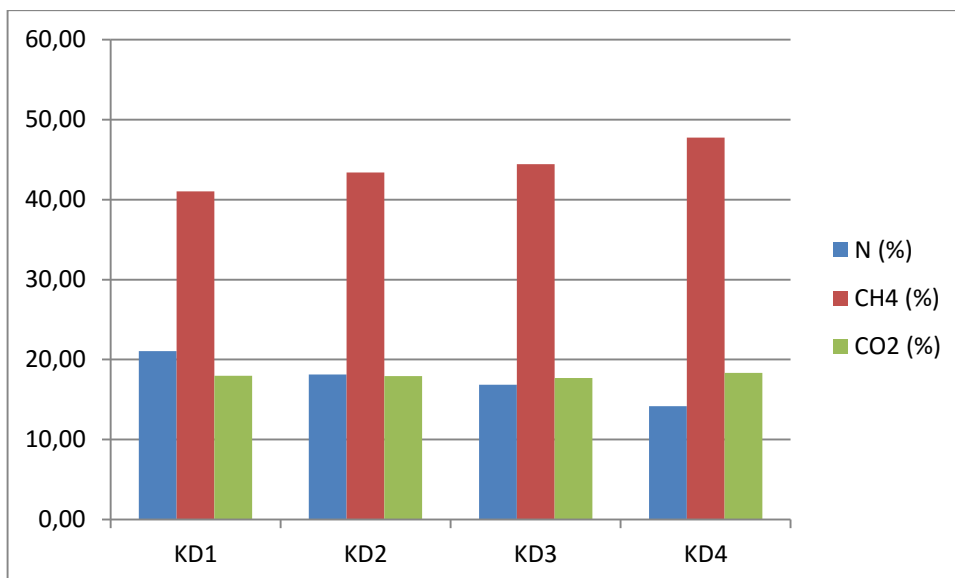


Grafikon 16. Kumalativni prikaz količine bioplina kontrolne skupine KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4, i eksperimentalne skupine ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4

Dinamika stvaranja bioplina naglo raste prvih 9 dana, nakon čega se do kraja retencijskog razdoblja dinamika stvaranja bioplina postupno smanjuje (Grafikon 16.).

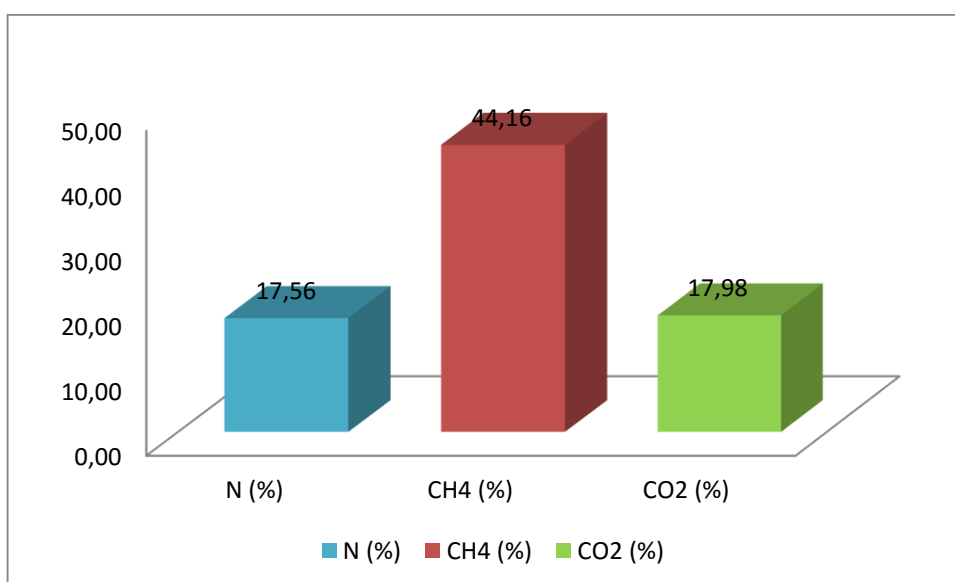
#### 4.5 Sastav bioplina

Sastav bioplina ovisi o mnogo faktora poput temperature, pH, mikroorganizama, sastavu supstrata i vremenu retencije. Svi faktori utječu na udjele pojedinih plinova u bioplinu. U sljedećim grafikonima prikazana su kretanja dušika, ugljikovog dioksida i metana. Na grafikonu 17. prikazana je koncentracija dušika (N), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4. Najveću koncentraciju dušika (N) imala je kontrolna grupa KD 1 koja iznosi 21,06%, a najmanju koncentraciju dušika (N) imala je kontrolna grupa KD 4, a iznosi 14,18%. Najveću koncentraciju metana (CH<sub>4</sub>) imala je kontrolna grupa KD 4, a iznosi 47,76%, koja također ima najveću koncentraciju ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) vrijednosti od 18,36%.



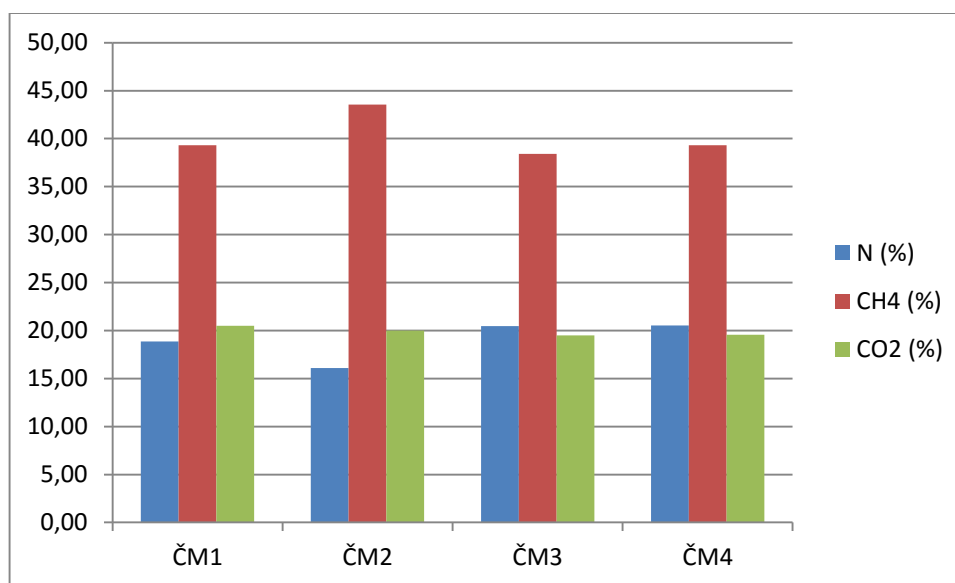
Grafikon 17. Koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4

Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) kontrolnih grupa KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4 prikazana je na grafikonu 18. Prosječna vrijednost metana (CH<sub>4</sub>) kontrolne grupe KD iznosi 44,16%, dušika (N) 17,56%, dok je vrijednost koncentracije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) 17,98%.



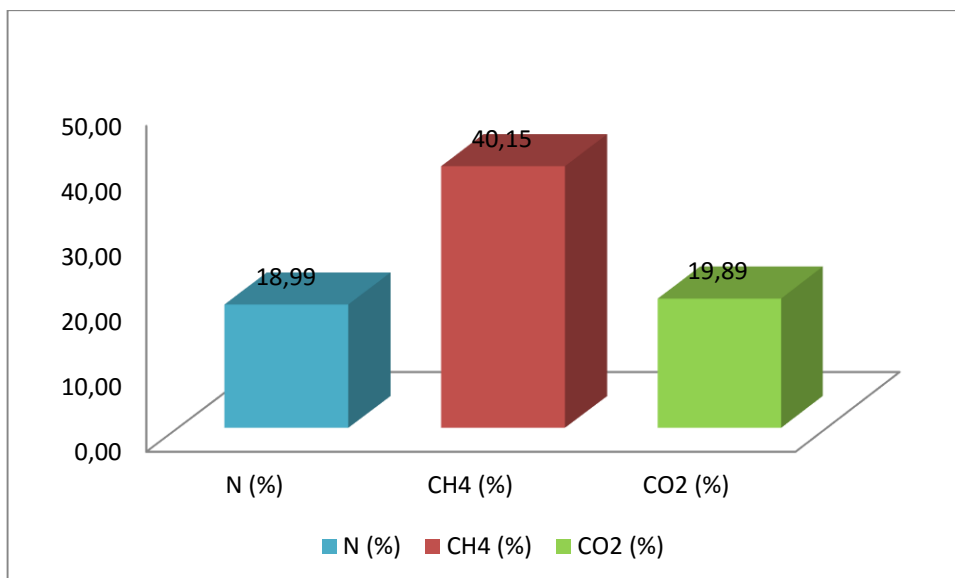
Grafikon 18. Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) kontrolnih grupa KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4

Na grafikonu 19. prikazana je koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4 u koje je dodana nadzemna masa čičoke. Najveću koncentraciju dušika (N) imala je eksperimentalna grupa ČM 4 koja iznosi 20,52%, a najmanju koncentraciju dušika (N) imala je eksperimentalna grupa ČM 2, a iznosi 16,11%. Najveću koncentraciju metana (CH<sub>4</sub>) imala je eksperimentalna grupa ČM 2, a iznosi 43,56%, dok najveću koncentraciju ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) ima eksperimentalna grupa ČM 1 u vrijednosti od 20,51%.

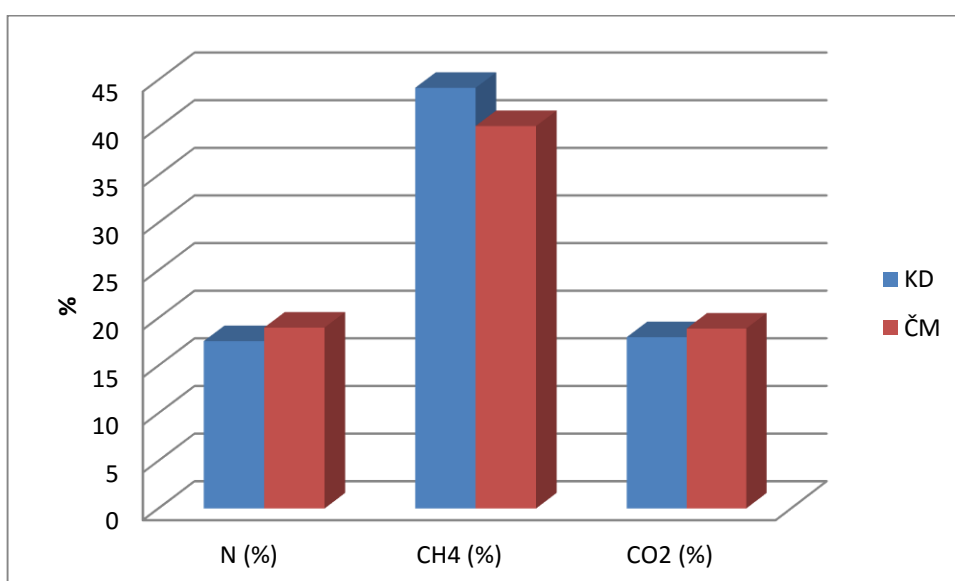


Grafikon 19. Koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4

Prosječna koncentracija dušika (N) eksperimentalne grupe ČM iznosi 18,99%, vrijednost prosječne koncentracije ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) je 19,89%, a metana (CH<sub>4</sub>) 40,15% (Grafikon 20.).



Grafikon 20. Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4



Grafikon 21. Razlike prosječnih vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) između eksperimentalne (ČM) i kontrolne (KD) grupe

Prosječna koncentracija dušika (N) kod kontrolne grupe (KD) iznosi 17,56 %, dok je kod eksperimentalne grupe (ČM) koncentracija dušika veća za 7,53%, iznosi 18,99%. Prosječna koncentracija dušika (N) kod kontrolne grupe (KD) iznosi 17,89%, prosječna koncentracija dušika (N) kod eksperimentalne grupe iznosi 18,89% tj. koncentracija dušika



(N) kod eksperimentalne grupe je veća za 5,29%. Prosječna koncentracija metana (CH<sub>4</sub>) kod eksperimentalne grupe (ČM) je manja za 9,08%, a iznosi 40,15%, dok koncentracija kontrolne (KD) grupe iznosi 44,16%.

## 5 Rasprava

Za proizvodnju bioplina koriste se sirovine kao što su gnojovke različitog podrijetla (goveđa, svinjska), ostaci iz drvne, poljoprivredne i prehrambene industrije, energetski usjevi (uljana repica, kukuruz, šećerna repa) i dr. Na temelju prikupljenih rezultata može se primijetiti da postoje bolji energetski usjevi od čičoke, s većom koncentracijom metana (CH<sub>4</sub>). Kukuruzna silaža ima veći prinos bioplina i veću koncentraciju metana od čičoke (*Helianthus tuberosus* L.). Potrebno je naći sirovinu za proizvodnju bioplina koja je ekonomski isplativa i ne utječe direktno ili indirektno na cijenu prehrane ljudi. Velika prednost čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) je što nije od velike važnosti u prehrani ljudi, prilagodljiva je na ekstremne suše i hladnoće. Čičoku (*Helianthus tuberosus* L.) se može uzgajati na marginalnim područjima, na tlima koja imaju problem sa salinitetom tla. Također, otporna je na štetnike i traži jako malo inputa, za razliku od kukuruzne i pšenične silaže koje se koriste kao sirovine u prehrambenoj industriji i u hranidbi domaćih životinja. Kukuruzna silaža je najzastupljenija krmna kultura kod svakog proizvođača mlijeka i mesa. Većina proizvođača isključivo proizvodi kukuruznu silažu za potrebe svojeg gospodarstva. Prijašnjih godina zbog velikih suša, kukuruzna silaža je bila jako tražena krma koju je bilo teško nabaviti na tržištu. Također, kukuruzna silaža se u velikom postotku koristi za proizvodnju bioplina. Iz navedenih razloga, cijena kukuruzne silaže jako varira, što utječe na troškove proizvodnje bioplina i na cijenu hrane. Za razliku od kukuruza, čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) nije pogodna kao usjev za monokulturu tj. plodored, jer kada je jednom posađena trajno ostaje na tom tlu do 8 godina. Jako ju je teško iskorijeniti jer je višegodišnji korov, koji se osim sjemenom razmnožava i vegetativnim podzemnim organima. Prinos kukuruza (*Zea mays*) i čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) ovisi o puno faktora npr. broj posijanih zrna/gomolja, vremenskim uvjetima za vrijeme vegetacije, agrotehnici, vrsti i tipu tla, vrsti hibrida itd. Prosječan prinos silažne mase kukuruza kreće se u velikom rasponu ovisno o prethodno navedenim faktorima. Prosječni prinos kukuruzne silaže iznosi 55 t/ha, ali zbog suša u prijašnjim godinama, prinos je znao biti dvostruko niži. Prosječni prinosi čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) dijelimo na prinos

gomolja koji iznosi 35 t/ha, te nadzemne zelene mase čiji prinos iznosi 35 t/ha (Nađ, 2014.). Cijena gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) iznosi 10 kn/kg tj. 10 000 kn/t, ali naravno tržišni uvjeti mijenjaju cijenu.

Ovim istraživanjem smo utvrdili potencijal čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) tj. nadzemne mase čičoke kao sirovine za proizvodnju bioplina. Ako se promatra energetska vrijednost proizvedenog bioplina, može se utvrditi da 1m<sup>3</sup> bioplina daje prosječno 6,4 kWh energije, od toga se dobije 2,8 kWh toplinske i 2 kWh električne energije. Prema rezultatima istraživanja iz jedne tone nadzemne mase čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) dobije se 82,89 m<sup>3</sup>/t bioplina, odnosno dobije se 165,78 kWh električne energije i 232,09 kWh toplinske energije. Otkupna cijena električne energije iz bioplinskih postrojenja iznosi 1,20 kn, dok otkupna cijena toplinske energije iznosi 0,60 kn (tablica 8.). Iz jedne tone nadzemne mase čičoke (*Helianthus tuberosus* L.) može se dobiti 198,93 kn za električnu energiju i 139,25 kn za toplinsku energiju. Na profit utječu mnogi faktori. Prinos bioplina iz kukuruzne silaže je u prosjeku 218,13 m<sup>3</sup>/t, odnosno 436,26 kWh električne energije i 610,76 kWh toplinske energije. tj. prihod po toni od prodaje električne energije iznosi 523,51 kn, dok prihod od toplinske energije iznosi 366,45 kn. Gore navedene jedinice u nastavku će biti prikazane u odnosu na prinos i prihod po hektaru. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) donosi dobit od 11 839,30 kn po hektaru od zbroja električne i toplinske energije, dodatnu dobit donosi gomolj od 350 000 kn/ha tj. ukupna dobit je 361 839,30 kn/ha. Kukuruz nema dodatnu dobit osim proizvodnje bioplina, koja po hektaru iznosi 48 947,80 kn.

Tablica 8. Zajamčena otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja na bioplin

<b>Tip postrojenja</b>	<b>C</b>
a. sunčane elektrane	
a.1. sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW	3,40
a.2. sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 kW do uključivo 30 kW	3,00
a.3. sunčane elektrane instalirane snage veće od 30 kW	2,10
b. hidroelektrane	0,69
c. vjetroelektrane	0,64
d. elektrane na biomasu	
d.1. kruta biomasa iz šumarstva i poljoprivrede (granjevina, slama, koštice...)	1,20
d.2. kruta biomasa iz drveno- prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka...)	0,95
e. geotermalne elektrane	1,26
f. elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...)	1,20
g. elektrane na tekuća biogoriva	0,36
h. elektrane na deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanja otpadnih voda	0,36
i. elektrane na ostale obnovljive izvore energije (morski valovi, plima, oseka...)	0,60

Izvor: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/297518.html>

Troškovi proizvodnje (sjeme, mineralna gnojiva, sredstva za zaštitu bilja, mehanizacija) kukuruzne silaže iznose 6248,36 kn (<http://www.agroklub.com>). Troškovi siliranja kukuruzne silaže i nadzemne mase čičoke u PP Orahovici su vidljivi u tablici 9.

Tablica 9. Troškovi silosa

<b>TROŠKOVI SILOSA</b>	<b>kn</b>
Trošak prijema	37 kn/t
Trošak izlaza	20 kn/t
Skladištenje	15 kn/t mjesečno
Kod ulaza	1%
Kod izlaza	0,5 %

Izvor: <http://www.pporahovica.hr/Cjenici-87.aspx>

Troškovi silosa za kukuruznu silažu iznosili bi 2860 kn/ha, a svaki dodatni mjesec u silosu bi bio trošak u iznosu od 825 kn/ha. Kao što je navedeno čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) osim nadzemne biomase od koje se proizvodi bioplin sadrži i gomolj koji osim prihoda donosi i dodatni trošak. Žetva nadzemne mase se provodi istom mehanizacijom kao i kukuruz, dok se gomolji zbog svojih morfoloških karakteristika sličnih krumpiru beru pomoću mehanizacije za krumpir. Prema Firšt – Godek i sur. (1996.) ukupni iznos troškova agrotehnike, ljudskog rada i repromaterijala iznose 19 350 kn/ha. Naravno veliki dodatni trošak bi bio skladištenje gomolja čičoke. Zubr (1988.) naglašava kako cijelokupni trošak proizvodnje čičoke iznosi 10 943 DKK (Danskih kruna) odnosno 11 052 kn/ha. Troškovi konverzije supstrata u bioplin nisu uračunati jer zahtjevaju visoka kapitalna ulaganja, ali zbog velikog potencijala bioenergije kapitalna ulaganja mogu biti puno manja uz pomoć EU fondova.

## 6 Zaključak

Na temelju provedenog laboratorijskog istraživanja koja su ispitivala proizvodnju bioplina iz nadzemne mase čičoke (*Helianthus tuberosus* L.), utvrđeno je da dodavanjem nadzemne mase čičoke rezultira porastom proizvodnje bioplina. Najveći porast zabilježen je u eksperimentalnoj grupi ČM 4 koja je iznosila 6050 ml/500ml supstrata, u odnosu na kontrolnu grupu KD 5 5650 ml/500ml supstrata. pH ima veliki utjecaj na proces anaerobne fermentacije. Metanogene i acetogene bakterije pokazuju veliku osjetljivost na pH vrijednost supstrata, kada vrijednost pH padne ispod 6,5 aktivnost metanogenih bakterija se zaustavlja. Za proces metanogeneze pH vrijednost kreće se između 6,6 i 6,7. Sastav bioplina u svim skupinama eksperimentalne ČM i kontrolne KD grupe je podjednak. Prosječna koncentracija metana u skupini KD iznosi 44,16 %, a u eksperimentalnoj ČM 40,15%. Prosječna koncentracija ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub> u kontrolnoj grupi KD je 17,98 %, a u grupi ČM iznosi 19,89 %. Mnogi čimbenici utječu na sastav, količinu i svojstva bioplina te prema tome variraju.

Goveđi i svinjski gnoj i gnojavka su osnovni supstrati u većini bioplinskih postrojenja. Iz jedne tone nadzemne mase čičoke dobije se 82,89 m<sup>3</sup>/t bioplina, odnosno potencijalno se može dobiti 530,47 kWh energije. Za usporedbu se koristila kukuruzna silaža čiji je prinos iznosio 218 m<sup>3</sup>/t, odnosno 162,99% više bioplina od nadzemne mase čičoke. Kukuruzna silaža sadrži 67,05% metana, zbog većeg udjela metana kukuruzna silaža proizvodi kvalitetniji bioplin. Također se upotrebljava u ljudskoj i stočnoj prehrani čime je u izravnoj konkurenciji s proizvodnjom hrane. Današnja svjetska ekonomija jako ovisi o fosilnim gorivima koje zbog svoje štetnosti nije dugoročno održiva za ekosustav. Biomasa ima veliki potencijal za proizvodnju biogoriva i kemikalija koje znatno manje utječu na ekosustav i emisiju CO<sub>2</sub>. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) predstavlja usjev koji nije u izravnoj konkurenciji s proizvodnjom hrane, te ima veliku tolerantnost na stres i salinitet. Osim nadzemne mase čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) sadrži i gomolj koji joj daje dodatnu ekonomsku vrijednost, ali predstavlja problem skladištenja gomolja i daljnjeg procesuiranja. Potrebna su daljnja istraživanja potencijala čičoke kao usjeva za proizvodnju bioplina te daljnje ispitivanje njezine ekonomske isplativosti.

## 7 Popis literature

### Knjige

1. G. Grassi, G. Gosse (1989.): Topinambour (Jerusalem artichoke), Commission of the European Communities., (ur.) J.Zubr, Feuls from Jerusalem artichoke, p. p 165-185
2. Potočnik, V., & Lay, V. (2002): Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj. Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja RH, Zagreb
3. S. Mađar (1986.): Odvodnja i navodnjavanje u poljoprivredi. Niro zadruga, Sarajevo
4. Stanely J.Kays., Stephen F. Nottingham (2008.): Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Florida, CRC Press, Taylor & Francis Group LLT.

Dostupno na:

<https://www.scribd.com/doc/97335432/%D0%A2%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D1%83%D1%80-%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0> (posjećeno 15.03.2016.)

5. V. Gligić, (1954.): Etimološki botanički rečnik. Tuzla, Grafičar
6. T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Kottner, T. Finsterwalder (2008.), Priručnik za bioplin, Intelligenet Energy of Europe

Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/285960234/Prirucnik-Za-Biogas> (posjećeno 07.04.2016.)

### Članci

7. X. Ma, L. Zhang, H. Shao, F. Zhan, F. Ni i M. Brestic (2011.): Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values, Journal of Medicinal Plants Research Volume 5(8), pp. 1272-1279

Dostupno na :

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115011429> (posjećeno 13.04.2016.)

8. X. Long, H. Shao, L. Liu, Li. Liu, Z. Liu (2016.): Jerusalem artichoke: a sustainable biomass feedstock for biorefinery. Elsevier, Volume 54, pp. 1382-1388

- Dostupno na:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115011429> (posjećeno 18.4.2016.)
9. I. Nađ (2014.): Čičoka- neuništiv korov i lijek za dijabetis  
Dostupno na: <http://www.agroklub.com/povrcarstvo/cicoka-neunistiv-korov-i-lijek-za-dijabetes/13537/> (posjećeno 23.4.2016.)
  10. S. Yadav, M. Irfan, A. Ahmad, S. Hayot (2011): Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review, Triveni Enterprises Vikas Nagar, Lucknow, India, p.p. 667 - 685
  11. R. Lešić, J. Borošić, I. Buturac, M. Ćustić, M. Poljak, D. Romić (2002.):  
Povrcarstvo, Čakovec  
Dostupno na: <http://www.agroklub.com/sortna-lista/uljarice-predivo-bilje/cicoka-89/> (posjećeno 10.04.2016.)
  12. R. Vojnović (2016.): Čičoka- odlična zamjena za krumpir  
Dostupno na: <http://www.agroklub.com/povrcarstvo/cicoka-odlicna-zamjena-za-krumpir/23595/> (posjećeno 12.04.2016.)
  13. A. Diederichsen (2010.): Phenotypic diversity of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm preserved by the canadian genebank. *Helia*, 33, Nr. 53, p.p. 1-16  
Dostupno na: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1018-1806/2010/1018-18061053001D.pdf> (posjećeno 02.04.2016.)
  14. M. A. Rodrigues, L. Sousa, J. E. Cabanas and M. Arrobas (2007.): Tuber yield and leaf mineral composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) grown under different cropping practices., Mountain Research Centre (CIMO), Escola Superior Agrária. 5301-855 Bragança. Portugal  
Dostupno na: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/545-553-tuber\\_1195817125750.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/545-553-tuber_1195817125750.pdf) (posjećeno 08.04.2016.)
  15. R. Rade (2011.): Čičoka- gomolj hranjivi od krumpira  
Dostupno na: <http://www.agroklub.com/povrcarstvo/cicoka-gomolj-hranjiviji-od-krumpira/5725/> (posjećeno 15.04.2016.)
  16. Z. Izsáki, N. Kádi (2013.): Biomass Accumulation and Nutrient Uptake of Jerusalem Artichoke. *American Journal of Plant Sciences*, p.p. 1629-1640  
Dostupno na: [http://file.scirp.org/pdf/AJPS\\_2013080514134432.pdf](http://file.scirp.org/pdf/AJPS_2013080514134432.pdf) (posjećeno 01.04.2016.)

17. L. Frišt-Godek, J. Godek, T. Tušek, F. Marek (1987.): Kalkulacije proizvodnje krumpira (*Solanum tuberosum L.*) na obiteljkom poljodjelskom gospodarstvu

#### Internetske stranice

18. A. Bensa (2011.): Kemijski sastav tla  
Dostupno na:  
[http://www.medp.unist.hr/moduli/pedologija/predavanja/Kemijska\\_svojstva\\_tla.pdf](http://www.medp.unist.hr/moduli/pedologija/predavanja/Kemijska_svojstva_tla.pdf)  
2 (posjećeno 23.04.2016)
19. D. Kralik (2007.): Biomasa  
Dostupno na:  
[http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/hr/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.7.4.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/hr/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html) (posjećeno 19.04.2016.)
20. [www.igrow.com.hr](http://www.igrow.com.hr)  
<http://www.igrow.com.hr/testiranje-ph-tla/> (posjećeno 28.03.2016.)
21. [www.energetika-net.com](http://www.energetika-net.com)  
<http://www.energetika-net.com/specijali/projekt-prica/prvo-hrvatsko-bioplinsko-postrojenje-16513> (posjećeno 20.03.2016.)
22. D. Kralik (2005.): Potencijali bioplina u Hrvatskoj  
Dostupno: \_\_\_\_\_ na:  
[http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF\\_OBNOVLJIVI\\_COM/Potencijali\\_bioplina\\_u\\_Hrvatskoj\\_Hrvatsko\\_novinarsko\\_drustvo\\_2.pdf](http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF_OBNOVLJIVI_COM/Potencijali_bioplina_u_Hrvatskoj_Hrvatsko_novinarsko_drustvo_2.pdf) (posjećeno 29.03.2016.)
23. [www.gospodarski.hr](http://www.gospodarski.hr)  
<http://www.gospodarski.hr/Publication/2014/7/biomasa-obnovljivi-izvor-energije/7965#.VyXBwo9OJZV> (posjećeno 04.04.2016)
24. [www.gospodarski.hr](http://www.gospodarski.hr)  
[http://www.gospodarski.hr/Publication/2012/6/ioka-hrana-za-male-i-velike-ivotinje/7601#.Vy\\_EA49OJZU](http://www.gospodarski.hr/Publication/2012/6/ioka-hrana-za-male-i-velike-ivotinje/7601#.Vy_EA49OJZU) (posjećeno 10.04.2016.)
25. [www.pporahovica.hr](http://www.pporahovica.hr)  
<http://www.pporahovica.hr/Cjenici-87.aspx> (posjećeno 15.04.2016.)



Današnja ekonomija se i dalje uvelike oslanja na fosilne izvore energije, koji nisu održivo rješenje uzimajući u obzir intenzitet njihovog iskorištavanja i ekološki utjecaj istog. Uvođenjem biorafinerija na globalnoj razini trgovine derivatima i opskrbom društva istim, rješio bi se problem industrijsko orijentiranog društva i sveopća ekološka kriza.

Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) predstavlja biljku pogodnu za uzgoj u svrhu iskorištavanja njezine nadzemne biomase za proizvodnju bioplina, te gomolja za proizvodnju alkohola. Njezine svestrane morfološke, fiziološke i agroekološke karakteristike kao što su izuzetna otpornost na solni stres, izvrsna adaptacija na degradiranim tlima, otpornost na patogene, izvrsna sposobnost iskorištavanja vode u tlu, te mogućnost korištenja slane, odnosno morske vode u navodnjavanju iste, samo su neke od karakteristika koje doprinose njezinoj dodanoj vrijednosti i daju joj prednost u odabiru u odnosu na druge kulture. Osim uzgoja u svrhu proizvodnje obnovljivog izvora energije (bioplina) njezina agroekološka prednost u odnosu na većine kultura se očituje u njezinom fitoremedijacijskom utjecaju na degradirana tla, poboljšava njihova fizikalno-kemijska svojstva, te se takva tla nakon oporavka mogu privesti nekoj drugoj kulturi. Iako je relativno poznata kultura u Europi, tehnologija uzgoja i konkurentnost iste, u vidu proizvodnje bioplina potrebno je dodatno istražiti. Naime, potrebna su dodatna istraživanja kako bi se ispitala njezina konkurentna prednost u proizvodnji obnovljivih izvora energije te njezini potencijali na globalnoj razini.

Ključne riječi: bioplin, biomasa, obnovljivi izvori energije, čičoka (*Helianthus tuberosus* L.)

## 9 Summary

Today's economy still relies heavily on fossil energy sources, which are not a sustainable solution taking into account the intensity of their exploitation and environmental impact of the same. Introducing biorefineries on a global level would potentially solve ongoing ecological crisis and shift the mind set of the industrial-oriented society. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is a plant suitable for cultivation in order to exploit its above-ground biomass for the production of biogas, and tubers for the production of alcohol. Its versatile morphological, physiological and agro-ecological characteristics such as exceptional resistance to salt stress, excellent adaptation to degraded soils, resistance to pathogens, excellent ability to exploit water in the soil, and the possibility of using sea water in its irrigation, are only few of the features that contribute to its advantage compared to other cultures. In addition to cultivating Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for biomass, its agro-ecological advantage over most cultures is reflected in its phytoremediation effect on degraded soil, by improving physical and chemical properties of the soil, and such soil after recovery may lead to another culture. While it is relatively well-known culture in Europe, cultivation technologies and competitiveness of the same, in the form of biogas production should be further explored. The additional investigations are needed to examine its competitive advantage in the production of renewable energy and its potential globally.

Key words: biogas, biomass, renewable energy source, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)

## 10 Popis tablica

Redni broj	Naziv tablice	Broj stranice
1.	Klase saliniteta i utjecaj na biljku	9
2.	Kemijski sastav svježih i suhих gomolja	15
3.	Kemijski sastav svježe nadzemne mase i nadzemne mase u silaži	15
4.	Višetraka uporaba čičoke	17
5.	Sastav biolina	24
6.	Sadržaj metana u različitim vrstama supstrata	25
7.	Prinosi bioplina iz nadzemne biomase čičoke iz različitih literatura	27
8.	Zajamčena otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja na bioplin	46
9.	Troškovi silosa	46

## 11 Popis slika

Redni broj	Naziv slike	Broj stranice
1.	Cvijet čičoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.)	3
2.	Visina biljke	6
3.	Različiti oblici gomolja	7
4.	Vadilica krumpira	13
5.	Kombajn za krumpir	14
6.	Bioplinsko postrojenje u Dvoru iz zraka	19
7.	Izvori biomase	21
8.	Načelna shema proizvodnje energije iz biomase	21
9.	Faze proizvodnje bioplina iz nadzemne mase čičoke	26
10.	Analizator bioplina plinski kromatograf Varian 3900	28

## 12 Popis grafikona

1. Udio suhe tvari u supstratima prije fermentacije
2. Udio suhe tvari u supstratima poslije fermentacije
3. Usporedba prosječne vrijednosti suhe tvari prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe
4. Udio organske tvari u supstratima prije fermentacije
5. Udio organske tvari u supstratima nakon fermentacije
6. Usporedba prosječne vrijednosti organske tvari prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe
7. Visina koncentracije pH u uzorcima prije fermentacije
8. Visina koncentracije pH u uzorcima poslije fermentacije
9. Usporedba prosječne pH vrijednosti prije i nakon fermentacije između kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe
10. Ukupna količina proizvedenog bioplina
11. Prosječna količina bioplina kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) grupe
12. Prosječna proizvodnja bioplina iz jedne tone
13. Količina proizvedenog bioplina ( $\text{m}^3/\text{t}$ )
14. Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne (KD) i eksperimentalne (ČM) skupine
15. Prosječni dnevni prinos kontrolne KD i eksperimentalne ČM grupe
16. Kumulativni prikaz količine bioplina kontrolne skupine KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4, i eksperimentalne skupine ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4
17. Koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ) u kontrolnim grupama KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4
18. Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ) kontrolnih grupa KD 1, KD 2, KD 3 i KD 4
19. Koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ) u eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4
20. Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ) eksperimentalnim grupama ČM 1, ČM 2, ČM 3 i ČM 4
21. Razlike prosječnih vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ) između eksperimentalne (ČM) i kontrolne (KD) grupe

Temeljna dokumentacijska kartica

**Poljoprivredni fakultet u Osijeku**  
**Sveučilišni diplomski studij, smjer Agroekonomika**

Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus* L.)  
Bernard Beljan

**Sažetak**

Današnja ekonomija se i dalje uvelike oslanja na fosilne izvore energije, koji nisu održivo rješenje uzimajući u obzir intenzitet njihovog iskorištavanja i ekološki utjecaj istog. Uvođenjem biorafinerija na globalnoj razini trgovine derivatima i opskrbom društva istim, rješio bi se problem industrijsko orijentiranog društva i sveopća ekološka kriza. Čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) predstavlja biljku pogodnu za uzgoj u svrhu iskorištavanja njezine nadzemne biomase za proizvodnju bioplina, te gomolja za proizvodnju alkohola. Njezine svestrane morfološke, fiziološke i agroekološke karakteristike kao što su izuzetna otpornost na solni stres, izvrsna adaptacija na degradiranim tlima, otpornost na patogene, izvrsna sposobnost iskorištavanja vode u tlu, te mogućnost korištenja slane, odnosno morske vode u navodnjavanju iste, samo su neke od karakteristika koje doprinose njezinoj dodanoj vrijednosti i daju joj prednost u odabiru u odnosu na druge kulture. Osim uzgoja u svrhu proizvodnje obnovljivog izvora energije (bioplina) njezina agroekološka prednost u odnosu na većine kultura se očituje u njezinom fitoremedijacijskom utjecaju na degradirana tla, poboljšava njihova fizikalno-kemijska svojstva, te se takva tla nakon oporavka mogu privesti nekoj drugoj kulturi. Iako je relativno poznata kultura u Europi, tehnologija uzgoja i konkurentnost iste, u vidu proizvodnje bioplina potrebno je dodatno istražiti. Naime, potrebna su dodatna istraživanja kako bi se ispitala njezina konkurentna prednost u proizvodnji obnovljivih izvora energije te njezini potencijali na globalnoj razini.

**Rad je izrađen pri:** Poljoprivredni fakultet u Osijeku

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

**Broj stranica:** 58

**Broj grafikona i slika:** 31

**Broj tablica:** 9

**Broj literaturnih navoda:** 25

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** bioplin, biomasa, obnovljivi izvori energije, čičoka (*Helianthus tuberosus* L.)

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof. dr. sc. Bojan Stipešević, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Davor Kralik, mentor
3. Prof. dr. sc. Zvonimir Steiner, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d.

Basic Documentation card

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agriculture**  
**University Graduate Studies, Agroecconomics, course Agroecconomics**

**Graduate thesis**

Production of biogass from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)

Bernard Beljan

Summary

Today's economy still relies heavily on fossil energy sources, which are not a sustainable solution taking into account the intensity of their exploitation and environmental impact of the same. Introducing biorefineries on a global level would potentially solve ongoing ecological crisis and shift the mind set of the industrial-oriented society. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is a plant suitable for cultivation in order to exploit its above-ground biomass for the production of biogas, and tubers for the production of alcohol. Versatile morphological, physiological and agro-ecological characteristics of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) such as exceptional resistance to salt stress, excellent adaptation to degraded soils, resistance to pathogens, excellent ability to exploit water in the soil, and the possibility of using sea water in its irrigation, are only few of the features that contribute to its advantage compared to other cultures. In addition to cultivating Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for biomass, its agro-ecological advantage over most cultures is reflected in its phytoremediation effect on degraded soil, by improving physical and chemical properties of the soil, and such soil after recovery may lead to another culture. While it is a relatively well-known culture in Europe, cultivation technologies and competitiveness of the same, in the form of biogas production should be further explored. The additional investigations are needed to examine its competitive advantage in the production of renewable energy and its potential globally.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

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

**Number of pages:** 58

**Number of figures:** 31

**Number of tables:** 9

**Number of references:** 25

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** biogass, biomass, renewable energy source, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. PhD Bojan Stipešević, president
2. PhD Davor Kralik, professor – mentor
3. PhD Zvonimir Steiner, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d.

