Utvrđivanje bioplinskog potencijala čičoke (Helianthus tuberosus L.)

Tadić, Vanja

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:903623

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**

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

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Vanja Tadić

Sveučilišni diplomski studij Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

Utvrđivanje bioplinskog potencijala čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Diplomski rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Vanja Tadić

Sveučilišni diplomski studij Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

Utvrđivanje bioplinskog potencijala čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Diplomski rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Vanja Tadić

Sveučilišni diplomski studij Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

Utvrđivanje bioplinskog potencijala čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. prof. dr. sc. Bojan Stipešević, predsjednik
2. prof. dr. sc. Davor Kralik, mentor
3. doc. dr. sc. Ranko Gantner, član

Osijek, 2017.

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Pregled literature 2
   2.1. Čičkoka (*Helianhtus tuberosus L.*) 2
   2.2. Nutritivni sastav čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 3
   2.3. Morfološke osobine čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 4
   2.4. Biološke osobine čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 8
   2.5. Uvjeti uspijevanja rasta čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 10
      2.5.1. Zahtjevi prema svijetlu 10
      2.5.2. Zahtjevi prema temperaturi 11
      2.5.3. Zahtjevi prema vodi 11
      2.5.4. Zahtjevi prema tlu 11
      2.5.5. Zahtjevi prema hranjivima 12
   2.6. Agrotehnika čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 12
      2.6.1. Plodored 13
      2.6.2. Obrada tla 14
      2.6.3. Gnojidba 14
      2.6.4. Uzgoj čičoke – sadnja 14
      2.6.5. Njega usjeva 15
      2.6.6. Žetva (vađenje) čičoke 17
      2.6.7. Skladištenje čičoke 18
   2.7. Upotreba čičoke 19
      2.7.1. Ljudska prehrana 19
      2.7.2. Hranidba stoke 19
      2.7.3. Industrijska prerada 21
      2.7.4. Inulin 22
   2.8. Bioplin 24
      2.8.1. Proizvodnja bioplina – anaerobna digestija 25
   2.9. Parametri anaerobne digestije 28
3. Materijali i metode istraživanja 30
   3.1. Određivanje sadržaja suhe tvari 30
   3.2. Određivanje sadržaja pepela i organske tvari 31

3.3. Određivanje pH 31
3.4. Određivanje količine i sastava bioplina 31
4. Rezultati istraživanja 32
4.1. Udio suhe tvari i organske tvari u supstratima 32
4.2. pH vrijednost 35
4.3. Količina proizvedenog plina 36
4.4. Dinamika proizvodnje bioplina 39
4.5. Sastav bioplina 41
5. Rasprava 43
6. Zaključak 46
7. Literatura 47
8. Sažetak 49
9. Summary 50
10. Popis tablica 51
11. Popis slika 52
12. Popis grafikona 53
Temeljna dokumentacijska kartica
Basic Documentation card

1. Uvod

Energija u današnjem svijetu predstavlja jedan od najvažnijih dijelova gospodarskog razvoja svake zemlje. Obzirom na brojne klimatske promjene, više desetljeća neracionalnog iscrpljivanja prirodnih resursa, stvaranje otpada i zagađenje okoliša, Europska unija donijela je donijela paket odluka čija je svrha implementacija obnovljivih izvora energije (OIE) u svakodnevni život građana. Donošenjem Direktive Europskog parlamenta (2009/28/EC) o uvođenju obnovljivih izvora energije kao zamjene za fosilna započela je ″energetska revolucija″ 21. stoljeća. Glavni cilj Direktive o uporabi OIE propisan je kroz tzv. energetsko – klimatski paket ″20 – 20 – 20″ čiji su zadaci smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20%, smanjenje potrošnje energije za 20%, te povećanje udjela obnovljivih izvora energije za 20%. Svrha posljednje mjere je implementacija postrojenja koja proizvode energiju iz obnovljivih izvora energije koji mogu biti u obliku šumske i poljoprivredne biomase, organskog otpada, energije sunca, vjetra, vode i sl. Sukladno Nacionalnom akcijskom planu za obnovljive izvore energije do 2020. godine, Europska unija je usvojila cilj Hrvatske da poveća udio OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije od 20% do 2020. godine.

Hrvatska osim energije sunca, vjetra, vode, obzirom na poljoprivrednu proizvodu ima veliki potencijal proizvodnje bioplina koristeći biomasu. Iako se za proizvodnju bioplina najčešće koristi kukuruzna silaža uz dodatke drugih komponenata kao što su stajnjak, gnojovka, nusproizvodi životinjskog porijekla i sl., treba razmotriti i druge biljne vrste kao izvor biomase za proizvodnju metana. Jedna od tih biljnih vrsta svakako može biti i čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) koja u optimalnim uvjetima uz prinos gomolja od 30 do 40 t/ha, ima i visok prinos nadzemne mase od 50 do 55 t/ha (Erić i sur., 2004.).

2. Pregled literature

2.1. Čičkoka (*Helianhtus tuberosus L.*)

Čičoka ili topinambur ili jeruzalemska artičoka ima brojne nazive, ali svi označavaju jednogodišnju gomoljastu biljku iz roda *Helianthus* koji obuhvaća oko 50 različitih vrsta biljaka porijeklom iz Sjeverne Amerike, od kojih je najpoznatiji i najkorišteniji *Helianthus annuus L.*, odnosno suncokret. U Europu je došla preko Francuske u 17. stoljeću i sve se više širila. U posljednje se vrijeme ova biljka sve više uzgaja, a zemlje koje prednjače u proizvodnji su Francuska, Njemačka i Mađarska (Lešić i sur., 2002.). Čičoka se uzgaja kao povrće, krmno bilje i kao izvor inulina za prehranu i industrijsku svrhu. Invazivna je vrsta, robusnog rasta, onemogućava rast korova i osim zaostalog pokojeg gomolja nakon žetve, ostavlja čisto zemljište za sljedeću kulturu. Na našem području ona raste kao višegodišnja samonikla korovna vrsta uz putove, rijeke, željezničke pruge i na ruderalnim terenima, a često i u vrtovima kao ukrasna biljka.

Slika 1. Čičoka (Helianthus tuberosus L.)

Izvor: http://i40.tinypic.com/ok4gep.jpg

U svijetu se desetljećima koristi kao sirovina za dobivanje alkohola, a koristi se u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, te kao odličan izvor svježe krme i silaže. Gadžo i sur., (2011.) navode da je uzgojem čičoke na bogatom zemljištu ostvaren 2.7 puta veći prinos ugljikohidrata po jedinci površine u usporedbi s krumpirom te oko dva puta veći

prinos u odnosu na kukuruz. Čičoka ne sadrži škrob, nego u gomoljima ima uskladišten inulin, polisaharid koji sadrži fruktozu. Prema znanstvenoj klasifikaciji, čičoka pripada porodici glavočika (*Asteraceae*).

Tablica 1. Taksonomska klasifikacija čičoke (Helianthus tuberosus L.)

Carstvo	*Plantae*
Odjeljak	*Magnoliophyta*
Razred	*Magnoliopsida*
Podrazred	*Asteridae*
Red	*Asterales*
Porodica	*Asteraceae*
Rod	*Helianthus L.*
Vrsta	*Helianthus tuberosus L.*

Izvor: Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke (Kays i Nottingham, 2008.)

2.2. Nutritivni sastav čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Gomolji čičoke obično sadrže 80% vode, 15% ugljikohidrata i 1 – 2 % bjelančevina. Sadržaj bjelančevina i dušika ostaju relativno konstantni tijekom razvoja gomolja. Sadrže sve esencijalne amino kiseline u poželjnim odnosima, a najviše lizin i metionin. Ne sadrži gotovo nimalo masti, s bez ili vrlo malo škroba i niske je kalorične vrijednosti. Na točan sadržaj hranjivih tvari u gomolju utječu razlike u kultivaru, vrijeme žetve, uvjeti proizvodnje, postupci s gomoljima nakon žetve… Od malog sadržaja masti, zabilježeni su tragovi mononezasićenih i polinezasićenih masnih kiselina. Gomolji čičoke sadrže linolnu (18:2 cis, cis n-6) i α - linolensku kiselinu (18:3 n-3) u količini od 24 mg i 36 mg x $100g^{-1}$ gomolja. Čičoka obiluje i visokim sadržajem minerala. Posebno je bogata željezom (0.4 – 3.7 mg x 100 g^{-1}), kalcijem (14 – 37 mg x 100 g^{-1}) i kalijem (420 – 657 mg x 100 g^{-1}), ali sadrži malu količinu natrija (1.8 – 4.0 mg x 100 g^{-1}). Primjerice, sadržaj željeza je tri puta viši nego kod krumpira. Pri kasnijim razdobljima žetve u starijim gomoljima nalaze se veće količine natrija, fosfora i kalcija (Baltacioglu, 2012.).

Gomolji su i dobar izvor vitamina, posebice vitamina B kompleksa, vitamina C i β – karotena. Bogati su folatima i folnom kiselinom (13 – 22 μg x 100 g^{-1}). Koncentracija

vitamina C (2 – 6 mg x 100g) u gomolju je niža od koncentracije u nadzemnom dijelu biljke, ali svejedno viša od nekih drugih gomoljastih kultura, primjerice krumpira, od kojeg ima veću koncentraciju vitamina C za četiri puta. Koncentracija karotenoida je također visoka i kreće se od 9 do 29 μg x 100 g^{-1}, a koncentracija β – karotena kao preteče vitamina A kreće se u rasponu od 0.6 do 1.0 mg x 100 g^{-1} (Baltacioglu, 2012.).

2.3. Morfološke osobine čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je dikotiledona biljna vrsta. Kotiledoni izviru na površinu tla, sitni su, vrlo slični kotiledonima suncokreta.

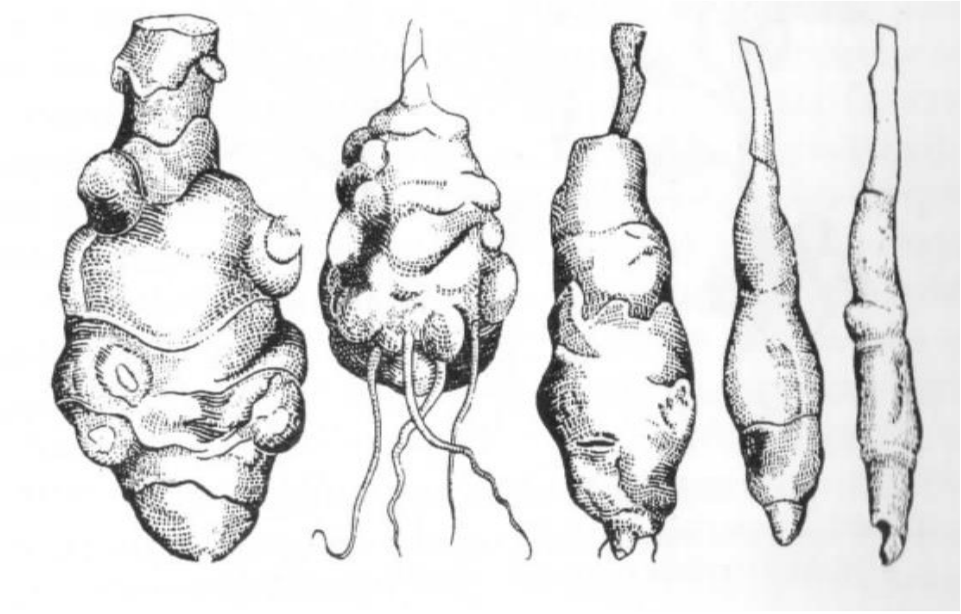
Korijen

Korijen je vretenast, snažan, dobro razvijeno u dubinu i širinu. Zbog takve građe korijena čičoka uspijeva na skoro svim tlima, pa i na onima na kojima druge gomoljaste biljke ne mogu rasti (Erić i sur., 2004.).

Gomolji

Gomolji su podzemne zadebljale stabljike. Čičoka se vegetativno razmnožava pomoću gomolja koji mogu biti crvene boje, žućkasti, bijeli, jače ili manje kvrgavi, okrugli, duguljasti, kruškolikog oblika ili vretenasti što ovisi o sorti koja se uzgaja (Slika 2). Gomolji čičoke sadrže oko 20 % suhe tvari, od čega 10 – 12 % čini šećer inulin. Imaju blag, slatkasti okus i koriste se svježi (okus nezrelog lješnjaka), kuhani ili pečeni. Masa gomolja se kreće od oko 10 pa do 250 grama (Gadžo i sur., 2011.). U poprečnom presjeku gomolja može se razlikovati tzv. pokožica, koja je sastavljena od tankog sloja parenhimskog tkiva koje je različito obojeno te meso, koje je obuhvaćeno pokožicom. Površinski dio pokožice mladih gomolja čičoke je najčešće sastavljen od jednog reda živih stanica, a kod zrelih, starijih gomolja može se pojaviti tanki sloj mrtvih stanica – plutasto tkivo (periderm). Zbog slabo razvijenog plutastog tkiva gomolji čičoke lako ispuštaju vodu. Ta biološka osobina čičoke objašnjava zašto gomolji koji su izvađeni iz zemlje lako venu, gube sočnost i svježinu, ali ta osobina također omogućava suhim gomoljima da lako ubijaju vodu kada se nađu u vlažnoj sredini. Slabo razvijeno plutasto tkivo na gomoljima

čičoke omogućava lagani prodor i brzi razvoj plijesni na i u unutrašnjosti gomolja, uslijed čega oni brzo trunu (Erić i sur., 2004.).



Slika 2. Različiti oblici gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Izvor: Erić i sur. (2004.), Krmne okopavine

Stabljika

Stabljika čičoke može narasti do 3 m u visinu, pa i više od toga. U mladim fazama razvoja stabljika je zeljasta, a s vremenom odrveni. Za razliku od suncokreta, čičoka ima razgranatu stabljiku,a broj grančica i raspored na njoj varira. Stabljika raste izravno iz gomolja s granama koje se formiraju u nodijima. Osnovne grane se mogu formirati ispod površine zemlje i potom se pojavljuju na površini tla kao stabljike. (Kays i Nottingham, 2008.).

Visina stabljike varira ovisno o vrstama i sortama. Većina sorata se kreću u rasponu od 1.5 do 2 m, a nekolicina raste i preko 3 m. Sklop biljaka i biološki uvjeti također mogu imati utjecaj na visinu stabljike čičoke. U uvjetima povećane vlažnosti i na područjima u zavjetrini čičoka može narasti i do 4 m u visinu, ali kod takvih usjeva prinosi gomolja su znatno manji. U optimalnim proizvodnim uvjetima visina biljaka se može svrstati u tri općenite kategorije (Kays i Nottingham, 2008.):

1. Visoka biljka s visinom iznad 3 m,
2. Srednje visoka biljka s visinom od 2 do 3 m,
3. Niska biljka s visinom manjom od 2 m.

Kod najvećeg broja sorata stabljika raste uspravno, a tek kod manjeg dijela je u početku polegnuta. Polegnute sorte počinju uspravan rast pri razvoju određenog broja nodija, uobičajeno kod pojave drugog, trećeg ili četvrtog nodija. Pojava rasta većeg broja stabljika iz jednog gomolja rezultira brzim porastom nadzemne mase u početku razvoja biljke. Broj stabljika također varira o agrotehničkim mjerama i veličini gomolja. Broj stabljika koje rastu iz jednog gomolja svrstan je u 3 skupine (Kays i Nottingham, 2008.):

1. Snažni gomolji s više od 3 stabljike,
2. Srednje snažni gomolji s 2 do 3 stabljike,
3. Slabi gomolji s jednom stabljikom.

Promjer stabljike također ovisi o sorti čičoke i proizvodnim uvjetima. Početni promjer se povećava rastom biljke, a uglavnom se kreće od 1.6 do 2.4 cm. Broj grančica na stabljici ovisi o sorti i sklopu biljaka u usjevu. Najveća raznolikost je u broju grana na stabljici i njihovom rasporedu. Opisane su četiri različita rasporeda grananja na stabljici:

1. Grane raspoređene cijelom duljinom stabljike,
2. Grane raspoređene samo na donjem dijelu stabljike,
3. Grane raspoređene na gornjem dijelu stabljike,
4. Grane koje se nalaze na gornje i donjem dijelu stabljike.

List

Listovi čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) su jednostavni, velikih dimenzija, lancetasti ili srcoliki, na donjem dijelu stabljike srcolikog oblika i krupniji, a na gornjem dijelu stabljike je duguljast i zašiljen. Listovi su za stabljiku pričvršćeni preko lisne peteljke. Stabljike, grane, peteljke i listovi su obrasli grubim dlakama. Na donjem dijelu stabljike su usporedni, a na gornjem dijelu stabljike se nasumično raspoređeni (Gadžo i sur., 2011.).

Cvijet

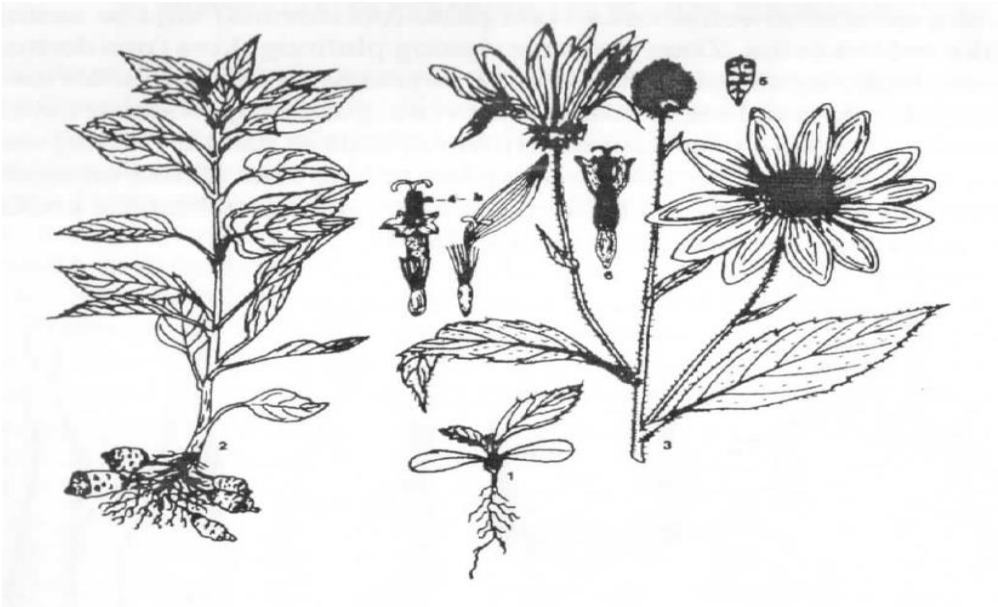
Cvjetovi su skupljeni u cvat – glavicu koja se formira na vrhu glavne stabljike i bočnih grana. U cvatu se nalaze dvije vrste cvjetova:

- Jezičasti – neplodni cvjetovi koji služe za privlačenje oprašivača, raspoređeni po rubu glavice,
- Cjevasti – plodni cvjetovi, smeđe boje i smješteni u unutrašnjosti.

Cvjetovi su žute boje, brojniji i sitniji od cvjetova suncokreta, promjera od 8 – 10 cm. Čičoka je stranooplodna biljka. Oplodnja cvjetova se obično odvija pomoću kukaca (Gadžo i sur., 2011.).

Plod

Plod čičoke je ahenija, dužine 5 – 6 mm. Plod je zapravo sjeme. Čičoka je biljka kratkog dana, tj. ne zahtjeva puno svijetlosti. Zbog toga u našem području veći broj ekotipova i sorti čičoke cvijeta, ali ne donosi plod – sjeme. Razmnožavanje je vegetativno, gomoljima (Gadžo i sur., 2011.).



Slika 3. Prikaz dijelova čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

1. Klijanac, 2. Izgled cijele biljke, 3. Cvat, 4. Cvijet: a) cjevasti (plodni), b) jezičasti (neplodni), 5. Plod (ahenija), 6. Presjek cjevastog cvijeta.

Izvor: Erić i sur. (2004.), Krmne okopavine

2.4. Biološke osobine čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Nicanje čičoke, neovisno o vremenu sadnje gomolja, počinje kad temperatura zemljišta dosegne 4 – 5°C, što je obično krajem travnja i u prvoj polovici svibnja. Pri povoljnoj temperaturi i vlažnosti tla čičoka na površinu izlazi za 6 do 12 dana nakon sadnje gomolja. Nakon nicanja čičoka ima relativno brzi početni porast i razvoj. U povoljnim uvjetima topline i vlage tla stabljika čičoke dostiže visinu od 1 m već sredinom srpnja. Iz jednog gomolja čičoke može izrasti jedan ili više izdanaka. Kada se pojavi veći broj izdanaka iz jednog gomolja oni se manje granaju i obrnuto, odnosno kasnije formiraju veći broj sitnijih i kvrgavijih gomolja (oko 30). U rjeđim sklopovima usjeva gomolji su pravilnijeg oblika i krupniji su, međutim nema većih razlika u prinosu gomolja po jedinici površine (Erić i sur., 2004.).

Formiranje gomolja čičoke počinje prije cvjetanja. Brojnost i brzinu formiranja gomolja često sprječavaju ljetne suše, posebno tijekom kolovoza. Kišna razdoblja u jesen omogućavaju gomoljima brzi razvoj i prinos, koji bez obzira na ljetne suše može biti dobar. Takva osobina čičoke daje joj prednost u odnosu na ostale korjenasto – gomoljaste biljke, koje su inače osjetljive na sušu. Broj gomolja uvjetovan je brojnim faktorima koji utječu na rast i razvoj čičoke, međutim broj gomolja uvjetovan je brojem stabljika u busu čičoke. Čičoka s većim brojem stabljika u busu formira veći broj gomolja. Busen čičoke s 2 – 3 stabljike formira do 30 gomolja, dok busen s jednom stabljikom formira manji broj krupnijih gomolja. Prinos gomolja u jednakim uvjetima rasta i razvoja čičoke s jednom stabljikom u busenu je nešto niži ili jednak čičoki s busenom koji ima više stabljika. Čičoka s jednom stabljikom u busenu formira manji broj gomolja koje je krupnije i pravilnijeg oblika. Busen čičoke s više stabljika formira sitne i kvrgave gomolje koji zbog velikog broja i malog prostora za razvoj urastaju jedan u drugog (Erić i sur., 2004.).

Čičoka je okarakterizirana rastom i razvojem gomolja nakon završetka vegetacije nadzemnog dijela biljke. Erić i sur. (2004.) navode rezultat francuskih agronoma koji su utvrdili da je od 01. studenog do 01. veljače prinos gomolja povećan za 5 t/ha, od čega je najveći porast prinosa bio u studenome, zatim se postupno smanjivao. Nastalo povećanje prinosa gomolja u razdoblju bez vegetacije je veliko i ne pripisuje se translokaciji tvari iz nadzemnih u podzemne dijelove biljke. Vjeruje se da povećanje prinosa, odnosno mase gomolja čičoke tijekom jeseni i zime dolazi uslijed mehaničkog procesa. Gomolji čičoke

su higroskopni, lako upijaju vodu iz tla pri čemu se znatno povećava njihova masa. Higroskopnost gomolja čičoke objašnjava se građom gomolja (nemaju ili imaju vrlo malo plutastog tkiva u pokožici). Stupanj povećanja mase gomolja, nakon završetka vegetacije nadzemnom dijela biljke, uvjetovan je stupnjem vlažnosti i temperature tla.

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je biljka otporna na niske temperature. Biološka osobina povećanja ili smanjenja mase gomolja nakon završetka vegetacije nadzemnog dijela biljke, omogućava gomoljima u tlu da prezime, ali za razliku od ostalih korjenasto – gomoljastih biljaka ne smrznu. Ispuštanjem vode u razdobljima s puno mraza, povećava se koncentracija šećera u stanicama gomolja (>13 %) i tako se sprječava smrzavanje gomolja u tlu. Visoka otpornost čičoke na niske temperature, omogućava joj lako prilagođavanje različitim klimatskim uvjetima. Gomolji čičoke su otporni na mraz zbog toga što se mogu smrznuti (čak i na -17°C), ali postupnim zatopljenjem dobivaju prvobitna svojstva i ne propadaju. Mlade biljke mogu izdržati kasne proljetne mrazeve bez većih posljedica, odnosno od jutarnjeg mraza prividno uvenu, izgube turgor, ali kada dan otopli, biljke se oporave. Stabljika čičoke se smrzne na -2°C (Erić i sur., 2004.).

U usporedbi s nekim drugim korjenasto – gomoljastim biljkama kao što su: stočna repa, krumpir, mrkva, postrna repa i sl., čičoka je najotpornija na sušu. Otpornija je i od suncokreta. Otpornost na sušu omogućuje joj vrlo razgranati i snažan korijenov sustav, a s druge strane i građa nadzemnog dijela biljke koji dobro upravlja s vodom. Korijenov sustav čičoke je do 10 puta snažniji od korijena krumpira (Erić i sur., 2004.).

Otpornost na bolesti i štetočine – najveća opasnost za čičoka je pretjerana vlažnost tla. na močvarnim i vlažnim tlima čičoka ne može rasti, gomolje u takvim uvjetima napadaju sklerotinije, bolesti koje uzrokuju truleži na raznim dijelovima biljke (*Sclerotinia libertiana* Fuck.). Kasnije bolest napada i stabljiku. Na čičoki se mogu pojaviti i hrđe koja napadaju stabljiku i listi (*Puccinia helianthi*), ali one uzrokuju manje štete. Kada se radi o štetnicima na čičoki, do sada nije poznat ni jedan kukac koji je napada zbog čega možemo reći da je čičoka jedna od najotpornijih biljaka koja ne zahtjeva nikakvu preventivnu zaštitu protiv bolesti i štetočina (Erić i sur., 2004.).

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je biljka velike životne sposobnosti, jer nakon njenog vađenja ona se ponovno pojavljuje na zemljištu gdje je ranije posađena. Zbog toga

je problematična za uzgoj u plodoredu, jer samonikle biljke smetaju rastu narednih usjeva, posebno strnih žita. Ponovni rast na istom tlu je rezultat zaostalih malih gomolja. Čičoka formira veliki broj gomolja različitih veličina koje je teško u potpunosti odstraniti prilikom žetve/berbe. Brojnost zaostalih gomolja u tlu uvjetovano je vremenom njihovog vađenja. Ako se žetva obavlja rano u jesen, iduće godine je manji broj samoniklih biljaka čičoke. Ukoliko je žetva kasnije, tijekom zime, gomolji se lagano odvajaju od busena, te ih u tlu ostaje veći broj i u proljeće se pojavljuje veći broj samoniklih biljaka. Gomolji čičoke koji imaju bijelu pokožicu lakše se odvajaju od busena, pa ih treba ranije vaditi iz tla. zbog ove osobine čičoka se na jednom mjestu održava dugi niz godina (>40) i poprima karakter višegodišnje biljke. Samonikla čičoka, uzgajana godinama na istom tlu, starošću povećava broj izdanaka. Već nakon treće godine rasta može biti i 150 000 stabljika/ha, pri čemu gomolji postaju sve sitniji, a stabljike tanje i nježnije. Kao takve su bolje za hranidbu stoke u obliku zelene krme ili silaže. S druge strane, zbog te svoje osobine glavni je razlog zašto se ne uzgaja u velikim količina pokraj velike hranjive vrijednosti gomolja (Erić i sur., 2004.).

2.5. Uvjeti uspijevanja rasta čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

2.5.1. Zahtjevi prema svijetlu

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je biljka kratkog dana. Adaptivna je biljna vrsta. Uspijeva i u toplim i u hladnim klimatskim uvjetima. Ona ima veliku sposobnost aklimatizacije i u pogledu podneblja ne zahtjeva gotovo nikakve posebne uvjete. Gadžo i sur. (2011.) navode da čičoka zahtjeva duža svjetlosna razdoblja od stadija klijanca do zriobe, a kraća svjetlosna razdoblja za formiranje gomolja. Usprkos svemu navedenome, najpogodnija klima za rast i razvoj čičoke je umjereno kontinentalna klima s umjerenim toplim i vlažnim uvjetima. Čičoka se može uspješno uzgajati u cijelome umjerenom pojasu Europe. Iznad 45° sjeverne geografske širine sjeme čičoke ne dozrijeva, a još dalje na sjeveru ona samo cvijeta do kasne jeseni (Erić i sur., 2004.).

2.5.2. Zahtjevi prema temperaturi

Čičoka je danas, kao kulturna ili samonikla biljka raširena u gotovo svim klimatskim (temperaturnim područjima južne i sjeverne hemisfere. Prelazeći više u sjevernije dijelove ograničavajući faktor uzgoja čičoke je lošija izdržljivost izrazito niskih temperatura. Nadzemni dio čičoke (stabljika i list) mogu u ovisnosti od tipa i sorte, izdržati najčešće temperature od – 1 do – 2°C, neke – 3 do – 4°C, a najotpornije sorte mogu izdržati do – 6°C. Gomolji za razliku od nadzemne mase biljke, mogu izdržati temperature od – 20 do – 25°C, a pod snježnim pokrivačem mogu izdržati i do – 30°C (Erić i sur., 2004.). Kako je već prije navedeno, smrznuti gomolji pri postepenom odmrzavanju i zatopljenju ne propadaju nego se vraćaju u prvobitno stanje.

2.5.3. Zahtjevi prema vodi

Zahtjevi prema vodi su dosta visoki tijekom cijelog perioda vegetacije ukoliko se želi postići visoki prinos. Dobro podnosi sušu i visoke temperature zahvaljujući snažnom, razvijenom korijenskog sustava i mogućnošću korištenja vode iz dubljih slojeva tla. prema ovim osobinama i zahtjevima čičoka ima veliku prednost u odnosu na neke druge korjenasto – gomoljaste biljne vrste (Erić i sur., 2004.).

2.5.4. Zahtjevi prema tlu

Zahtjevi prema tlu su relativno skromni. Zahtjeva dobro usitnjena prozračna tla s dobrom odvodnjom, jer ne podnosi zadržavanje vode. Najbolje prinose daje na lakim, rastresitim tlima koja su dobro osigurana vodom. Ne odgovaraju joj teška, zbijena i previše vlažna zemljišta. Na jako teškim i zbijenim zemljištima formiraju se gomolji nepravilnog oblika. U pogledu nadmorske visine, čičoka može dati dobre prinose i na 1200 m nadmorske visine. Zbog ove osobine je pogodna za uzgoj na područjima gdje se ne može uzgajati stočna repa, kao što su brdska područja (Erić i sur., 2004.).

Kada se radi o reakcijama tla, čičoki najbolje odgovaraju neutralna do blago kisela tla, odnosno pH u rasponu od 4,5 do 8,2 (Gadžo i sur., 2011.), dok Lešić i sur. (2002.) navode da su za uzgoj prikladnija lakša tla uz pH 6 do 7,5 te da i na manje prikladnim tlima daju bolju proizvodnju organske mase u odnosu na neke druge kulture.

2.5.5. Zahtjevi prema hranjivima

Čičoka se dobro prilagođava svim tlima, od siromašnih, pjeskovitih, pa do plodnih tala namijenjenih za šećernu repu i kukuruz. Bolje iskorištava hraniva na siromašnim tlima od stočne repe i krumpira. Na plodnim tlima daje vrlo visoke prinose gomolja i nadzemnog dijela – krme. Zahvalna je kultura kako za primjenu organskih, tako i mineralnih gnojiva. Erić i sur. (2004.) navode da prema Francuskim podacima čičoka s prinosom od 40 t/ha gomolja i 7,5 t/ha suhe tvari nadzemnog dijela biljke iz zemljišta iznese značajne količine dušika i kalija, osrednje količine fosfora i prilično male količine kalcija što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Iznošenje hranjivih tvari iz zemljišta prinosom čičoke.

Hranjiva tvar	Iznošenje iz zemljišta (u kg/ha)
Dušik	155
Fosfor	61
Kalij	355
Kalcij (vapno)	80

Izvor: Erić i sur. (2004.), Krmne okopavine

2.6. Agrotehnika čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Prije provedbe bilo kakve agrotehničkie mjere potrebno je odabrati najbolji kultivar u zadanim uvjetima uzgoja. Prema obliku kultivari mogu imati okrugle, ovalne ili vretenaste gomolje, ali mogu biti i nepravilnog oblika što u konačnici otežava čišćenje. Najpogodniji su gomolji bijelog ili žutog mesa, ali ima i onih ružičastog i ljubičastog mesa. Kultivari se razlikuju i po dužini vegetacije, što je povezano s bujnošću nadzemnog dijela biljke. Rani kultivari imaju kraću stabljiku (1,5 do 2 m) i već sredinom jeseni odbacuju lišće kasniji kultivari imaju veću nadzemnu masu i veći kapacitet stvaranja gomolja. Poželjna je što čvršća stabljika kako bi se mogla lakše ukloniti prije vađenja gomolja. Zbog toga za uzgoj čičoke za tržište ili preradu treba kultivare prethodno ispitati za svako proizvodno područje (Lešić i sur., 2002.).

Sorte čičoke se najčešće dijele prema boji pokožice gomolja. Poznate sorte su: Fusau, Mammouth, Vole De ren, French white, Bianka, Maine Giant, Golden nugget (Erić i sur., 2004.). U Hrvatskoj je često korištena sorta pod nazivom "Bijela".

2.6.1. Plodored

Čičoka nije pogodna biljna vrsta kada je u pitanju plodored, a neki od razloga su:

- To što se gomolji čičoke najbolje skladište u zemlji, a po potrebi se mogu vaditi tijekom zime ili ranog proljeća
- Pri vađenju gomolja iz tla teško je izvaditi sve gomolje koji kasnije prorastanjem postaju korov u idućem usjevu.

Čičoka se uzgaja u monokulturi na tzv. prijelaznim parcelama gdje ostaje na istom mjestu i više od 10 godina. Uključivanje čičoke u plodored moguće je eventualno na pjeskovitim tlima gdje je gomolje lakše izvaditi. Nakon ove kulture poželjno je uzgajati krmne okopavine zbog toga što se međurednom kultivacijom okopavina tlo lakše čisti od zaostalih gomolja i izniklih biljaka. Dobar predusjev za čičoku su jednogodišnje mahunarke i preorani travnjaci, a ona kao predusjev je dobra samo sebi i okopavinama. Poslije čičoke mogu doći (Erić i sur., 2004.):

- Čičoka (monokultura)
- Druge okopavine uz preduvjet da je dobra gnojidba (krumpir, kukuruz, stočna repa)
- Jednogodišnje krmne leguminoze (ozima grahorica, ozimi stočni grašak), pri čemu samonikle biljke čičoke služe kao potporni usjev. Takvi usjevi daju visoke prinose stočne hrane dobre hranjive vrijednosti (mlade biljke čičoke su dobar izvor ugljikohidrata, a leguminoze dobar izvor bjelančevina). Nakon skidanja ozimih krmnih usjeva, sije se postrni usjev i na taj način se košenjem i čestom obradom tla uklanja čičoka kao korov.
- Višegodišnje leguminoze ili trave (lucerna, crvena djetelina, djetelinsko – travne smjese).

Čičoka je dobra biljka za eradikaciju korova, njenom obradom, njegom usjeva, berbom ili vađenjem/žetvom svrstava se u okopavine i kao takva ostavlja tlo čisto od

korova i dobre strukture. Čestim košenjem višegodišnjih trava, DTS i leguminoza dolazi do uništavanja izniklih gomolja čičoke (Erić i sur., 2004.).

2.6.2. Obrada tla

Obrada tla za sadnju čičoke jedna je obradi tla kod ostalih korjenasto gomoljastih biljnih vrsta. na duboko izoranom i rastresitom tlu čičoka formira krupne, sočni i oblikom prilično jednake gomolje. Za postizanje visokih prinosa neophodno je obaviti duboko jesensko oranje na dubinu 30 – 40 cm. Predsjetvena priprema tla mora se obaviti što ranije u proljeće. Ukoliko je duboko oranje obavljeno u pravo vrijeme, predsjetvena priprema tla u proljeće može se obaviti sjetvospremačem u jednom prohodu (Erić i sur., 2004.).

2.6.3. Gnojidba

Čičoka se obično gnoji organskim i mineralnim gnojivima. Osnovnom obradom se unosi 20 – 40 t/ha stajnjaka koji utječe na poboljšanje strukture tla (Gadžo i sur., 2011.). Zahvaljujući dobro razvijenom i dubokom korijenju čičoka koristi hranjive tvari ne samo iz dubljih slojeva tla, nego i one u teško dostupnom obliku. Unatoč svemu tome, ako se žele postići visoki prinosi gomolja i nadzemne mase potrebna je pravilna gnojidba koja zadovoljava potrebe biljke, naročito potrebe za kalijem. Ovisno o autoru, mineralna gnojiva se unose u količini od 60 – 70 kg/ha dušika, 50 – 60 kg/ha fosfora (P_2O_5) i 80 – 120 kg kalija (K_2O). Dušična gnojiva se unose u tlo jednom polovicom i prilikom predsjetvene pripreme, a druga polovica prihranom tijekom vegetacije. Prihrana se obavlja u dva navrata: prvi dio gnojiva za prihranu dok je biljka visine 30 – 40 cm, a drugi dio prihrane prije cvjetanja čičoke. U idućim godinama korištenja usjeva čičoka se gnoji u jesen s 50 kg/ha N i 30 – 50 kg/ha kalijevih i fosfornih gnojiva (Erić i sur., 2004.).

2.6.4. Uzgoj čičoke – sadnja

Čičoka se razmnožava isključivo vegetativno, odnosno gomoljima. Za sadnju su najprikladniji gomolji od 30 do 50 g, odnosno oko 1000 do 1300 kg gomolja po hektaru. Ne preporuča se rezanje gomolja. Sadnja se može obavljati u kasnu jesen ili u rano proljeće do sredine travnja (kada se površinski sloj tla ugrije na 5 – 8°C). U jesenskoj sadnji su moguće veće štete od napada glodavaca. Prilikom sadnje čičoke, razmak između redova bi trebao biti 50 do 70 cm, a razmak unutar reda 40 do 50 cm. Ovisno o tlu, dubina sadnje

čičoke je od 6 do 10 cm (Lešić i sur., 2002.). Ukoliko se sadnja obavlja u jesen, poželjno je gomolje posaditi na dubinu od 12 do 15 cm. Dublja sadnja pospješuje razvoj nadzemnog dijela biljke, a plića pogoduje razvoju gomolja. Sadnja se može obavljati ručno ili strojno, sadilicom za krumpir (Slika 4). Tijekom vegetacije potrebne su jedna do dvije međuredne kultivacije uz prihranu, a pri zadnjoj obradi redove treba malo nagrnuti, što pospješuje više površinski razvoj gomolja (Lešić i sur., 2002.).

Slika 4. Automatska sadilica krumpira

Izvor: http://www.agroklub.com/upload/slike/oglasnik/6959_1.jpg

2.6.5. Njega usjeva

Čičoka u povoljnim uvjetima vlage i temperature niče za dvadesetak dana od sadnje. Iz jednog gomolja najčešće niče više biljaka (2 – 5) i važna mjera njege je prorjeđivanje, odnosno formiranje odgovarajućeg sklopa (Gadžo i sur., 2011.). Nije zahtjevna biljka u pogledu njege usjeva, osim dok je mlada biljka u prvim fazama vegetacije. Mjere njege usjeva osiguravaju visoke i stabilne prinose i svode se na drljanje, suzbijanje korova (kemijskim mjerama – herbicidi ili mehaničkim mjerama – međuredna kultivacija), prihrana, navodnjavanje, zagrtanje, zaštita od bolesti i sl. (Erić i sur., 2004.).

Drljanje se obavlja kada je biljka visine 8 – 10 cm s laganim drljačama kako bi se površina tla održala u rastresitom stanju. Drljanjem se uništavaju tek iznikli korovi i sprječava gubitak vlage iz dubljih slojeva zemljišta.

Suzbijanje korova u početnim fazama vegetacije od velikog je značaja za razvoj čičoke. Nakon početnog rasta i u kasnijem razvoju čičoka svojim habitusom, krupnim lišćem u potpunosti uguši korove. Suzbijanje korova se obavlja mehanički drljanjem i međurednom kultivacijom ili kemijskim mjerama upotrebom herbicida koji se koriste u zaštiti suncokreta, uz napomenu na karencu, posebno ako se nadzemni dio koristi kao stočna hrana.

Prihranjivanje je opisano u odlomku iznad (2.7.3. Gnojidba) i navedeno je da se provodi dva puta tijekom rasta biljke. Prvi puta se polovica dušičnog gnojiva odvojenog za prihranu primjenjuje dok je biljka visine 30 – 40 cm, a drugi puta se prihrana obavlja neposredno prije cvatnje.

Zagrtanje čičoke nema isto značenje kao i kod krumpira. Čak i u aridnim uvjetima nije preporučljivo zagrtanje čičoke, jer se time povećava površina za isparavanje i veći gubitak vlage zemljišta. Zagrtanje kao mjera njege se provodi u uvjetima gdje je klima visoke vlažnosti te se na taj način pospješuje formiranje gomolja čičoke, a osim toga, znatno se olakšava vađenje gomolja iz zemlje. Zagrtanje treba obaviti kada biljke dostignu visinu od 50 cm i tada najčešće prestaju sve druge agrotehničke mjere njege.

Suzbijanje bolesti kod čičoke se odvija jako rijetko. Čičoka nema nekih značajnijih bolesti koje bi ugrožavale njezin uzgoj. Ipak, u određenim godina može doći do pojave bolesti, prije svega hrđe suncokreta (*Puccinia helianthi*). Dolazi do pojave pjega na listovima koje su u početku žute boje, kasnije tamno sive i dovode do sušenja listova i smanjenja asimilacijske površine važne za postizanje visokih prinosa. Osim hrđe, moguća je i pojava truleži stabljike i drugih dijelova biljke (*Sclerotinia liberitana* Fuck.) koja se rijetko javlja kod čičoke, ali ukoliko se pojavi uzrokuju brzo sušenje napadnutih biljaka i potrebno ih je odmah odstraniti. U drugoj polovici vegetacije može doći do pojave pepelnice (*Oidium sp*.), koja se uspješno suzbija preparatima na osnovi sumpora (Erić i sur., 2004.).

2.6.6. Žetva (vađenje) čičoke

Najteži posao u uzgoju čičoke je žetva, odnosno vađenje gomolja. Nakon što su gomolji izvađeni iz tla, oni se teško čuvaju i lagano se kvare. Čičoka se prema potrebi i namjeni vadi odjednom ili postupno tijekom cijele zime, pa do proljeća. Gomolji čičoke se mogu vaditi od rujna (za rane sorte) do ožujka (za kasne sorte). Vrijeme žetve, potpuna ili djelomična žetva imaju neke prednosti i nedostatke koje su opisali Erić i sur. (2004.):

- Prednosti ranog i potpunog vađenja gomolja u jesen je to što se zemljište može iskoristiti za sjetvu nekih drugih usjeva (ozimi grašak, grahorice), a i sama žetva je lakša jer su gomolji u to vrijeme dobro vezani za busen.
- Nedostaci ranog i potpunog vađenja gomolja u jesen su to što je to vrijeme i drugih sezonskih poslova na polju, a s druge strane ranim vađenjem se ne dobiva maksimalan prinos gomolja, jer gomolji zapravo rastu i poslije odumiranja nadzemnog dijela biljke.
- Prednosti postupnog vađenja gomolja tijekom cijele zime su to što se dobiva veći prinos gomolja, koje se na taj način najbolje održavaju u tlu te nema troškova skladištenja u trapovima i sl.
- Nedostaci vađenja gomolja tijekom zime su: gomolji se sporije i teže vade iz tla, lakše se odvajaju od busena i na taj način veći broj zaostaje u tlu što uzrokuje veliki broj samoniklih biljaka u proljeće. Osim toga, nepovoljni vremenski uvjeti često sprječavaju vađenje gomolja po potrebi i želji proizvođača te može doći do nestašice hrane tijekom zimskog razdoblja

Žetva gomolja se vrši pomoći vadilica za krumpir (Slika 5.) ili izoravanjem pomoću pluga, a na malim površinama ručno, odnosno pomoću alata. Prije vađenja poželjno je posjeći stabljike na 20 cm iznad površine tla te se na taj način olakšava vađenje gomolja iz zemljišta (Erić i sur., 2004.).

Radni zahvat (redova)	2
Radna brzina (km/h)	5
Učinak (ha/h)	0.6 - 0.8
Potrebna snaga traktora (KS)	34
Masa (kg)	900

Slika 5. Dvoredna vadilica krumpira

Izvor: http://www.se-kra.hr/upload/images/vadilica_krumpira_i_luka_vk2.jpg

Očekivani prinosi gomolja u pri optimalnim uzgojnim uvjetima kreću od 30 do 40 t/ha, a zelene krme 50 – 55 t/ha. Kada se čičoka koristi obostrano, za krmu i gomolje, može dati maksimalno 8 t/ha gomolja uz značajno visoke prinose krme (30 – 40 t/ha). Prosječan prinos gomolja je 16 – 20 t/ha, a prinos nadzemnog dijela biljke se kreće od 18 do 28 t/ha zelene krme (Duke, 1983.).

2.6.7. Skladištenje čičoke

Gomolji čičoke se teško čuvaju zbog toga što u sebi sadrže veliku količinu vode. Oni na sebi imaju tanku i nježnu pokožicu, pa na zraku brzo gube vlagu i smežuraju se, u gomolj lagano prodiru patogeni mikroorganizmi uslijed čega dolazi do truljenja i propadanja. Ako su gomolji izvađeni u jesen, a potrebno ih je očuvati što je duže moguće, najbolje ih je skladištiti u trapovima. Ovaj način očuvanja gomolja čičoke se obavlja u poluukopanim trapovima (40 – 50 cm). Trapovi su širine 2 m, a duljina je prema potrebi. Dno trapa potrebno je prekriti slojem slame na koji se polaže sloj gomolja (20 – 30 cm) i to ako je moguće gomolji s busenom, a zatim se prekrivaju slojem zemlje od 10 cm, pa opet sloj gomolja, zemlje i tako sve do visine od 1,5 m iznad površine tla (Erić i sur., 2004.).

Za prodaju na tržištu odabiru se ujednačeni, oprani gomolji, pakirani u kutije ili gajbe, a najbolje je pakiranje u PE vrećice. Krače razdoblje se mogu skladištiti u podrumima u vlažnom pijesku ili u hladnjači pri temperaturi od 0 do 1°C i relativnoj vlazi zraka od 95 do 97 % (Lešić i sur., 2002.).

2.7. Upotreba čičoke

Zahvaljujući svome kemijskom sastavu i biološkim osobinama, čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima vrlo široku uporabnu vrijednost. Može se koristiti za ljudsku prehranu, hranidbu stoke i u industrijskoj preradi. Iskorištavanje čičoke može biti korištenjem gomolja ili nadzemnog dijela biljke. Može se koristiti samo na jedan način (gomolj ili habitus) ili usporedno kombinirajući dva načina. Ako se čičoka koristi kao krma za ishranu stoke, prinos gomolja se smanjuje za 40 – 60 % (Mišković, 1986.).

2.7.1. Ljudska prehrana

Gomolji čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) su okusom slični vodenom kestenu (*Eleocharis dulcis*). Gomolji čičoke su slični krumpirima, osim što su ugljikohidrati u čičoki u drugačijem obliku od onih u krumpiru, odnosno čičoka sadrži inulin, a krumpir škrob. Kada se gomolji uskladište u tlu ili hladnjačama, inulin u njima se pretvara u fruktozu i gomolji razvijaju puno slađi okus. Priprema za ljudsku hranu je ista kao i priprema krumpira. Mogu se kuhati, peći, pretvarati u brašno koje se može koristiti u pekarskim proizvodima, mogu se čak i kiseliti, a zbog toga što ne sadrže solanin mogu se za razliku od krumpira jesti i sirovi (Cosgrove i sur., 1991.).

2.7.2. Hranidba stoke

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je dobar izvor energije za hranidbu domaćih i divljih životinja. Stabljike čičoke se odlično siliraju, a gubitci kod siliranja se jednaki onima kod kukuruza. Dobra je kombinacija siliranja zelene mase čičoke i kukuruzovine u omjeru 40:60. Gomolji čičoke imaju bolju hranidbenu vrijednosti od krumpira, list služi kao dobar izvor zelene paše, cijela stabljika kao sijeno, a obzirom na to da ne sadrži solanin, može se davati svim vrstama i kategorijama stoke u količinama preporučenim za kuhani krumpir. Svježi gomolj čičoke ima tanku ljusku i često se koristi kao hrana za svinje, a dobro je svinjama pustiti da same ruju po tlu i skupljaju gomolje. Kada se radi o

količinama za pojedine životinje i kategorije, svinjama se daje jedan kilogram dnevno svježe čičoke na 10 kilograma tjelesne mase. Kako bi se svinje naučile na čičoku, bilo bi dobro u početku kuhati gomolje i postepeno svaki dan smanjivati udio kuhane, a povećavati udio sirove čičoke. Također, u početku hranidbe poželjno je svinje hraniti opranim i narezanim gomoljima čičoke, a nakon šestog dana jedu gomolj bez pranja, u količinama 3 do 10 kilograma.

U hranidbi peradi čičoka se daje u količinama od 50 do 100 grama na dan. Kunićima se mogu davati svi dijelovi čičoke, a gomolj u količini od 1,5 % tjelesne mase. Muznim kravama do 500 kilograma tjelesne mase, gomolji se daju u količini od 30 kg na dan, a težima od 500 kilograma i do 40 kg čičoke na dan. Junadi od 200 do 300 kilograma može se dati oko 10 kg čičoke na dan, a ovcama i kozama 1 – 2 kilograma. Svježa masa je odlična krma, jednake hranjive vrijednosti kao kvalitetna svježa krma s oranica. Stabljika i list se dobro siliraju sami ili u kombinaciji sa suhom, grubom krmom (slama, kukuruzovina). Nadzemna zelena masa čičoke se može koristiti kao paša za visoku divljač koja može konzumirati istu količinu kao i odrasla goveda. Zbog toga je čičoka korisna kao izvor energije za divlje životinje, tj. kao krma u lovnoj privredi i hranidbi kunića. Čičoku je dobro uzgajati na proplancima šuma blizu čeka kao hrana za divlje svinje kojima će poslužiti kao odlična hrana tijekom jeseni, zime i proljeća (www.agroklub.com)

Tablica 3. Hranidbena vrijednost i kvalitativne karakteristike nadzemnih i podzemnih dijelova čičoke (Helianthus tuberosus L.) i druge stočne hrane.

Krma	**Suha tvar %**	**Ukupno probavljive HT %**	**Probavljive bjelančevine %**	**Sirove bjelančevine %**	**Sirova vlakna %**
Nadzemni dio čičoke	27	67	3	5	18
Gomolji čičoke	21	78	6	10	4
Lucerna, u punom cvatu	91	53	10	14	35
Stoklasa bezosata, nakon cvatnje	94	46	2	6	33
Kukuruzna silaža	29	70	5	8	22
Repina pulpa	91	75	5	10	21

Izvor: Cosgrove i sur. (1991.): Alternative field crops manual; Jerusalem artichoke

2.7.3. Industrijska prerada

Čičoka kao sirovina u industrijskoj proizvodnji također ima široku primjenu. Koristi se za proizvodnju alkohola, rakije, šećernog sirupa, inulina (koji ima pozitivan utjecaj na zdravlje ljudi), fruktoze i sl. Cosgrove i sur., (1991.) navode da su se u Francuskoj čičoke dugi niz godina koristile za proizvodnju vina i piva. Etanol i butanol, dva alkohola koja se mogu koristiti kao gorivo, također se mogu proizvesti od čičoke (*Helianthus tuberosus L.*). Od 1 tone gomolja dobije se 60 – 100 litara alkohola, a prema literaturnim navodima od gomolja čičoke se mogu proizvoditi plastični materijali, sintetički kaučuk i sl. (Erić i sur., 2004.).

Biokemijski sastav inulina u čičoki čini ga izvrsnim izvorom fruktoze. Fruktoza je najslađi prirodni šećer, za 16% slađi od saharoze. Fruktozni sirupi su široko rasprostranjeni u prehrambenoj industriji,visoko su topljivi u vodi, imaju nešto manje kalorija od saharoze i manje su viskozni. Uz navedena svojstva, fruktoza je značajno dobila na važnosti kao zaslađivač u prehrambenoj industriji. Idealni je šećer za hranu snižene kalorijske vrijednosti, hranu za dijabetičare i proizvode za borbu protiv pretilosti. Inulin, fruktooligosaharidi, fruktoza i ostale korisne komponente se mogu pročistiti iz sokova ekstrahiranih iz gomolja čičoke. Fermentacijom uz prisutnost kvasca (enzimatska hidroliza) inulin i fruktooligosaharidi se pretvaraju u fruktozu. Čičoka količinom fruktoze pridonosi više od šećerne repe ili kukuruza (Baltacioglu, 2012.).

Tablica 4. Prinosi fruktoze u čičoki, šećernoj repi i kukuruzu u t/ha.

Biljna vrsta	Količina fruktoze u t/ha
Čičoka	4.5
Šećerna repa	2.9
Kukuruz	2.1

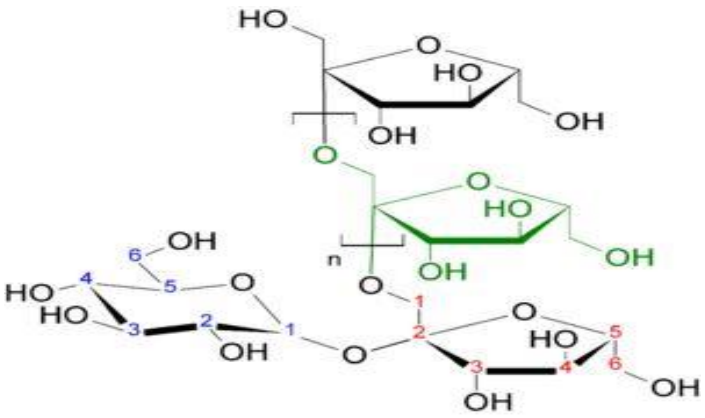
Izvor: Barta (1993.): Jerusalem artichoke as a multipurpose raw material for food products of high fructose or inulin content

Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) ima ulogu i u pekarskim i mliječnim proizvodima. Dodavanjem brašna čičoke u kruh ili druge pekarske proizvode dovodi do pozitivnih promjena u namirnicama (povećava mekoću kruha, produljuje svježinu i trajnost kruha te povećava volumen kruha). Bijeli i pšenično raženi kruhovi mogu biti pripremljeni s

dodatkom brašna čičoke ili inulinom, pri čemu se rastom sadržaja inulina smanjuje tvrdoća mrvica kruha. Uobičajeno se u pekarske proizvode dodaje do 8 % inulina. U pšenično raženim kruhovima brašno čičoke doprinosi visokom kvalitetom proizvoda. Dodatak fruktooligosaharida smanjuje kalorijsku vrijednost, a povećava sadržaj vlakana u kruhu, čineći ga zdravijom namirnicom. Inulin iz čičoke se također koristi kao proizvod za zgušnjavanje sladoleda, raznih namaza, majoneza, čokoladnih proizvoda, tjestenine i sl. (Baltacioglu, 2012.).

2.7.4. Inulin

Gomolji su dobar izvor dijetalnih vlakana zbog prisutnosti inulina. Inulin (Kemijska formula: $C_{6n}H_{10n+2}O_{5n+1}$) je prvi otkrio njemački znanstvenik Valentin Rose 1804. godine u rizomima biljke Oman (*Inula helenium L.*). Prvi koji je otkrio inulin u čičoki bio je francuski kemičar i farmaceut Henri Braconnot 1824. godine. Inulin (Slika 6.) je ugljikohidrat uskladišten u obliku rezervi kod velikog broja biljaka. Prah bijele boje, bez okusa, donekle topljiv u hladnoj vodi, vrlo topljiv toploj vodi i netopljiv u alkoholima. U značajnim količinama najčešće se nalazi u biljkama iz porodice glavočika (*Compositae*), a neke od tih vrsta uz čičoku su: *Artemisia vulgaris, Inula helenium, Arnica montana, Tusilago farfara, Arctium lappa, Cichorium intybus*… (Shoemaker, 1927.)



Slika 6. Kemijska struktura inulina

Izvor:

http://ba.rainbowextract.com/Content/ue/net/upload1/Other/11264/6360463146248163966362121.png

Sadržaj inulina u gomoljima varira između 7 i 30% od mase svježeg korijena (oko 50% ukoliko se radi o suhom korijenu), a sadržaj inulina između 8 i 21% u masi svježeg korijena se smatra uobičajenim. Prema kvantitativnoj osnovi, čičoka (Helianthus *tuberosus L.*) i cikorija (*Cichorium intybus L.*) su najvažnije biljne vrste za dobivanje inulina (Baltacioglu, 2012.).

Molekule inulina su puno manje od molekula škroba sa stupnjem polimerizacije (broj individiualnih monosaharidskih podjedinica) rasponu između 2 i 70. Prosječni broj fruktoznih podjedinica varira unutar vrste i uvjeta proizvodnje. Molekule sa stupnjem polimerizacije ispod 10 se zovu fruktooligosaharidi (FOSs) ili oligofruktoze. Fruktooligosaharidi kratkih lanaca imaju dvije do četiri podjedinice. Kao polimer fruktoze inulin se klasificira kao fruktan, od kojih postoji nekoliko tipova (Kays i Nottingham, 2008.):

- Inulini,
- Levani,
- Razgranati fruktani

Fruktane također sintetiziraju i veliki broj mikroorganizama. Inulin je povezan s borbom protiv pretilosti. Podaci Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) iz 2002. godine govore o više od milijarde odraslih s prekomjernom težinom te 300 milijuna ljudi koji su pretili. (Baltacioglu, 2012.). Pretjerani unos kalorija je glavni uzrok ove globalne pojave. Konzumiranje hrane visoke energetske vrijednosti dovodi do nagomilavanja masti u tijelu. Indeks tjelesne mase iznad 25 povećava rizik od rane smrti uzrokovane degenerativnim bolestima i zdravstvenim stanjima, uključujući kardiovaskularne bolesti, hipertenzije, moždani udar, osteoporoza, rak i dijabetes tip 2. WHO procjenjuje da više od 3 milijuna ljudi godišnje umre zbog prekomjerne težine i pretilosti.

Čičoka kao niskoenergetska namirnica pomaže protiv navedenih zdravstvenih problema. Ima nisku energetsku vrijednost zbog enzima u probavnom sustavu koji ne degradiraju inulin i fruktooligosaharide, što je preduvjet za apsorpciju u organizmu. Zbog toga se smatraju neprobavljivim oligosaharidima. Hrana koja sadrži inulin je korisna u prehrani ljudi s dijabetesom. Zbog nemogućnosti apsorpcije inulina i fruktooligosaharida

takva hrana ne utječe na razinu inzulina u krvi zato što tijelo ne osjeća potrebu za proizvodnjom inzulina.

Inulin i oligofruktoza imaju široku primjenu kao prebiotici. Prebiotik je namirnica ili komponenta namirnice čija fermentacija u crijevu dovodi do promjene sastava i/ili aktivnosti gastrointestinalne mikroflore čime se ostvaruju poželjni i protektivni fiziološki učinci. To znači da bi prebiotici trebali selektivno poticati rast samo određenih mikroorganizama, prvenstveno bifidobakterija i laktobacila koji se smatraju najvažnijima za održavanje zdravlja probavnog sustava (Vitali Čepo i Vedrina Dragojević, 2012.).

Inulin fermentira u debelom crijevu, selektivno mijenjajući prisutnu mikrofloru. Bifidobakterije, rod bakterija koje imaju pozitivna svojstva na zdravlje ljudi, suzbijaju veliki broj nepoželjnih mikroba. Čičoka kao sirovina za dobivanje inulina se smatra funkcionalnom hranom, a to je hrana ili određene supstance u njoj koje osim nutritivnih vrijednosti imaju i pozitivan utjecaj na opće zdravlje ljudi ili sudjeluju u smanjenju rizika od pojave određenih bolesti. Ovakva hrana se smatra korisnom protiv gastrointestinalnih poteškoća i poboljšava apsorpciju minerala. Čisti prah inulina se koristi u prehrambene i medicinske svrhe. Za prehrambene svrhe, neophodno je da su sve toksične komponente i patogeni organizmi uklonjeni iz praha inulina. U medicinske svrhe inulin mora biti vrlo čist i mora imati visoki stupanj polimerizacije (>20) (Baltacioglu, 2012.).

2.8. Bioplin

Bioplin je mješavina plinova sastavljena od metana, ugljikovog dioksida, dušika, vodika i vodikovog sulfida (Tablica 5.). Najzastupljeniji plin u toj smjesi plinova je metan (CH_4) koji ujedno daje energetsku vrijednost bioplinu. Sastav plina najčešće je određen sastavom supstrata, tijekom fermentacijske reakcije, operativnim parametrima i različitim tehničkim preduvjetima toplinskog postrojenja (Špicnagel, 2014.).

Tablica 5. Kemijski sastav bioplina

Kemijski spoj	Kemijska formula	Udio	Vol %
Metan	CH_4	50 – 75	%
Ugljikov dioksid	CO_2	25 – 45	%
Sumporovodik	H_2S	< 1	%
Amonijak	NH_3	< 1	%
Vodena para	H_2O (g)	2 – 7	%
Kisik	O_2	< 2	%
Dušik	N_2	< 2	%
Vodik	H_2	< 1	%

Izvor: Špicnagel (2014.): Potencijal bioplinskih postrojenja u hrvatskom poljoprivrednom sektoru

Ugljik i ugljikovi spojevi čine osnovu svih živih bića na zemlji. Energija potrebna za održavanje života potječe od sunčeve radijacije koja se transformira fotosintezom u biljkama u kemijsku energiju u ugljikovim spojevima (ugljikohidrati, bjelančevine, masti). Ugljik potreban za izgradnju ovih spojeva dolazi iz CO_2. Obzirom da životinje ne mogu same iskoristiti sunčevu energiju, do nje dolaze unošenjem biljaka ili drugih životinja u organizam. Ciklus kruženja ugljika se nastavlja razgradnjom uginulih biljaka i životinja, a taj proces može se odvijati na aerobni (uz prisutnost kisika) ili anaerobni (bez prisutnosti kisika) način. Oba procesa su izuzetno važna za i bez njih život na zemlji ne bi bio moguć. Aerobnom digestijom (fermentacijom) razlažu se organski spojevi do ugljikovog dioksida i vode, gdje se od organskih ostataka biljaka proizvodi kompost, uz oslobađanje znatne količine topline.

2.8.1. Proizvodnja bioplina – anaerobna digestija

Bioplin nastaje mikrobiološkim procesom anaerobne digestije u kojem dolazi do razgradnje organske tvari bez prisutnosti kisika. U prirodi se proces anaerobne digestije može pronaći na morskom dnu ili u želucima preživača. Dakle, anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se složena organska tvar razlaže do jednostavnijih spojeva, odnosno metana i ugljikovog dioksida (Špicnagel, 2014.). Osim bioplina, nusproizvod ovoga procesa je i digestat. Bioplin je gorivi plin koji se prvenstveno sastoji od metana i ugljikovog dioksida, a digestat je ostatak supstrata nakon fermentacije, nastao tijekom proizvodnje bioplina. Separacijom digestata dobivamo tekuću i krutu fazu (preko 20 %

suhe tvari) koje se koriste kao vrlo kvalitetno prirodno gnojivo. S obzirom na raznovrsnost supstrata koji se dodaju u postrojenje, postoje dva osnovna tipa digestije:

1. Monodigestija (1 supstrat – npr. energetski usjevi)
2. Koodigestija (više od 2 supstrata – npr. stajnjak i energetski usjevi, gnojovka i organski otpad iz prehrambene industrije i sl.)

Danas najrasprostranjeniji tip digestije je koodigestija zbog dostupnosti raznovrsnih sirovina i jednostavnije upravljanje mikroorganizmima, odnosno izbjegava se manjak pojedinih mikroelemenata (Špicnagel, 2014.).

U procesu proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnom razgradnjom ili kompostiranjem. Energija koja se nalazi u kemijskim vezama supstrata oslobađa se sagorijevanjem metana. Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se sirovina razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina, a odvija se u 4 faze: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza što se može pojednostavljeno vidjeti na slici 6.

Slika 7. Shematski prikaz četiri glavne faze anaerobne digestije

Izvor: Al Seadi i sur. (2008.): Biogas handbook

Hidroliza

Hidroliza je prva faza anaerobne digestije u kojoj se polimeri ugljikohidrata, bjelančevina i masti razlažu u jednostavne spojeve – jednostavne šećere, masne kiseline i aminokiseline. Neki od ugljikohidrata su celuloza, hemiceluloza, škrob, pektin i glikogen. Proteini se razlažu do peptida (purini, pirimidini), a masti do lanaca masnih kiselina i glicerola. U procesu hidrolize djeluje široki spektar bakterija koje izlučuju egzoenzime (Špicnagel, 2014.).

Acidogeneza

Acidogeneza nastavlja razlaganje spojeva do jednostavnijih komponenti pomoću acidogenih bakterija koje nisu bezuvjetno anaerobne. Neke od bakterija su *Lactobacillus, Clostridium, Streptococcus* i dr. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline se razlažu u acetate, ugljikov dioksid i vodik (70 %), kao i u hlapljive masne kiseline i alkohole (30 %) (Al Seadi i sur., 2008.).

Acetogeneza

Za razliku od acidogeneze, acetogenezu provode isključivo anaerobne bakterije koje pritom transformiraju alkohole i hlapljive masne kiseline u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Bakterije koje sudjeluju u procesu acetogeneze au *Acetobacterium*, *Pelobacter* i dr. Acetogeneza i metanogeneza se odvijaju usporedno, a nastali vodik u ovoj fazi se tijekom metanogeneze transformira u metan (Špicnagel, 2014.).

Metanogeneza

Najsporija faza anaerobne digestije je reakcija metanogeneze u kojoj nastaje većina metana. Proces provode isključivo anaerobne bakterije (*Methanococcus*, *Methanosarcina*). Prema Al Seadi i sur. (2008.) 70 % nastalog metana potječe od acetata, dok preostalih 30 % nastaje transformiranjem vodika i ugljikovog dioksida prema slijedećoj jednadžbi:

Octena kiselina $\xrightarrow{\text{metanogene bakterije}}$ metan + CO_2 (degradacija octene kiseline CH_3COOH)

Vodik + ugljikov dioksid $\xrightarrow{\text{metanogene bakterije}}$ metan + H_2O (redukcija CO_2 do metana)

2.9. Parametri anaerobne digestije

Učinkovitost anaerobne digestije određuju važni parametri, zbog čega je izrazito važno stvoriti idealne uvjete za anaerobne mikroorganizme. Na rast i aktivnost anaerobnih mikroorganizama značajan utjecaj imaju uvjeti kao što su izostanak kisika, stalna temperatura, pH vrijednost, opskrbljenost hranjivima, hlapljive masne kiseline, kao i prisutnost i količina inhibitora (Al Seadi i sur., 2008.).

Temperatura

Anaerobna digestija se može odvijati na različitim temperaturama. Točnije, biokemijska reakcija se može odvijati pri temperaturnom rasponu od 25 do 70°C, pri čemu se mikrobiološka aktivnost povećava s povećanjem temperature reakcije. Prema tome, mikroorganizmi se klasificiraju u tri temperaturne zone (Tablica 6.) te se ovisno o tome određuje i minimalan broj dana koji mora proći kako bi se kemijska reakcija uspješno provela. Pri izgradnji bioplinskih postrojenja, najčešće korišteni pristup je mezofilna reakcija, jer uspješno balansira između količine proizvedenog bioplina, stabilnosti anaerobnog procesa i smanjene kompleksnosti praćenja rada postrojenja (Špicnagel, 2014.).

Tablica 6. Termalna faza i uobičajeno trajanje procesa

Vrsta temperaturne reakcije	Temperatura (°C)	Trajanje procesa (dan)
Psihrofilna	< 25°C	70 – 80
Mezofilna	25 do 45°C	30 – 40
Termofilna	45 do 75°C	15 – 20

Izvor: Špicnagel (2014.): Potencijal bioplinskih postrojenja u hrvatskom poljoprivrednom sektoru

pH – vrijednost

pH vrijednost reakcije u digestoru je drugi najvažniji faktor u bioplinskoj proizvodnji. Kiselost, odnosno alkalnost supstrata, izravno utječe na razvoj mikroorganizama, topivost pojedinih komponenti (NH_4, organske kiseline i sulfidi) i proizvodnju metana. Špicnagel (2014.) navodi da prema Weilandu, optimalne vrijednosti

pH za prve dvije faze mezofilne digestije kreću se u rasponu od 5,2 do 6,3, dok se nastanak metana odvija u relativno uskom spektru vrijednosti od 6,5 do 8,5 (Tablica 7.). Ukoliko je vrijednost reakcije ispod 5,5 stvaranje metana se zaustavlja i umjesto metana, akumuliraju se hlapljive masne kiseline. Pri povećanju pH vrijednosti (pH > 8) amonijak se stvara u puno većoj mjeri od amonijačnog iona (NH_4^+) i dovodi do inhibicije anaerobne digestije.

Tablica 7. Optimalna pH reakcije za odvijanje anaerobne digestije

HIDROLIZA	ACIDOGENEZA	ACETOGENEZA	METANOGENEZA
5,2 – 6,3		6,5 – 8,0	

Izvor: Špicnagel (2014.): Potencijal bioplinskih postrojenja u hrvatskom poljoprivrednom sektoru

Opskrbljenost hranjivima

Anaerobni mikroorganizmi koji sudjeluju u procesu digestije imaju specifične zahtjeve u pogledu količine i sastava makro i mikronutrijenata i vitamina. Kako bi se postigla stabilnost procesa i osigurao visok prinos metana, supstrat mora sadržavati optimalni omjer proteina, masti i ugljikohidrata. Za metanogenezu je iznimno važan odnos ugljika i dušika (C:N omjer) koji se kreće u rasponu od 10:1 do 30:1, a uz omjer ugljika i dušika mora se voditi briga i o C:N:P:S omjeru koji je u pravilu 600:15:5:3. Preostali elementi, potrebni u puno manjoj mjeri su kobalt (Co), nikal (Ni), molibden (Mo), selenij (Se), tungsten (W), magnezij (Mg), željezo (Fe) i mangan (Mn), a problem nedostatka mikronutrijenata se najčešće javlja u monodigestiji (Špicnagel, 2014.).

Hlapljive masne kiseline

Hlapljive masne kiseline su grupa međuspojeva nastalih tijekom procesa anaerobne digestije, odnosno u fazi acidogeneze. Njihova akumulacija se javlja kao rezultat nestabilne anaerobne digestije što za posljedica ima sniženje pH vrijednosti reakcije u digestoru i zaustavljanje procesa. Sadržaj hlapljivih masnih kiselina je izravno povezan sa sastavom supstrata u digestoru (Špicnagel, 2014.).

3. Materijali i metode istraživanja

Cilj istraživanja bio je utvrditi bioplinski potencijal čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) odnosno mogućnost korištenja podzemne biomase čičoke za proizvodnju toplinske i električne energije, te utvrditi količinu i sastav proizvedenog plina. Istraživanje je provedeno u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku.

Uzorak usitnjene čičoke pomiješan je s govođom gnojovkom uzete s farme muznih krava ″Orlovnjak″. Proces anaerobne digestije se odvijao pri termofilnim uvjetima (> 50°C) u retencijskom periodu od 35 dana.

Slika 8. Usitnjeni gomolj čičoke

Izvor: V. Tadić

3.1. Određivanje sadržaja suhe tvari

Sadržaj suhe tvari u uzorcima utvrđen je sušenjem 100 g svježe tvari uzorka u sušioniku na temperaturi od 75°C kroz 24 sata, a nakon toga kroz dodatna 3 sata na temperaturi od 105°C (Thompson, 2001.). Ukupna suha tvar izračunata je iz podataka svježeg uzorka i suhog uzorka nakon sušenja:

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

Slika 9. Sušionik

Izvor: V. Tadić

3.2. Određivanje sadržaja pepela i organske tvari

Ukupan sadržaj pepela i organske tvari određen je žarenjem na 550°C tijekom 2 sata (Thompson, 2001.) u peći za žarenje, a korišteni su uzorci suhe tvari čičoke nakon sušenja na 75°C i sljedeće formule:

Pepeo (%) = [neto masa pepela nakon 550°C (g) ÷ neto suhi uzorak (g)] × 100

Organska tvar (%) = [1- neto pepela nakon 550°C (g) ÷ neto suhi uzorak (g)] × 100

3.3. Određivanje pH

pH je utvrđen elektrokemijskim mjerenjem direktno u uzorcima.

3.4. Određivanje količine i sastava bioplina

Istraživanje je postavljeno u diskontinuiranom bioreaktoru pri termofilnim uvjetima (> 50°C) u dvije grupe (kontrolna grupa i eksperimentalni uzorak) s četiri ponavljanja. Proizvedeni bioplin je prikupljan kroz slanu zasićenu otopinu u potopljenim graduiranim posudama (720 ml) i svakodnevno je očitavana količina proizvedenog bioplina. Proizvedeni bioplin je nakon završetka fermentacije analiziran plinskim kromatografom

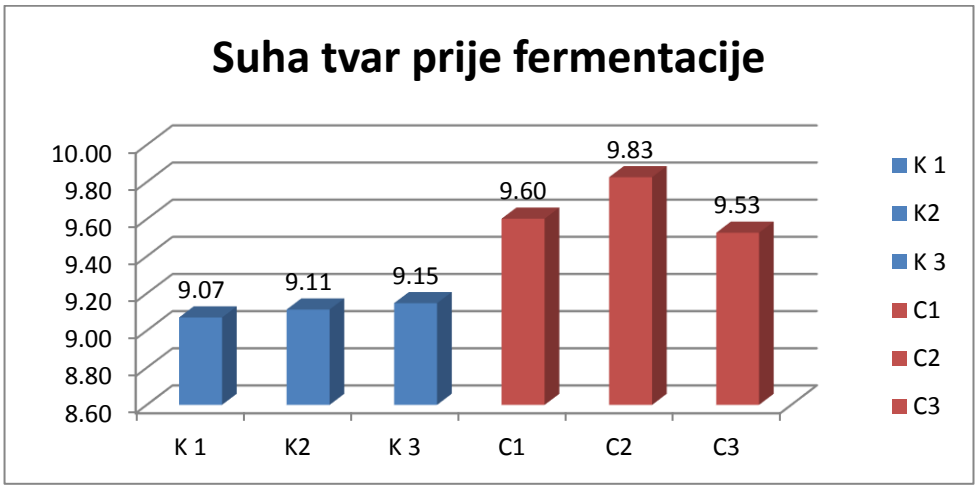
Varian 3900 prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974-4 : 2000. Plinskom kromatografijom utvrđen je udio dušika (N_2), ugljikovog dioksida (CO_2) i metana (CH_4).

4. Rezultati istraživanja

4.1. Udio suhe tvari i organske tvari u supstratima

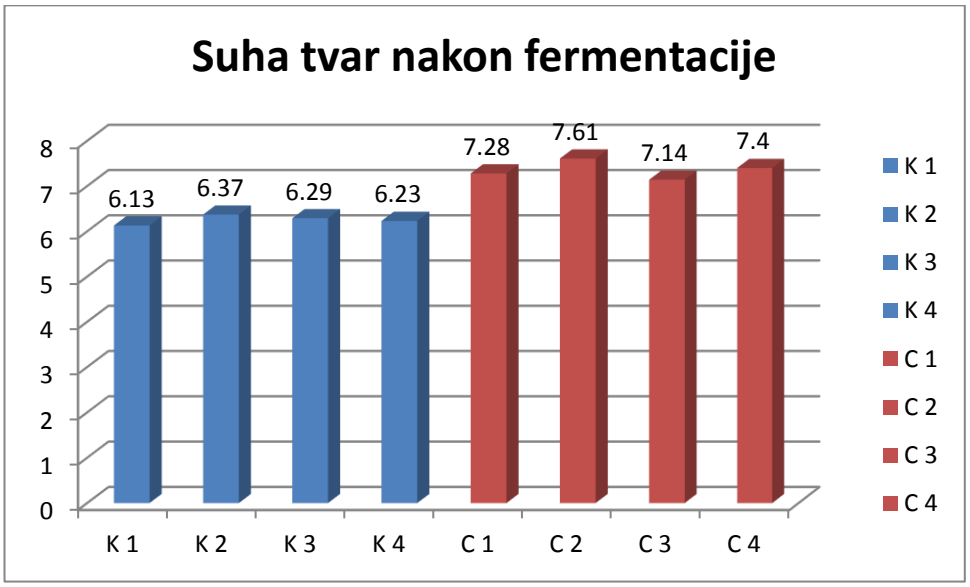
Obzirom na to da goveđa gnojovka ima nisku koncentraciju suhe tvari (ST), dodavanjem gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) u goveđu gnojovku mijenja se udio suhe tvari. U eksperimentalni uzorak dodano je 2,5 % usitnjenog gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*). Zbog toga dolazi do razlike u udjelu suhe tvari između kontrolne i eksperimentalne grupe.

Prije fermentacije najveći udio suhe tvari u eksperimentalnoj grupi C2 iznosi 9,83 %, a prosječna vrijednost suhe tvari u eksperimentalnim uzorcima C1, C2, C3 iznosi 9,65 %. Najmanji udio suhe tvari u kontrolnoj grupi prije fermentacije iznosi 9,07 % K1. Prosječni udio suhe tvari prije fermentacije kontrolnih uzoraka K1, K2, K3 iznosi 9,11 %. (Grafikon 1.).



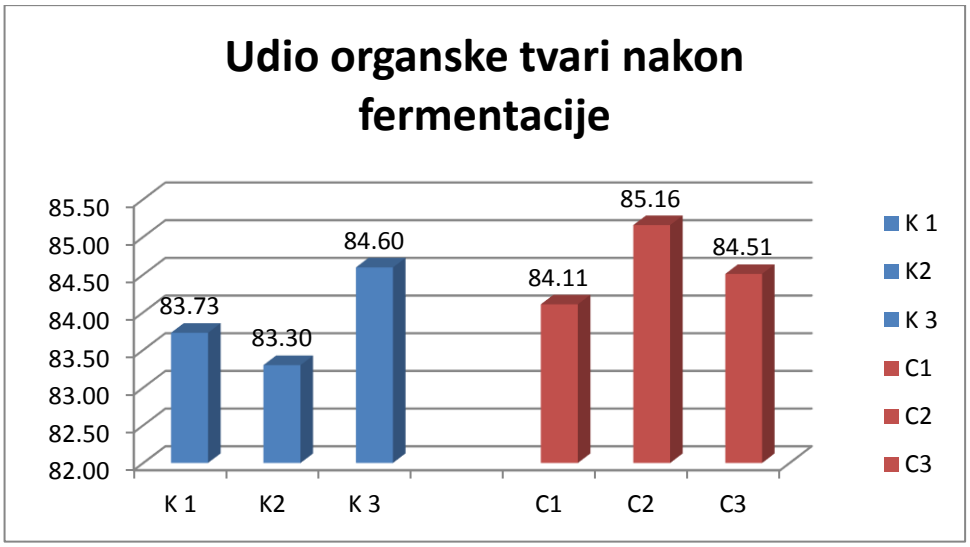
Grafikon 1. Udio suhe tvari (%) u supstratima prije fermentacije

Grafikon 2. Prikazuje da se nakon fermentacije prosječni udio suhe tvari u kontrolnim grupama K1, K2, K3 i K4 smanjio na 6,25 %, odnosno za 31,3 %. U eksperimentalnim grupama C1, C2, C3 i C4 prosječni udio suhe tvari nakon fermentacije se smanjio na 7,36 %, odnosno za 23,7 %.



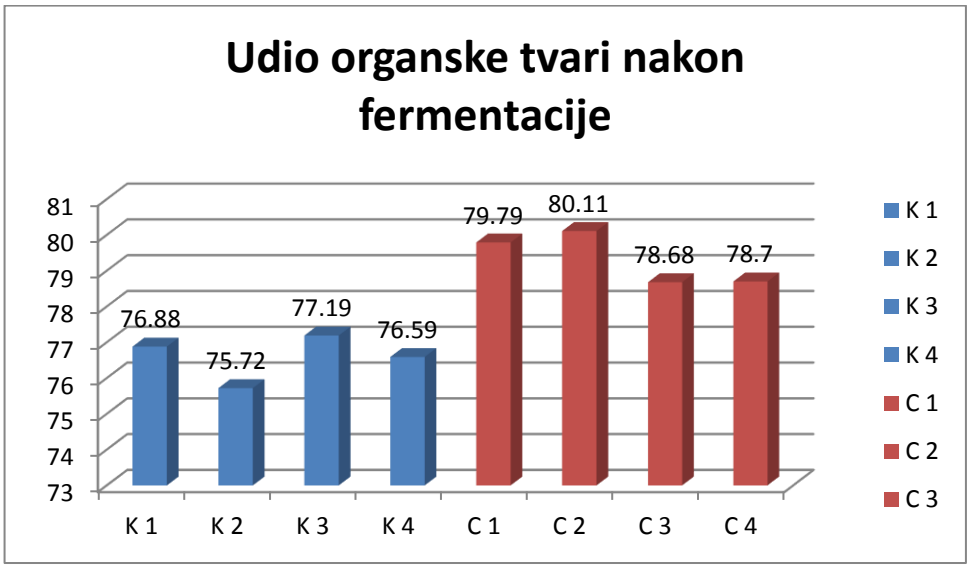
Grafikon 2. Udio suhe tvari (%) u supstratima nakon fermentacije

U grafikonu 3 vidljivi su prosječni udjeli organske tvari u kontrolnim uzorcima K1, K2, K3 prije fermentacije i udio organske tvari je 83,87 %, dok je u eksperimentalnim uzorcima C1, C2, C3 udio organske tvari 84,59 %. Mikroorganizmi koriste organsku tvar goveđe gnojovke i gomolja čičoke kako bi proizveli bioplin. Povećanim sadržajem organske tvari očekuje se i povećana proizvodnja bioplina.



Grafikon 3. Udio (%) organske tvari prije fermentacije

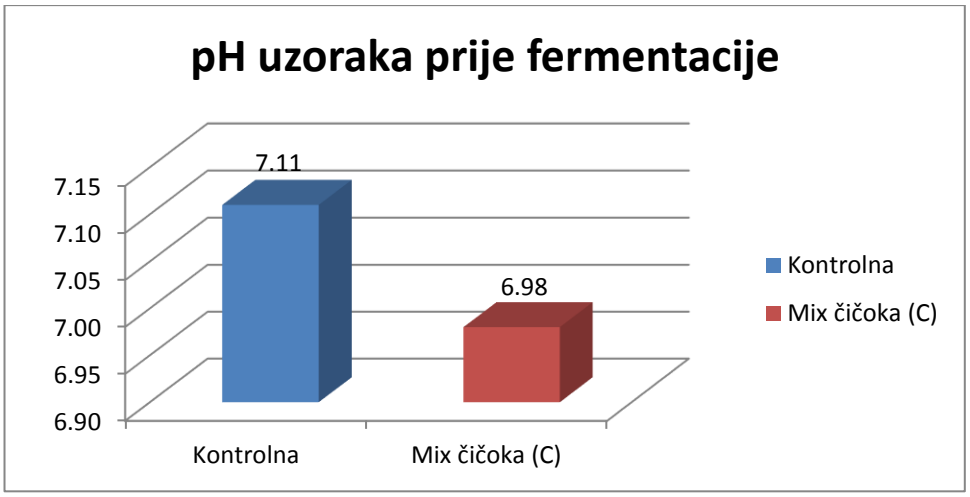
Udio organske tvari nakon fermentacije značajno je smanjen. Najveći prosječni udio u kontrolnim grupama iznosi 77,19 % (K3), dok je prosječni udio organske tvari u kontrolnoj grupi K1 76,88 %, K2 75,72 % i K4 76,59 %. Najveći prosječni udio organske tvari u eksperimentalnoj grupi zabilježen je u grupi C2 i iznosi 80,11 %. Vrijednosti za ostale eksperimentalne grupe su sljedeće: C1 79,79 %, C3 78,68 % i C4 78,70 %. (Grafikon 4.)



Grafikon 4. Udio (%) organske tvari nakon fermentacije

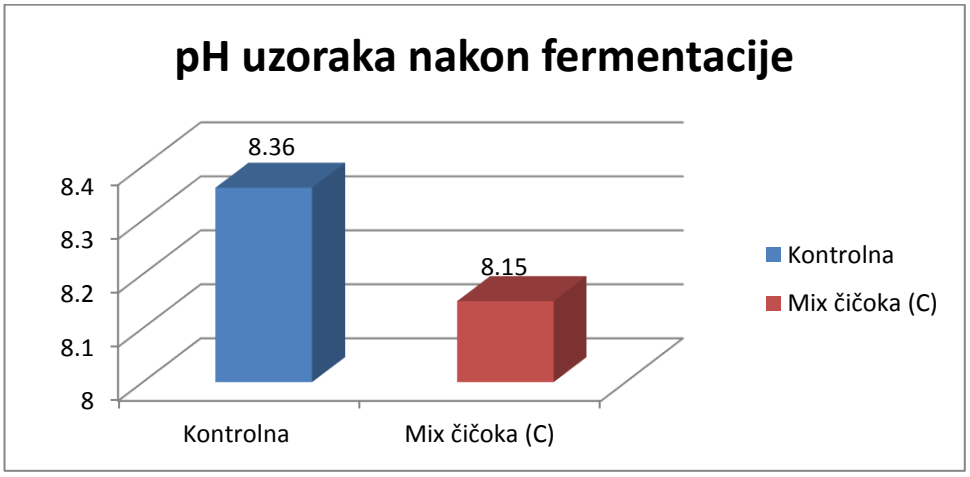
4.2. pH vrijednost

Kako je već navedeno u parametrima za odvijanje anaerobne digestije, pH je jedan od ključnih faktora za njeno odvijanje. U prijelazu iz faze acetogeneze u metanogenezu optimalan pH kreće se od 6,5 do 8,0. Mjerenjem kontrolnog uzorka prije fermentacije izmjerena je pH vrijednost 7,11, dok je u eksperimentalnog uzorku mješavine gnojovke i gomolja čičoke (C) pH 6,98.



Grafikon 5. pH vrijednost uzoraka prije fermentacije

Nakon fermentacije, prosječni pH (aritmetička sredina zbroja četiri uzorka) u kontrolnoj grupi K1, K2, K3 i K4 iznosi 8,36, dok je prosječni pH u eksperimentalnoj grupi C1, C2, C3 i C4 8,15. (Grafikon 6.)

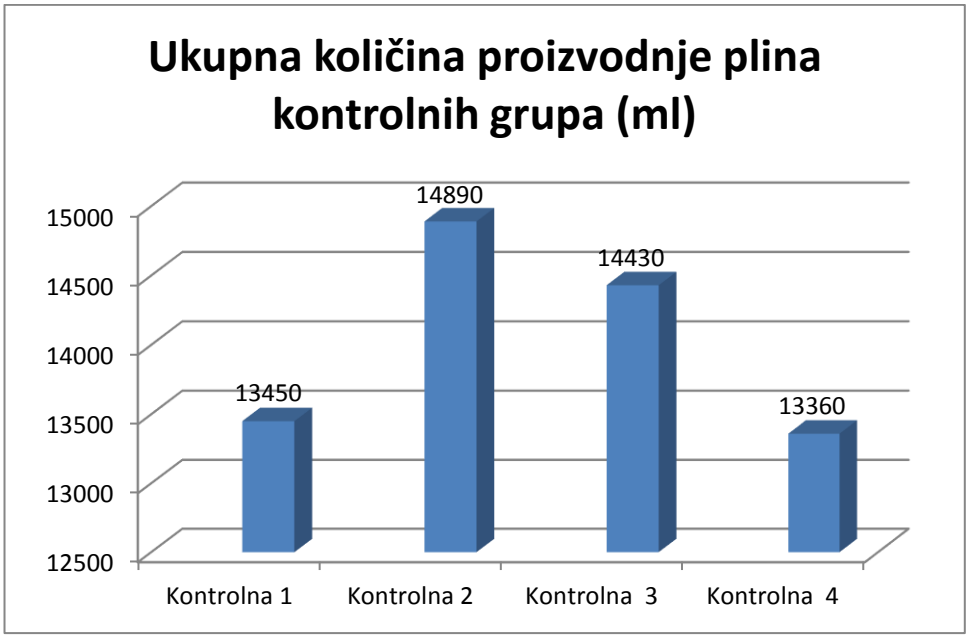


Grafikon 6. pH vrijednost uzoraka nakon fermentacije

4.3. Količina proizvedenog plina

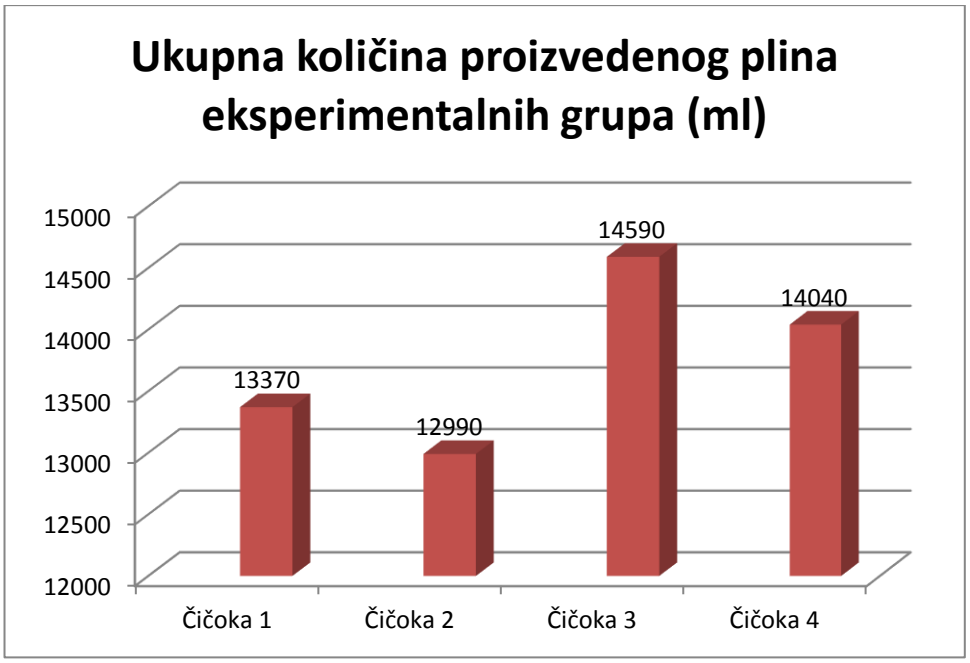
Pri postavljanju pokusa za očekivati je bilo da će dodatkom čičoke u goveđu gnojovku količina proizvedenog u eksperimentalnoj grupi biti veća od količine proizvedenog plina iz kontrolnih grupa, no dobiveni rezultati su pokazali suprotno. Prema rezultatima kontrolnih grupa, najveću proizvodnju plina imala je kontrolna grupa K2 u količini od 14.890 ml, a najmanju količinu plina imala je grupa K4 u količini od 13.360 ml plina (Grafikon 7.). Ukupna količina kontrolnih grupa (K1 + K2 + K3 + K4) iznosi 56.130,00 ml. Podijelimo li dobivene vrijednosti svake kontrolne grupe s 500, odnosno zapremninom supstrata od 500 ml, dobit ćemo količinu plina po ml svake kontrolne grupe. Njihovim zbrojem i aritmetičkom sredinom dobit ćemo količinu plina od 28,06 ml/ml kontrolne grupe što se jednostavnije može vidjeti u sljedećem izračunu:

K1/500 + K2/500 + K3/500 + K4/500 = 112.26 ÷ 4 = 28.06 ml



Grafikon 7. Prikaz ukupne količine proizvedenog plina u kontrolnim grupama

U grafikonu 8 prikazana je ukupna količina proizvedenog bioplina tijekom retencijskog perioda od 35 dana nastala iz 500 g supstrata. Od ukupnih 500 g supstrata 12.5 g zauzima gomolj čičoke, a 487,5 g otpada na goveđu gnojovku. Proizvedeni bioplin se tijekom procesa anaerobne digestije prikupljao u graduirane posude zapremnine 720 ml te se količina proizvedenog bioplina bilježila na dnevnoj bazi.



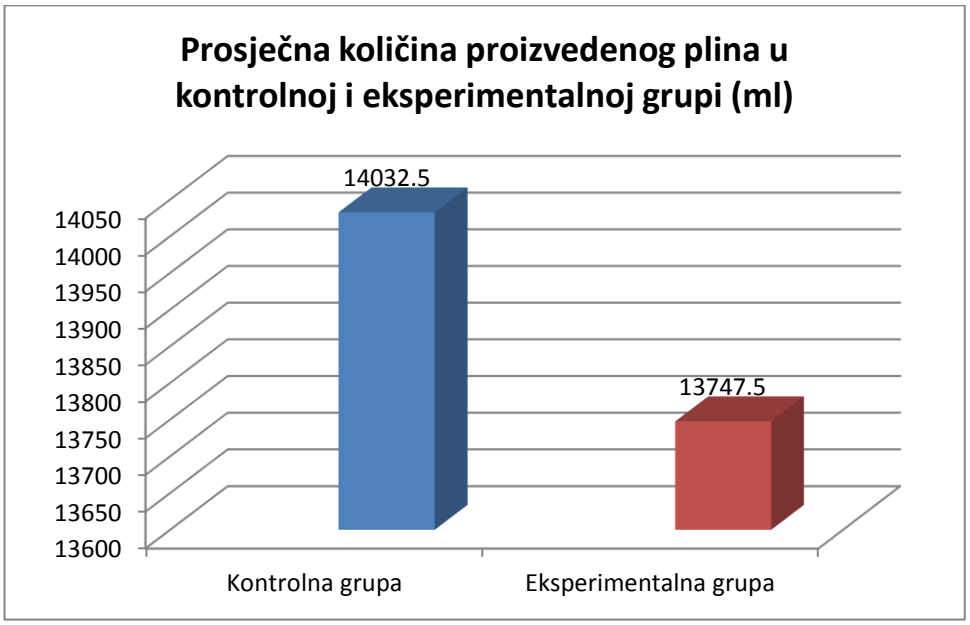
Grafikon 8. Prikaz ukupne količine proizvedenog plina u eksperimentalnim grupama

Slika 10. Graduirane posude

Izvor: V. Tadić

Prema dobivenim rezultatima najveću količinu plina ostvarila je eksperimentalna grupa C3 i to količinu od 14.590 ml plina, dok je najmanju količinu plina imala grupa C2 u količini od 12.990 ml. Ukupna količina plina u eksperimentalnoj grupi iznosi (C1 + C2 + C3 + C4) 54.990,00 ml što je za 1.140 ml, odnosno za 2 % manje od ukupne količine plina kontrolne grupe. Znamo da su u obje grupe polazni uzorci sadržavali 500 g supstrata.

Kontrolna grupa se sastojala od 500 g goveđe gnojovke, a eksperimentalna grupa od 487,5 g goveđe gnojovke i 12,5 g usitnjenog gomolja čičoke. Po istom principu kao i kod kontrolnog uzroka računamo količinu plina po ml eksperimentalne grupe i dobijemo količinu od 27.5 ml plina/g supstrata.

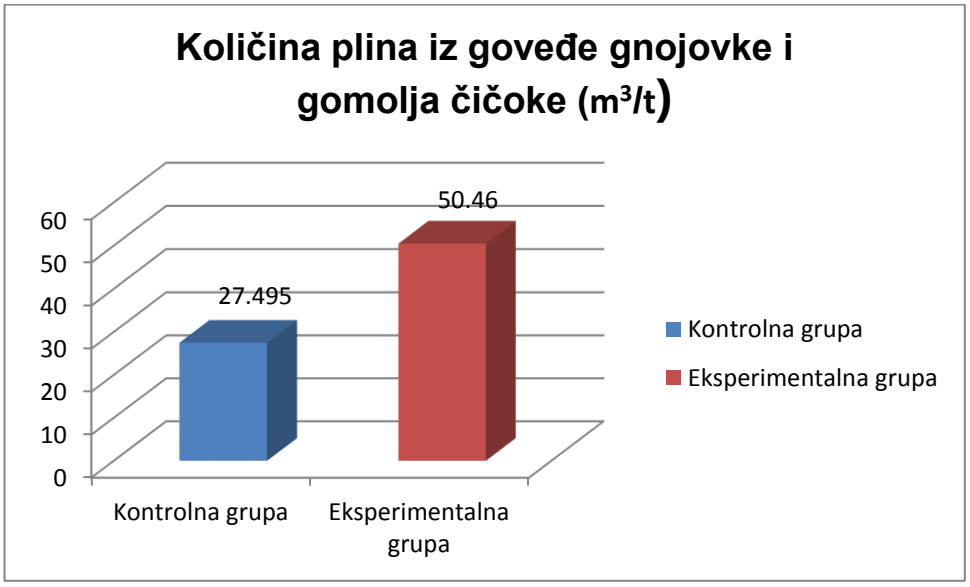


Grafikon 9. Prikaz prosječne količine proizvedenog plina u kontrolnoj i eksperimentalnoj grupi

U grafikonu 9 možemo vidjeti kako su prosječne vrijednosti proizvedenog plina u kontrolnim grupama (14.023,5 ml) veće od prosječnih vrijednosti proizvedenog plina u eksperimentalnoj grupi (13.747.,5 ml) za 285 ml.

Kako bi saznali koliko proizvodnji plina pridonosi sam gomolj čičoke potrebno je podijeliti prosječnu količinu proizvedenog plina s polaznih 500 g goveđe gnojovke, odnosno 14.032,5/500 pri čemu dobijemo prosječnu količinu plina po 1 g kontrolnog utorka, što je u ovome slučaju 28,06 ml plina/g supstrata. Prosječnu količinu bioplina od 28,06 pomnožimo s 487,5 g kako bi saznali koliko plina od ukupnog sadržaja eksperimentalne grupe otpada na goveđu gnojovku i tako dobijemo rezultat od 13.684,125 ml plina/487,5 g gnojovke. Ako anuliramo rezultate eksperimentalne grupe C1 i C2 zbog njihovih negativnih rezultata nastalih zbog loše fermentacije i uzmemo prosječnu količinu plina eksperimentalne grupe C3 (14.590 ml) i C4 (14.040 ml) te od obje grupe oduzmemo prosječnu količinu plina iz 487,5 g goveđe gnojovke (13.684,125 ml) dobit ćemo podatak

da eksperimentalna grupa C3 ima količinu od 905,87 ml plina/12,5 g gomolja čičoke, a eksperimentalna grupa C4 ima količinu od 355,87 ml/12,5 g gomolja čičoke. Uzmemo li aritmetičku sredinu (905,87+355,87/2=630,87) ove dvije eksperimentalne grupe i podijelimo s 12,5 g, dobit ćemo podatak da 1 g gomolja čičoke proizvede 50,46 ml bioplina, odnosno 50,46 m^3 bioplina/t gomolja čičoke (Grafikon 10.).

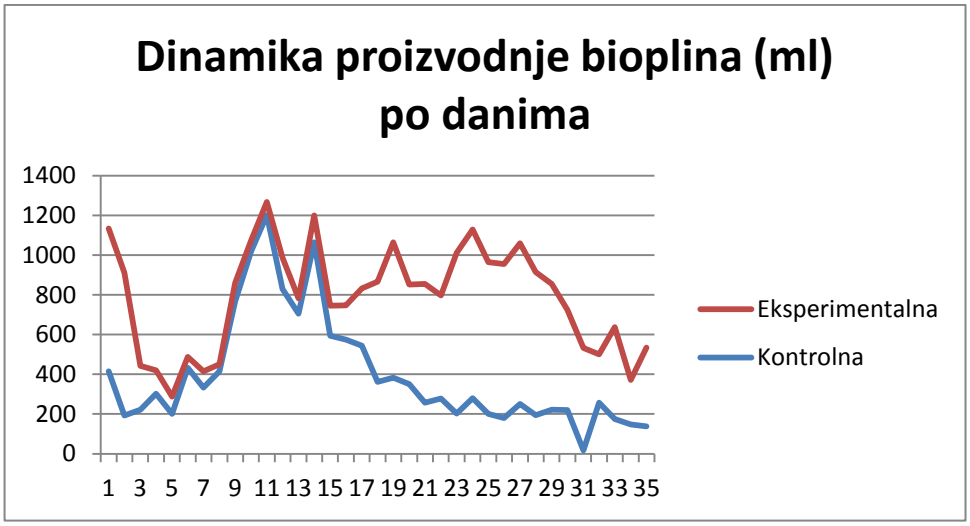


Grafikon 10. Količina bioplina iz 1 tone goveđe gnojovke kontrolne grupe i 1 tone gomolja čičoke izražena u m^3/t

4.4. Dinamika proizvodnje bioplina

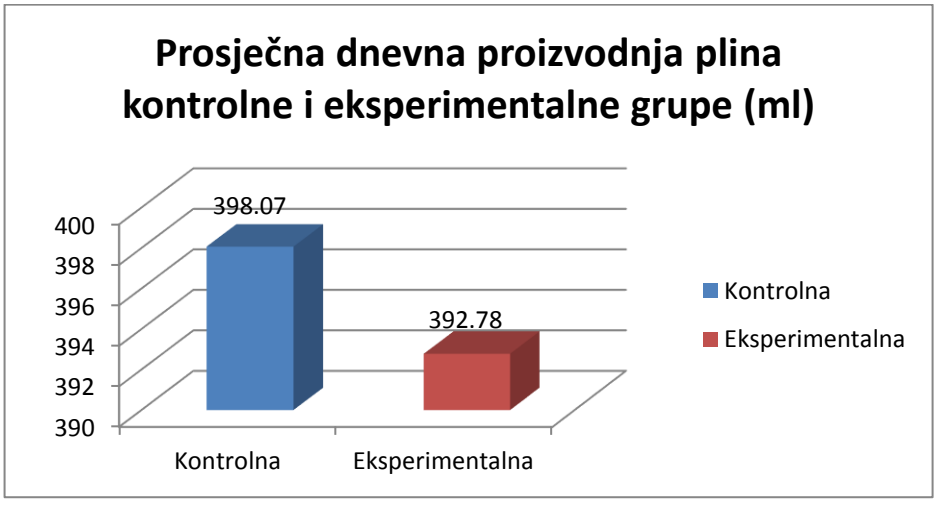
Dinamika proizvodnje bioplina prikazana je u grafikonu 11. U kojemu se može očitati prosječna dnevna proizvodnja bioplina tijekom retencijskog perioda od 35 dana. Tijekom 35 dana proizvodnje intenzitet stvaranja bioplina je prilično neujednačen. Ta odstupanja u proizvodnji su vidljiva između početka i kraja procesa i između eksperimentalne i kontrolne grupe. Približno jednaki rezultati između kontrolne i eksperimentalne grupe zabilježeni su 3. (28.01.2016) i 32. dan (26.02.2016.). Od trećeg dana procesa intenzitet stvaranja bioplina je samo rastao u korist kontrolne grupe, pa tako 11. dan bilježi najveću razliku proizvodnje plina od čak 1.137,5 ml i sve do 18. dana kontrolna grupa je bilježila značajno veliku razliku u odnosu na eksperimentalnu. Nakon 18. dana eksperimentalna grupa ima značajnu proizvodnju plina u odnosu na kontrolnu i za

očekivati je bilo da će rezultati pokazati kako je gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) odlična kultura za proizvodnju bioplina, no krajnji rezultati su pokazali suprotno.



Grafikon 11. Dinamika proizvodnje bioplina u ml/dan po prosječnim vrijednostima kontrolne i eksperimentalne grupe

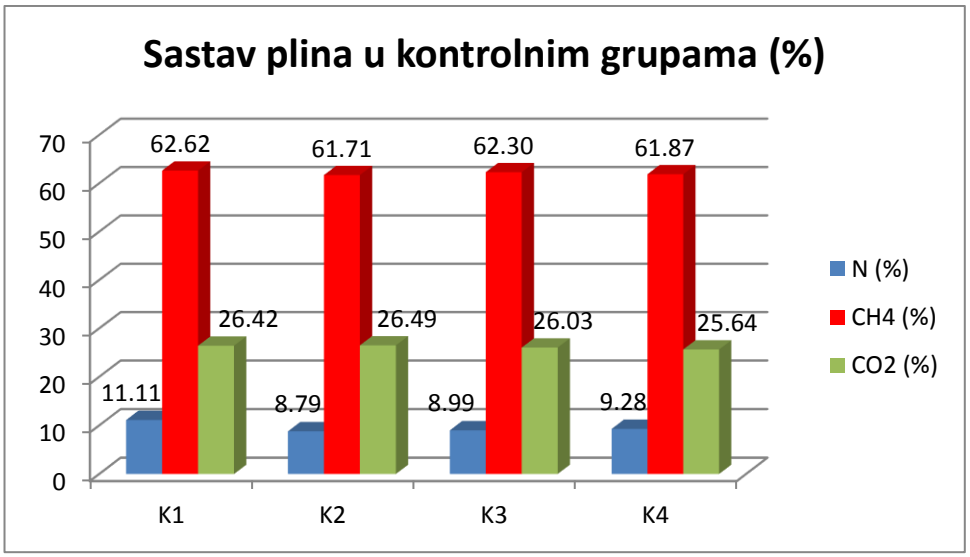
Prosječni dnevni prinos bioplina kod kontrolnih grupa bio je 398,07 ml, dok je kod eksperimentalne grupe prosječna dnevna proizvodnja iznosila 392,78 ml, što je za 5,29 ml manje od dnevnog prosjeka kontrolne grupe (Grafikon 12.).



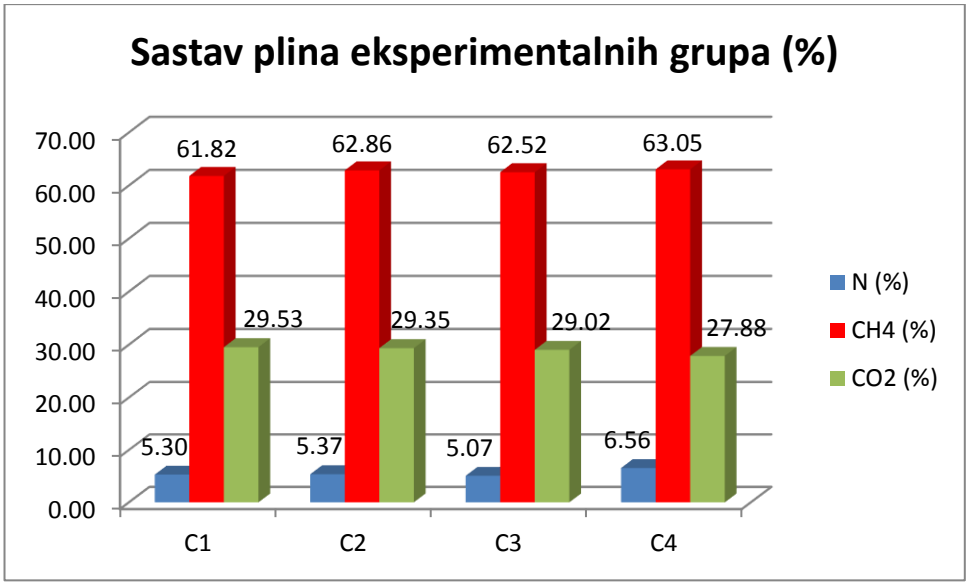
Grafikon 12. Prosječna dnevna proizvodnja kontrolne (K) i eksperimentalne (C) grupe

4.5. Sastav bioplina

Sastav bioplina ovisi o brojnim čimbenicima kao što su: temperatura, pH, opskrbljenost hranjivima, period retencije, a svi čimbenici su opisani u parametrima anaerobne digestije (str. 28). Najvažnije komponente dobivenog bioplina su dušik, metan i ugljikov dioksid. Dušik inhibitorno djeluje na odvijanje metanogeneze, a tijekom pokusa najveća zabilježena koncentracija dušika (N) u kontrolnoj grupi iznosila je 11,11 % za grupu K1. Najmanja koncentracija dušika (N) u kontrolnim grupama zabilježena je u grupi K2 u koncentraciji od 8,79 %. Kontrolna grupa K3 imala je koncentraciju od 8,99 % dušika, a kontrolna grupa K4 imala je koncentraciju od 9,28 % dušika (N). Prosječne vrijednosti metana (CH_4) pribrojane su za svaku kontrolnu grupu nakon što je metan dosegnuo koncentraciju između 50 i 60 %, što označava početak metanogeneze. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da se proces metanogeneze počeo odvijati između 6. i 7. dana, a najveća koncentracija metana zabilježena je u kontrolnoj grupi K1 u koncentraciji od 62,62 %. Najmanja količina metana zabilježena je kontrolnoj grupi K2 u koncentraciji od 61,71 %, iz čega je vidljivo da su vrijednosti za metan prilično jednake u svim grupama (K3 – 62,30 % i K4 – 61,87 %). Koncentracija ugljikovog dioksida također je podjednaka u svim skupinama. Najveća zabilježena koncentracija CO_2 zabilježena je u kontrolnoj grupi K2 u koncentraciji od 26, 49 %, dok je najniža količina ugljikovog dioksida (CO_2) zabilježena u kontrolnoj grupi K4 u koncentraciji od 25,64 % (Grafikon 13.).



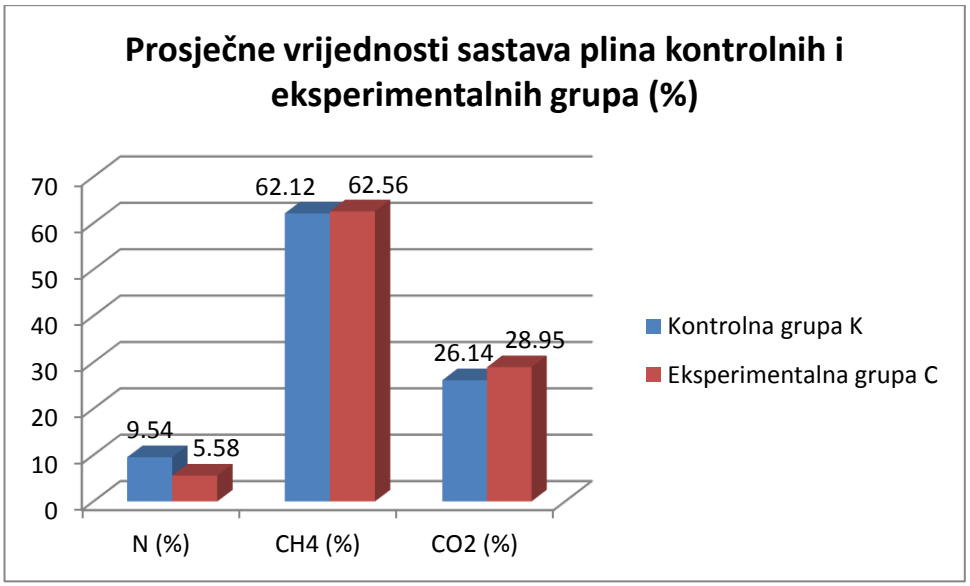
Grafikon 13. Prikaz sastava plina kontrolnih grupa (%)



Grafikon 14. Prikaz sastava plina eksperimentalnih grupa (%)

U grafikonu 14 prikazani su udjeli pojedinih komponenata plina u eksperimentalnim grupama. Vidljivo je značajno smanjenje koncentracije dušika (N), pa tako najveću količinu dušika ima eksperimentalna grupa C4 s postotnim udjelom od 6,56 %, dok najmanju količinu dušika ima grupa C3 s postotnim udjelom od 5,07 %. Gledajući postotni rast dušika vidljivo je da proces metanogeneze započinje otprilike jedan dan kasnije od onoga u kontrolnim grupama, a najveća vrijednost metana (CH_4) zabilježena je u eksperimentalnoj grupi C4 s postotnim udjelom od 63,05 %. Najmanja količina metana zabilježena je u eksperimentalnoj grupi C1 s postotnim udjelom 61,82 %, dok je grupa C2 imala udio od 62,86 %, a grupa C3 imala je udio od 62,52 % metana. Ugljikov dioksid u eksperimentalnim grupama je porastao oko 3 %, pa je tako najveću količinu CO_2 imala grupa C1 s postotnim udjelom od 29,53 %. Najmanja količina CO_2 zabilježena je kod eksperimentalne grupe C4 i iznosi 27,88 %.

Usporedimo li prosječne vrijednosti svake pojedine komponente plina (N, CH_4, CO_2) u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama vidljivo je smanjenje dušika u eksperimentalnim grupama za 3,96 %. Udio metana je neznatno povećan u eksperimentalnoj grupi (0,44 %), a prosječna količina ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj grupi se povećala za 2,81 % (Grafikon 15.).



Grafikon 15. Usporedba prosječnih vrijednosti sastava plina između kontrolnih i eksperimentalnih grupa (%)

5. Rasprava

Pregledom dobivenih rezultata istraživanja u svrhu utvrđivanja bioplinskog potencijala čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) vidljivo je kako gomolj čičoke nije odgovarajuća sirovina za proizvodnju bioplina i da postoje puno bolje biljne vrste za dobivanje bioplina. Gledajući prinose bioplina i koncentraciju metana (CH_4) u njemu, kukuruzna silaža je daleko bolji izbor i jedna od najkorištenijih sirovina za dobivanje bioplina s prinosom plina od 200 m^3/t i udjelom metana od 106 m^3/t. Također, od kukuruzne silaže postoje bolje sirovine za dobivanje bioplina, a jedna od najboljih su žitarice s prinosom plina od 620 $m^{3/}$t i udjelom metana (CH_4) od 329 m^3/t (Špicnagel, 2014.). Kako je vidljivo, žitarice su izvrsna sirovina za dobivanje bioplina, ali je upitno koliko je takva proizvodnja plina prihvatljiva obzirom na to da su žitarice glavna namirnica u prehrani ljudske populacije. Čičoka kao namirnica za prehranu ljudi nije u širokoj upotrebi, a ima prilično visoke prinose (30 – 40 t/ha, Erić i sur., 2004.) i relativno male zahtjeve za uzgoj, rast, skladištenje i prema tome bi bila idealna kultura za dobivanje bioplina, no gledajući rezultate ukupne proizvodnje bioplina (Grafikon 7. i 8.) pokazali su suprotno (eksperimentalna grupa je proizvela 2% manje plina od kontrolne). Razlog

proizvodnje manje plina u eksperimentalnoj grupi je vjerojatno inhibitorno svojstvo neke od tvari u gomolju čičoke što bi trebalo detaljnije istražiti i utvrditi o čemu se točno radi. Ako ćemo rezultate istraživanja gledati samo kao nastali bioplin iz gomolja čičoke, tada se iz jedne tone gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) dobije 50,46 m^3 bioplina. Radi usporedbe, prema istraživanju u diplomskom radu B. Beljan (2016.) jedna tona nadzemne mase čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) proizvela je 82,89 m^3 bioplina, što je za 32,43 m^3 bioplina više od proizvodnje gomolja čičoke. Energetska vrijednost bioplina se gleda kao 6,4 kW iz 1 m^3, pri čemu 2 kW otpada na električnu energiju, 2,2 kW na toplinsku energiju, a preostala 2,2 kW se gube na rad motora, neiskorištenu toplinsku energiju i sl. Prema tome, možemo izračunati kako se iz jedne tone gomolja čičoke može proizvesti 100,92 kW električne energije i 111,012 kW toplinske energije. Otkupna cijena električne enrgije iz bioplinskih postrojenja iznosi 1,20 kn, a toplinske energije 0,60 kn (Tablica 8.). Na taj način izračunamo da se iz jedne tone gomolja čičoke može dobiti 121,10 kn za električnu energiju i 66,60 kn za toplinsku energiju.

Cijena gomolja čičoke se kreće oko 10 kn/kg, odnosno 10 000 kn/t, što uz ranije navedene prinose u optimalnim uvjetima donosi 300 000 do 400 000 kn/ha. Ako ćemo proizvedeni gomolj čičoke koristiti za proizvodnju bioplina dobit ćemo podatak da na jednom hektaru čičoke možemo zaraditi između 5.631,00 kn i 7.508,00 kn, ovisno o prinosu po hektaru što čini proizvodnju bioplina iz gomolja čičoke nerentabilnom te bi najbolje bilo koristiti ovu kulturu u svrhu kojoj je prvotno namijenjena, odnosno prehrani ljudi i kao hrana za stoku, a nadzemni dio čičoke bi se mogao iskoristiti za proizvodnju bioplina.

Tablica 8. Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije.

Tip postrojenja	Cijena
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 drvno-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 pročišćavanje otpadnih voda	0,36
i. elektrane na ostale obnovljive izvore (morski valovi, plima i oseka…)	0,60

Izvor: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_03_33_1082.html

6. Zaključak

Obzirom na postojeću poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj, uključujući sektore govedarstva, svinjogojstva, ratarstva, svakako je potrebno što više iskorištavati takve resurse kao ulaznu sirovinu u bioplinskim postrojenjima te tako zatvoriti ciklus od proizvodnje hrane do proizvodnje energije i što je moguće više isključiti fosilna goriva. Trebalo bi se osloniti i na ostalu biomasu koja ne dolazi iz sektora poljoprivrede kao što su sirovina iz drvno-prerađivačke industrije, ali i energija sunca, vjetra, morskih valova i sl. te tako pokušati utjecati na negativne klimatske promjene.

Cilj istraživanja ovog diplomskog rada bio je utvrditi potencijal korištenja gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) kao sirovinu za proizvodnju bioplina, odnosno električne i toplinske energije. Rezultati istraživanja su pokazali kako gomolj čičoke nije idealna sirovina za tu svrhu, unatoč pozitivnim pretpostavkama prije postavljanja pokusa. Eksperimentalna grupa gledajući ukupnu (54.990,00 ml) ili prosječnu (13.747.,5 ml) proizvodnju je proizvela 2 % manje plina od kontrolne grupe. Razlog manje proizvodnje u eksperimentalnoj grupi je vrlo vjerojatno pojava inhibicije zbog neke kemijske tvari u gomolju čičoke. Na proces anaerobne digestije veliki utjecaj ima pH vrijednost supstrata, a kako je vidljivo u rezultatima istraživanja pH vrijednost eksperimentalnih grupa je bila u optimalnim granicama, odnosno 6,98. Nakon fermentacije pH vrijednost eksperimentalnih grupa je porasla na 8,15, a u kontrolnim grupama 8,36. Sastav bioplina je podjednak i u kontrolnim grupa i u eksperimentalnim grupama te prikazuje prosječnu koncentraciju metana (CH_4) u eksperimentalnoj grupi u iznosu 62,56 %, dok je u kontrolnoj grupi iznosila 62,56 %. Udio dušika (N) u sastavu plina bio je 5,58 % u eksperimentalnoj grupi i 9,54 % u kontrolnoj grupi. Prosječni udio ugljikovog dioksida u eksperimentalnoj grupi iznosi 28,95 % i veći je za 2,81 % od kontrolne grupe. Sastav bioplina ovisi o raznim čimbenicima pa prema tome varira udio pojedinih komponenata.

Na kraju, uzimajući u obzir rezultate istraživanja možemo zaključiti kako gomolj čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) nije idealna kultura za proizvodnju bioplina te bi najbolje bilo gomolje čičoke koristiti kao ljudsku i stočnu hranu ili primjerice za industrijsku preradu i ljekovite svrhe, a nadzemni dio koji znatno bolje doprinosi proizvodnji plina koristiti kao sirovinu za bioplinsko postrojenje te tako maksimalno iskoristiti biljku i uložena sredstva.

7. Literatura

Knjige:

1. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassel, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., (2008): Biogas Handbook. University of Southern Denmark Esbjerg, Denmark
2. Baltacioglu, C., (2012.): Production of chips and crisp from Jerusalem Artichoke. Department of Food Engineering, Middle East Technical University, Ankara. Turkey.
3. Barta, J., (1993.): Jerusalem artichoke as a multipurpose raw material for food products of high fructose or inulin content. Department of Canning Technology, University of Horticulture and Food Industry, Budapest, Hungary.
4. Cosgrove, D. R., Oelke, E. A., Doll, J. D., Davis, D. W., Undersander, D. J., Oplinger, E. S., (1991): Alternative Field Crops Manual. University of Wisconsin, University of Minnesota.
5. Duke, A. J., (1983.): Handbook of energy crops. Purdue University. Center for New crops and Plant Products. Lafayette, Ind.
6. Erić, P., Mihailović, V., Ćupina, B., Gatarić, Đ., (2004.): Krmne okopavine. Monografija. Naučni institut za ratarstvo i povrtlarstvo. Novi sad.
7. Gadžo, D., Đikić M., Mijić, A. (2011.): Industrijsko bilje. Univerzitet u Sarajevu. Poljoprivredno – prehrambeni fakultet. Sarajevo.
8. Kays J., Stanley, Nottingham F., Stephen (2008.): Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus L.*), CRC Press, Taylor & Francis Group. Florida.
9. Lešić, R., Borošić, J., Buturac, I., Ćustić, M., Poljak, M., Romić, D. (2002.): Povrčarstvo. Zrinski. Čakovec.
10. Mišković, B., (1986.): Krmno bilje. Naučna knjiga. Beograd.
11. Shoemaker, D. N., (1927.): The Jerusalem Artichoke as a Crop Plant. US Department of Agriculture. Washington D. C.
12. Špicnagel, A. M., (2014.): Potencijal bioplinskih postrojenja u hrvatskom poljoprivrednom sektoru. Sisak.

13. Thompson, W. H., (2001.): Test Methods for the Examination of Composting and Compost. The US Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Africulture.
14. Vitali Čepo, D., Vedrina Dragojević, I. (2012.): Inulin i oligofruktoza u prehrani i prevenciji bolesti. Sveučilište u Zagrebu. Farmaceutsko-biokemijski fakultet. Zavod za kemiju prehrane. Zagreb.

Internet:

15. Agroklub: http://www.agroklub.com/povrcarstvo/cicoka-neunistiv-korov-i-lijek-za-dijabetes/13537/
16. Narodne novine: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_03_33_1082.html
17. B. Beljan (2016.): Proizvodnja bioplina iz čičoke (*Helianthus tuberosus L.*). Diplomski rad. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. https://repozitorij.pfos.hr/islandora/object/pfos:655/datastream/PDF/download

8. Sažetak

Razvojem tehnologije i društva razvila se svijest o sve većem zagađenju okoliša te se uvidjela neodrživost postojećeg načina iskorištavanja energije. U budućnosti će biti potrebno što je više moguće energiju dobivati iz obnovljivih izvora, a jedan od tih izvora je proizvodnja električne i toplinske energije iz bioplinskih postrojenja. Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je biljka široke primjene, prvenstveno u ljudskoj prehrani, hranidbi stoke, u medicinske svrhe, industrijskoj preradi i sl., ali predstavlja potencijalni izvor biomase za proizvodnju bioplina. Prinos gomolja čičoke dostiže u optimalnim uvjetima uzgoja do 40 t/ha, a nadzemni dio, odnosno stabljika i ostala zelena masa doprinosi s do 55 t/ha. Proizvodnja bioplina iz jedne tone gomolja čičoke iznosi 50,46 m^3, a iz jedne tone nadzemne mase 82,89 m^3 i najbolje bi bilo gomolj koristiti u ranije navedene svrhe, dok bi nadzemna masa bila pogodnija za proizvodnju bioplina i zatvaranje cjelokupnog procesa proizvodnje.

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

9. Summary

The development of technology and society developed awareness of the increasing enviroment pollution and unsustainability of the existing ways of using energy. In the future, it will be necessary to use energy from renewable sources as much as possible and one of these sources is production of electrical and thermal energy from biogas plants. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) is a plant of wide range of usage, primarily in human nutrition, animal husbandry, for medical purposes, industrial processing, etc., but it is also a potential source of biomas for biogas production. The yield of tubers of Jerusalem artichoke in optimal growing conditions reaches up to 40 t/ha, and above-ground parts, stem and other green mass contributes up to 55 t/ha. Biogas production from one ton of Jerusalem artichoke tuber is 50,46 m^3 and from one ton of above-ground mass is 82,89 m^3 and it would be the best to use tubers in before mentioned purposes, while the above-ground mass would be more suitable for biogas production and closure of the entire production process.

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

10. Popis tablica

Tablica 1. Taksonomska klasifikacija čičoke (Helianthus tuberosus L.) 3

Tablica 2. Iznošenje hranjivih tvari iz zemljišta prinosom čičoke. 12

Tablica 3. Hranidbena vrijednost i kvalitativne karakteristike nadzemnih i podzemnih dijelova čičoke (Helianthus tuberosus L.) i druge stočne hrane. 20

Tablica 4. Prinosi fruktoze u čičoki, šećernoj repi i kukuruzu u t/ha. 21

Tablica 5. Kemijski sastav bioplina 25

Tablica 6. Termalna faza i uobičajeno trajanje procesa 28

Tablica 7. Optimalna pH reakcije za odvijanje anaerobne digestije 29

Tablica 8. Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. 45

11. Popis slika

Slika 1. Čičoka (Helianthus tuberosus L.) 2

Slika 2. Različiti oblici gomolja čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 5

Slika 3. Prikaz dijelova čičoke (*Helianthus tuberosus L.*) 7

Slika 4. Automatska sadilica krumpira 15

Slika 5. Dvoredna vadilica krumpira 18

Slika 6. Kemijska struktura inulina 22

Slika 7. Shematski prikaz četiri glavne faze anaerobne digestije 26

Slika 8. Usitnjeni gomolj čičoke 30

Slika 9. Sušionik 31

Slika 10. Graduirane posude 37

12. Popis grafikona

Grafikon 1. Udio suhe tvari (%) u supstratima prije fermentacije 32

Grafikon 2. Udio suhe tvari (%) u supstratima nakon fermentacije 33

Grafikon 3. Udio (%) organske tvari prije fermentacije 34

Grafikon 4. Udio (%) organske tvari nakon fermentacije 34

Grafikon 5. pH vrijednost uzoraka prije fermentacije 35

Grafikon 6. pH vrijednost uzoraka nakon fermentacije 35

Grafikon 7. Prikaz ukupne količine proizvedenog plina u kontrolnim grupama 36

Grafikon 8. Prikaz ukupne količine proizvedenog plina u eksperimentalnim grupama . 37

Grafikon 9. Prikaz prosječne količine proizvedenog plina u kontrolnoj i eksperimentalnoj grupi 38

Grafikon 10. Količina bioplina iz 1 tone goveđe gnojovke kontrolne grupe i 1 tone gomolja čičoke izražena u m^3/t 39

Grafikon 11. Dinamika proizvodnje bioplina u ml/dan po prosječnim vrijednostima kontrolne i eksperimentalne grupe 40

Grafikon 12. Prosječna dnevna proizvodnja kontrolne (K) i eksperimentalne (C) grupe 40

Grafikon 13. Prikaz sastava plina kontrolnih grupa (%) 41

Grafikon 14. Prikaz sastava plina eksperimentalnih grupa (%) 42

Grafikon 15. Usporedba prosječnih vrijednosti sastava plina između kontrolnih i eksperimentalnih grupa (%) 43

Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Poljoprivredni fakultet u Osijeku **Diplomski rad**

Sveučilišni diplomski studij, smjer Hranidba domaćih životinja

Utvrđivanje bioplinskog potencijala čičoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Vanja Tadić

Sažetak

Razvojem tehnologije i društva razvila se svijest o sve većem zagađenju okoliša te se uvidjela neodrživost postojećeg načina iskorištavanja energije. U budućnosti će biti potrebno što je više moguće energiju dobivati iz obnovljivih izvora, a jedan od tih izvora je proizvodnja električne i toplinske energije iz bioplinskih postrojenja. Čičoka (*Helianthus tuberosus L.*) je biljka široke primjene, prvenstveno u ljudskoj prehrani, hranidbi stoke, u medicinske svrhe, industrijskoj preradi i sl., ali predstavlja potencijalni izvor biomase za proizvodnju bioplina. Prinos gomolja čičoke dostiže u optimalnim uvjetima uzgoja do 40 t/ha, a nadzemni dio, odnosno stabljika i ostala zelena masa doprinosi s do 55 t/ha. Proizvodnja bioplina iz jedne tone gomolja čičoke iznosi 50,46 m^3, a iz jedne tone nadzemne mase 82,89 m^3 i najbolje bi bilo gomolj koristiti u ranije navedene svrhe, dok bi nadzemna masa bila pogodnija za proizvodnju bioplina i zatvaranje cjelokupnog procesa proizvodnje.

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Mentor: Prof. dr. sc. Davor Kralik

Broj stranica: 54
Broj grafikona: 15
Broj slika: 10
Broj tablica: 8
Broj literaturnih navoda: 17
Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: biomasa, bioplin, 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. Doc. dr. sc. Ranko Gantner, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d.

Basic Documentation card

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agriculture in Osijek **Graduate thesis**
University Graduate Studies, course: The Nutrition of Domestic Animals

Determination of biogas potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*)

Vanja Tadić

Summary

The development of technology and society developed awareness of the increasing enviroment pollution and unsustainability of the existing ways of using energy. In the future, it will be necessary to use energy from renewable sources as much as possible and one of these sources is production of electrical and thermal energy from biogas plants. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) is a plant of wide range of usage, primarily in human nutrition, animal husbandry, for medical purposes, industrial processing, etc., but it is also a potential source of biomas for biogas production. The yield of tubers of Jerusalem artichoke in optimal growing conditions reaches up to 40 t/ha, and above-ground parts, stem and other green mass contributes up to 55 t/ha. Biogas production from one ton of Jerusalem artichoke tuber is 50,46 m^3 and from one ton of above-ground mass is 82,89 m^3 and it would be the best to use tubers in before mentioned purposes, while the above-ground mass would be more suitable for biogas production and closure of the entire production process.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek
Mentor: Prof. dr. sc. Davor Kralik

Number of pages: 54
Number of charts: 15
Number of pictures: 10
Number of tables: 8
Number of references: 17
Original in: Croatian

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

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. PhD Bojan Stipešević, president
2. PhD Davor Kralik, mentor
3. PhD Ranko Gantner, member

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