

# UTVRĐIVANJE BIOPLINSOG POTENCIJALA INDUSTRIJSKE KONOPLJE

---

**Crnac, Valentina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:739738>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-20**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Valentina Crnac

Sveučilišni diplomski studij: Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

**Utvrđivanje bioplinskog potencijala industrijske konoplje**

***(Cannabis sativa L.)***

Diplomski rad

Osijek, 2016.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Valentina Crnac

Sveučilišni diplomski studij: Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

**Utvrđivanje bioplinskog potencijala industrijske konoplje**

***(Cannabis sativa L.)***

Diplomski rad

Osijek, 2016.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Valentina Crnac

Sveučilišni diplomski studij: Zootehnika

Smjer: Hranidba domaćih životinja

**Utvrđivanje bioplinskog potencijala industrijske konoplje**  
**(*Cannabis sativa 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, 2016.

## Sadržaj:

1. Uvod.....	2
2. Pregled literature .....	4
2.1. Proizvodnja industrijske konoplje u svijetu.....	4
2.2. Upotreba stabljike industrijske konoplje .....	6
3. Morfologija industrijske konoplje.....	8
3.1. Agroekološki uzgoji za industrijsku konoplju.....	10
3.2. Agrotehnika .....	10
4. Upotreba sjemena konoplje.....	12
5. Industrijska konoplja biljka prošlosti i budućnosti .....	14
6. Industrijska konoplja za proizvodnju energije .....	16
6.1. Konoplja kao energetska nasad .....	18
6.2. Biomasa i energetska prinos industrijske konoplje za bioplin i kruto gorivo .....	20
7. Materijal i metode .....	22
7.1. Određivanje sadržaja suhe tvari.....	23
7.2. Određivanje sadržaja pepela i organske tvari .....	23
7.3. Određivanje pH.....	24
7.4. Određivanje količine i sastava bioplina.....	24
8. Rezultati istraživanja.....	25
8.1. Udio suhe i organske tvari u supstratima i pH vrijednost.....	25
8.2. Količina proizvedenog plina.....	29
8.3. Dinamika proizvodnje bioplina .....	32
8.4. Sastav plina u kontrolnoj grupi.....	33
8.5. Sastav plina u eksperimentalnoj grupi uzoraka .....	35
9. Rasprava.....	37
10. Zaključak.....	40
11. Literatura:.....	42
12. Popis slika .....	45
13. Popis tablica .....	45
14. Popis grafikona .....	46
16. Summary .....	47
Temeljna dokumentacijska kartica.....	48
Basic documentation card .....	49

## 1. Uvod

Industrijska konoplja je ratarska kultura. Podrijetlom je iz središnje Azije oko Aralskog i Kaspijskog jezera (Mandekić, 1946.). Nastala je od divlje konoplje. Dobro se prilagođava tlu i klimi. Koristi se za prehranu, zdravlje, proizvodnju betona i tkanine. Zbog gustog sklopa potiskuje razvoj korova. Samim time djeluje kao prirodni herbicid, a zbog toga je poželjna i u ekološkoj proizvodnji u kojoj nije dozvoljena upotreba kemijskih sredstava u suzbijanju korova. Korijen ide duboko i raspadanjem daje hranu drugim kulturama. Korijen konoplje sprječava eroziju tla. Do prije nekoliko desetljeća uzgajala se gotovo u cijelom svijetu. U 20. st. ugljikohidrate su zamjenili ugljikovodici koji se dobivaju iz nafte i ugljena skupocijenom tehnologijom.

Konoplja za vlakno uzgaja se zbog stabljike. Konopljino vlakno je čvrsto, otporno i izdržljivo na močenje. Nedostatak konopljinog u odnosu na druga vlakna je relativna grubost i slaba predivost. Zbog toga se koristi u tekstilnoj i kožarskoj industriji. Samo jedna biljka, a mogućnosti ogromne. Muške biljke imaju veći postotak vlakna i vlakno im je bolje kakvoće od vlakna ženskih biljaka. Nakon dobivanja vlakna ostaje drvenasti dio stabljike koji se koristi za izradu papira, celuloze, izolacijskog materijala te se upotrebljava i za ogrjev (Gagro, 1998). Od konoplje se dobiva izvrsna plastika.

Krajem 20. stoljeća, širi društveni interes za uzgoj industrijske konoplje najviše u zemljama Europske Unije. U pojedinim zemljama, iz EU fondova financira se čak i gradnja tvornica za preradu i proizvodnju konopljinog ulja. Konoplja se u Hrvatskoj uzgajala do 60-tih godina prošlog stoljeća na čak 9000 ha. Sjeme se prerađuje u ulje i brašno u nekoliko mini uljara (Matičnjak, Herbio, Cannabio i dr.). Industrijska konoplja može zamijeniti fosilna goriva te time ublažiti klimatske promjene. Danas je u Republici Hrvatskoj na snazi Pravilnik o uvjetima za uzgoj konoplje koji dozvoljava uzgoj konoplje samo u svrhu proizvodnje hrane za ljude i životinje. S obzirom na Pravilnik o uvjetima za uzgoj konoplje, gospodarski potencijal konoplje je u potpunosti zanemaren. Osim birokracije, u Hrvatskoj vladaju i predrasude kako je konoplja opasna droga za zdravlje i život ljudi. Pravilnikom se definira da je konoplju dopušteno uzgajati ako sadržaj THC u suhoj tvari biljke ne prelazi 0,2%. Konoplja se može uzgajati na temelju dozvole koju izdaje Ministarstvo poljoprivrede. Zahtjev za dobivanje dozvole pravna ili fizička osoba mora podnijeti najkasnije do 31. svibnja tekuće godine. Pravilnikom je dopušteno saditi čak 43 sorte industrijske konoplje.

Godišnje naraste i do nekoliko metara; predstavlja bogat izvor biomase. Kad bi se više koristila industrijska konoplja, ne bi morali rušiti tolike šume i uništavati prašumu. Među

svim biljkama konoplja ima najviše celuloze oko 77%. Zato je odličan izvor energije. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase industrijske konoplje za proizvodnju toplinske i električne energije. S obzirom da biljka sadrži oko 70% pulpe pogodna je za proizvodnju biogoriva.



Slika 1. Proizvodnja konoplje

IZVOR: (<http://www.glas-slavonije.hr/230025/4/Od-konoplje-svijet-dobiva-20000-proizvoda-Hrvatska-je-odbacila>)

## 2. Pregled literature

Literatura u obliku knjiga pronađena je u suradnji s zaposlenicima Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku. Također za izvor informacija korišten je web browser Google Chrome instaliran na osobnom računalu.

### 2.1. Proizvodnja industrijske konoplje u svijetu

Konoplja je bila jedna od prvih poljoprivrednih kultura. Dok se danas konoplja suočava sa značajnim preprekama zbog bliskog odnosa s indijskom konopljom. Danas industrijsku konoplju za komercijalnu uporabu uzgajaju Kina, Mađarska, Engleska, Kanada, Australija, Francuska, Italija, Španjolska, Nizozemska, Njemačka, Poljska, Rumunjska, Rusija, Ukrajina, Indija i zemlje Azije.

Prema FAOSTAT podacima iz 2012. godine industrijska konoplja se za vlakno u svijetu uzgaja na 49 749 ha (tablica 1.). Najveće površine konoplje za vlakno nalaze se u Kini, Sjevernoj Koreji i Čileu koja čine 89,08% proizvodnje. Prosječan prinos vlakna konoplje u svijetu iznosi 1,56 t/ha. Najveći prinos vlakana postiže se u Italiji 4,80 t/ha.

Kontinent / Država	Površina (ha)	Prinos vlakna (t/ha)	Proizvodnja (t)
Svijet	49 740	1,56	77 839
Azija	36 151	1,79	65 000
Kina	17 105	3,00	51 955
Sj. Koreja	19 000	0,68	13 000
Europa	8 989	0,94	8 454
Rumunjska	1 580	1,82	2 880
Ruska Federacija	4 000	0,38	1 500
Francuska	780	1,67	1 300
Italija	250	4,80	1 200
Ukrajina	2 000	0,50	1 000
Mađarska	300	1,67	500
Poljska	70	0,71	50
EU – 27	2 989	2,00	5 954
J. Amerika	4 600	0,95	4 385
Čile	4 600	0,95	4 385

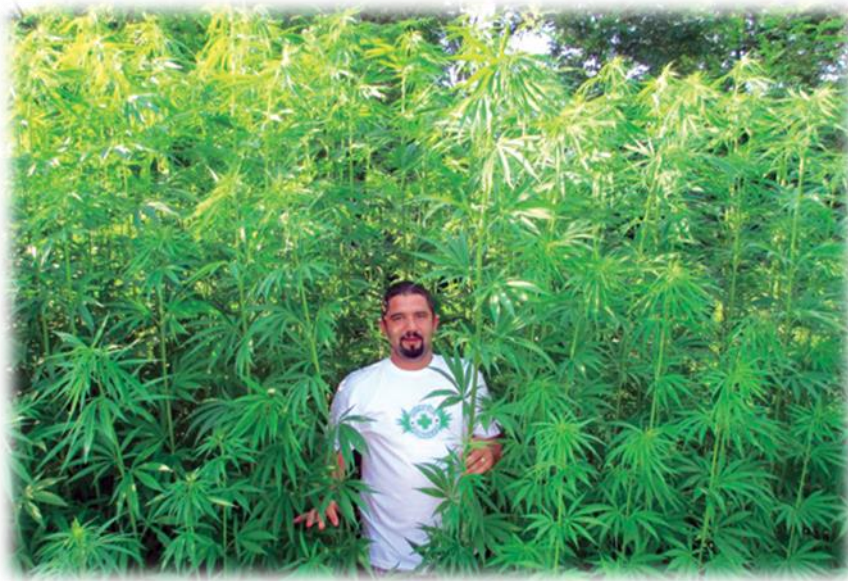
Tablica 1. Proizvodnja industrijske konoplje za vlakno u svijetu (prosjek 2006-2010. godine)

Izvor: (<http://www.agrivi.com/hr/povratak-industrijske-konoplje-za-opstanak-covjecanstva/>)



Najveći proizvođač vlakna konoplje je Kina s proizvodnjom od 51 955 tona, te čini 66,74% svjetske proizvodnje.

Hrvatska ima pogodni geografski položaj za uzgoj konoplje. Sjeme se prerađuje u ulje i brašno u nekoliko mini uljara (Matičnja, Herbio, Cannabio i dr.). Uzgoj konoplje na našim prostorima nije nepoznanica. Jugoslavija je bila među 5 najvećih uzgajivača industrijske konoplje kao sirovine na svijetu. U to vrijeme naša industrijska konoplja izvozila se u Francusku i zapadnu Njemačku. Jugoslavija je putem konoplje još prije II. svjetskog rata samo sa zapadnom Njemačkom godišnje ostvarila prihod od milijardu dolara godišnje. Jugoslavija je velik dio državnih prihoda ostvarivala od proizvodnje i izvoza konoplje. Budući da je Hrvatska u Europi deseta zemlja po kriteriju rodnosti usjeva i pogodnosti tla prema podacima iz Svjetske banke, potrebno je što prije iskoristiti taj položaj kako bi pokrenuli razvoj gospodarstva, industrije, izvoz, također i nova radna mjesta.



Slika 2. Uzgoj industrijske konoplje

Izvor: (<http://www.agroklub.com/pretraga/>)

## 2.2. Upotreba stabljike industrijske konoplje

Industrijska konoplja je jara kultura, a sije se u drugoj polovici travnja. Konoplja za vlakno se može uzgajati ako je sadržaj tetrahidrokanabinola u suhoj tvari biljke ispod 0,2% prije početka formiranja sjemena. Hrvatska nema domaćih sorti konoplje te je prisiljena uvoziti. Stabljika industrijske konoplje je uspravna. U mlađim fazama rasta stabljika je zeljasta, a tri do četiri tjedna nakon nicanja postane čvrsta i „odrveni“. Kora stabljike je svijetlo zelene do zelene boje. Za proizvodnju vlakna poželjna je konoplja s korom svjetlije boje jer će takva dati i svjetlije vlakno. Ovisno o podvrsti, tipu i ekološki uvjetima, varira od 0,5 do 5 m. Ako konoplja raste u rijedem sklopu dolazi do granjanja. Grananje konoplje za vlakno nije poželjno jer se smanjuje tehnička dužina vlakna. Najvažnije komponenta prinosa stabljike je visina biljke.

U području sjeverne Europe konoplja za vlakno uobičajeno naraste 1,9-2,5 m. U povoljnim uvjetima, stabljika raste 5-7 cm dnevno (Jevtić, 1986.). Muške biljke imaju veći udio vlaknine te su više od ženskih za 10 - 15%. Za prinos stabljike bitna je i njezina debljina koja obično iznosi 4 do 20 mm (Lewin i Pearse, 1998.). Najbolja debljina stabljike za dobivanje vlakna 4-7 mm (Keller i sur., 2001.). Na debljinu stabljike utječe vegetacijski prostor i gnojidba. Ako se konoplja gnoji prevelikom količinom dušika smanjuje se njezina kvaliteta, ali se povećava debljina stabljike (Ranalli, 1999.) Zrele stabljike su cijelom svojom dužinom šuplje, a jedino pri dnu i pri vrhu ispunjena parenhimskim tkivom.

Konoplja za vlakno uzgaja se radi stabljike iz koje se izdvaja vlakno. Konopljino vlakno je vrlo čvrsto, elastično, dugotrajno i otporno na vodu, pa se upotrebljavala za proizvodnju užadi, konopca, jedara, platna, izrada obuće i odjeće, cerada, konjske sprežne opreme itd. Nakon dobivanja vlakna ostaje drvenasti dio stabljike koji se upotrebljava za izradu papira, celuloze, izolacijskog materijala i za ogrjev. Iz stabljike konoplje iskoristiv je drvenasti materijal, takozvani pozder. U obliku sječke pozder može služiti kao ogrjev, za proizvodnju papira ili izolacijskog materijala u građevinarstvu (Kartus, 2011.). Konoplja za vlakno uzgaja se u gustom sklopu da se biljke manje granaju, a stabljika ostane tanka. Močenjem stabljike konoplje odvaja se vlakno, a odvajanje vlakna od drva i srži vrši se strojno. Odvojeno drvo i srž stabljike nazivamo pozderom. Od 100 kg suhe močene stabljike kod prerade se dobiva 70 kg pozdera. Od pozdera se može izrađivati ploče koje služe kao

građevinski materijal ili izolacijski materijal, također se može koristiti kao i ogrijevni materijal u kućanstvu. Pozder se također može koristiti za stelju na peradarskim farmama.



Slika 3. Stabljika industrijske konoplje

Izvor: (<http://www.hemparchitecture.com/hemp-plant/>)

### 3. Morfologija industrijske konoplje

Konoplja je jednogodišnja biljka, a dužina vegetacijskog perioda varira ovisno od ekotipa. Kod ranih sorti dužina vegetacije iznosi 110-120 dana, srednje ranih 130-140, a kasnih 150-160 dana. Rane sorte su niže i daju veći prinos sjemena, a kasne sorte su više i daju veći prinos vlakna. Najintenzivniji rast konoplje je u fazi butonizacije. U prvom dijelu vegetacije konoplja ima najveće zahtjeve. Specifična je po tome što se korijen razvija znatno sporije od nadzemnog dijela te nije u stanju da intenzivno usvaja hraniva kada su ona biljci najpotrebnija (Gadžo i sur. 2011.).

Industrijska konoplja ima vretenasti korijen. Razvoj korijena u početku vegetacije je nešto sporiji, a dubina prodiranja ovisi o tipu i strukturi tla. Mlađe biljke imaju zeljastu stabljiku, a starije odrvenjelu stabljiku. (Gagro, 1998.). Ženske biljke imaju razvijeniji korijen od muških biljaka. Zbog toga muške biljke ranije završavaju vegetaciju, a ženske biljke nakon oplodnje dohranjuju sjeme do njegova dozrijevanja, za što trebaju više hrane i vode, a to im osigurava jači korijenov sustav. Muški i ženski cvjetovi se razlikuju po morfološkoj građi, biološkim osobinama i ekonomskom značaju. Muški cvjetovi razvijeni su na muškim biljkama bjeljkama, koje su svjetlije boje stabla i imaju manje lišća. Cvjetovi su raspoređeni labavo na bočnim granama cvasti koja je u obliku metlice. Ženski cvjetovi se razvijaju na ženskim biljkama crnojkama koje imaju intenzivniju zelenu boju stabla. Muške biljke sazrijevaju 30-40 dana ranije i do sazrijevanja ženskih gube na kvaliteti (Gadžo, 2011.). Oprašivanje anemofilno odnosno pomoću vjetra. Korijen konoplje posjeduje visoku tolerantnost na koncentraciju soli u tlu bez posljedica i nekoliko puta veći sadržaj soli od ostalih ratarskih kultura (Gadžo i sur. 2011.). Morfološka svojstva konoplje važan su pokazatelj njezine kvalitete. Najvažnija morfološka svojstava su visina, debljina i tehnička dužina stabljike. Kod konoplje uzgajane za biomasu važno je postići što veći prinos, dok je kod uzgoja konoplje za vlakno uz visoke prinose neophodno postići što veću kvalitetu stabljike. Zbog visokog prinosa biomase postaje potencijalna sirovina za dobivanje bioetanola (Augustinović i sur. 2012.). Bioetanol uglavnom se proizvodi iz sirovina na bazi šećera i škroba. U Europskoj uniji sukladno Strategiji o biogorivima iz 2006., promovira se druga generacija biogoriva, između ostalog i bioetanol iz lignocelulozne mase (Janušić i sur., 2008.). Prema Venturi (2003.) konoplja daje 25-35 t/h svježe biomase, dok po Bocsai i Karusu (1998) mogući prinosi i od 56 t/ha (Augustinović i sur. 2012.). Najvažniji čimbenici u dobivanju

visokih prinosa su gustoća sklopa i gnojidba dušikom. Gnojidba dušikom povećava prinos biomase jer se povećava udio listova.

Stabljika je uspravna i zelene boje. Debljina iznosi oko 6-8 mm, a sjemenska stabljika ima stabljiku debelu više centimetara. Pokrivena je čekinjastim dlačicama koje kasnije otpadaju. Visina stabljike kreće se od 50 cm do 6 m, a ovisi o području uzgoja, zatim tipu tla, agrotehnici i uvjetima uzgoja. Konoplja je dvodomna biljka, što zapravo znači da se muški cvjetovi nalaze na muškim biljkama, a ženski na ženskim biljkama. Stabljika muških biljaka je nešto viša od stabljika ženskih biljaka. Stabljika obuhvaća 65% ukupne mase biljke.

List konoplje sastoji se od duge peteljke i prstasto izdijeljene liske. Boja lista može biti od svjetlo do tamnozeleno u zavisnosti od sorte i uslova proizvodnje. Listovi ženskih biljaka su krupniji od listova muških biljaka. U vrijeme nicanja konoplja iznosi kotiledone listiće na površinu tla, a prvi par listova je sa neizdijeljenom nazubljenom i na vrhu zašiljenom liskom. Od sredine prema vrhu stabla, listovi su sve sitniji i manje izdijeljeni. Broj i veličina listića koji čine lisku su sortna odlika, uvijek ih je neparan broj i kreće se od 3 do 13.

Plod konoplje je orašac okruglastog do jajastog oblika. Boja sjemena ovisi o sorti i zrelosti. U sjemenu nema škroba, a sadrži neznatnu količinu šećera. Omotač ploda je sjajan, gladak, svijetlozelene, sivozelene, crne boje sa mozaičnim prugama. Apsolutna masa sjemena je od 10 do 30 grama, a hektolitarska od 45 do 60 kg (Gadžo i sur.). Plod čine ljudska ploda, sjemena ljudska, endosperm i klica.



Slika 4. Morfologija industrijske konoplje

Izvor: ([https://upload.wikimedia.org/commons/7/79/Cannabis\\_sativa\\_Koehler\\_drawing.jpg](https://upload.wikimedia.org/commons/7/79/Cannabis_sativa_Koehler_drawing.jpg))

### **3.1. Agroekološki uzgoji za industrijsku konoplju**

Za optimalan rast konoplja preferira alkalni pH 6,5-7. Ne odgovaraju joj pjeskovita tla. Konoplja je osjetljiva na loše pripremljeno tlo, a time daje i manji prinos. Koliko konoplja reagira na kakvoću tla vidi se ako je tlo neujednačeno, znatno će varirati u visini i ukupnom razvoju. Minimalna temperatura klijanja konoplje je od 1 do 2 °C, a optimalna je od 20 do 25 °C. Konoplja može podnijeti temperaturu do -5 °C. Unatoč tome što podnosi niske temperature ne treba konoplju sijati previše rano u proljeće jer niske temperature utječu na kasniji razvoj biljaka. (Rhydwen, 2004.). Konoplja ima značaj zahtjev prema vodi koju vrlo neekonomično troši. Kritičan period za vodu konoplje za sjeme je od početka formiranja cvati do završetka cvjetanja, a konoplje za vlakno u fazi intenzivnog porasta. Konoplja pripada biljkama kratkog dana i za svoj intenzivan rast zahtjeva puno svjetla i sunčanih dana.

### **3.2. Agrotehnika**

Konoplja je biljka koja se može uzgajati u monokulturi. Negativna posljedica toga je iznošenje dušika i kalija dok u tlu ostaju značajne količine fosfora. Fosfor odlazi u dublje slojeve i preko njih u podzemne vode. Predusjevi za konoplju su žita, djeteline, jednogodišnje mahunarke, šećerna repa. Nakon konoplje može se sijati većina ratarskih kultura. Tlo se priprema kao i za jare kulture. Vrijeme i način obrade ovisi o predkulturi. Dubina jesenskog oranja je 25-30 cm, a poslije oranja preporučuje se ravnanje zemljišta jer neravnine i depresija utječu na kvalitetu obavljanja kasnijih agrotehničkih postupaka. Oranjem se u zemljište unose organska gnojiva, polovina fosfora i kalijevih i trećina dušikovih mineralnih gnojiva. Predsjetvena priprema obavlja se u proljeće na dubinu 6-9 cm. (Gadžo i sur. 2011.). Gnojiva se unose osnovnom obradom ili u predsjetvenoj pripremi, dok se dijelom dušikom prihranjuje. Dušik u prehrani konoplje je nosioc prinosa osobito ako se ona prvenstveno uzgaja za proizvodnju vlakna, a također ima veliki značaj i na prinos sjemena. Najveće usvajanje dušika je od početka butonizacije do cvjetanja. Kalij ima veći značaj za prinos i kvalitetu vlakna. Usvajanje kalija je intenzivnije u prvoj polovici vegetacije. Fosfor ima slično djelovanje kao i kalij, biljka ga usvaja tijekom cijele vegetacije. Za konoplju je karakteristično da se pri dužem čuvanju sjemena poljska klijavost smanjuje brže od laboratorijske, o tome treba voditi računa

pri normiranju količine sjemena za sjetvu. (Jevtić, 1989.). Konoplja se sije u drugoj polovici trećeg mjeseca i početkom travnja. Kasna sjetva dovodi do smanjenja prinosa stabla i vlakna, produžuje vegetaciju i otežava košnju i sušenje konoplje. Način sjetve ovisi o cilju uzgoja. Konoplja za vlakno sije se na međuredni razmak 10-12 cm, razmak u redu 3-4 cm, a norma sjetve je oko 60-80 kg/ha. Kod kombiniranog korištenja konoplje međuredni razmak sjetve je 30-40 cm, a potrebno je 40-50 kg/ha sjemena. Konoplja za sjeme sije se na međuredni razmak 60-70 cm, a razmak u redu 20-30 cm. Za ovaj način sjetve potrebno je 8-10 kg sjemena po hektaru. Dubina sjetve je 2-4 cm. Dublje se sije na lakšim i toplijim, a pliće na težim, hladnijim i vlažnijim zemljištima. Uobičajene mjere njege konoplje su valjanje, razbijanje pokorice, navodnjavanje, međuredno kultiviranje, uništavanje korova, suzbijanje bolesti i štetočina. Odstranjivanje bjelojki je specifično u proizvodnji sjemena konoplje. Odstranjivanje muških biljaka počinje kada je usjev visine oko pola metra. Probleme kod žetve konoplje predstavlja postojanje muških i ženskih biljaka koje neravnomjerno sazrijevaju. Konoplja za vlakno žanje se u tehnološkoj zriobi muških biljaka, a ženske biljke su tada u punoj vegetaciji. Kod kombiniranog uzgoja konoplja se žanje u fiziološkoj zriobi. Izdvajanje vlakna iz konopljinog stabla može biti fizičkim putem, kemijskim putem i biološkim odvajanjem vlakna (močenje). Optimalna temperatura močenja je 32-35 ° C, pri kojoj proces traje 3-4 dana, a u hladnoj vodi traje i duže. Kada je močenje završeno, voda se ispušta, a stabla peru i suše na zraku. Zatim se osušena stabla prerađuju u posebnim uređajima pri čemu se odvaja vlakno od drvenastog dijela. (Gadžo, 2011.).



Slika 5. Žetva konoplje

IZVOR: (<http://www.nsseme.com/blog/wp-content/uploads/2015/11/6-zetva-konoplje-za-zrno-aksijalnim-kombajnom.jpg>)

## 4. Upotreba sjemena konoplje

Sjeme konoplje se upotrebljava kao hrana za ptice i ribe. Kokoši postižu veću nesivost jaja, otpornije su na bolesti. Iz sjemena konoplje dobiva se ulje. Ulje od konopljinog sjemena sve se više koristi u ljudskoj prehrani. Konopljino ulje na zraku se brzo suši, ima tamnu boju i karakteristični miris. Ovisno o postupku ekstrakcije, dobiva se jestivo ili tehničko ulje. Ekstrakcija je tehnološka operacija potpunog ili djelomičnog odjeljivanja smjese tvari koje imaju nejednaku topivost u različitim otapalima (Pospišil, 2013.).

Kada usporedimo konoplju s drugim uljaricama, konoplja ima nizak prinos ulja po jedinici površine. Postotak ulja u sjemenu je oko 30%, a prinos ulja iznosi oko 250-500 kg/ha. Konopljino sjeme sadrži 25-38% ulja, 22% bjelančevina, 16% celuloze, 5% ugljikohidrata i 19% mineralnih tvari pri 9% vode. U ulju sjemena zastupljenost linolinske kiseline je 54%, oleinske 15%, L-linolenske 14% i palmitinske 0,7%. (Berenji i sur. 2005.). Dakle, prema sastavu masnih kiselina pripada skupini najkvalitetnijih jestivih ulja. Trend u proizvodnji ulja je hladno prešanje i flaširanje u atmosferi bez kisika što doprinosi boljem očuvanju kvalitete ulja. U kozmetičkoj industriji konoplja se koristi kao dodatak raznim preparatima za njegu tijela. Najveći profit trenutno ostvaruju parfemi izrađeni od konopljinog ulja. Konoplja se upotrebljava i za izradu boja i lakova.

Nakon procesa proizvodnje ulja prešanjem, ostaju uljane pogače koje su kvalitetna stočna hrana s oko 20-25% bjelančevina. Pogače se koriste u ishrani bilja kao gnojiva, a mogu se koristiti kao i stočna hrana za konje, svinje, ovce, goveda. Konopljinim pogačama se ne smiju hraniti gravidne životinje, budući da zbog sadržaja narkotičnih tvari mogu izazvati pobačaj, smetnje u centralnom središnjem živčanom sustavu, teškoće pri žvakanju i gutanju, proljev i dr. Sjeme je bogato bjelančevinama, osobito albuminom i edistinom koje su lako probavljive. Samo sjeme omotano je ljuskom koja štiti sjeme od mehaničkih povreda. Sastoji se od ljuske ploda, sjemene ljuske, endosperma i klice. Boja ploda nije ista, a ovisi o podrijetlu, sorti, zrelosti itd. Razlikujemo srebrenastosiva, tamnosiva, smeđozelena, a ponekad i smeđa. U našem području vegetacija konoplje za vlakno traje oko 130 dana, a konoplje za sjeme oko 160 dana. Najveće površine konoplje za sjeme nalaze se u Aziji i Kini. Prosječan prinos sjemena konoplje u svijetu iznosi 1,81 t/ha. Najveći prinos sjemena postiže se u Kini sa 3,28 t/ha.



Kontinent / Država	Površina (ha)	Prinos sjemena (t/ha)	Proizvodnja (t)
Svijet	28 693	1,81	51 903
Azija	13 385	3,27	42 971
Kina	13 338	3,28	42 953
Europa	13 544	0,56	7 537
Francuska	8 720	0,68	5 925
Ukrajina	1 851	0,43	787
Mađarska	1 215	0,45	546
Ruska Federacija	560	0,22	138
Rumunjska	1 147	0,09	103
EU – 27	11 133	0,59	6 611
J. Amerika	1 763	0,82	1 395
Čile	1 763	0,82	1 395

Tablica 2. Proizvodnja konoplje za vlakno u svijetu (prosjek 2006-2010. godine)

Izvor: (<http://www.agrivi.com/hr/povratak-industrijske-konoplje-za-opstanak-covjecanstva/>) 22.10.2015.



Slika 6. Sjeme konoplje

Izvor: (<http://www.glas-slavonije.hr/230025/4/Od-konoplje-svijet-dobiva-20000-proizvoda-Hrvatska-je-odbacila>)

## 5. Industrijska konoplja biljka prošlosti i budućnosti

Henry Ford je 1941. izradio autokaroseriju od konopljine bioplastike koja je bila šest puta lakša od čelične, a imala je deset puta veću otpornost na sudare. Konopljin beton se proizvodi od usitjenih unutarnjih vlakana stabljike. Vlakna pomiješana s vapnom stvaraju celulozni cement. Materijal je otporan na vatru i u potpunosti otporan na termite. Stvrdnjava se poput betona, ali može se rezati poput drvenih greda. Osim toga, konopljin beton smanjuje troškove stanova pojednostavljujući gradnju: na primjer, krov izliven od konopljinog betona ojačan bambusom može zamijeniti krov s crjepovima, opšav i oluk. Takav krov imat će bolju toplinsku i zvučnu izolaciju od crjepova, bit će otporan na tuču i uvelike će smanjiti rizik od požara. Konopljin beton je vrlo djelotvoran u vezanju ugljičnog dioksida. Prosječna obitelj proizvede oko 10 tona ugljičnog dioksida godišnje. Jedan hektar konoplje može vezati do 20 tona ugljičnog dioksida godišnje (Milić, 2012.).



Slika 7. Industrijska konoplja biljka prošlosti i budućnosti

IZVOR: (<http://2012-transformacijasvijesti.com/alternativna-medicina/nevjerojatna-korisnost-konoplje>)

Industrijska konoplja je zanimljiva biljka zbog toga što nema bolesti i štetnika, te se u njezinom uzgoju ne primjenjuju pesticidi. Prinos suhe stabljike po hektaru jest oko 10 t, a sjemena od 1-2 tone (Milić, 2012.). Konoplja ne treba puno vode, gnojiva niti zahtijeva uporabu pesticida i herbicida.

Od 1 m<sup>2</sup> konoplje dobije se 2-3 puta više vlakana nego od kvadratna metra pamuka. Vlakno proizvedeno od konoplje traje duplo duže nego pamučno. Pamuk zahtijeva toplu klimu i puno vode dok, konoplja uspijeva u gotovo svim klimatskim područjima. Od kvadratnog metra konoplje može se proizvesti više i kvalitetnijeg papira nego od drveta. Konopljin papir ima duži vijek trajanja, također se može više puta reciklirati nego papir iz drveta, a prilikom proizvodnje papira od konoplje potrebno je višestruko manje toksičnih kemikalija. Da bi drvo koristili u papirnoj industriji, mora rasti nekoliko godina dok je konoplja spremna nakon 120 dana. Milijarde dolara se mogu uštedjeti na programima ponovnog pošumljavanja, stabilizacije erozije i povratka biološke raznolikosti. Proteini u konoplji su jednako hranjivi, ali ekonomski puno isplativiji od sojinih. Sve proizvode od soje moguće je napraviti i od konoplje.

Zbog toga što konoplja sadrži oko 70% celuloze u Kanadi je pokrenuta proizvodnja biogoriva u okviru projekta Hempcar. Sveučilište u Minhou osmislilo je industrijsku proizvodnju građevnih blokova od drvenastog dijela stabljike, u Americi i Europi proizvodi se obuća i odjeća isključivo od konopljinih vlakana, a i u kombinaciji s drugim biljnim vlaknima, poput lanenog (Milić, 2012.). Materijali ekološki su prihvatljivi jer su biorazgradivi. Kozmetičke, prehrambene i farmaceutske industrije nude proizvode proizvedene od konopljinih sastojaka.

Sjeme konoplje je jedan od najbogatijih izvora ALA (alfa-linolenske kiseline), biljnog oblika esencijalne masne kiseline omega-3. ALA ima strukturu od 18 ugljikovih atoma koja se u tijelu produžuje u lanac od 22 ugljikova atoma radi sinteze DHA (dekosaheksaenske kiseline) i EPA (eikosapentaenske kiseline). U tom obliku omega-3 ugrađuju se u mozak, stvarajući ključan dio neuronske membrane. Konopljino sjeme ima uravnotežen omjer omega-3 i omega-6, te veliki udio vitamina i minerala. Ima visoku razinu vitamina E, snažnog antioksidansa koji štiti omega-3 od užeglosti. Vitamin E, kojega često nedostaje u prehrani prerađenim namirnicama, od presudne je važnosti za zdravlje žila zbog toga što održava elastičnost stijenki krvnih žila. Bjelančevine u konoplji uravnotežene su i lako se apsorbiraju.

## 6. Industrijska konoplja za proizvodnju energije

Bioenergija je trenutno najbrže rastući izvor obnovljive energije. Energetski usjevi na mogu zamijeniti fosilna goriva te time ublažiti klimatske promjene. Industrijska konoplja je upravo to. Proizvodnja bioplina iz konoplje konkurira kukuruzu, posebno u hladnim klimatskih područjima, kao što su sjeverna Europa i Kanada. Proizvodnja biodizela iz ulja konoplje ima manji utjecaj na okoliš od dizelskog goriva. Uz to industrijska konoplja ne zahtjeva pesticide. (<http://theconversation.com/is-industrial-hemp-the-ultimate-energy-crop-20707>). Žetva industrijske konoplje ne zahtjeva rudnike, niti bušenja mora i neće izazvati izlivanje nafte. Biljke ne sadrže sumpor, niti kontaminante kao nafta. (Robinson, 1996.). Piroлиза je tehnika primjene visoke temperature na biomasu bez zraka ili s vrlo malo zraka. Konoplja može proizvesti 10 tona biomase po ha svaka četiri mjeseca. (Briggs, 2011.).

Pozder je drvenasti dio stabljike koji se dobiva nakon što se vlakna izdvoje iz stabljike, ima dva puta veću ogrjevnu vrijednost od bukova drveta. Sadrži do 49% celuloze, 26% lignina i 32% pentozana. Zbog nestabilnih cijena fosilnih goriva i efekta staklenika, Europska unija teži korištenju novih, čistih CO<sub>2</sub> neutralnih goriva. Hrvatska je samim ulaskom u Europsku uniju preuzela obveze iz Direktive Europske komisije (2009) koja nalaže promociju i uporabu energije iz obnovljivih izvora. Direktivom Europske komisije sve članice Europske unije dužne su povećati energetske efikasnost i uštedjeti 20% energije, postići 20% energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji, te smanjiti emisiju stakleničkih plinova za 20%. (2009/28/EC). Prema direktivi Europske unije i Vijeća Europe biomasa je definirana kao „biorazgradivi dijelovi proizvoda, otpada ili ostatka iz poljoprivrede, šumski otpad i otpad srodnih industrija kao i biorazgradivi dijelovi industrijskog i gradskog otpada“. Jedna od prednosti biomase u odnosu na fosilna goriva je znatno manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari. Sagorijevanje biomase oslobađa se toplina koja se može koristiti za grijanje ili upotrijebiti za proizvodnju električne energije. Drugi način korištenja biomase je plinifikacija, pri čemu se biomasa pretvara u plin.

Biomasa nastala od konoplje može se koristiti za dobivanje bioetanola i biodizela jer ima povoljan kemijski sastav. Stabljika ima visok sadržaj celuloze, i manje lignina. Industrijska konoplja sadrži 55% celuloze, 16% hemieluloze, 18% pektina i 4% lignina. Od biomase konoplje može se dobiti proizvodnja od 413 kg bioetanola, a iz sjemena može se dobiti biodizel na ekološki prihvatljiv način. Prinos ulja konoplje po hektaru je oko 240 litara.

Zahtjeva hladne uvjete prerade zbog vrlo visoke konverzije ulja u biodizelu, ali i zbog kinematičkog viskoziteta i niske točke zamućenja. Industrijska konoplja ima vrlo visoke prinose biomase koja se može koristiti za dobivanje bioplina. Utvrđeno je da se od biomase konoplje može proizvesti 3000 m<sup>3</sup> bioplina/ha. Konoplja se može dobro uklopiti u plodored, zahtjeva malo ili gotovo ništa pesticida, a također uništava korove te time smanjuje upotrebu herbicida.

(<http://www.gospodarski.hr/Publication/2014/7/biomasa-obnovljivi-izvorenergije/7965#.ViSkQNLhDIU>)

Industrijska konoplja se također koristi i kod izrade toplinskih izolacija, briketa za ogrjev, karoserija za električna vozila itd. Prema istraživanjima 1 t konoplje daje 17 GJ energije što je oko 4722.22 kWh (Burczyk H., 2008.). Brikete i pepele dobiva se od suhih otpadnih materijala. Lignin se koristi za oblikovanje briketa i peleta. Brikete od konoplje karakterizira brži gubitak mase tijekom izgaranja, a u usporedbi s drvenim peletama.



Slika 8. Briketi od industrijske konoplje

Izvor: ([https://rresblog.files.wordpress.com/2013/05/konopi\\_briket2.jpg](https://rresblog.files.wordpress.com/2013/05/konopi_briket2.jpg))

## 6.1. Konoplja kao energetski nasad

Konoplja je jednogodišnja biljka. Dakle, to je višenamjenska koja je kultivirana zbog korištenja vlakana u stabljici, fiksnog ulja u sjemenu, i opojne smole koju luče žlijezde epidermisa. Vlakna se koriste u industriji celuloze i papira, a ostatak se koristi kao stelja za životinje. Nova primjena je proizvodnja energije u obliku krutog goriva iz cijele konopljine stabljike. Da bi u potpunosti iskoristili vegetaciju konoplje, treba sijati već u proljeće što prije.

Dobra vlažnost tla je potrebno za klijavost sjemena, a adekvatna količina oborina je potrebna za dobar rast, pogotovo tijekom prvih 6 tjedana. Konoplja se bere za energetske svrhe kao uvenuo, suh materijal u kasnu zimu ili proljeće nakon vegetacije. Tijekom zime lišće otpada i razina pepela pada. Nepoželjni elementi kao što su N, S, Cl se izlučuju iz materijala tijekom zime, pa se stoga dobiva bolje gorivo od drugih trava. Konoplja može biti dobivena rezanjem i baliranjem ili se može sjeckati preciznim sjekačem i dobivati rastresit materijal. Bale mogu biti pohranjene u zatvorenom prostoru ili u natkrivenoj hrpi kako bi ih zaštitili od kiše. Usitnjeni materijal može biti pohranjen u silosima za zaštitu od kiše. (Pfeifer, 2015.).

Žetva konoplje konvencionalnim strojevima ponekad može biti problematična jer snažna vlakna imaju tendenciju da se zaglave u rotirajućim dijelovima strojeva. Usjev se bere samo jednom godišnje, često u proljeće kada je potreba za sirovine za kotlovnice i elektrane niska. To znači da je često potrebno skladište za pohranu uroda. Baliranje nudi učinkovito sredstvo za prikupljanje, obradu i pohranu materijala, ali je isto tako značajna stavka troškova u proizvodnom lancu. Korištenje konoplje u velikim kotlovnica i elektranama zahtijeva da se materijal izreže i pomiješa s drugim gorivima prije izgaranja. Različite metode za zbijanje praha konoplje su proučavane da bi se mogao poboljšati transport materijala. Pretpostavlja se da je materijal sakupljen na terminalima gdje sječka konoplje biva pomiješana s drugim gorivima, kao što su drvena sječka, kora ili treset. Smjesa se zatim transportira u kotlovnice i elektrane za izgaranje. Na taj način se suhi materijal konoplje može koristiti za poboljšanje energetske vrijednosti vrlo vlažnih materijala (npr kora). Konoplja može biti rafinirana u brikete ili pelete da se poveća gustoću energije. Ovaj materijal se može koristiti za dobivanje topline u javnim ili u većim kotlovnica i elektranama. Kada se koristi konoplju u većim postrojenjima za grijanje i elektranama, briketiranje i / ili peletiranje materijala često nije potrebno (Pfeifer, 2015.). Istodobna proizvodnja topline i struje vrlo je efikasan način

iskorištavanje biomase. Toplina koja nastaje izgaranjem može se koristiti u obliku pare za pogon parne turbine. Poslije prolaska kroz nju para se kondenzira, čime se izdvaja toplina.



Slika 9. Biomasa konoplje

Izvor: ([http://www.maskinbladet.dk/assets/imagecache/640x445/article/22662\\_1\\_xl.jpg](http://www.maskinbladet.dk/assets/imagecache/640x445/article/22662_1_xl.jpg))

Biomasa je prvi i najstariji izvor energije, a danas je to obnovljivi izvor energije s velikim potencijalom za iskorištavanje i može pridonijeti zaštiti okoliša. Biomasa čine brojni proizvodi biljnog i životinjskog svijeta, a može se podijeliti na drvenu (ostaci iz šumarstva i drvne industrije, brzorastući nasadi, otpadno drvo iz drugih djelatnosti te drvo koje nastaje kao sporedni proizvod u poljoprivredi), nedrvnu (ostaci, sporedni proizvodi i otpad iz biljnogojstva te biomasa dobivena uzgojem uljarica, algi i trava) te biomasa životinjskog podrijetla (otpad i ostaci iz stočarstva).

Postoje brojni načini da se iz biomase dobije energija. Biomasa se može izravno pretvarati u toplinsku energiju izgaranjem te tako proizvesti vodena para za korištenje u industriji i topla voda za kućanstva ili se u parno-turbinskom procesu može dobivati električna energija u malim termoelektranama.

Ogrjevna vrijednost, sadržaj pepela kod odabranih biljaka i svojstva pepela kao što točka tališta pepela, kao i sadržaj vlage u berbi su od presudne važnosti za proizvodnju energije. Prinos suhe tvari (ST) i ogrjevna vrijednost usjeva su najvažniji čimbenici u

određivanju energetskog potencijala za kruta goriva. Dakle, treba napomenuti da je prinos suhe tvari u velikoj mjeri ovisan o tlu i klimatskim uvjetima, dok sadržaj vode ovisi o vremenu berbe.

Usjev	Produkcija suhe mase	Donja ogrjevna vrijednost	Energetski potencijal po ha	Sadržaj vlage	Sadržaj pepela
	[t <sub>DM</sub> /ha/year]	[MJ/kg <sub>DM</sub> ]	[GJ/ha]	%	% <sub>mase</sub>
Slama	2-4	17	35-70	14,5	5
Miskantus	8-32	17,5	140-560	15	3,7
Konoplja	10-18	16,8	170-300	n/a	n/a
Vrba	8-15	18,5	280-315	53	2,0
Topola	9-16	18,7	170-300	49	1,5
Trska	15-35	16,3	245-570	50	5
RCG	6-12	16,3	100-130	13	4
Visoka trava	9-18	17	n/a	15	6
Bagrem	5-10	19,5	100-200	35	n/a
Drvo	3-5	18,7	74,8	50	1-1,5

Tablica 3. Svojstva energetskih nasada

Izvor: ([http://repositorij.fsb.hr/3145/1/Pfeifer\\_Diplomski\\_rad\\_2015.pdf](http://repositorij.fsb.hr/3145/1/Pfeifer_Diplomski_rad_2015.pdf))

## 6.2. Biomasa i energetski prinos industrijske konoplje za bioplin i kruto gorivo

Biomasu čine brojni proizvodi biljnog i životinjskog svijeta, a može se podijeliti na drvenu, nedrvenu te biomasu životinjskog podrijetla. Brojni su načini da se iz biomase dobije energija. Biomasa se može izravno pretvarati u toplinsku energiju izgaranjem te tako proizvesti vodena para za korištenje u industriji i za toplu vodu u kućanstvima ili se u parno-turbinskom procesu može dobivati električna energija u malim termoelektranama. Konoplja ima veći sadržaj klora i niže točke taljenja pepela od šumske biomase, što je činjenica koja se mora uzeti u obzir kada se planira omjer mješavine goriva.

Proizvodnja energije u obliku krutog goriva iz cijele konopljine stabljike je relativno nova primjena. Prede i suradnici istraživali su iskorištavanje energije iz industrijske konoplje. Split-pilot istraživanje je trajalo tri godine. Istraživali su prinos suhe tvari po ha, sadržaj vlage,



sadržaj vodika i vrijednost za grijanje u mjesečnom intervalu od srpnja do sljedećeg proljeća svake sezone.

Izračunali su prinos energije i usporedili s drugim energetske usjevima. Prilikom istraživanja provedene su dvije žetve. Prva žetva u razdoblju od rujna do listopada, kada se konoplja koristi za kruto gorivo dala je 14 Mg ha<sup>-1</sup> i 296 GJ ha<sup>-1</sup>. Druga žetva u razdoblju od veljače do travnja dobiveno je 9,9 Mg ha<sup>-1</sup> i 246 GJ ha<sup>-1</sup>. Za proizvodnju bioplina, biomasa od konoplje bila je slična biomasi od kukuruza i šećerne repe veća je od lucerne i djetelinske trave. Prinos biomase konoplje je 120% veća od biomase pšenične slame. Godišnje varijacije u prinosu suhe tvari ovise o vremenskim uvjetima i datuma sjetve. Konoplja je pogodan energetske usjev u hladnim klimatskim područjima sjeverne Europe. ([http://www.academia.edu/18845737/Biomass\\_and\\_energy\\_yield\\_of\\_industrial\\_hemp\\_grown\\_for\\_biogas\\_and\\_solid\\_fuel](http://www.academia.edu/18845737/Biomass_and_energy_yield_of_industrial_hemp_grown_for_biogas_and_solid_fuel)) Ratovi koji se vode zbog nafte i ugljena uzimaju svoj danak. Industrijska konoplja je uistinu pravi izbor. (Hadland, 2014.)

## 7. Materijal i metode

Cilj istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase industrijske konoplje za proizvodnju toplinske i električne energije. Istraživanje je provedeno u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku.

Uzorci goveđe gnojovke uzeti su s govedarske farme muznih krava „Orlovnjak“. Proces anaerobne fermentacije odvijao se u diskontinuiranom procesu pri termofilnim uvjetima ( $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) uz retencijskom trajanju od 35 dana..



Slika 10. Pripremanje uzorka za analizu

Izvor: V. Crnac

## 7.1. Određivanje sadržaja suhe tvari

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

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



Slika 11. Sušionik

Izvor: V. Crnac

## 7.2. 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 nakon sušenja na 75°C i sljedeće formule:

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

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

### 7.3. Određivanje pH

pH je utvrđen direktno u uzorcima elektrokemijskim mjerenjem. Vrijednost pH supstrata utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama.

### 7.4. Određivanje količine i sastava bioplina

Istraživanje radi utvrđivanja količine bioplina je postavljeno u diskontinuiranom bioreaktoru pri termofilnim uvjetima ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) u dvije grupe (kontrolna grupa i eksperimentalni uzorak) s četiri ponavljanja. Proizvedeni bioplin, kroz slanu zasićenu otopinu, prikupljan je u potopljenim graduiranim posudama (720 ml) i svakodnevno je očitana količina proizvedenog plina. Proizvedeni plin, nakon završetka fermentacije, analiziran je plinskim kromatografom Varian 3900 prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974 – 4 : 2000. Plinskom kromatografijom utvrđen je udio (%): dušika ( $\text{N}_2$ ), ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ). Svojstva bioplina ovise o tipu supstrata, načinu proizvodnje, vrsti postrojenja, temperaturi, trajanju, volumenu digestora i ostalim čimbenicima. Energetska vrijednost bioplina vezana je uz metan. Prosječna toplinska vrijednost bioplina je oko  $6,5 \text{ MJ/m}^3$ . Prosječan sastav bioplina prikazan je u tablici 4. Bioplin je mješavina metana  $\text{CH}_4$  (50-75%), ugljičnog dioksida  $\text{CO}_2$  (25-45%) i ostalih plinova. Metan je pokazatelj kvalitete bioplina, što ga je više bioplin je kvalitetniji.

Spoj	Kemijski simbol	Udio (Vol.-%)
Metan	$\text{CH}_4$	50-75
Ugljikov dioksid	$\text{CO}_2$	25-45
Vodena para	$\text{H}_2\text{O}$	2 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) -7 ( $40^{\circ}\text{C}$ )
Kisik	$\text{O}_2$	$<2$
Dušik	$\text{N}_2$	$<2$
Amonijak	$\text{NH}_3$	$<1$
Vodik	$\text{H}_2$	$<1$
Sumporovodik	$\text{H}_2\text{S}$	$<1$

Tablica 4. Sastav bioplina

Izvor: ([http://repositorij.fsb.hr/4886/1/Osman\\_2015\\_diplomski.pdf](http://repositorij.fsb.hr/4886/1/Osman_2015_diplomski.pdf))

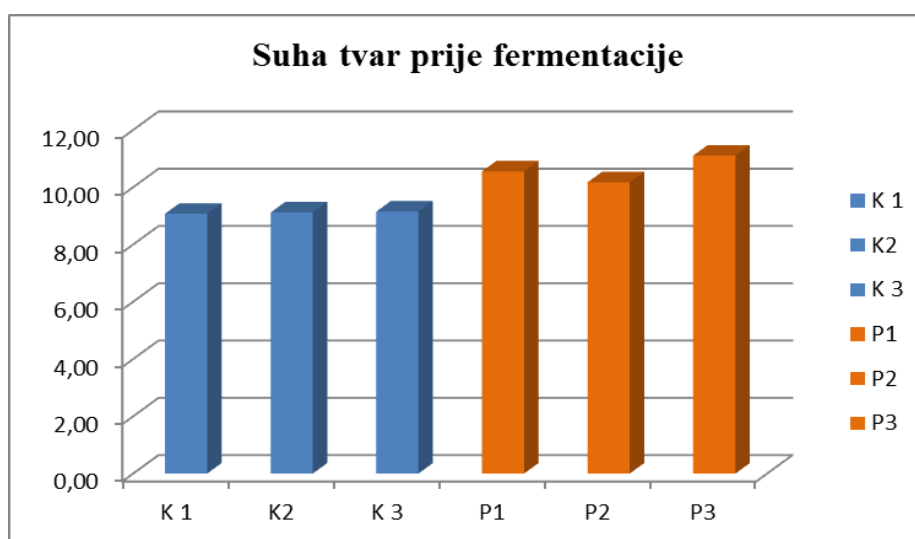
## 8. Rezultati istraživanja

Istraživanje je provedeno u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku. Istraživanja su postavljena pri termofilnim uvjetima. Proces anaerobne fermentacije odvijao se u diskontinuiranom procesu pri termofilnim (55°C) uvjetima uz retencijsko trajanje od 35 dana. Analiza susprata i eksperimentalnih grupa prije fermentacije izvršen je na suhu tvar, organsku tvar, N, C, pH.

### 8.1. Udio suhe i organske tvari u supstratima i pH vrijednost

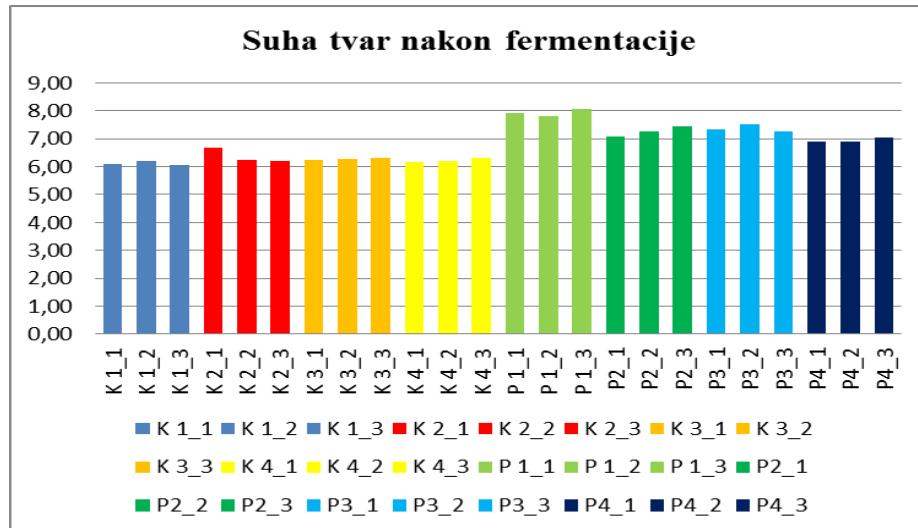
Goveđa gnojovka ima nisku koncentraciju suhe tvari. Dodavanjem industrijske konoplje (*Cannabis Sativa L.*) u goveđu gnojovku mijenja se udio suhe tvari. U eksperimentalni uzorak dodano je 2,5% (*Cannabis Sativa L.*). Zbog toga je došlo do razlike u udjelu suhe tvari između kontrolne i eksperimentalne grupe.

Prije fermentacije najveći udio suhe tvari eksperimentalnoj grupi P3 iznosi 11,10%, a prosječna vrijednosti suhe tvari u eksperimentalnim uzorcima P1, P2, P3 iznosi 10,61%. (Grafikon 1.). Prosjek postotka suhe tvari prije fermentacije u kontrolnim uzorcima K1, K2, K3 iznosi 9,11%. Najmanji udio suhe tvari u kontrolnoj grupi iznosi 9,07% K1. Postotak suhe tvari industrijske konoplje je 66,23%.



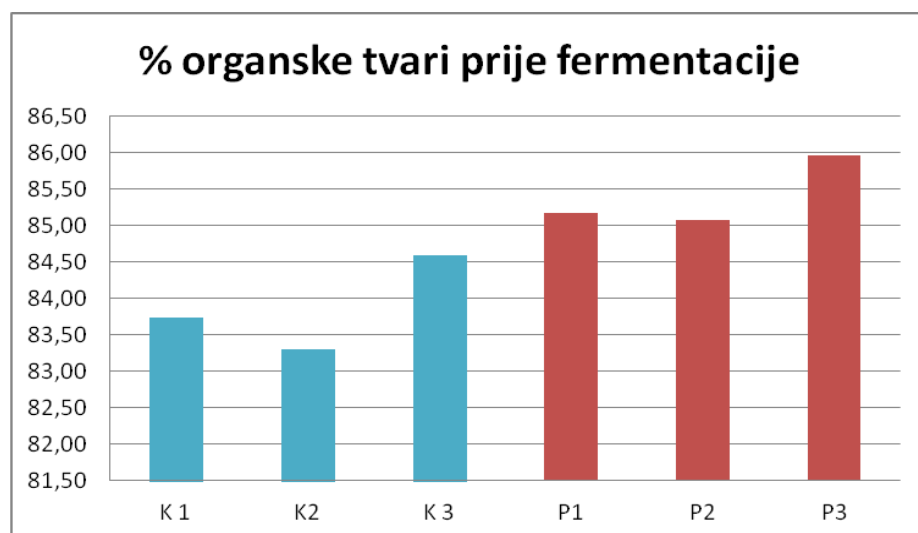
Grafikon 1. Udio suhe tvari (%) u supstratima prije fermentacije

Prosjek suhe tvari nakon fermentacije smanjio se u kontrolnim grupama K1, K2 i K3 na 6,25%, odnosno za 31,3%. U ekperimentalnim grupama P1, P2 i P3 smanjio se na 7,38% odnosno za 30,4%. (Grafikon 2.)



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

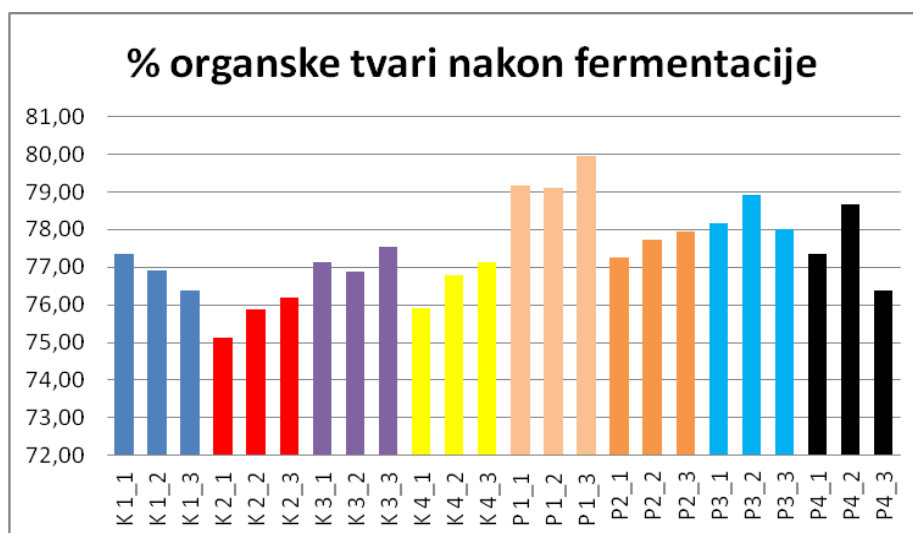
Prosjek postotka organske tvari prije fermentacije u kontrolnim uzorcima K1, K2, K3 iznosi 83,87%, u ekperimentalnim uzorcima P1, P2, P3 iznosi 85,40%. (Grafikon 3.)



Grafikon 3. Udio organske tvari (%) prije fermentacije

Udio organske tvari nakon fermentacije vidljivo je smanjen. Prosjek kontrolnih skupina K1\_1, K1\_2, K1\_3 iznosi 76,88%, K2\_1, K2\_2, K2\_3 iznosi 77,19%, K3\_1, K3\_2,

K3\_3 iznosi 77,19% K4\_1, K4\_2, K4\_3 iznosi 76,59%. Kod ekperimentalnih skupina P1\_1, P1\_2, P1\_3 iznosi 79,41% P2\_1, P2\_2, P2\_3 iznosi 77,65%, P3\_1, P3\_2, P3\_3 iznosi 78,37% i P4\_1, P4\_2, P4\_3 iznosi 77,47%. (Grafikon 4.)

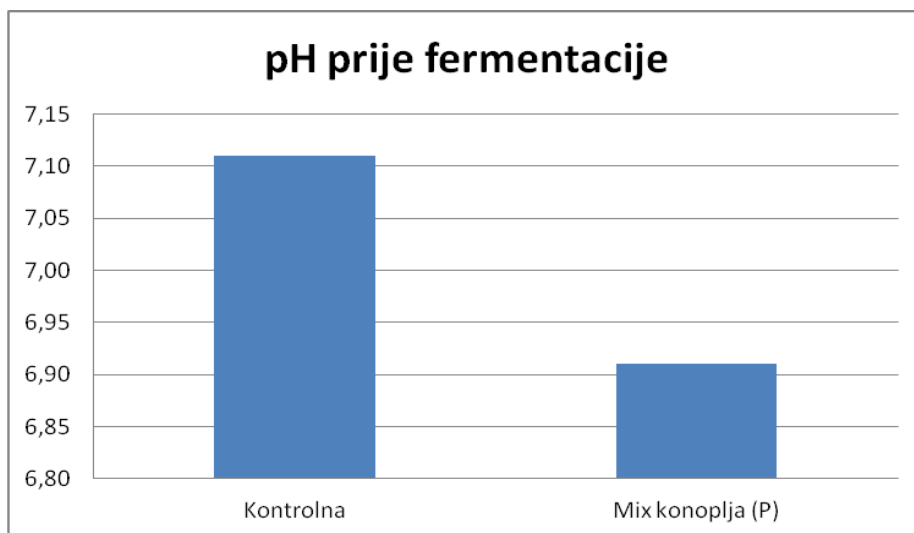


Grafikon 4. Udio organske tvari (%) nakon fermentacije

Organska tvar u gnojovci i stabljici konoplje je osnovni izvor koji mikroorganizmi koriste za proizvodnju bioplina. Sa većom količinom organske tvari očekuje se i veća proizvodnja bioplina.

Najveća količina organske tvari je kod kontrolne skupine 3, a iznosi 84,60%. Kod eksperimentalnih skupina P1, P2 i P3 prosječna količina organske tvari iznosi 85,40%. Nakon fermentacije došlo je do smanjenja u kontrolnoj grupi za 8,7%, a u eksperimentalnoj za 8,4%. Koncentracija pH značajna je za razvoj metanogeze. Metanogeneza je proces formiranja metana aktivnošću mikroba poznatih kao metanogeni. pH vrijednost je funkcija bikarbonatnog alkaliteta, parcijalnog pritiska CO<sub>2</sub> i koncentracije hlapljivih masnih kiselina. Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Metanogeneza uvelike ovisi o uvjetima rada, odnosno uvjetima medija. Na uspješnost procesa utječe sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata. (Osman, 2015.).

Proces metanogeneze se odvija pri vrijednosti pH 6,6 do 7,6. U kontrolnom uzorku prije fermentacije pH vrijednost iznosi 7,11 dok u ekperimentalnom uzorku mix konoplja (P) iznosi 6,91.



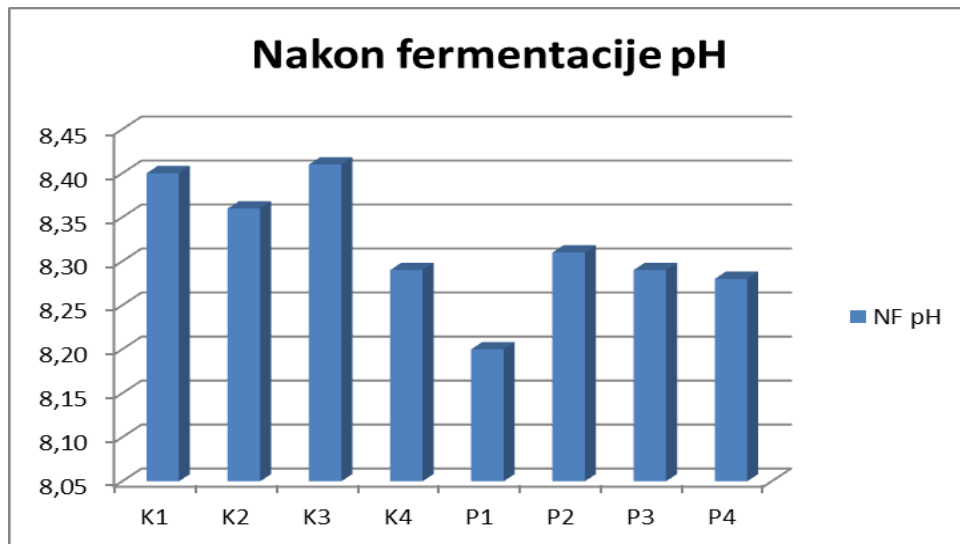
Grafikon 5. Visina pH vrijednosti u uzorcima prije fermentacije

Prosječni pH nakon fermentacije u kontrolnoj grupi K1, K2, K3 iznosi 8,37, dok u ekperimentalnoj grupi P1, P2, P3 8,27. (Grafikon 6.) Nakon fermentacije prosječna pH vrijednost se povećala u ekperimentalnoj za 19,8% i kontrolnoj grupi za 17,8%.

Metagoneni mikroorganizmi i acetogene bakterije pokazuju veliku osjetljivost na pH vrijednost supstrata. Kod procesa anaerobne fermentacije pH nije stalan nego varira u granicama od 6,6 do 8,2. Smatra se da je optimalna vrijednost pH u intervalu između 7,0 i 7,2.

Kada je pH ispod 6,5 aktivnost metagonenih bakterija se zaustavlja jer su tada preopterećene organskom tvari, udio CO<sub>2</sub> se diže u plinu i udio metana u plinu opada.





Grafikon 6. Visina pH vrijednosti u uzorcima poslije fermentacije

## 8.2. Količina proizvedenog plina

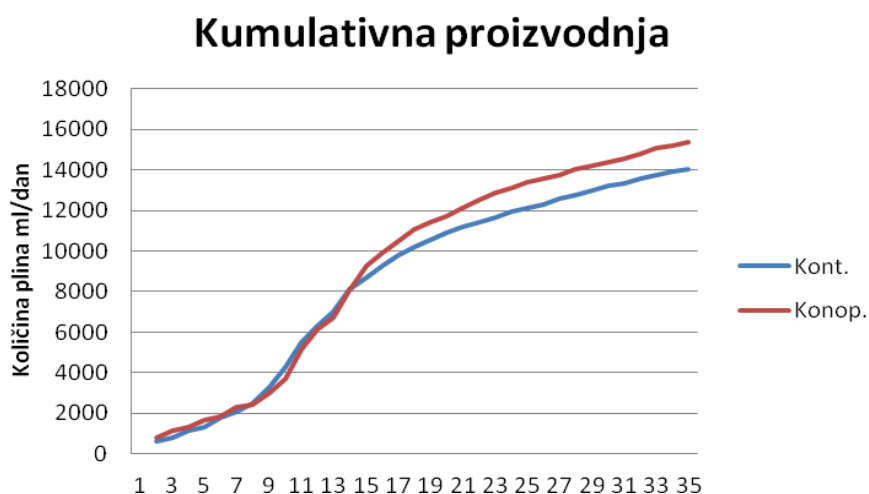
Proizvedeni plin tijekom procesa anaerobne fermentacije prikuplja se u graduirane posude (720 ml) radi utvrđivanja dnevne dinamike proizvodnje bioplina. Ukupna količina bioplina proizvedena tijekom retencijskog vremena od 35 dana, iz 500 ml supstrata prikazana je u grafikonu 7. Dodavanjem 12,5 g nadzemne mase konoplje u 487,5 g goveđe gnojovke proizvodnja bioplina se povećala.



Slika 12. Graduirane posude u akvariju

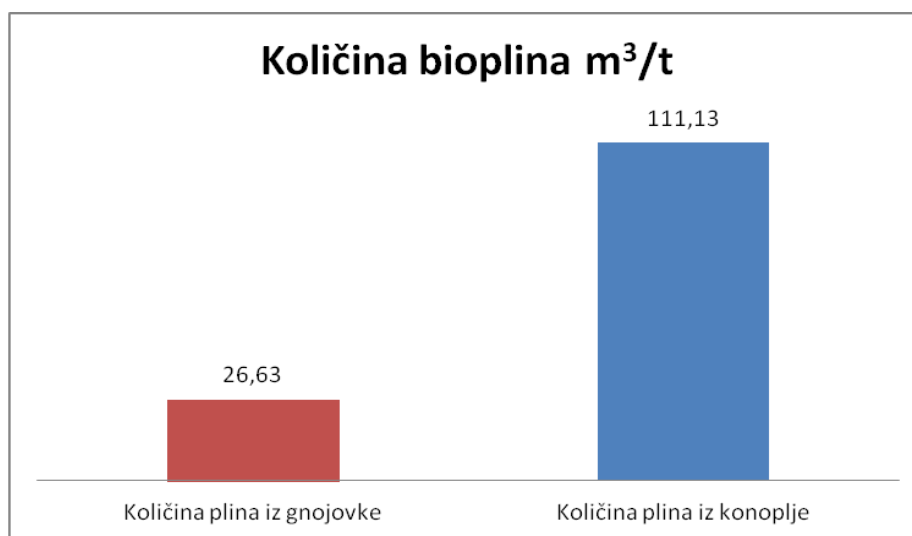
Izvor: V.C

Iz grafikona 7. možemo vidjeti kako eksperimentalne skupine industrijske konoplje ima veću proizvodnju bioplina od kontrolnih skupina. Eksperimentalna grupa nadmašuje proizvodnju bioplina za 1.267,50 odnosno za 6,1%. Prinos plina iz gnojovke iznosi 12.915,55 ml, a prinos plina iz konoplje 1666,95 ml. Količina bioplina iz konoplje iznosi 111,13 ml/g.



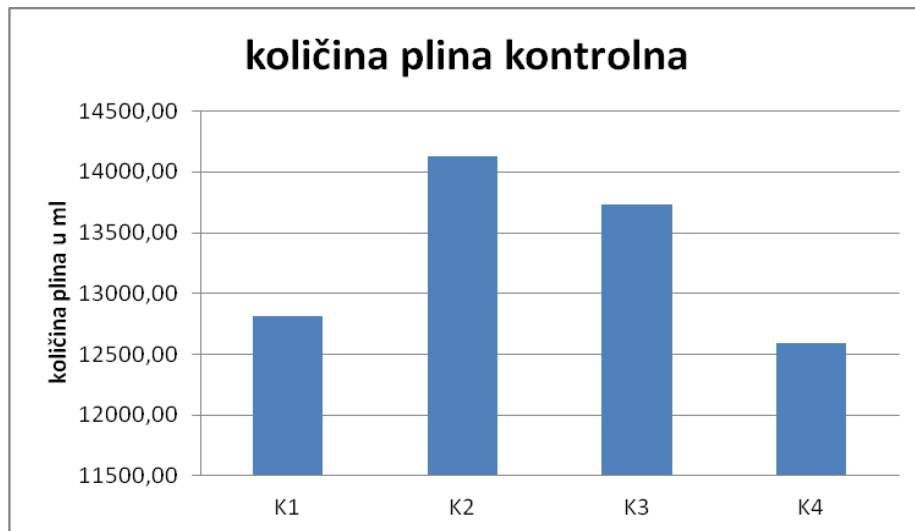
Grafikon 7. Kumulativni zbroj proizvednog bioplina u kontrolnoj i eksperimentalnoj grupi

Na grafikonu 8. prikazana je količina bioplina u kubnim metrima po toni eksperimentalne i kontrolne grupe. Ako se uzmu u obzir ekstremi vrijednosti kontrolne i eksperimentalne skupine jasno se vidi kako eksperimentalne skupine imaju veću proizvodnju bioplina od kontrolnih skupina. Iz jedne tone mješavine goveđe gnojovke i nadzemne mase industrijske konoplje dobije se 111,13 m<sup>3</sup>/t, a od kontrolne dobije se 26,63 m<sup>3</sup>/t. Količina električne energije iz jedne tone dobije se 222,26 kW a količina toplinske energije iz jedne tone je 244,48 kW.



Grafikon 8. Količina proizvedenog bioplina (m<sup>3</sup>/t)

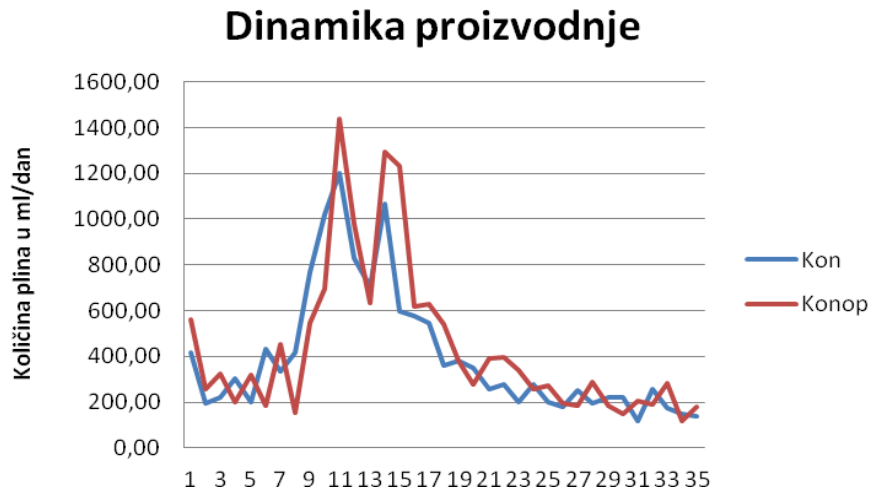
Prosječna vrijednost u kontrolnim grupama K1, K2, K3 i K4 iznosi 13.315,00 ml. Količina plina kontrolne iznosi 26,63. Najveću proizvodnju bioplina imala je K2 sa 14.130,00 ml/500 ml, a najmanju grupa K4 sa 12.529,00 ml/500 ml. (Grafikon 9.)



Grafikon 9. Prikaz proizvedene količine plina u kontrolnoj grupi uzoraka

### 8.3. Dinamika proizvodnje bioplina

Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne i eksperimentalne skupine prikazana je na grafikonu 10. gdje se može očitati intezitet stvaranja bioplina tijekom retencijskog razdoblja od 35 dana. Tijekom 35 dana intezitet stvaranja bioplina je ujednačen. Iz grafikon 10. može se primjetiti progresivan rast proizvodnje bioplina 10. dana, a zatim 13. dana naglo pada te zatim 14. dana naglo raste te nakon 23. dana proizvodnje stagnira. Najveće varijacije inteziteta između kontrolne i eksperimentalne skupine se javlja 15. dana (09.02.2016.), kada je prosječni dnevni prinos eksperimentalne skupine bio veći za 637,50 ml, dok je 16. Dana (10.02.2016.) prosječan dnevni prinos kontrolne skupine veći za 42,5 ml. .



Grafikon 10. Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne i eksperimentalne skupine

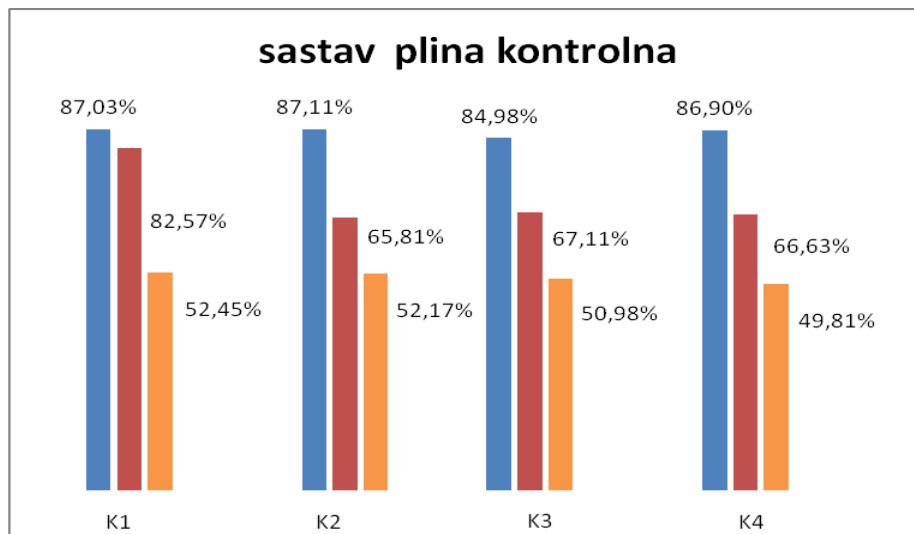
Prosječni dnevni prinos bioplina kod kontrolne grupe iznosi 26,63 ml, dok kod eksperimentalne grupe iznosi 29,17 ml, što je više za 2,54 ml dnevno odnosno za 8,7%. (Grafikon 10.)

Dinamika rasta u početku je sporija, nakon 15 dana raste i do kraja retencijskog razdoblja je u porastu. Iz grafikona 10. se također može primjetiti da eksperimentalna grupa ima veću proizvodnju plina.

#### 8.4. Sastav plina u kontrolnoj grupi

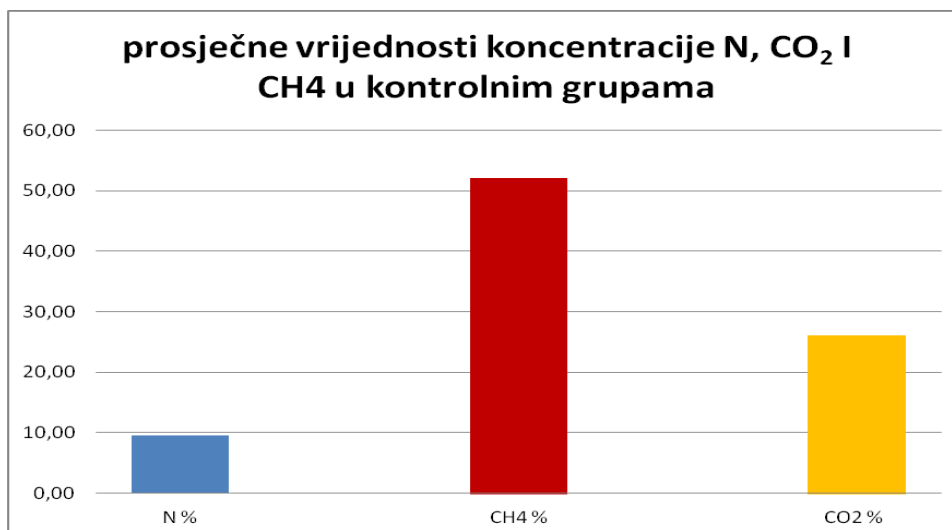
Promjena sastava bioplina vezana je uz pojedine faze razgradnje organske mase i vidljiva su kretanja pojedinih komponenata bioplina u ovisnosti o vremenskom razdoblju. Dušik ima negativan utjecaj na proizvodnju metana tj., ima inhibitorški učinak na metanogenezu. Koncentracija dušika u kontrolnoj skupini nakon 5. dana pada ispod 10% i do kraja retencijskog razdoblja ne prelazi navedenu granicu. Metan 7. dana prelazi 60% da bi 10. dana dosegao maksimalnu koncentraciju od K1 82,57% K2 63,68%, K3 63,57% K4 63,02%. Koncentracija ugljičnog dioksida svoju najveću vrijednost od 52,45% dostiže 4. dana, nakon čega pada i zadržava se između 20–25%. U zadnjih 15 dana koncentracija CO<sub>2</sub> počinje opadati i na kraju retencijskog razdoblja iznosi K1 26,11%, K2 24,09%, K3 23,14%,

K4 20,68%. Prosječni udio metana u uzorcima iznosi 2,01%. Najveću koncentraciju dušika imala je kontrolna grupa K2 koja iznosi 87,11%, a najmanju koncentraciju dušika imala je kontrolna grupa K3, a iznosi 84,98%. Najveću koncentraciju metana imala je kontrolna grupa K1, a iznosi 82,57%, a najmanju K4, a iznosi 66,63%. Najveću koncentraciju ugljičnog dioksida imala je kontrolna grupa K1, a iznosi 52,45%, a najmanju K4, a iznosi 49,81%. Grafikon 11.



Grafikon 11. Sastav plina u kontrolnoj grupi uzoraka

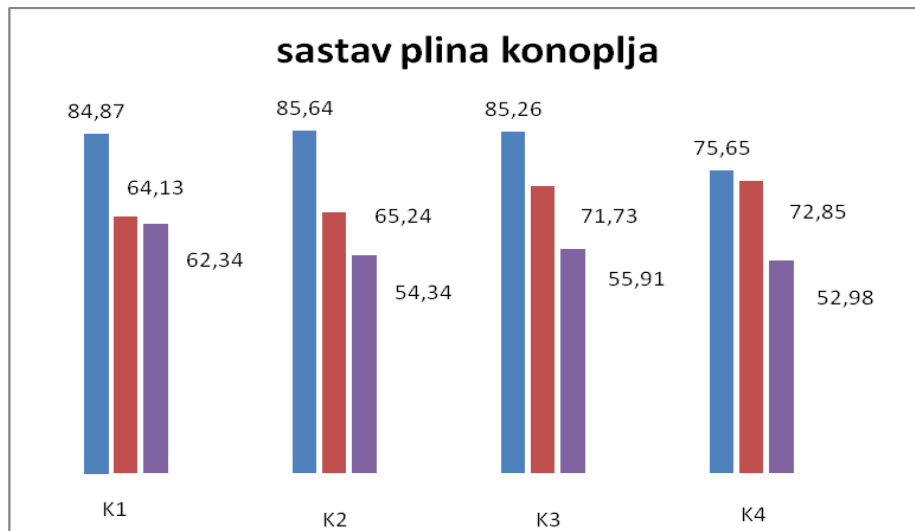
Prosječne vrijednosti koncentracija dušika (N), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i metana (CH<sub>4</sub>) kontrolnih grupa K1, K2, K3 i K4 prikazana je na grafikonu 12. Prosječna vrijednost metana (CH<sub>4</sub>) kontrolne grupe iznosi 52,05%, dušika (N) 9,54%, dok je vrijednost koncentracije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) 26,11%.



Grafikon 12. Prosječne vrijednosti koncentracije N, CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> u kontrolnim grupama

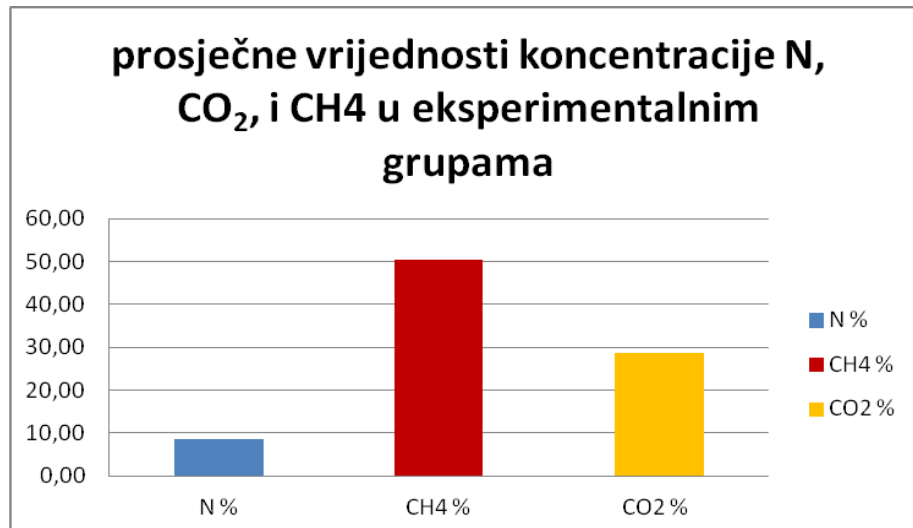
### 8.5. Sastav plina u eksperimentalnoj grupi uzoraka

Koncentracija dušika plina konoplje nakon 5. dana pada ispod 10% i do kraja retencijskog razdoblja ne prelazi navedenu granicu. Metan 9. dana prelazi 60% da bi 10. dana dosegao maksimalnu koncentraciju od P1 64,13% P2 65,24%, P3 71,73% i P4 72,85%. Koncentracija ugljičnog dioksida svoju najveću vrijednost od 62,34% dostiže 3. dana, nakon čega pada i zadržava se između 20 – 25%. U zadnjih 15 dana koncentracija CO<sub>2</sub> počinje opadati i na kraju retencijskog razdoblja iznosi P1 23,03%, P2 24,64% P3 21,25% i P4 20,99%. Prosječni udio metana u uzorcima iznosi 1,17%. Na grafikonu 13. Prikazana je koncentracija dušika, ugljičnog dioksida i metana u eksperimentalnim grupama P1, P2, P3 i P4 u čiji je supstrat dodana nadzemna masa konoplje. Najveću koncentraciju dušika imala je eksperimentalna grupa P2 koja iznosi 85,64%, a najmanju koncentraciju dušika imala je eksperimentalna grupa P4, a iznosi 75,65%. Najveću koncentraciju ugljičnog dioksida imala je eksperimentalna grupa P1, koja iznosi 62,34%, a najmanju koncentraciju P3, a iznosi 55,91%. Najveću koncentraciju metana imala je P4, a iznosi 72,85%, a najmanju koncentraciju ima P1 64,13%.



Grafikon 13. Sastav plina u eksperimentalnim grupi uzoraka

Prosječna koncentracija dušika eksperimentalne grupe iznosi 6,61%, vrijednost prosječne koncentracije ugljičnog dioksida je 28,76%, a metana je 50,34%. Grafikon 14.



Grafikon 14. Prosječne vrijednosti koncentracije dušika, ugljika i metana u eksperimentalnim grupama

Prosječna koncentracija dušika kod kod ekperimentalne iznosi 6,61%, a kod kontrolne grupe koncentracija dušika veća za 30,7%, a iznosi 9,54%. Prosječna vrijednost metana kod eksperimentalne iznosi 50,34%, a kod kontrolne koncentracija metana veća je za 3,3%, a



iznosi 52,05%. Prosječna koncentracija ugljičnog dioksida kod kontrolne iznosi 26,11%, a kod eksperimentalne ugljičnog dioksida veća je za 9,1%, a iznosi 28,76%.

## 9. Rasprava

Na temelju rezultata provedenog istraživanja na temu „Utvrđivanje bioplinskog potencijala industrijske konoplje *Cannabis sativa L.*) može se primjetiti da industrijska konoplja ima veliki potencijal za proizvodnju bioplina. S obzirom da su prinosi konoplje vrlo visoki ona postaje pogodna za dobivanje bioplina. Postoje također bolji energetske usjevi od konoplje, s većom koncentracijom metana. Na primjer kukuruzna silaža ima veći prinos bioplina i veću koncentraciju metana od industrijske konoplje. Unatoč tome potrebno je naći sirovinu koja je ekonomski isplativa i ne utječe direktno ili indirektno na cijenu prehrane ljudi. Kukuruzna silaža se u velikom postotku koristi za proizvodnju bioplina, što nije dobro jer utječe na cijenu hrane. Prosječni prinos kukuruzne silaže iznosi 55 t/ha, ali zbog suše prinos može biti niži. Prema Venturi (2003.) konoplja daje 25-35 t/h svježe biomase, dok po Bocsai i Karusu (1998) mogući prinosi i od 56 t/ha (Augustinović i sur. 2012.). Cijena industrijske konoplje iznosi 1-2 €/kg tj. 1000-2000 €/t. (<http://www.cannabio.hr/#!uzgoj/c215y> 8.7.2016.) Biomasa konoplje ima povoljan kemijski sastav za dobivanje bioetanol i biodizela. Stabljika ima visok sadržaj celuloze, i manje lignina. Od biomase konoplje može se dobiti proizvodnja od 413 kg bioetanol, a iz sjemena može se dobiti biodizel na ekološki prihvatljiv način. Prinos ulja konoplje po hektaru je oko 240 litara. Količina plina iz konoplje iznosi 111,13 m<sup>3</sup>/t, a količina plina iz gnojovke 26,63 m<sup>3</sup>/t. Ako se promatra energetska vrijednost proizvedenog bioplina, može se utvrditi da se iz jedne tone dobije 222,26 kW električne energije i 244,486 kW toplinske energije. Količina bioplina po ha da je prinos industrijske konoplje 10 t/ha iznosi 1111,3 m<sup>3</sup>/ha, a ako je prinos industrijske konoplje 18 t/ha proizvodnja bioplina je 2000,34 m<sup>3</sup>/ha. Otkupna cijena električne energije iz bioplinskih postrojenja iznosi 1,20 kn, dok otkupna cijena toplinske energije iznosi 0,60 kn. (Tablica 5.)

Tip postrojenja	C
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 pročišćavanja otpadnih voda	0,36
i. elektrane na ostale obnovljive izvore energije (morski valovi, plima, oseka...)	0,60

Tablica 5. Zajamčena otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja na bioplin

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

Iz jedne tone mase industrijske konoplje može se dobiti 3733,97 kn/ha za električnu energiju, i 2053,68 kn/ha za toplinsku energiju. Na profit utječu brojni faktori. Prinos bioplina iz kukuruzne silaže je u prosjeku 218,13 m<sup>3</sup>/t, odnosno 436,26 kWh električne energije i 610,76 kWh toplinske energije. tj. prihod po toni od prodaje električne energije iznosi 523,51 kn, dok prihod od toplinske energije iznosi 366,45 kn. (file:///C:/Users/Tina/Desktop/beljan\_bernard\_pfos\_2016\_diplo\_sveuc.pdf 8.7.2016.)

Konoplja donosi dobit od 5.787,65 kn/ha od zbroja električne i toplinske energije. Kukuruz donosi dobit od 889,96 kn/ha od zbroja toplinske i električne energije.

Organska tvar u gnojovci i konoplje je osnovni izvor koji mikroorganizmi koriste za proizvodnju bioplina, tj. metana. Sa većom količinom organske tvari očekuje se i veća proizvodnja bioplina, što je i dokazano pokusom, gdje su veću proizvodnju bioplina imale skupine sa većom količinom organske tvari. Količina organske tvari se nakon fermentacije smanjila za prosječnu vrijednost od 6,23% kod kontrolne skupine, odnosno za 7,38% kod eksperimentalne skupine.

Ovim istraživanjem smo utvrdili potencijal konoplje kao sirovine za proizvodnju bioplina.

Proizvodnja električne energije iz bioplina zbog kontinuiranog procesa predstavlja sigurnu opskrbu električnog sustava za razliku od drugih obnovljivih izvora energije.

## 10. Zaključak

Biomasa jako bitan resurs za proizvodnju energije. Cilj istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase industrijske konoplje za proizvodnju toplinske i električne energije. Jedna od mogućih rješenja je proizvodnja i korištenje bioplina za proizvodnju toplinske i električne energije. Eksperimentalna grupa nadmašuje proizvodnju bioplina za 1.267,50 odnosno za 6,1%.

pH ima veliki utjecaj na proces anaerobne fermentacije. Metanogene i acetogene bakterije pokazuju veliku osjetljivost na pH vrijednost supstrata, kada vrijednost pH padne ispod 6,5 aktivnost metanogenih bakterija se zaustavlja. Za proces metanogeneza pH vrijednost mora varirati između 6,6 i 6,7. Prosječna koncentracija ugljičnog dioksida kod kontrolne iznosi 26,11%, a kod eksperimentalne ugljičnog dioksida veća je za 9,1%, a iznosi 28,76%. Prosječni pH nakon fermentacije u kontrolnoj grupi K1, K2, K3 iznosi 8,37%, dok u eksperimentalnoj grupi P1, P2, P3 8,27%. Grafikon 5. Nakon fermentacije prosječna pH vrijednost se povećala u eksperimentalnoj za 19,8 % i kontrolnoj grupi za 17,8%. Prosječna koncentracija dušika kod kod ekperimentalne iznosi 6,61%, a kod kontrolne grupe koncentracija dušika veća za 30,7%, a iznosi 9,54%. Prosječna vrijednost metana kod eksperimentalne iznosi 50,34%, a kod kontrolne koncentracija metana veća je za 3,3%, a iznosi 52,05%. Puno čimbenika utječe na sastav, količinu i svojstva bioplina te prema tome varijaju. Količina plina iz konoplje iznosi 111,13 m<sup>3</sup>/t, a količina plina iz gnojovke 26,63 m<sup>3</sup>/t. Ako se promatra energetska vrijednost proizvedenog bioplina, može se utvrditi da se iz jedne tone dobije 222,26 kW električne energije i 244,486 kW toplinske energije.

Hrvatska s poljoprivrednim potencijalom ima značajne mogućnosti za proizvodnju bioplina iz energetskih biljaka. Kako tehnologija napreduje tako raste i ovisnost o energiji. Samim povećanjem broja rasta stanovnika na zemlji raste i potreba za enegijom. Industrijska konoplja ima potencijal za proizvodnju bioenergije. Ukupnost biljne i životinjske organske mase i otpada čini biomasu. Biomase ima posvuda oko nas i s obzirmo na današnji način života stvara se velika količina organskog otpada koji se ne reciklira i ne stavlja u ponovni proces upotrebe kroz proizvodnju energije, plodnosti tla, malčiranje, stvaranje komposta i dr. Razlikujemo energetske biljke i organske ostatne tvari i otpad. Energetski usjevi mogu zamijeniti fosilna goriva te time ublažiti klimatske promjene. Energetske biljke su brzorastuće vrste drveća i posebne jednogodišnje bilje i visokoplodne biljne vrste s velikim postotkom

šećera i škroba, te uljarice za proizvodnju biodizela. Organske otpadne tvari i otpad nastaju u industriji, kućanstvima, poljoprivredi i šumarstvu. Dakle tu pripadaju otpadno drvo, zatim slama, trava, lišće, gnoj, mulj, komunalni i industrijski otpad (Potočnik i sur., 2002.). Količina biomase u Hrvatskoj pa i u svijetu je velika što stvara velike mogućnosti u području proizvodnje energije.

U Hrvatskoj dopušteno je uzgajati konoplju (*Cannabis sativa L.*) u svrhu proizvodnje hrane i hrane za životinje. Pomaka oko konoplje u Hrvatskoj ima, ali to nije dovoljno, bar ne za neku veću primjenu poput proizvodnje papira, odjeće, plastike, goriva. Uzgojem industrijske konoplje otvarala bi se nova radna mjesta, došlo bi do razvoja ne samo poljoprivrede nego i gospodarstva.

## 11. Literatura:

### Knjige :

1. Augustinović, Z. i sur.: Samoregulacija sklopa, odnos ženskih i muških biljaka i morfološka svojstva industrijske konoplje u ovisnosti o gustoći sjetve i gnojidbi dušikom
2. Burczyk H., Grabowska L. Kolodziej J., Strybe M. (2008): Industrial hemp as a raw material for energy production. Journal of Industrial Hemp volume 13, number 1.
3. Butorac, J.; Predivo bilje; Zagreb, 2009.
4. Gagro, M.: Industrijsko i krmno bilje; Zagreb, 1998
5. Gadžo, D., Đikić, M., Mijić, A.: Industrijsko bilje; Sarajevo, 167-182. 2011.
6. Henryk Burczyk , Lidia Grabowska, Jacek Kołodziej & Małgorzata Strybe (2008) Industrial Hemp as a Raw Material for Energy Production, Journal of Industrial Hemp, 13:1, 37-48
7. Jacek Kolodziej, Maria Wladyka - Przybylak, Jerzy Mankowski, Lidia Grabowska (2012.) Heat of Combustion of Hemp and Briquettes Made of Hemp Shives
8. Janušić, V., Ćurić, D., Krička, T., Voća, N., Matin, A. (2008): Predtretmani u proizvodnji bioetanola iz lignocelulozne biomase. Poljoprivreda, 14(1): 53-58.
9. Krička, T., Grbeša, D., Varga, B., Svečnjak, Z. (2008): Proizvodnja biogoriva i njen utjecaj na poljoprivredu. Proceedings. 43rd Croatian and 3rd international symposium on agriculture. Opatija, Croatia, 17-23. 14. Marras, G.F., Spanu, A.
10. Pospišil, M.: Ratarstvo II. dio – industrijsko bilje, Čakovec, 131-141. 2013.
11. Potočnik, V., Lay, V.: Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Zagreb, 63-70 str. 2002.
12. Prade, T., Svensson, S.E., Andersson, A., Mattsson, J. (2011) Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. Biomass and Bioenergy,
13. Prinos konopljine stabljike sorte kompolti u ovisnosti o gustoći sjetve i gnojidbi dušikom dostupno  
(file:///C:/Users/tina/Downloads/05\_Z\_Augustinovic\_i\_sur\_Prinos\_konopljine\_stabljike\_sorte.pdf)
14. Znanstveno mišljenje o utjecaju na zdravlje različitih vrsta hrane od sjemenki i koja sadrži sjemenki dostupno na (file:///C:/Users/tina/Downloads/HAH-Z-2015-1%20(1).pdf)

15. Robinson, Rowan. The Great Book of Hemp: The Complete Guide to the Environmental, Commercial, and Medicinal Uses of the World's Most Extraordinary Plant. Rochester, VT: Park Street, 1996.

**Internet:**

Pravilnik o uvjetima za uzgoj konoplje, načinu prijave uzgoja maka te uvjetima za posjedovanje opojnih droga u veterinarstvu (2012a) Narodne novine<sup>18</sup>, Zagreb pristupljeno 22.10. 2015.

<https://rresblog.wordpress.com/2013/05/30/usporedba-goriva-od-biomase/> 22.10.2015.

[http://www.votehemp.com/markets\\_stalk.html](http://www.votehemp.com/markets_stalk.html) 22.10.2015.

<https://republikahrvatska.wordpress.com/about/> 22.10.2015.

[http://llufb.llu.lv/conference/Renewable\\_energy\\_energy\\_efficiency/Latvia\\_Univ\\_Agriculture\\_REEE\\_conference\\_2012-163-166.pdf](http://llufb.llu.lv/conference/Renewable_energy_energy_efficiency/Latvia_Univ_Agriculture_REEE_conference_2012-163-166.pdf) 22.10.2015.

[file:///C:/Users/tina/Downloads/HAH-Z-2015-1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/tina/Downloads/HAH-Z-2015-1%20(1).pdf) 22.10.2015.

[http://www.savjetodavna.hr/adminmax/publikacije/konoplja232\\_ispravak.pdf](http://www.savjetodavna.hr/adminmax/publikacije/konoplja232_ispravak.pdf) 2.3.2016.

[http://www.academia.edu/18845737/Biomass\\_and\\_energy\\_yield\\_of\\_industrial\\_hemp\\_grown\\_for\\_biogas\\_and\\_solid\\_fuel](http://www.academia.edu/18845737/Biomass_and_energy_yield_of_industrial_hemp_grown_for_biogas_and_solid_fuel) 2.3.2016.

[http://www.slu.se/sv/bibliotek/slupub/publ/?publ\\_id=57261](http://www.slu.se/sv/bibliotek/slupub/publ/?publ_id=57261) 2.3. 2016.

[http://www.slu.se/sv/bibliotek/slupub/publ/?publ\\_id=57261](http://www.slu.se/sv/bibliotek/slupub/publ/?publ_id=57261) 3.3.2016.

<http://www.agroklub.com/sortna-lista/uljarice-predivo-bilje/industrijska-konoplja-80/> 3.3.2016.

[http://gse.cat.org.uk/public\\_downloads/research/hemp/Hemp\\_Cannabis\\_Sativa.pdf](http://gse.cat.org.uk/public_downloads/research/hemp/Hemp_Cannabis_Sativa.pdf) 4.3.2016.

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10443-006-9032-9#page-2> 4.3.2016.

<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1022&context=tsaconf> 4.3.2016.

[http://www.patriotbioenergy.com/data/uploads/whitepaper/whitepaper\\_an-energy-crop-to-transform-kentucky-and-west-virginia.pdf](http://www.patriotbioenergy.com/data/uploads/whitepaper/whitepaper_an-energy-crop-to-transform-kentucky-and-west-virginia.pdf) 4.3.2016.

<http://theconversation.com/is-industrial-hemp-the-ultimate-energy-crop-20707> 4.3.2016.

<http://www.hemphesis.net/Fuel-Energy/fuel.htm> 4.3.2016.

<http://hempourworld.org/hemp-energy/> 4.3.2016.

<http://www.agrivi.com/hr/povratak-industrijske-konoplje-za-opstanak-covjecanstva/> 22.10.2015

[http://repositorij.fsb.hr/4886/1/Osman\\_2015\\_diplomski.pdf](http://repositorij.fsb.hr/4886/1/Osman_2015_diplomski.pdf) 4.7.2016.

[http://repositorij.fsb.hr/3145/1/Pfeifer\\_Diplomski\\_rad\\_2015.pdf](http://repositorij.fsb.hr/3145/1/Pfeifer_Diplomski_rad_2015.pdf) 22.10.2015.

<http://www.agrivi.com/hr/povratak-industrijske-konoplje-za-opstanak-covjecanstva/> 22.10.2015.

<http://www.glas-slavonije.hr/230025/4/Od-konoplje-svijet-dobiva-20000-proizvoda-Hrvatska-je-odbacila>  
22.10.2015.

<http://www.agroklub.com/pretraga/> 23.10.2015

<http://www.hemparchitecture.com/hemp-plant/> 22.10.2015.

[http://www.maskinbladet.dk/assets/imagecache/640x445/article/22662\\_1\\_xl.jpg](http://www.maskinbladet.dk/assets/imagecache/640x445/article/22662_1_xl.jpg) 11.11.2015.

[https://rresblog.files.wordpress.com/2013/05/konopi\\_briket2.jpg](https://rresblog.files.wordpress.com/2013/05/konopi_briket2.jpg) 22.10.2015.

<http://2012-transformacijasvijesti.com/alternativna-medicina/nevjerojatna-korisnost-konoplje> 23.10.2015.

<http://www.glas-slavonije.hr/230025/4/Od-konoplje-svijet-dobiva-20000-proizvoda-Hrvatska-je-odbacila>  
22.10.2015.

<http://www.nsseme.com/blog/wp-content/uploads/2015/11/6-zetva-konoplje-za-zrno-aksijalnim-kombajnom.jpg>  
4.3.2016.

[https://upload..org/wikipedia/commons/7/79/Cannabis\\_sativa\\_Koehler\\_drawing.jpg](https://upload..org/wikipedia/commons/7/79/Cannabis_sativa_Koehler_drawing.jpg) 4.3. 2016.



## 12. Popis slika

Slika 1. Proizvodnja konoplje .....	3
Slika 2. Uzgoj industrijske konoplje .....	5
Slika 3. Stabljika industrijske konoplje.....	7
Slika 4. Morfologija industrijske konoplje.....	9
Slika 5. Žetva konoplje.....	11
Slika 6. Sjeme konoplje.....	13
Slika 7. Industrijska konoplja biljka prošlosti i budućnosti .....	14
Slika 8. Briketi od industrijske konoplje .....	17
Slika 9. Biomasa konoplje.....	19
Slika 10. Pripremanje uzorka za analizu .....	22
Slika 11. Sušionik.....	23
Slika 12. Graduirane posude u akvariju .....	30

## 13. Popis tablica

Tablica 1. Proizvodnja industrijske konoplje za vlakno u svijetu (prosjek 2006-2010. godine)4	
Tablica 2. Proizvodnja konoplje za vlakno u svijetu (prosjek 2006-2010. godine).....	13
Tablica 3. Svojstva energetskih nasada.....	20
Tablica 4. Sastav bioplina .....	24
Tablica 5. Zajamčena otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja na bioplin.....	38

## 14. Popis grafikona

Grafikon 1. Udio suhe tvari (%) u supstratima prije fermentacije .....	25
Grafikon 2. Udio suhe tvari (%) u supstratima nakon fermentacije.....	26
Grafikon 3. Udio organske tvari (%) prije fermentacije .....	26
Grafikon 4. Udio organske tvari (%) nakon fermentacije .....	27
Grafikon 5. Visina pH vrijednosti u uzorcima prije fermentacije.....	28
Grafikon 6. Visina pH vrijednosti u uzorcima poslije fermentacije .....	29
Grafikon 7. Kumulativni zbroj proizvednog bioplina u kontrolnoj i eksperimentalnoj grupi .	30
Grafikon 8. Količina proizvedenog bioplina (m <sup>3</sup> /t).....	31
Grafikon 9. Prikaz proizvedene količine plina u kontrolnoj grupi uzoraka .....	32
Grafikon 10. Dinamika proizvodnje bioplina po prosječnim vrijednostima kontrolne i eksperimentalne skupine .....	33
Grafikon 11. Sastav plina u kontrolnoj grupi uzoraka .....	34
Grafikon 12. Prosječne vrijednosti koncentracije N, CO <sub>2</sub> i CH <sub>4</sub> u kontrolnim grupama .....	35
Grafikon 13. Sastav plina u eksperimentalnim grupi uzoraka .....	36
Grafikon 14. Prosječne vrijednosti koncentracije dušika, ugljika i metana u eksperimentalnim grupama.....	36

## 15. Sažetak

Naftne rezerve smanjuju, te se čovječanstvo mora pripremiti na promjene. U bližoj budućnosti morati će se pronaći pouzdan alternativni izvor energije. Osim ekonomske dobiti, izraženo je smanjenje stakleničkih plinova u atmosferi, a i mogućnost korištenja biomase kao gnojiva i na taj način smanjiti upotrebu umjetnih gnojiva. Na tom polju dobrim se pokazala prerada biomase u bioplin. Na temelju prikupljeni analiza može se primjetiti da industrijska konoplja ima potencijal za proizvodnju bioplina i toplinske energije. Pozder je drvenasti dio stabljike koji se dobiva nakon što se vlakna izdvoje iz stabljike, ima dva puta veću ogrjevnu vrijednost od bukova drveta. Prinos suhe stabljike je 10 t/ha, a sjemena 1-2 kg/ha. Proteini konoplje jednako su hranjivi kao i sojini, također su i mnogo jeftiniji od sojinih. Energetske karakteriske konoplje su 296 GJ/ha za bioplin i 246 GJ/ha kao kruto gorivo. Brikete od konoplje karakterizira brži gubitak mase tijekom izgaranja, a u usporedbi s drvenim peletama.

Ključne riječi: biomasa, bioplin, industrijska konoplja (*Cannabis sativa L.*), toplinska energija,

## 16. Summary

Oil reserves are reduced, and the people must prepare for the changes. In the near future they will have to find a reliable alternative source of energy. In addition to economic benefits, expressed the reduction of greenhouse gases in the atmosphere, and the possibility of using biomass as a fertilizer and thus reduce the use of fertilizers. In this field has proved to be a good processing of biomass into biogas. Based on the collected analysis can be noted that industrial hemp has the potential to produce biogas and heat. Pozder the woody part of the stem that is obtained after the fibers out from the stem, has twice the calorific value of beech wood. The yield of dry stalks is 10 t / ha and seed 1-2 kg / ha. Proteins hemp just as nutritious as soy, are also much cheaper than soy. Energy features of cannabis were 296 GJ / ha for biogas and 246 GJ / ha as a solid fuel. Briquettes of cannabis characterized faster weight loss during combustion, but compared to wood pellets.

# Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilite Josipa Jurja Strossmayera

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer hranidba domaćih životinja

Diplomski rad

## UTVRĐIVANJE BIOPLINSOG POTENCIJALA INDUSTRIJSKE KONOPLJE

(*Cannabis sativa L.*)

Valentina Crnac

### Sažetak

Naftne rezerve smanjuju, te se čovječanstvo mora pripremiti na promjene. U bližoj budućnosti morati će se pronaći pouzdan alternativni izvor energije. Osim ekonomske dobiti, izraženo je smanjenje stakleničkih plinova u atmosferi, a i mogućnost korištenja biomase kao gnojiva i na taj način smanjiti upotrebu umjetnih gnojiva. Na tom polju dobrim se pokazala prerada biomase u bioplin. Na temelju prikupljeni analiza može se primjetiti da industrijska konoplja ima potencijal za proizvodnju bioplina i toplinske energije. Pozder je drvenasti dio stabljike koji se dobiva nakon što se vlakna izdvoje iz stabljike, ima dva puta veću ogrjevnu vrijednost od bukova drveta. Prinos suhe stabljike je 10 t/ha, a sjemena 1-2 kg/ha. Proteini konoplje jednako su hranjivi kao i sojini, također su i mnogo jeftiniji od sojinih. Energetske karakteriske konoplje su 296 GJ/ha za bioplin i 246 GJ/ha kao kruto gorivo. Brikete od konoplje karakterizira brži gubitak mase tijekom izgaranja, a u usporedbi s drvenim peletama.

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

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

**Broj stranica:** 52

**Broj grafikona:** 14

**Broj slika:** 12

**Broj tablica:** 5

**Broj literaturnih navoda:** 35

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** biomasa, bioplin, industrijska konoplja (*Cannabis sativa L.*), toplinska energija,

**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 u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d.

## Basic documentation card

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Faculty of Agriculture

Graduate thesis

University Graduate Studies, feeding farm animals, course

### DEREMINATION OF BIOGAS POTENTIAL OF INDUSTRIAL HEMP

(*Cannabis saastiva L.*)

Valentina Crnac

#### Abstract:

Oil reserves are reduced, and the people must prepare for the changes. In the near future they will have to find a reliable alternative source of energy. In addition to economic benefits, expressed the reduction of greenhouse gases in the atmosphere, and the possibility of using biomass as a fertilizer and thus reduce the use of fertilizers. In this field has proved to be a good processing of biomass into biogas. Based on the collected analysis can be noted that industrial hemp has the potential to produce biogas and heat. Pozder the woody part of the stem that is obtained after the fibers out from the stem, has twice the calorific value of beech wood. The yield of dry stalks is 10 t / ha and seed 1-2 kg / ha. Proteins hemp just as nutritious as soy, are also much cheaper than soy. Energy features of cannabis were 296 GJ / ha for biogas and 246 GJ / ha as a solid fuel. Briquettes of cannabis characterized faster weight loss during combustion, but compared to wood pellets.

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

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

**Number of pages:** 52

**Number of figures:** 14

**Number of tables:** 12

**Number of references:** 5

**Number of appendices:** 35

**Orginal in:** Croatian

**Key words:** biomass, biogas, industrial hemp (*Cannabis sativa L.*), thermal energy,

**Thesis defendet on date:**

**Reviewers:**

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

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