

# PROIZVODNJA SILAŽNOG SIRKA ZA BIOPLIN

---

**Prgić, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2014**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:454115>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-27**



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](#)



SADRŽAJ.....	1
1. UVOD.....	4
1.1. Gospodarska važnost sirka.....	4
1.2. Rasprostranjenost sirka .....	5
1.3. Porijeklo sirka .....	6
2. PREGLED LITERATURE.....	7
2.1. Botanička sistematika sirka.....	7
2.2. Klasifikacija sirka.....	7
2.3. Morfološka svojstva sirka.....	8
2.3.1. Korijen.....	8
2.3.2. Stabljika .....	8
2.3.3. List.....	9
2.3.4. Cvat.....	9
2.3.4. Plod.....	9
2.4. Agro - ekološki uvjeti uzgoja sirka.....	10
2.4.1. Toplina.....	10
2.4.2. Svjetlost.....	11
2.4.3. Voda.....	11
2.4.4. Tlo.....	11
2.5. Agrotehnika uzgoja sirka.....	12
2.5.1. Plodored.....	12
2.5.2. Obrada tla .....	12
2.5.3. Gnojidba.....	13
2.5.3.1. Vrijeme primjene gnojiva.....	14
2.5.4. Sjetva.....	14
2.5.4.1. Pogreške tijekom sjetve.....	18
2.5.4.1.1. Nedovoljan količina biljaka u pojedinim dijelovima polja.....	18
2.5.4.1.2. Nedovoljan broj biljaka na većoj površini polja.....	18
2.5.5. Njega usjeva.....	19
2.5.5.1. Zaštita od korova.....	20
2.5.5.2. Zaštita od bolesti.....	24
2.5.5.2.1. <i>Exerohilum turcicum</i> .....	24
2.5.5.3. Zaštita od štetnika.....	25
2.5.5.3.1. Kukuruzna zlatica ( <i>Diabrotica virgifera</i> ).....	25

2.5.5.3.2. Kukuruzni plamenac ( <i>Ostrinia nubilalis</i> ).....	26
2.5.5.3.3. Žičnjak (vrste <i>Agriotes</i> ).....	26
2.5.5.3.4. Lisne uši.....	26
2.6. Žetva.....	27
2.7. Siliranje sirka.....	28
2.8. Tehnologija proizvodnje bioplina.....	33
2.8.1. Bioplin obnovljivi izvor energije.....	33
2.8.2. Anaerobna digestija (AD).....	36
2.8.2.3. Proces anaerobne digestije.....	36
2.8.2.4. Supstrati.....	36
2.8.2.5. Biokemijski proces anaerobne digestije.....	37
2.8.2.6. Parametri anaerobne digestije.....	37
2.9. Bioplinsko postrojenje.....	38
2.9.1. Planiranje i gradnja bioplinskog postrojenja.....	38
2.9.2. Dijelovi bioplinskog postrojenja.....	39
2.10.1. Skladištenje i kondicioniranje sirovine.....	40
2.10.2. Sustav punjenja.....	41
2.10.3. Fermentatori.....	42
2.10.4. Sustav grijanja.....	43
2.10.5. Sustav održavanja.....	44
2.10.6. Sustav miješanja.....	44
2.10.7. Spremište bioplina.....	45
2.10.8. Baklja.....	47
2.10.9. Skladišta digestata.....	48
2.10.10. Kongeneracijsko postrojenje.....	48
2.10.11. Kontrolna jedinica.....	49
2.10.12. Sustav čišćenja bioplina (desumporizacija i sušenje).....	50
2.11. Nedostatci proizvodnje bioplina.....	51
3. MATERIJAL I METODE.....	52
4. REZULTATI.....	58
4.1. Prosječni prinosi svježe mase i suhe tvari.....	58
4.2. Procijenjeni prinosi bioplina i metana.....	60
5. RASPRAVA.....	62
5.1. Prinosi suhe tvari i procijenjeni prinos bioplina i metana.....	62

5.2. Vremenske prilike.....	63
5.3. Potencijal proizvodnje bioplina u Republici Hrvatskoj.....	68
5.3. Strategijski ciljevi energetskog razvoja Republike.....	69
6. ZAKLJUČAK.....	71
7. LITERATURA.....	72
8. SAŽETAK.....	74
9. SUMMARY.....	75
10. POPIS TABLICA.....	76
11. POPIS GRAFIKONA.....	77
12. POPIS SLIKA.....	78
13. ZAHVALA.....	80
14. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	81
15. BASIC DOCUMENTATION CARD.....	82

## 1. UVOD

Suvremena civilizacija je u potrazi za rješenjima za mogućim smanjenjem ovisnosti o fosilnim izvorima energije. Jedno od mogućih rješenja je proizvodnja i korištenje bioplina za proizvodnju toplinske i električne energije. Republika Hrvatska s izuzetnim poljoprivrednim potencijalom ima izuzetne mogućnosti za proizvodnju bioplina iz energetskih biljaka.

Jedna od najvažnijih energetskih biljaka za proizvodnju bioplina je sirak. Prema KWS-u (2012.) sirak za bioplin u Njemačkoj predstavlja jednu sasvim novu kulturu. U prošlosti su sa ovom vrstom biljke vršena različita ispitivanja s ciljem dobivanja šećera. Od daljih pokušaja uzgoja se odustalo, s obzirom da je šećerna repa pokazala jasan napredak u toleranciji na bolesti i prinosu. Isto tako pokazala se i mnogo boljom za proizvodnju šećera.

Poljoprivredna praksa je u stalnoj potrazi za novim kulturama koje daju još veće prinose biomase. Tu je u fokus znanosti i prakse došao sirak, kao biljka koja daje velik prinos biomase, i tolerantna je na sušu. Nakon prvih, dosta obećavajućih istraživanja, u KWS-u je 2007. godine pokrenut program selekcije sirka za bioplin. Na taj način se počeo ostvarivati doprinos diversifikaciji poljoprivredne proizvodnje i energetske neovisnosti.

Veoma složenim metodama selekcije u ranoj su fazi razvijeni su hibridi koji su se pokazali dobro prilagođenima našim okolišnim uvjetima.

### 1.1. Gospodarska važnost sirka

U područjima s malo padalina, sirak predstavlja značajnu kulturu za ishranu ljudi (zrno) i stoke (zrno i čitava biljka) (Stjepanović, 2002.). Zrno sirka upotrebljava se u industriji: alkohola, škroba, glukoze, ulja, glutena i dr (Pospišil, 2010.). Sok šećernog sirka sadrži:

13% do 17% šećera, od čega je 8% do 15% glukoza, te se koristi za proizvodnju sirupa. Cijela biljka koristi se u industriji četki i metli. Metle i četke proizvode se od tehničkog sirka.

Zeleni sirak se ranije manje upotrebljavao zbog prisutnosti cijanogenih glikozida durina (koji uzrokuje oslobađanje cijanovodične kiseline HCN). Sadržaj cijanovodične kiseline u krmi kod sirka smanjuje se sušenjem. Zbog toga je u sijenu cijanovodična kiselina (HCN) samo ponekad opasna. Agrotehnička važnost sirka nije velika jer se sije na malim površinama. Sirak može dobro iskoristiti slabije plodna i sušnija tla. Potencijalna rodost sirka je velika, pa se može vrlo dobro uklopiti u plodored.

Danas se sirak više koristi za proizvodnju voluminozne krme jer su dobivene nove sorte i hibridi sirka sa minimalnim količinama cijanovodične kiseline.

U proizvodnji voluminozne krme osim za ishranu u svježem stanju, koristi se u obliku silaže i sijena. Kvaliteta krme ne zaostaje iza kvalitete kukuruzne krme. Sirak se očituje visokim potencijalom rodosti, osobito ako se radi o krmnim sirkovima, koji imaju visoku biološku sposobnost regeneracije.

Mogu se kositi 2 do 3 puta. Kod nas je poznat hibrid njemačkog porijekla "Sweet Sioux". Hibrid sirka koji se dobro regenerira i dobro busa, dajući sočnu masu za zelenu ishranu (ispašom ili košnjom), silažu, sijeno i dehidraciju.

Sirak u čistoj kulturi ima nizak sadržaj bjelančevina. Zbog toga ga je dobro sijati u smjesi sa leguminozama. Hibridi sirka za voluminoznu krmu su: Sweet Sioux, Kws 736,GKI – 1, a za proizvodnju zrna Hybar 456.

Sirak za razliku od kukuruza bolje podnosi nepovoljne uvijete uzgoja. Ima veću otpornost na sušu, manje zahtjeve prema tlu, a može uspijevati i na slanim tlima (Stjepanović, 2002.).

## 1.2. Rasprostranjenost sirka

Sirak je biljka kratkog dana, tropskog porijekla. Optimalni uvjeti za uzgoj sirka su između: 25° s.g.š. te između: 13° i 35°j.g.š. Zahvaljujući velikom broju hibrida i sorata, sirak se može uzgajati i iznad 45° s.g.š.

Prema ukupno zasijanim površinama u svijetu sirak je četvrta žitarica iza: pšenice, riže i kukuruza. U svijetu se sije na oko 40 milijuna hektara, a najveće su površine u: Indiji, Nigeriji i Sudanu.

Prosječni prinosi zrna sirka u svijetu kreću se od 1,3 t/ha do 1,5 t/ha. Najviši prinosi ostvaruju se u Argentini kreću se od 4,6 t/ha do 5,4 t/ha.

Najveći proizvođači sirka su: SAD s proizvedenih od 7,0 do 12,8 milijuna tona zrna godišnje u razdoblju od 2003 do 2007. god., te Nigerija s proizvedenih od 8,0 do 10,5 milijuna tona zrna sirka godišnje (Pospišil, 2010.).

U Republici Hrvatskoj sirkom se siju vrlo promjenjive veličine površina, obično na oko 500ha, i to najviše u istočnom dijelu Hrvatske.

To je zaista malo, i sisanje sirka moglo bi se povećati tamo gdje kukuruz slabije uspijeva. Prirodi koje dobivamo također su niski. Zbog toga treba puno raditi na stvaranju boljeg sortimenta i istraživanjima utvrditi odgovarajuću agrotehniku. Na taj način bismo dobro iskoristili visok proizvodni potencijal hibrida sirka (Gagro, 1997.).

### 1.3. Porijeklo sirka

Sirak je porijeklom iz sjeveroistočne četvrtine Afrike. Odatle se proširio na cijeli afrički kontinent, zatim u Indiju i odatle dalje na ostalo uzgojno područje. Na tom prostoru je najveća varijabilnost divljih i kultiviranih vrsta. Vjerojatno je kulturnom postao u Etiopiji selekcijom iz divljih vrsta prije 5000 do 7000 godina. Iz ishodišnih centara je trgovačkim plovnim pravcima proširen po Africi. Zatim preko Bliskog istoka do Indije prije otprilike 3000 godina. U isto vrijeme je Putem svile dospio u Kinu. Trgovinom robljem je iz zapadne Afrike prenesen u Sjevernu i Južnu Ameriku. Danas je široko rasprostranjen u suhim područjima Afrike, Azije, obje Amerike i u Australiji (Slika 1.) (Kovačević i Rastija, 2009.).



Slika 1. Rasprostranjenost sirka u svijetu.

Izvor: Izvor: <http://www.kws.de/aw/KWS/Serbia/~enjb/Sirak>

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Botanička sistematika sirka

Sirak spada u: red *Poales*, porodicu *Poaceae* i potporodicu *Panicoideae*. Rod *Sorghum* dijeli se u 6 podrodova: *Sorghum* (sin. *Eusorghum*), *Parasorghum*, *Chatosorghum*, *Stiposorghum*, *Sorghastrum* i *Heterosorghum*. Podrod *Sorghum* dijeli se na dvije skupine:

*Arundinacea* u koju spadaju jednogodišnje i višegodišnje vrste bez rizoma, *Halepensis* koja uključuje dvije višegodišnje vrste koje imaju rizome.

U skupinu *Arundinacea* spadaju kultivirane vrste sirka. Do danas je opisana je 31 vrsta kultiviranog i 17 vrsta divljega sirka.

Od njih su najvažnije slijedeće vrste:

1. *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sin. *Sorghum vulgare* Pers., *Sorghum sorghum* L., *Andropogon sorghum* (L.) Brot.) - obični sirak koji ima više podvrsta i kultivara
2. *Sorghum sudanense* Piper. - sudanska trava
3. *Sorghum halepense* (L.) Pers.- Johnson grass - divlji sirak

S obzirom na oblik metlice vrsta *Sorghum bicolor* (L.) Moench dijeli se na dvije podvrste:

1. *Sorghum bicolor* ssp. *contractum* Korn – koji ima zbijenu metlicu
2. *Sorghum bicolor* ssp. *sffusum* Korn – koji ima rastresitu metlicu (Pospišil, 2010.).

### 2.2. Klasifikacija sirka

Prema načinu korištenja sirak se dijeli na:

Sirak za zrno – *Sorghum vulgare* var. *eusorghum*: višeg je rasta, sa zbijenom ili uvinutom metlicom. Zrno je bez pljevica. Služi za prehranu domaćih životinja jer daje kvalitetno zrno. Hibridi ostvaruju visok prirod zrna (Gagro, 1997.).

Šećerani sirak – *Sorghum vulgare* var. *saccharatum*: ima visoku stabljiku, koja u povoljnim uvjetima može narasti i do šest metara. Najčešće naraste do 3m.

Srž stabljike ima puno soka koji sadrži od 10% do 15% šećera, uglavnom monosaharida glukoze. Ona služi za dobivanje sirupa koji je pogodan za: proizvodnju konditorskih proizvoda, slastica, pekmeza itd (Gagro, 1997.).



Tehnički sirak – *Sorghum vulgare* var. *tehnicum*: uzgaja se za proizvodnju metlica s dijelom stabljike. Od metlica se proizvode: metle, četke i dr. proizvodi. Metlica ima skraćenu glavnu granu, a razvijene su i dugačke bočne grane. One mogu biti: elastične, tvrde i izdržljive. Prirod sjemena je manji, jer se sjeme nalazi na rubovima grana. Sjeme se posebno ovrši i upotrebljava za prehranu domaćih životinja ili u druge svrhe (Gagro, 1997.).

Sirak za sijeno i pašu – sudanska trava (*Sorghum sudanense* Piper): ima vrlo veliko busanje. Stvara veliku biljnu masu. Stabljika je tanka. Ima sposobnost regeneracije pa se koristi u više otkosa za sijeno, a nakon toga se može koristiti za pašu (Pospišil, 2010.).

Sirak za zelenu krmu i pašu – krmni sirak: koristi se kao stočna hrana ili za silažu. Hibridi namijenjeni za korištenje za zelenu krmu imaju mogućnost brze regeneracije i na taj način osiguravaju više otkosa tijekom vegetacije. To su hibridi visoke stabljike ispunjene parenhimom i sadrže dosta šećera (Pospišil, 2010.).

## 2.3. Morfološka svojstva sirka

### 2.3.1. Korijen

Korijen sirka je vrlo dobro razvijen i razgranat. Sastavljen je od mnogo tankih i dugačkih žila. Sirak klije s jednim primarnim korjenčićem. U fazi 3 lista formira se sekundarno korijenje. Korijen sirka može prodrijeti u tlo do 2,5m dubine, a bočno u promjeru 1,2m. Zbog dobre razvijenosti korijena i velike usisne moći, sirak je vrlo otporan na sušu. U početku metličanja iz donjih nodija stabljike formira se zračno korijenje (Pospišil, 2010.).

### 2.3.2. Stabljika

Stabljika sirka je: člankovita, uspravna, ispunjena parenhimom. Broj nodija je sortna osobina. Kreće se od 5 do 25 ovisno o dužini vegetacije. Visina stabljike varira od ispod 1m pa do 6m do 7m. U svom donjem dijelu stabljika je sastavljena od kratkih ižebljenih internodija. Iz nodija stabljike mogu izbiti bočne grane. Iz donjih nodija stabljike izbija zračno korijenje, a mogu se razviti i zaperci. U busanju sirak razvija nekoliko stabljika od kojih se razvije 4 do 5 (Pospišil, 2010.).

### 2.3.3. List

List je vrlo sličan kukuruzu. Plojka lista je nešto uža nego kod kukuruza (dužine 40cm do 80cm i širine 5cm do 14cm). Centralna žila lista je: vrlo razvijena, sjajna, elastična i s voštanom prevlakom (plavozelene boje). U uvjetima suše i visokih temperatura list se savija, što omogućuje štednju vode (Kovačević i Rastija, 2009.).

### 2.3.4. Cvat

Cvat sirka je metlica. Metlica razvija s duge ili kratke bočne grane što ovisi o podvrsti. Prema obliku može biti: rastresita i zbijena. Grančice cvati završavaju s dva jednocvjetna klasića. Jedan je sjedeći i plodan, drugi ima dršku i neplodan je. Neplodni cvjetić ima samo tri prašnika i nakon cvatnje otpada. U plodnim cvjetovima nalaze se: tri prašnika i jedan tučak s dvoperjastom njuškom. Iz oplodnog cvjeta razvije se zrno koje je: čvrsto obuhvaćeno tvrdim i kožastim pljevama, dok su pljevice mekane i tvrde (Pospišil, 2010.).

### 2.3.4. Plod

Plod sirka je zrno. Može biti s pljevom ili bez pljeva i pljevica. Boja pljeva može biti različita. Zrno može biti: okruglo ili ovalno, jajasto ili kruškasto. Masa tisuću zrna iznosi 20g do 30g, a hektolitarska se težina kreće oko 60kg do 70kg. Zrno sadrži: 70% do 80% ugljikohidrata, 10% do 13% bjelančevina, 3% do 3,5% masti, 1,5% celuloze i 1,5% mineralnih tvari. Duljina vegetacije sirka kreće se od 3,5 do 4,5 mjeseca (Kovačević i Rastija, 2009.).

## 2.4. Agro - ekološki uvjeti uzgoja sirka

### 2.4.1. Toplina

Sirak je porijeklom iz tropskih predjela i toplina je izuzetno važna za njegov rast i razvoj.

Samo riža ima veće zahtjeve prema toplini od sirka. Ukupna suma topline za vegetaciju iznosi 2,600 °C. Tu postoje odstupanja ovisno o različitim duljinama vegetacije različitih hibrida sirka (Gagro, 1997.).

Sirak ima velike zahtjeve prema toplini. Previsoke temperature u razdoblju od sjetve do busanja kada još nije formiran jak korijenov sistem, djeluju negativno na rast i razvoj sirka. U kasnijim fazama rasta i razvoja sirak vrlo dobro podnosi visoke temperature.

Za klijanje i nicanje minimalna temperatura tla je 10°C do 12°C, a kod nekih hibrida i viša (Pospišil, 2010.).

Sirak može izdržati visoke temperature do 45°C. Optimalna temperatura za rast i razvoj sirka kreće se od 27°C do 30°C. Neki istraživači navode i višu temperaturu (od 32°C do 33°C).

Sirak ne podnosi niske temperature. Pri temperaturama ispod 15°C slabije raste. Ispod 10°C zaustavlja porast. Kratkotrajni mrazevi (-2°C) uništavaju ga (Gagro, 1997.). Utjecaj različitih temperatura na klijanje sjemena prema KWS – u (2012.) prikazan je tablicom 1.

Tablica 1. Utjecaj različitih temperatura na klijanje sjemena (KWS, 2012.).

Temperatura zemljišta	Utjecaj na sjeme	Utjecaj na nicanje	Očekivano trajanje do nicanja
12 °C	Sporo klijanje omogućava dovoljno vremena za napad bolesti i štetočina, veća ugroženost biljke	Loše nicanje u kombinaciji s napadom bolesti	>14 dana
15 °C	Zadovoljavajuće klijanje	Bolje nicanje slabija pojava bolesti	7-12 dana
16 °C	Relativno brzo klijanje	Dovoljno brzo nicanje	
18 °C	Relativno brzo klijanje	Dobro, brzo, nicanje	5-7 dana
20 °C	Idealno klijanje	Idealno nicanje	

#### 2.4.2. Svjetlost

Sirak je biljka kratkoga dana. Neki hibridi sirka nisu osjetljivi na duljinu dana pa su pogodni za uzgoj u našem uzgojnom području (Gagro, 1997.).

#### 2.4.3. Voda

Sirak je prilagođen širokom rasponu agroekoloških uvjeta. Osobito je prilagođen suši (otporan je na sušu u tlu i nisku relativnu vlagu zraka).

Ima niz morfoloških i fizioloških karakteristika koje doprinose adaptaciji sirka prema suši (npr. širok korjenov sustav, voštana na listovima koja smanjuje gubitak vode, sposobnost zaustavljanja rasta u uvjetima suše i njegov nastavak kada se uvjeti vode poprave). Transpiracijski koeficijent sirka je relativno nizak i iznosi oko 250. Otporan je na plavljenje vodom (zadržavanje vode u zoni korijena) i može uspijevati i u područjima s mnogo kiše. Sirak je prvenstveno usjev vrućih semiaridnih tropskih predjela s 400mm do 600mm godišnje, što je nedovoljno za kukuruz. Također je rasprostranjen u područjima s umjerenom klimom, te u tropskom pojasu do 2,300m nadmorske visine (Kovačević i Rastija, 2009.).

#### 2.4.4. Tlo

Sirak se može uspješno uzgajati na različitim tlima. Dobro je prilagođen teškim tipovima tla. Vrlo dobro uspijeva u tropskom pojasu na tlu tipa vertisol, gdje je potrebna otpornost prema višku vode u tlu. Uspijeva na laganim pjeskovitim tlima. Tolerira širok raspon pH tla od 5,0 do 8,5. Tolerantniji je od kukuruza na zaslanjena tla. Dobro je adaptiran na loša tla na kojima mnogi drugi usjevi propadnu (Kovačević i Rastija, 2009.).

## 2.5. Agrotehnika uzgoja sirka

### 2.5.1. Plodored

Sirak treba uzgajati u plodoredu. Na lošim tlima možemo ga stavljati na prvo mjesto u plodoredu. Na takovim tlima će, u odnosu prema drugim kulturama imati najpovoljnije rezultate (Gagro, 1997.).

Najbolji predusjevi za sirak su: jednogodišnje i višegodišnje mahunarke, smjese mahunarki i žitarica, strne žitarice šećerna repa i krumpir. Dobar predusjev su i ozime kupusnjače ako u njima nisu primijenjeni herbicidi na bazi aktivne tvari trifluralin.

Sirak je dobar predusjev za jare kulture. U tom slučaju je potrebna pojačana gnojidba dušikom s obzirom da, sirak ima vrlo velike potrebe za dušikom.

Za ozime žitarice sirak nije dobar predusjev jer ima dužu vegetaciju od kukuruza. Tlo se zbog toga ne može pravovremeno pripremiti za sjetvu. Sirak u tlu ostavlja veliku količinu korijenove mase. Zbog toga obrada tla može biti otežana i može izazvati dušičnu depresiju kod naredne kulture (Pospišil, 2010.).

U tom slučaju morali bismo gnojiti tlo s povećanim količinama dušičnih gnojiva. Zato je plodored najbolje isplanirati tako da nakon sirak dolaze jare kulture.

Sirak ima jako razvijen korijenov sustav znatne usisne moći. Korijen ima male zahtjeve prema tlu. Zato ga možemo sijati na tlima lošije plodnosti, na laganim i slanim tlima. Ukoliko želimo postići visoke prinose sirak je potrebno uzgajati na plodnim i strukturnim tlima (Gagro, 1997.).

### 2.5.2. Obrada tla

Obrada tla provodi se prema istim načelima i na isti način kao za kukuruz. Sirak sijemo kasnije od kukuruza. Zato postoji veća opasnost od isušivanja tla i zakorovljavanja. Da bi se to spriječilo, potrebno je tlo kultivirati do sjetve. Sirak ima sitnije sjeme, i usporeni početni razvoj, pa tlo za sjetvu treba fino prirediti da bi mogli sjetvu kvalitetno obaviti te ubrzati i izjednačiti klijanje i nicanje (Gagro, 1997.).

Ako je predusjev bio strna žitarica, odmah nakon žetve treba obaviti prašenje strništa. Duboko oranje obavlja se lemešnim plugom na dubinu od 30cm do 35cm.

Na lakšim tlima potrebno je pliće, a na težim tlima dublje oranje. Osnovna obrada tla obavlja se u jesen. Može se obaviti i u proljeće što ovisi o: predusjevu, svojstvima tla, vlažnosti i nagibu terena.

U proljeće se obavlja tanjuranje i drljanje. Ako je stanje tla povoljno, dovoljno je predsjetvenu obradu obaviti sjetvospremačem ili zvrk drljačom.

Sjetveni sloj treba biti dubok od 4cm do 6cm, površina tla na kojem se sije krmni sirak mora biti ravna jer je inače otežana košnja. Površina za sjetvu sirka treba biti čista od korova. Sjetva sirka se obavlja kasnije od kukuruza. Ako je potrebno, prije sjetve se može napraviti 1 do 2 plošne kultivacije radi mehaničkog uništavanja korova i kvalitetnije sjetve (Pospišil, 2010.).

### 2.5.3. Gnojidba

Osnovni pristup u gnojidbi sirka isti je kao i u gnojidbi kukuruza i pšenice. Sirak ima visoki proizvodni potencijal. Ukoliko ga u proizvodnji želimo iskoristiti, gnojidbu treba prilagoditi plodnosti tla i planiranom prirodo.

Skromnijih je zahtijeva od kukuruza, pa su manje ukupne količine čistih hranjiva koje treba osigurati gnojidbom. Ako gnojimo organskim gnojivima, potrebno je za odgovarajuću količinu smanjiti mineralna gnojiva.

Na prosječno plodnim tlima potrebno je osigurati :130kg - 160kg N/ha,

130kg – 150kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha

130kg /ha K<sub>2</sub>O (Gagro, 1997.).

Sirak za proizvodnju zrna gnoji se u ovisnosti o plodnosti tla sa :

100kg – 120kg N/ha,

80kg – 100kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha,

120kg – 160kg K<sub>2</sub>O/ha.

Za proizvodnju zelene mase, ovisno o hibridu sirka i broju otkosa, gnoji se sa:

150kg – 180kg N/ha.

Kod većih količina dušika postoji opasnost od trovanja stoke škodljivim dušičnim spojevima ako se zelena masa koristi 18 dana poslije gnojidbe (Pospišil, 2010.).

#### 2.5.3.1. Vrijeme primjene gnojiva

Dvije trećine fosfora i kalija dodaju se prije osnovne obrade tla. Ostatak fosfora i kalija te jedna trećina dušika primjenjuje se prije predsjetvene pripreme tla (Pospišil, 2010.).

Fosforna i kalijeva gnojiva dodaju se u omjeru: 25:25 ili 25:15 i to 400kg/ha. Prema plodnosti tla i željenom prinosu, zaorava se istovremeno s: 25t/ha do 35 t/ha stajnjaka.

Pri predsjetvenoj pripremi dodaje se još 300kg/ha mineralnih gnojiva NPK u omjeru: 10:12:26, za prihranjivanje se dodaje još: 30kg do 40kg /ha dušika.

Ako se usjev uzgaja bez stajnjaka, količina mineralnih gnojiva povećava se za 30% do 50%. Ostatak dušika dodaje se u prihranama. Prihrana sirka obavlja se u fazi 3 do 4 lista kada se dodaje jedna trećina dušika. Druga prihrana obavlja se u fazi intenzivnog porasta s preostalom količinom dušika. Ukoliko se sirak uzgaja za proizvodnju biljne mase iza svakog otkosa potrebno je obaviti prihranu sa 40kg do 50kg dušika po hektaru.

Za proizvodnju tehničkog sirka upotrebljavaju se iste količine dušika, ali je prihranjivanje dušikom obzirnije. Gnojiva se dodaju u manjoj količini, a usjev se prihranjuje u početnim stadijima razvoja (Tavčar, 1973.).

#### 2.5.4. Sjetva

Za sjetvu treba koristiti kvalitetno doručeno sjeme. Termin sjetve ovisi o namjeni sirka (Gagro, 1997.). Sirak se sije iza kukuruza kada je temperatura tla na 10cm dubine 12°C do 15°C. Kao glavni usjevi sirak se sije: od 1. svibnja do 31. svibnja, a kao naknadni – postrni: od 1. lipnja do 20. lipnja (Pospišil, 2010.). Šećerni sirak možemo sijati nakon ozimih kultura. Iza ranih strnina uljane repice ili drugih ranih kultura, sirak se može uzgajati kao postrna kultura (Gagro, 1997.).

Međuredni razmak ovisi o svrsi uzgoja sirka. Za proizvodnju zelene mase je 25cm ili 45cm, a tehnički sirak i sirak zrnaš siju se na razmak redova od 50cm ili 70cm. Optimalna gustoća sklopa za sirak za zrno i tehnički sirak iznosi: 50,000 bilj./ha do 60,000 bilj./ha, a za šećerni sirak: 70,000 bilj./ha do 80,000 bilj./ha i ovisi o dužini vegetacije hibrida i tipu metlice (Pospišil, 2010.). Sirak za proizvodnju zelene mase sije se u sklopu 400,000 bilj./ha do 500,000 bilj./ha, u užim redovima (Gagro, 1997.). Gustoća sjetve sirka za proizvodnju zelene mase je: 90 do 100 klijavih zrna/m<sup>3</sup>. Ovisno o krupnoći sjemena za sjetvu je potrebno od 10kg/ha do 30kg/ha (Pospišil, 2010.).

Količina sjemena ovisi o: njegovoj čistoći, klijavosti, masi 1000 zrna, gustoći sklopa, pripremi tla i uvjetima sjetve. Sirak ima relativno sitno sjeme i sije se na dubinu 2cm do 3cm, što ovisi o tipu i vlažnosti tla (Gagro, 1997.). Na sortnoj listi Republike Hrvatske 2009. god. nalazi se manji broj hibrida sirka. Za proizvodnju zrna: Hybar 346 i Rekord, sirak metlaš: Szegedi 1023 i krmni sirak: Sweet Sioux I, Sweet Sioux III, Grazer N, Speed feed, Superdan GKI-1. Hibridi sudanske trave su : Susu, Piper sweet sudan grass (Pospišil, 2010.). Chobotova i Babić (2012.) navode da se sjetva sirka, može se obaviti na više načina.

Model 1. : Tehnika sijanja: klasična pneumatska sijačica za kukuruz i šećernu repu.

Priprema tla: oranje s predsjetvenom pripremom. Ostvarena gustoća 20 biljaka/m<sup>2</sup> prikazana je na Slici 2. (Chobotova i Babić, 2012.).



Slika 2. Sjetva sirka pneumatska sijačicom za kukuruz ili šećernu repu.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sira>





Slika 3. Rezultat sjetve sirka pneumatskom sijačicom za kukuruz ili šećernu repu.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

Model 2. : Tehnika sijanja: predsjetvena priprema tla i sjetva u jednom proходу prikazani su na Slici 4. Priprema tla: oranje bez predsjetvene pripreme tla. Ostvarena gustoća: 15 do 18 bilj./m<sup>2</sup> (Chobotova i Babić, 2012.).



Slika 4. Predsjetvena priprema tla i sjetva u jednom proходу.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>



Slika 5. Rezultat predsjetvene pripreme tla i sjetve u jednom proходу.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

Model 3. : Tehnika sisanja: direktna sjetva. Prikazana je na Slici 6. Priprema tla obavlja se bez oranja i bez predsjetvene pripreme tla. Rezultat sjetve je ostvarena gustoća 4 do 5 bilj./m<sup>2</sup> (Chobotova i Babić, 2012.).



Slika 6. Direktna sjetva.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>



Slika 7. Rezultat direktne sjetve.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### 2.5.4.1. Pogreške tijekom sjetve

##### 2.5.4.1.1. Nedovoljan broj biljaka u pojedinim dijelovima polja

Uzroci nedovoljnog broja biljaka u pojedinim dijelovima polja:

- nedostatci povezani s zemljištem: (prevlažno zemljište, zbijanje zemljišta, kolotrazi)
- velike temperature na suhim, lakšim zemljištima
- različita raspoloživost vode
- ptice
- nedostatci sjemena ne bi trebali da budu razlog

##### 2.5.4.1.2. Nedovoljan broj biljaka na većoj površini polja

Uzroci nedovoljnog broja biljaka na većoj površini polja su:

Nedostaju cijeli redovi sjemena (biljaka):

- nastala oštećenja uslijed pogrešne primjene gnojiva kod gnojidbe ispod sjemena (ili upotreba neodgovarajućeg gnojiva kod gnojidbe istovremeno sa sjetvom - urea),
- loša pokrivenost sjemenom uslijed nedovoljne pripreme zemljišta (npr. kod sjetve preko ostataka stare kulture).

Valovit razvoj polja, grupe biljaka u različitim stadijima razvoja:

- neravnomjerna dubina postavljanja sjemena (često kod sjetve koja se obavlja istovremeno sa pripremom zemljišta ili kod direktne sjetve – bez oranja i bez predsjetvene pripreme zemljišta, kod sjetve pneumatskom sijačicom uzrok je prevelika brzina),
- premalo vode u klici uslijed lošega kontakta sa zemljištem.

Vrlo različit razvoj biljaka nakon klijanja:

- vrlo rastresito zemljište (loša opskrba klice vodom),
- sjeme posijano preduboko,
- nedostatak zraka uslijed prevlaživanja zemljišta,
- oštećenja od štetnika (žičnjaci, puževi),
- dugo razdoblje mirovanja neprokljalog sjemena u hladnom i mokrom tlu (vrlo rana sjetva).
- slabe dvostruke biljke i propusti uslijed sjetve u brazdama ili preskakanja sjemena (tup raonik za sijanje) i pogrešna rupičasta ploča kod sjetve pojedinačnih sjemena (dvostruko postavljanje sjemena).

Neprokljalo sjeme uz nenormalne zametke :

- nepovoljni uvjeti za klijanje (hladnoća /suša),
- neodgovarajuća priprema zemljišta(loša opskrba vodom),
- prekid klijanja uslijed hladnoće,
- neodgovarajuće čuvanje sjemena (vlaga, temperatura) (KWS, 2012.).

#### 2.5.5. Njega usjeva

U proizvodnji sirka provode se isti postupci njege kao i u proizvodnji kukuruza. Budući da se sirak sije kasnije, tlo je često suho, a i sjeme sirka je sitnije. Zbog toga je dobro poslije žetve obaviti valjanje. Na taj način ubrzava se i izjednačuje klijanje i nicanje osobito zbog toga što sirak u početnom razdoblju sporije raste. Ukoliko se stvori pokorica, potrebno ju je pravodobno usitniti drljanjem. Suzbijanje korova, međuredna kultivacija i prihrana obavljaju se kao i kod kukuruza. Sirak je otporan ili ima visoki stupanj otpornosti prema većini bolesti i štetnika pa ih u njegovoj proizvodnji praktički ne suzbijamo (Gagro, 1997.).

U Njemačkoj nije dozvoljeno nijedno sredstvo za zaštitu sirka. Međutim moguća je trgovina tretiranim sjemenom, ako je sredstvo za zaštitu dozvoljeno u zemlji članici Europske unije.

Za sirak su u Europskoj uniji dozvoljena sredstva za zaštitu:

Fungicidna sredstva za zaštitu od bolesti :

Maxim XL ( aktivna tvar: Fudioxonil i Metalaxim M ),

TMDT ( aktivna tvar: Thiram ),

Insekticidna sredstva za zaštitu: Mesurol (aktivna tvar:Methiocarb ),

Safner Concep III (Fluxofenim ), omogućuje upotrebu supstance S - Metolachlor protiv divljeg prosa (KWS, 2012.).

#### 2.5.5.1. Zaštita od korova

Uslijed sporoga razvoja mladih biljaka, mladi nasadi sirka moraju se zaštititi od korova kako bi se osigurao optimalan razvoj. U tu svrhu neizbježna je primjena herbicida. U praksi su se dobrim pokazale mješavine različitih proizvoda protiv korova i divljih trava (Slika 9.) (KWS, 2012.).

U slučaju posebno neravnomjernog rasta korova, može se primijeniti podjela supstanci, npr.:

Prije nicanja:

Radazin T50- u dozi 1,5 – 2,0 l/ha,

Dual 980 EC-u dozi 1,3 – 1,5l/ha,

B 235/CertolB- u dozi max.1,5 l/ha.

Poslije nicanja:

Gardo Gold- u dozi 2,0 l/ha,

B 235/Certol B u dozi 0,3l/ha,

Primextra Gold – u fazi razvoja 4 do 6listova. Suzbija uskolisne korove. Primjenjuje se u dozi 4,5 l/ha (u slučaju lakših i pjeskovitih tala do 4l/ha max).

U usjevu sirka ne smiju se koristiti:

Motivel - Nicosulfuron 40g,

Clio - Topramezone 336g,

Callisto - Mesotrione 100g,

Calaris - Terbutylazin 330g,

Mezotrione 70g,

Cato - 25% Rimsulforon,

Masis Ter - Foramsulfuron 300g,  
Idosulfuron-mehlnatrium 10g,  
Isoxadifen-ethyl(Safner) 300g,  
Simplex – Aminopyralid 30g,  
Fluroxypyr 100g,  
Micado – Suflocotrione 300g (Chobotova i Babić, 2012.).

Tablica 2. Sredstava za zaštitu usjeva sirka od korova (KWS, 2012.).

<p>Djelovanje preko tla</p>	<p>Gardo gold  Aktivna tvar: S-Metolachlor i Terbutylazin  Doza: 4l /ha  Suzbija: mišjakinju, konice, vrste pepeljuge, kamilice, lobode, bročike ljepuše i korovski proso</p> <hr/> <p>Spectrum  Aktivna tvar: Dimethylamid P  Doza: 1,4l/ha  Suzbija: mišjakinju, konice, vrste pepeljuge, kamilice, lobode, bročike i korovski proso</p> <hr/> <p>Stomp aqua  Aktivna tvar: Pendimethalin  Doza: 2,5l/ha  Suzbija: mišjakinju, vrste pepeljuge, lobode</p>
<p>Djelovanje preko lista  Preparati mogu da se uporebljavaju do stadija 3 lista(BBCH)</p>	<p>B 235 (Certol B)  Aktivna tvar: Bromoxynil  Doza: 1,5 l/ha  Suzbija: kamilice, štira, konice, bročike ljepuše, vrsta pepeljuga i loboda, pomoćnice, velikog i običnog dvornika i vijušca</p> <p>Arrat  Aktivna tvar: Tritosulforon + Dicamba  Doza: 0,2 l/ha u kombinaciji sa Dash (1 l/ha)  Suzbija: štir, vrsta dvornika, vrsta pepeljuga i loboda, kamilice, bročike lepuše, mišjakinje, obične krstice, uljevke, čičak</p> <hr/> <p>Mais-Banvel WG  Aktivna tvar: Dicamba  Doza: 0,5 l/ha  Suzbija. mišjakinje, vrsta pepeljuga i loboda, štira, konice, vrsta dvornika, poponca</p>
<p>Mješavina</p>	<p>Sredstava: Gardo Gold (2-0-2,5 l/ha i Certol B (0,3 l/ha) protiv korova  Sredstava: Gardo Gold (4 l/ha) i Certol B (0,3 l/ha) protiv korovskog prosa  - kombinacija Gardo Gold sa Mais Banvel WG (2,0-2,5 l/ha +0,35 kg/ha)  - kombinacija Gardo Gold sa Arrat i Dash (2,0-2,5 l/ha + 0,2 l/ha + 1,0 l/ha)</p>

Izbor odobrenih sredstava za zaštitu bilja kod mlade kulture još je uvijek ograničen. Bitno je da se usjev oslobodi korova i izbjegnu oštećenja sirka sredstvima za zaštitu bilja (Slika 8.)

(KWS, 2012.).



Slika 8. Oštećenje sirka od herbicida.

Izvor: <http://www.kws.de/aw/KWS/Serbia/~enjb/Sirak>





Slika 9. Učinkovitost zaštite usjeva od korova.

Bez tretiranja herbicidima lijevo

Tretiranje herbicidima desno

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### 2.5.5.2. Zaštita od bolesti

Do sada se bolesti sirka nisu pokazale kao problematičan čimbenik u uzgoju. U najznačajnije bolesti sirka svrstavamo:

##### 2.5.5.2.1. *Exerohilum turcicum*

Ranije poznatija i pod nazivom *Helminthosporium turcicum*. Bolest na početku razvoja na biljci razvija prozirne površine, koje se kasnije spajaju (Slika 10.). Sklonost biljaka, ovoj bolesti se povećava uslijed povećanih ljetnih temperatura i povećanih kišnih padalina u kasno ljeto. Najčešći izvori infekcije su inficirani ostaci listova.

Suzbija se fungicidima iz gurpe: Strobiluria i Azola. Kemijsko suzbijanje je u teoriji moguće, ali za njega ne postoji dozvola. Zbog toga je zabranjeno. U uzgoju sirka zdravstveno stanje listova predstavlja važan čimbenik selekcije.

Na taj se način stalno poboljšava HTR - tolerancija kod sirka (KWS, 2012.).



Slika 10. *Exerohilum turcicum* (*Helminthosporium turcicum*).

Izvor: <http://www.kws.de/aw/KWS/Serbia/~enjb/Sirak/>

### 2.5.5.3. Zaštita od štetnika

#### 2.5.5.3.1. Kukuruzna zlatica (*Diabrotica virgifera*)

Larve kukuruzne zlatice ne mogu da se razviju u usjevu sirka. Za njih su kukuruz i kineski šaš (*Miscanthus*) bolji domaćini (Slika 11.). Iz toga razloga je sirak pogodan kao rasterećenje za plodorede u kojima dominira kukuruz, koji može da bude zahvaćen kukuruznom zlaticom (KWS, 2012.).



Slika 11. *Diabroticae virgifera* na listu kukuruza.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### 2.5.5.3.2. Kukuruzni plamenac (*Ostrinia nubilalis*)

Kukuruzni plamenac napada i sirak. U usporedbi sa kukuruzom štete su manje. Sirak se zbog slabijeg razvoja mladih biljaka ne smatra primarnim ciljem za odlaganje jajašaca plamenca.. Zato je težište odlaganja jajašaca u usjevu kukuruza sa dobro razvijenim mladim biljkama (Slika 12.) (KWS, 2012.).



Slika 12. Kukuruzni plamenac (*Ostrinia nubilalis*) u stabljici sirka.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### 2.5.5.3.3. Žičnjak (vrste *Agriotes*)

Žičnjak pravi štete na sirku u ranim fazama uslijed nagrizanja sjemena ili zametka. Kod većih biljaka larve u zemljištu ulaze u stabljiku. To može dovesti do odumiranja cijele biljke. Međutim, trenutno nije izdana dozvola za insekticide za suzbijanje žičnjaka. Kao perspektivnu mjeru potrebno je ubrzati spor rast mladih biljaka sirka (KWS, 2012.).

#### 2.5.5.3.4. Lisne uši

Lisne uši na sirku napadaju sve površinske dijelove biljke. Kao posljedica njihovoga napada pojavljuju se deformacije na listovima (Slika 13.) i metlicama. Osim toga lisne uši prenose virusna oboljenja (KWS, 2012.).



Slika 13. Lisne uši na listu sirka.

Izvor: <http://www.kws.de/aw/KWS/Serbia/~enjb/Sirak>

## 2.6. Žetva

Sirak za proizvodnju zrna žanjemo u punoj zriobi. Ravnomjerno dozrijeva i ne osipa se. Žetva se obavlja adaptiranim žitnim kombajnom. Sirak se vrši tako da se podigne heder, ovisno o visini stabljike žetvu obavljamo bliže metlici. Ostatak stabljike je zelen i sadrži dosta hranjivih tvari, pa se silo - kombajnom pokosi za silažu. Zrno treba sušiti na 14% vlage i spremi kao i zrno drugih žitarica.

Sirak metlaš (tehnički sirak) žanjemo ručno u punoj zriobi. Odsijecamo stabljiku duljine 25cm do metlice. Ostatak se slabije opet može silirati metlice s dijelom stabljike suše se: prirodnim putem na polju, skladišnim prostorijama ili sušarama. Nakon sušenja na posebnim strojevima metlice se ovrše. Ovršeno zrno sprema se i koristi kao i sirak za zrno. Metlice se vežu, pakiraju i prosljeđuju u daljnju preradu.

U proizvodnji šećernog sirka ručno se odsijeku metlice, u vrijeme kad vršni internodiji do metlice postanu žućkaste boje. S metlice se: ovrši, osuši i koristi sjeme. Stabljika se žanje strojevima i odvozi na preradu.

Pri sadržaju suhe tvari od oko 28% i vlaknaste strukture može se očekivati manje izlivanje soka negoli kod silažnog kukuruza sa istim sadržajem suhe tvari.

Sirak za zelenu stočnu hranu i silažu žanje se silo - kombajnama u vrijeme pred metličanje, i u vrijeme metličanja, odnosno za silažu u metličanju. Nakon ove košnje može se dobiti još jedan slabiji otkos.

Prirodi sirka mogu biti vrlo visoki. S dosadašnjim hibridima moguće je postići oko 7 t/ha. Za uspješnu proizvodnju sirka važan je i izbor odgovarajućih hibrida (glavni ili postrni usjev) (Gagro, 1997.).



Slika. 14. Žetva silažnoga sirka silažnim kombajnom.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

## 2.7. Siliranje sirka

Nakon žetve silažnog sirka, ovisno o upotrebi sirak se silira. Silaža se upotrebljava u ishrani stoke i za proizvodnju bioplina. U ovome ću radu govoriti o upotrebi silaže sirka za proizvodnju bioplina.

Kao i većina krmnih usjeva, krmni sirak dobro reagira na usitnjavanje prilikom žetve za spravljanje silaže. Silaža će imati dobru proizvodnu kvalitetu ukoliko je sirak dobro isjeckan i ravnomjerno raspoređen u silažnom silosu. Kvaliteta silaže krmnog sirka se maksimalizira na razini između 60 % i 72 % vlažnosti stabljike sirka.

To se obično događa ukoliko je silaža srednje zbijena i jako zbijena. Žetva sirka s sadržajem vlage od 72 % može imati negativne posljedice uslijed siliranja i skladištenja. Takovu silažu nije preporučljivo koristiti u ishrani stoke (Rotha i sur., 2013.).

Siliranje počinje u silažnoj masi čija je pH vrijednost oko 6. U materijalu koji se silira nalazi se raznovrsna mikroflora.

Mikrofloru čine bakterije: mliječno - kiselinskog, octenog i propionskog vrenja. Tu se nalaze i nepoželjne bakterije buternog vrenja i veliki broj proteolitičkih bakterija, plijesni i kvasci. Kako se šećeri fermentiraju u kiseline, smanjuje se pH vrijednost se. Brzina zakisnjavanja u prva tri dana je presudna za kvalitetu silaže. Najpoželjnija grupa mikroorganizama su:

mliječno - kiselinske bakterije. Za intenzivan rad traže sredinu bez prisutnosti kisika i dovoljno šećera. Previranjem šećera stvara se mliječna kiselina i njenim nagomilavanjem pH vrijednost pada sa 3,8 na 4,2, a potom dolazi do prestanka rada i samih mliječno kiselih bakterija. U siliranoj hrani dolazi do potpune stabilizacije stanja i ona se može dugo čuvati. Mliječna kiselina je najukusnija za životinje, najsnažnija je kiselina u silaži i ima najveći potencijal brzog sniženja pH-a. Vrijednost silaže je veća što je udio mliječne kiseline veći u odnosu na druge proizvode fermentacije.

Bakterije octenog vrenja najzastupljenije su na početku siliranja kada u silažnom materijalu ima dovoljno kisika. Njihovim djelovanjem nastaju: octena kiselina i alkohol. Njihova povećana koncentracija nije poželjna, jer pogoršava miris i ukus silaže i smanjuje obujam konzumiranja.

Bakterije buternog vrenja su nepoželjne. Njihovi proizvodi su izuzetno nepovoljni sastojci hrane: buterna kiselina, butil alkohol i aceton. Plijesni su također nepoželjne i javljaju se tamo gdje silaža nije dovoljno sabijena i gdje je moguć pristup kisika. Razvijaju se u površinskim dijelovima silaže i pri izuzimanju. Plijesni potiču truležne procese. U određenim uvjetima njihovi proizvodi su: mikotoksini. Mikotoksini su jako štetne i otrovne tvari za životinje i ljude. Gljivice i kvasci se razvijaju kada ima dovoljno kisika. Razlažu ugljene hidrate do alkohola koji daje loš miris silaži, smanjuje hranljivu vrijednost i obujam konzumiranja.

(As Hibridi, 2013.).

Krma sirka se lagano suši. U zatvorenim silažnim silosima ili u vertikalnim silažnim silosima sušenje odnosno sazrijevanje silaže ovisi o hibridu sirka i dodavanju hranjivih tvari kako bi se sušenje silaže ubrzalo i ona mogla što prije upotrebljavati (Rotha i sur., 2013.).

Sirovina se skladišti prvenstveno radi kompenzacije sezonskih fluktuacija u opskrbi sirovinom.

Skladištenje može koristiti i za miješanje različitih sirovina (kosupstrata) radi kontinuirane primjene u digestoru. Vrsta skladišnih kapaciteta ovisi o sirovini. Skladišta se mogu klasificirati kao: bunker silosi za čvrstu sirovinu (primjerice: kukuruzna silaža), spremnici ili posude za skladištenje (tankovi) za tekuću sirovinu (primjerice: stajnjak). Bunker silosi obično imaju kapacitet za skladištenje sirovine na razdoblje duže od godine dana. U spremnicima se tekuća sirovina skladišti na nekoliko dana.

U nekim slučajevima se koriste vertikalni cilindrični silosi za skladištenje zrna ili stajnjaka. Dimenzioniranje kapaciteta za skladištenje temelji se na količinama namijenjenim za skladištenje, intervalima dostave, te dnevnim količinama unosa u digestor. Bunker silosi su originalno bili namijenjeni skladištenju silaže za potrebe stočarstva i tako se njihova sezonska dostupnost balansirala tijekom godine. Danas se taj koncept koristi sve više za skladištenje sirovine za proizvodnju bioplina ili energetskih usjeva. Silaža se mora raditi iz biljnog materijala sa stabilnim udjelom vlage (55% do 70%, ovisno o načinu skladištenja, stupnju kompresije i udjela vode koji će se izgubiti tijekom skladištenja). Prolazi kroz proces fermentacije gdje fermentacijske bakterije koriste energiju za proizvodnju hlapljivih masnih kiselina poput: acetata, propionata, laktata i butirata koje konzerviraju silažu. Rezultat toga je da silaža ima manji sadržaj energije od originalnog biljnog materijala, budući da su fermentacijske bakterije koristile nešto ugljikohidrata za proizvodnju hlapljivih masnih kiselina. U zemljama poput Njemačke, silaža se skladišti u bunker silose od betona, kako je prikazano slikom 15. Silaža se osim u bunker silose od betona može skladištiti i u velike hrpe na zemlji kako je prikazano slikom 16. Poslije skladištenja silaža se izgazi traktorom kako bi se što čvršće sabila i time istisnuo sav zrak. Smanjivanje količine kisika na najmanju moguću mjeru sprječava aerobne procese. Zato se obično silaža i pokriva plastičnim folijama koje se moraju čvrsto pričvrstiti gumama ili vrećama pijeska.

Drugi način je iskorištavanje prirodnih pokrivača poput sloja travnate silaže koja također može stegnuti silažu u bunker silosu. Na nekim se silosima sije pšenica, a neki uopće nisu pokriveni. To može smanjiti troškove, ali i povećati gubitak energije iz silaže. Kod bunker silosa se uvijek u obzir mora uzeti činjenica da silaža tijekom procesa fermentacije ispušta tekućinu koja može zagaditi vodotok ukoliko se ne poduzmu mjere predostrožnosti.

Visoki udio hranjivih tvari može dovesti do eutrofikacije (povećani rast algi – povećana primarna produkcija), a tekućina iz silaže sadrži nitratnu kiselinu koja je korozivna (Al Seadi i Kulišić, 2008.).



Slika 15. Bunker silos.

Izvor: [https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)



Slika 16. Kukuruzna silaža skladištena u velikoj hrpi na zemlji, pokrivena slojem travnate silaže

Izvor: [https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)



Prilikom siliranja sirka treba voditi računa o: potencijalu cijanovodične kiseline u sirku i toksičnosti nitrata u stabljici sirka. Pristupnost cijanovodične kiseline nema bitnu ulogu, ako se sirak bere za silažu, već samo ukoliko se upotrebljava svjež u ishrani stoke. Cijanovodična kiselina javlja se uglavnom kod mladih biljaka ili kod biljaka ubranih nedugo nakon mraza ili suše koja je uslijedila poslije kiše. Kod biljaka koje ponovno razvijaju nadzemnu masu poslije oštećenja od mraza izuzetno je visok sadržaj cijanovodične kiseline. No, to je rijetko problem prilikom siliranja sirka. Za upotrebu sirka u ishrani stoke treba pričekati 3 do 4 dana poslije mraza kako bi se smanjio povišeni sadržaj cijanovodične kiseline (Rotha i sur., 2013.).

Više parametara kao što su: veličina čestica, korištenje aditiva i trajanje siliranja, utječu na proces siliranja i kvalitetu silaže. Na taj način izravno ili neizravno utječu na proces dobivanja biometana. Prvoklasna kvaliteta silaže se općenito smatra kao preduvjet za visoke prinose metana.

Švicarski pokusi pokazuju značajno smanjenje prinosa bioplina zbog aerobnog kvarenja travne silaže. Odmah nakon otvaranja bala travne silaže prinos bioplina je bio 500 l/kg organske suhe tvari za pokvarenu silažu. Aditivi kod siliranja mogu utjecati na prinos metana: neizravno putem kvalitete silaže ili izravno pružanjem dodatne hrane za bakterije mliječne kiseline u vidu šećera. Tako se postiže postizanjem bolja enzimatska razgradivost organske tvari ili inhibiranje nepoželjnih mikroorganizama.

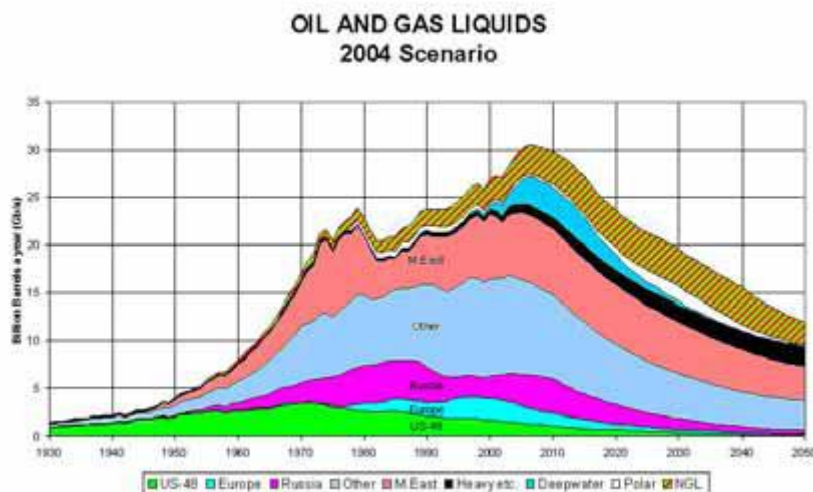
Pokusi u Finskoj, s četiri vrste silažnih aditiva rezultirali su: višim prinosima metana nakon šest mjeseci skladištenja kod svih aditiva u odnosu na netretiranu silažu. Najviši prinosi metana postignuti su: dodavanjem mravlje kiseline. Slabiji prinosi ostvareni su: mješavinom bakterija mliječne i propinske kiseline, enzima i mješovite kulture bakterija iz bioplinskog postrojenja. U kvalitetnim uvjetima siliranja prinos metana može se čuvati za mnoge mjeseci. U lošijim uvjetima skladištenja silaže više od polovice prinosa metana može izgubiti (\*\*\*, 2014.a).

## 2.8. Tehnologija proizvodnje bioplina

### 2.8.1. Bioplin obnovljivi izvor energije

Al Seadi i Kulišić (2008.) navode da je: današnja globalna opskrba snažno je ovisna o fosilnim izvorima energije (sirova nafta, željezna ruda ugljen i prirodni plin). Ovi izvori energije fosilizirani su ostaci biljaka i životinja koji su stotinama milijuna godina bili izloženi visokim temperaturama i tlaku unutar Zemljine kore. Zbog toga fosilna goriva su neobnovljivi izvori energije, čije se rezerve iscrpljuju znatno brže nego što se stvaraju nove.

Vrhunac korištenja naftnih derivata definiran je kao “trenutak u kojem je dostignuta maksimalna proizvodnja sirove nafte, nakon kojeg će razina proizvodnje nadalje padati“ (Grafikon 1.). Prema nekim autorima “naftni vrhunac“ se već događa ili se očekuje u nadolazećem razdoblju.



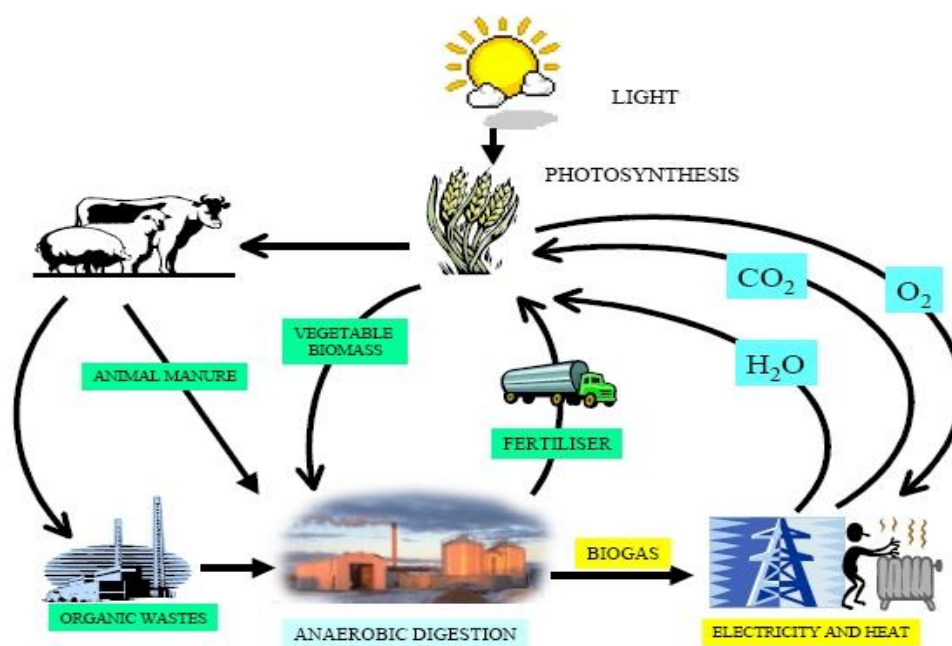
Grafikon 1. Predviđanja i vrhunac proizvodnje sirove nafte na svjetskoj razini

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Za razliku od fosilnih goriva, bioplin proizveden metodom anaerobne digestije je trajno obnovljiv izvor energije, budući da se proizvodi iz biomase koja u sebi procesom fotosinteze skladišti sunčevu energiju. Anaerobna digestija ne pridonosi samo energetsom balansu, pojedinih država, već i očuvanju prirodnih resursa. Povoljno djeluje i na okoliš.

Proizvodnja i korištenje bioplina iz anaerobne digestije ima pozitivan učinak na okoliš i društveno - gospodarske koristi za društvo u cjelini kao i za uključene poljoprivrednike (Slika 17.). Iskorištavanje unutrašnjeg vrijednosnog lanca bioplina poboljšava lokalne gospodarske uvijete i osigurava radna mjesta u ruralnim područjima. Na taj se način poboljšava i životni standard i doprinosi ekonomskom i socijalnom razvoju.

Uzgoj biljaka za proizvodnju bioplina u kombinaciji s vođenjem bioplinskog postrojenja čini tehnologiju proizvodnje bioplina ekonomski privlačnom za poljoprivrednike radi ostvarivanja dodatnog prihoda. Poljoprivrednici dobivaju novu i važnu ulogu kao proizvođači energije i obrađivači otpada.



Slika 17. Održivi ciklus proizvodnje bioplina anaerobnom digestijom.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

U posljednje se vrijeme naveliko koriste brojni energetske usjevi (pšenica, sirak, kukuruz, uljana repica i ostalo) kao sirovina za proizvodnju bioplina. Osim ovih sirovina, sve vrste poljoprivrednih ostataka – usjeva koji su neprihvatljivi za prehranu ljudi i životinja (primjerice, propali usjevi uslijed vremenskih nepogoda) mogu biti korišteni za proizvodnju bioplina i gnojiva. Brojni životinjski nusproizvodi koji nisu prihvatljivi za prehranu ljudi, mogu biti procesirani u bioplinskom postrojenju.

Prema Šljivcu i Šimiću (2009.) bioplin je: mješavina plinova koja nastaje fermentacijom biorazgradivog materijala u okruženju bez kisika.

Bioplin je mješavina: CH<sub>4</sub> (40% - 75 %), CO<sub>2</sub> (25% - 60 %) i otprilike 2 % ostalih plinova (H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO). Bioplin je otprilike 20 % lakši od zraka i bez mirisa je i boje. Temperatura zapaljenja mu je između 650 °C i 750 °C, a gori čisto plavim plamenom.

Njegova kalorijska vrijednost je oko 20 MJ/nm<sup>3</sup> i gori sa oko 60 % učinkovitošću u konvencionalnoj bioplinskoj peći. Bioplin se dobiva iz organskih materijala. Podrijetlo sirovina može varirati: od stočnih otpadaka, žetvenih viškova, ostataka ulja, od povrća do organskih otpadaka iz kućanstava. Osim tih materijala, za proizvodnju bioplina može se koristiti i trava. Fermentacijska postrojenja za travu moraju ispunjavati više tehničke zahtjeve od konvencionalnih bioloških bioplinskih postrojenja, koja koriste čvrsto ili tekuće gnojivo.

Tablica 3. Prosječan kemijski sastav bioplina (prema

<http://www.chren.eu/index.php/hr/biogas/19-bioplin>

Spoj	Kemijski simbol	Udio(%)
Metan	CH <sub>4</sub>	50 -70
Ugljikov dioksid	CO <sub>2</sub>	25-45
Voda	H <sub>2</sub> O	2 (20°C)- 7 (40°C)
Kisik	O <sub>2</sub>	< 2
Dušik	N <sub>2</sub>	< 2
Amonijak	NH <sub>3</sub>	< 1
Vodik	H <sub>2</sub>	< 1
Sumporvodik	H <sub>2</sub> S	< 1

Postoje dva osnovna tipa organske digestije (razgradnje):

aerobna (uz prisutnost kisika, naziva se još i mokra digestija) kada je prosječni udio suhe tvari supstrata manji od 15%,

anaerobna (bez prisutnosti kisika naziva se još i suha digestija), kada je udio suhe tvari u supstratu veći od 15%, najčešće od 20% do 40%.

Svi organski materijali, i životinjski i biljni, mogu biti razgrađeni u ova dva procesa, ali produkti će biti vrlo različiti.

Aerobna digestija (fermentacija) proizvodi: ugljični dioksid, amonijak i ostale plinove u malim količinama i veliku količinu topline.

Konačni proizvod aerobne digestije može se upotrijebiti kao gnojivo. U ovome radu želio bih pobliže objasniti proces proizvodnje bioplina iz anaerobne digestije.

#### 2.8.2. Anaerobna digestija

Prema Horvatiću i sur. (2013.), bioplin se proizvodi tijekom anaerobne digestije, kako je opisano dalje u tekstu rada.

##### 2.8.2.3. Proces anaerobne digestije

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se razgrađuju organske tvari uz djelovanje različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima, odnosno bez prisutnosti kisika. U bioplinskim postrojenjima anaerobna digestija se odvija u zrako - nepropusnim reaktorima. Oni se nazivaju digestori ili fermentatori. Produkt anaerobne digestije su dva glavna proizvoda: bioplin i digestat. Dobiveni bioplin se najčešće sastoji od oko: 60% metana (50% do 75%), 35% ugljičnog dioksida (25% do 50%), te smjese vodika (0% do 1%), dušika (0% do 10%), kisika (0% do 1%), vodikovog sulfida (0% do 3%) i ostalih plinova u tragovima (Horvatić i sur., 2013.).

##### 2.8.2.4. Supstrati

Supstrati u procesu dobivanja bioplina su različiti tipovi biomase. Od njih se zasebno ili mješavinom u anaerobnom digestivnom procesu dobiva bioplin. Kada se za proces anaerobne digestije koriste mješavine dvaju ili više različitih supstrata postupak se naziva kodigestija. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina. Za kodigestiju se najviše koriste slijedeće kategorije biomase: stajski gnoj i gnojnica, ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje, razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije, organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva, otpadni muljevi, i energetski usjevi (kukuruz, sirak, djetelina i različite vrste trava). Korištenjem životinjskog ekskrementa u anaerobno digestivnom procesu ima prednosti u odnosu na ostale supstrate. Zbog toga što prirodno sadrže anaerobne bakterije, imaju visoki sadržaj vode (koja služi kao otapalo za druge tvari).

Jeftini su i lako dostupni jer se sakupljaju kao otpad sa stočarskih gospodarstava. Supstrati se prvotno klasificiraju po sadržaju suhe tvari, a tek onda po prinosu metana i ostalim kriterijima.

Supstrati sa sadržajem suhe tvari manjim od 20% koriste se za mokru digestiju. U mokru digestiju svrstavamo: stajski gnoj i gnojnicu i organski otpad iz prehrambene industrije s visokim sadržajem vode. Suha digestija je proces u kojem se koriste supstrati koji sadrže 35% ili veći udio suhe tvari u koju spadaju energetske usjevi (Horvatić i sur., 2013.).

#### 2.8.2.5. Biokemijski proces anaerobne digestije

Proces nastanka bioplina rezultat je niza procesnih koraka tijekom kojih se supstrat razlaže na jednostavnije spojeve sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje djelovanje imaju specifične grupe mikroorganizama. Faze proizvodnje bioplina su: Hidroliza, Acidogeneza, Acetogeneza i Metanogeneza (Horvatić i sur., 2013.).

#### 2.8.2.6. Parametri anaerobne digestije

Temperatura je jedan od najbitnijih parametara u procesu anaerobne digestije. Ključna je njena stabilnost za kvalitetan i brz proces anaerobne digestije. U praksi, temperatura pri kojoj će se odvijati anaerobnog digestivnog procesa odabire se prema vrsti supstrata. Održava se putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora, ovisno o izvedbi. Temperature se klasificiraju na tri temperaturne zone: psihrofilnu, mezofilnu i termofilnu (Tablica 4.) Ovisnost dužine trajanja procesa o temperaturi prikazan je u Tablici 4.

Osim temperature, od ostalih parametara bitno je spomenuti pH vrijednost. Ona predstavlja kiselost ili bazičnost otopine supstrata. Nastanak metana odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti, od otprilike pH 5,5 do 8,5 s optimumom između Ph: 7 i 8 (Horvatić i sur., 2013.).

Tablica 4. Prikaz ovisnosti dužine trajanja procesa o temperaturi (Ivanović i sur., 2013.).

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihrofilna	< 20° C	70 - 80 dana
Mezofilna	30 – 42° C	30 - 40 dana
Termofilna	43 – 55° C	15 - 20 dana

## 2.9. Bioplinsko postrojenje

### 2.9.1. Planiranje i gradnja bioplinskog postrojenja

Izgradnja bioplinskog postrojenja nije jednostavan i nadasve nije jeftin projekt da ga se može olako shvatiti i pristupiti realizaciji. Od same ideje do kraja projekta treba proći određene korake: projektna ideja, prethodna studija izvodljivosti, studija izvodljivosti, detaljno projektiranje bioplinskog postrojenja; izdavanje dozvola; izgradnja bioplinskog postrojenja, rad i održavanje, obnova i zamjena dijelova, i rušenje ili obnavljanje.

Od ostalih parametara treba uzeti i slijedeće: definiranje i evaluacija poslovnog plana i strategije financiranja; angažiranje kompanije iskusne u projektiranju; uključivanje ostalih ključnih sudionika (lokalne vlasti, dobavljači dodatne sirovine, investitori, javnost) od samog početka projekta.

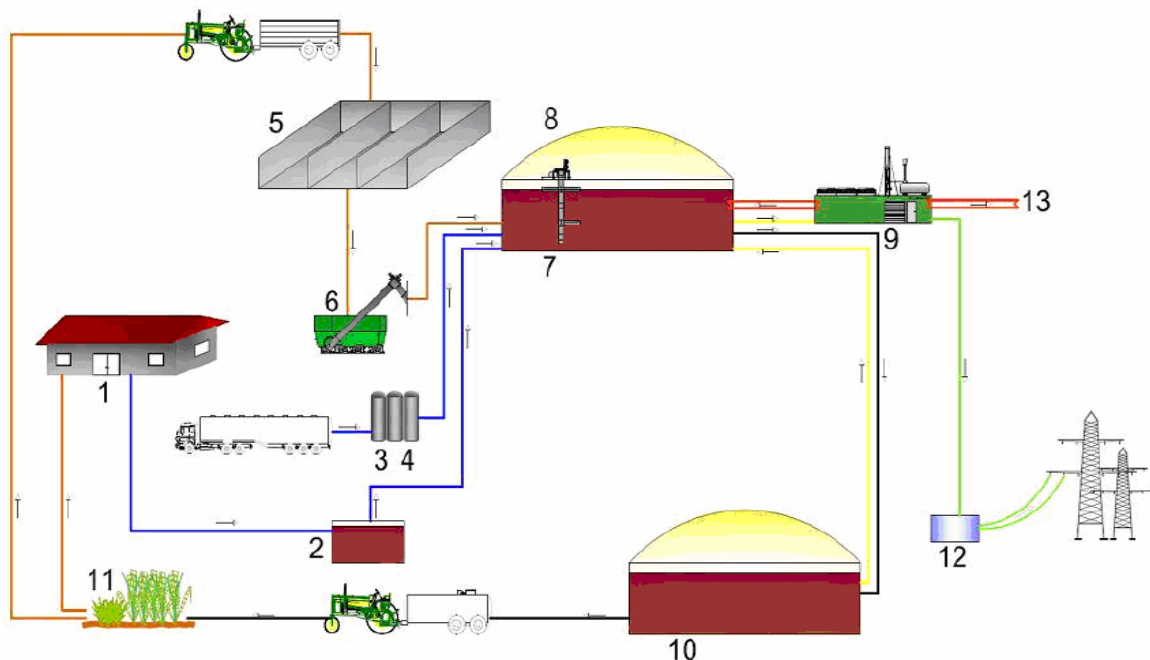
Ključni čimbenici bez kojeg bioplinsko postrojenje nema smisla su: postojanje i dostupnost sirovine, mogućnosti prodaje ili iskorištavanje krajnjih proizvoda, bioplina, električne i toplinske energije i digestata. Nakon uspješno isplanirane sheme opskrbe sirovinom i planiranom prodajom krajnjeg proizvoda, slijedeći korak je naći pogodnu lokaciju za izgradnju postrojenja.

Pri tome treba uzeti u obzir da se lokacija treba nalaziti na prikladnoj udaljenosti od naselja. Pri odabiru lokacije mora se uzeti u obzir više parametara: smjer vjetra, veličina parcele, na lokaciji treba postojati laki pristup infrastrukturi (elektroenergetska mreža, transportne ceste), trebalo bi biti smješteno što bliže mjestu proizvodnje sirovine, a također i što bliže potencijalnim potrošačima toplinske energije. (Horvatović i sur., 2013).

## 2.9.2. Dijelovi bioplinskog postrojenja

Dijelovi bioplinskog postrojenja s kodigestijom kukuruzne silaže i stajskog gnoja (Slika 18) su:

1. objekti za uzgoj životinja
2. spremišta za tekući gnoj
3. kontejneri za sakupljanje biootpada
4. spremnik za sanitaciju
5. spremnici za silažu na otvorenom
6. sustav za unošenje krute sirovine
7. digestor (bioplinski reaktor)
8. spremnik za bioplin
9. kogeneracijska jedinica
10. skladište za digestat
11. poljoprivredne površine
12. transformatorska stanica / predaja el. en. u mrežu
13. korištenje toplinske energije



Slika 18. Bioplinsko postrojenje s kodigestijom kukuruzne silaže i stajskog gnoja.

Izvor: [http://bib.irb.hr/datoteka/644083.Plin\\_2013\\_ivanovic\\_glavas\\_tonkovic.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/644083.Plin_2013_ivanovic_glavas_tonkovic.pdf)



Izgled postrojenja jako ovisi o vrsti i količini sirovine koja će se koristiti u procesu proizvodnje bioplina. Količina sirovine određuje: dimenzioniranje veličine fermentatora, kapacitet skladišta i kongregacijskog postrojenja, a kvaliteta sirovine procesnu tehnologiju.

Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima obično se odvija u nekoliko faza: transport, isporuka, skladištenje i prethodna obrada sirovine, proizvodnja bioplina, skladištenje digestata, eventualno kondicioniranje i primjena, i skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje.

Prva faza procesa: uključuje spremnik za skladištenje stajskog gnoja, posude za sakupljanje organskog otpada, spremnik za sanitaciju, prostor za skladištenje uz pomoć vozila, sustav za punjenje digestora krutom sirovinom.

Druga faza procesa uključuje: proizvodnju bioplina u reaktoru za bioplin (fermentatoru ili digestoru).

Treća faza procesa: sadrži spremnik za skladištenje digestata i primjenu digestata kao gnojivo na polju.

Četvrta faza procesa: odvija se u spremniku za skladištenje plina i kogeneracijskoj jedinici (Horvatović i sur., 2013.).

#### 2.10.1. Skladištenje i kondicioniranje sirovine

Sirovina se skladišti prvenstveno radi kompenzacije sezonskih fluktuacija u opskrbi sirovinom. Vrsta skladišnih kapaciteta ovisi o sirovini. Skladišta se uglavnom mogu klasificirati kao: bunker silosi za čvrstu sirovinu (kukuruzna silaža) i spremnici ili posude za skladištenje tekuće sirovine (stajnjak). Bunker silosi obično imaju kapacitet za skladištenje sirovine na period duži od godinu dana. U spremnicima se tekuća sirovina skladišti na nekoliko dana.

Sirovina se mora kondicionirati zbog poboljšanja razgradivosti. Ono daje mogućnost optimizacije procesa, povećava stopu razgradnje i prinos bioplina. Sanitacija sirovine mora se obaviti prije njezina upumpavanja u fermentator. Tako se izbjegava kontaminacija cijelog punjenja digestora, a njezini troškovi drže na minimumu. Usitnjavanjem sirovine se priprema površina čestica za proces biološke razgradnje, a time i proizvodnju metana. Proces razgradnje je brži kada je veličina dijelova biomase manja. To utječe samo na vrijeme trajanja digestije ali, ne i na prinos metana (Horvatović i sur., 2013.).

### 2.10.2. Sustav punjenja

Način na koji se odvija punjenje ovisi o vrsti supstrata i njegovoj pogodnosti za pumpanje. Oni supstrati koji se mogu pumpanjem premjestiti iz spremnika u digestor uključuju: gnojovke i gnojnice te veliki broj tekućeg organskog otpada.

Krute sirovine koje se ne mogu pumpati kao što su: vlaknasti materijali, trava, kukuruzna silaža, gnojivo s visokim udjelom slame, mogu se dodavati u malim količinama u sustav punjenja putem punilice. Punjenje se odvija uz pomoć podnih strugača, pomičnih podova, šipki za guranje i pužnih vijaka (Slika 19.)

Punjenje sirovine u fermentator mora se odvijati u hermetičnim uvjetima jer se ne smije dozvoliti istjecanje bioplina. Zato sustav za punjenje umeće sirovinu ispod površinskog sloja digestata (Horvatović i sur., 2013.).



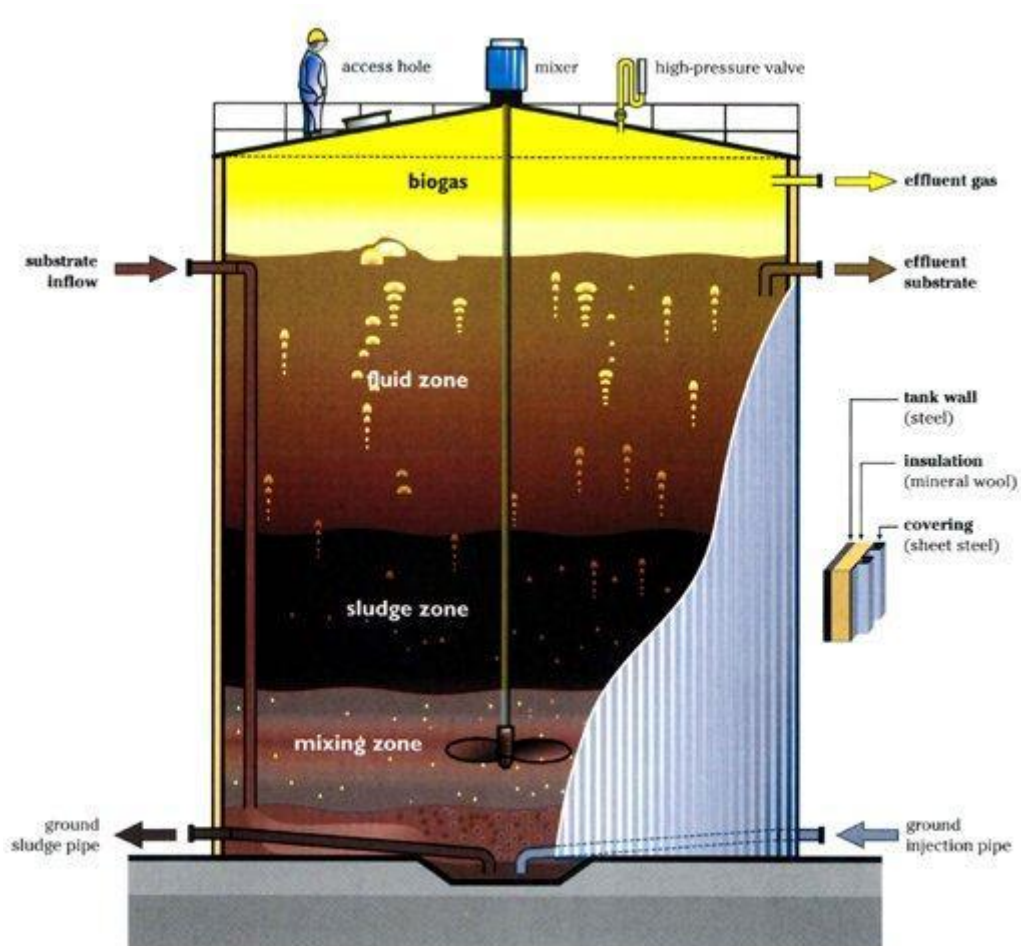
Slika 19. Utovarivač puni spremnik (kontejner) kukuruznom silažom.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

### 2.10.3. Fermentatori

Digestor ili fermentator (Slika 20.) je središte bioplinskog postrojenja. Mora biti toplinski izolirano i po potrebi grijano. Izrađuju se od: betona, čelika, cigle ili plastike. Veličina bioplinskog postrojenja određena je veličinom fermentatora i ona može varirati: od nekoliko kubičnih metara (kućne instalacije), do velikih komercijalnih postrojenja sa više fermentatora zapremine nekoliko tisuća kubičnih metara.

Izbor konstrukcije i vrste fermentatora prvenstveno se određuje prema udjelu vode, odnosno suhe tvari u digestiranom supstratu. Prema ulazu i izlazu sirovine postoje dva osnovna tipa fermentatora : obročni i kontinuirani (Horvatović i sur., 2013.).



Slika 20. Shema digistora kod bioplinskog postrojenja.

Izvor: <http://www.eko.zagreb.hr/default.aspx?id=91>

#### 2.10.4. Sustav grijanja

Jedan od najvažnijih uvjeta za stabilan rad i visoki prinos bioplina je postizanje konstantne temperature procesa. Velike promjene temperature mogu dovesti do neravnoteže u procesu anaerobne digestije. U najgorem slučaju može doći i do potpunog pada cijelog procesa. Glavni razlozi zbog kojih dolazi do promjena u temperaturi su: dodavanje nove sirovine, stvaranje temperaturnih slojeva ili temperaturnih zona radi nedovoljne izolacije, neučinkovitosti ili neprimjerenog dimenzioniranja sustava grijanja ili neučinkovitog miješanja, nepravilnog smještaja grijaćih elemenata, ekstremne vanjske temperature tijekom ljeta i zime te uslijed kvara električnih vodova. Zbog navedenih razloga fermentatori se moraju toplinski izolirati i grijati pomoću vanjskih izvora topline (Slika 21.). Tako se postiže stabilna temperatura procesa i omogućuje održavanje nadoknade gubitaka topline. U tu se svrhu najčešće koristi otpadna toplina iz kongregacijske jedinice bioplinskog postrojenja.



Slika 21. Sustav grijanja bioplinskog postrojenja.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Zagrijavanje je preporučljivo početi na samoj sirovini koja ulazi u fermentator. Tako se izbjegava promjena temperature unutar fermentatora i može se dalje nastaviti sa zagrijavanjem unutar fermentatora pomoću grijaćih tijela (Horvatić i sur., 2013.).

#### 2.10.5. Sustav održavanja

U kontinuiranim fermentatorima mogu se stvoriti nakupine sedimenata teških tvari poput pijeska, koji se ne mogu fermentirati. Nakupljanje pijeska u spremištima i fermentatorima smanjuje njihov aktivan volumen. Zbog toga se u protoku biomase jako opterećuje sustav za miješanje, pumpe i izmjenjivače topline. To može prouzročiti: onečišćavanje, stvaranje prepreka i visoko habanje. Kontinuirano odstranjivanje sedimentacijskih slojeva iz fermentatora može se vršiti primjenom podnih strugalica ili podnog odvodnog kanala (Horvatović i sur., 2013.).

#### 2.10.6. Sustav miješanja

Miješanje biomase započinje pasivnim miješanjem. Do pasivnoga miješanja dolazi pri dodavanju svježe sirovine u fermentatore. Ono uzrokuje: procese toplinske konvekcije i stvaranje mjehurića plina koji se kreću prema površini. Samo pasivno miješanje nije dovoljno te se zato ono mora poboljšati korištenjem: pneumatske, hidraulične ili mehaničke opreme. Većina bioplinskih postrojenja, i to do 90% njih, koristi mehaničku opremu za miješanje. Potrebno ju je potrebno koristiti više puta dnevno zbog umješavanja nove sirovine u supstrat fermentatora. Tako se sprječava: stvaranje plutajuće kore i sedimentnih slojeva koji tonu, dovodi u kontakt bakterije s česticama nove sirovine, pomaže pri ispuštanju mjehurića plina i ujednačava se raspodjela topline i hranjivih tvari. Smještene su unutar fermentatora (Slika. 22.), i kategorizirane su prema brzini, pa postoje: intenzivno brze, srednje brze i spore miješalice. Moguće ih je prilagođavati po visini, nagibu i smjeru (Horvatović i sur., 2013.).



Slika 22. Miješalica s lopaticama smješšana unutar fermentatora.  
Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

#### 2.10.7. Spremište bioplina

Proizvodnja bioplina mora se održavati što stabilnijom i što ravnomjernijom. Unutar fermentatora bioplin se stvara u fluktuirajućim količinama i ima proizvodne vršne vrijednosti. Isto tako varira i potražnja u kogeneracijskom postrojenju. Kako bi se te varijacije u proizvodnji i potražnji bioplina kompenzirale, neophodno je privremeno skladištiti proizvedeni plin u za to predviđenim objektima.

Skladište za bioplin može biti raznoliko. Kod manjih postrojenja najčešće se izvodi pomoću posebne membrane na vrhu fermentatora koja ujedno služi i kao pokrivalo fermentatora.

Za veća bioplinska postrojenja obično se radi odvojeno skladište za bioplin kao samostojeći objekt.

Osnovna podjela spremnika je po tlaku i to na: niskotlačne (Slika 23.), srednjtlačne i visokotlačne.



Slika 23. Vanjsko niskotlačno spremište za skladištenje plina.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Iz sigurnosnih razloga spremišta moraju biti opremljena sigurnosnim ventilima (Slika. 24). Moraju biti izvedena u protueksplozijskoj zaštiti. Nadalje mora imati baklju za spaljivanje u slučaju nužde. Spremište mora imati kapacitet za uskladištenje od barem jedne četvrtine dnevne proizvodnje bioplina. U normalnim okolnostima, preporučeni skladišni kapacitet bi trebao biti jednak proizvodnji bioplina za jedan ili dva dana (Horvatović i sur., 2013).



Slika 24. Sigurnosni tlačni ventili.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

### 2.10.8. Baklja

U bioplinskom postrojenju ponekad može doći do situacije kada proizvodnja bioplina bude veća od količine koja se može iskoristiti za proizvodnju energije, i da u tom trenu premašuje skladišne kapacitete. Razlog može biti: neuobičajeno visoka proizvodna stopa plina, kvar ili održavanje sustava kongregacijskog sustava za proizvodnju električne energije. U svakom slučaju neophodna su pomoćna rješenja. Ona mogu biti i u obliku: dodatnog skladišta bioplina ili dodatnog sustava za proizvodnju električne energije. Najjednostavnije rješenje navedenog problema je opremanje bioplinskog postrojenja sa bakljom (Slika 25.)



Slika 25. Moderne baklje za bioplin

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Izgaranje bioplina na baklji rješava situacije kada se višak bioplina ne može uskladištiti ili iskoristiti radi uklanjanja bilo kakvog rizika po sigurnost i zaštitu okoliša. Postoje dva osnovna tipa baklji za bioplin: otvorene i zaklonjene baklje (Horvatović i sur., 2013.).



### 2.10.9. Skladišta digestata

Supstrat se iz fermentatora u intervalima ispumpava kao digestat. Digestat se vodovodima dovodi u spremišta za skladištenje. Ukupan kapacitet skladišnog prostora digestata mora biti dovoljan za prihvatanje proizvedenog digestata od nekoliko mjeseci. Tako se osigurava učinkovito i optimalno korištenje digestata kao gnojiva u poljoprivredi. Time se sprječava njegova upotreba tijekom zimskog perioda. Skladišni prostori mogu biti u obliku betonskih spremišta. Najčešće su pokriveni prirodnim ili umjetnim pokrovima ili plutajućim slojevima (Slika 26.)



Slika 26. Spremišta za skladištenje digestata pokrivena prirodnim plutajućim slojem.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Kod skladištenja digestata moguć je gubitak dijela metana i hranjivih tvari. U praksi se pokazalo da se do 20% ukupne proizvodnje bioplina događa izvan fermentatora. Zato se preporuča spremišta digestata pokrivati plinskom nepropusnom membranom radi sakupljanja bioplina koji se i dalje stvara u skladištima (Horvatović i sur., 2013).

### 2.10.10. Kongregacijsko postrojenje

U kongregacijskim postrojenjima većina plinskih motora ima ograničenja s obzirom na sadržaj: sumporovodika, halogenih ugljikohidrata i siloksana. Oni se nalaze u neobrađenom bioplinu. Najčešće se izvode kao termoelektrane blokovskog tipa sa motorima na izgaranje koji su povezani sa generatorom.

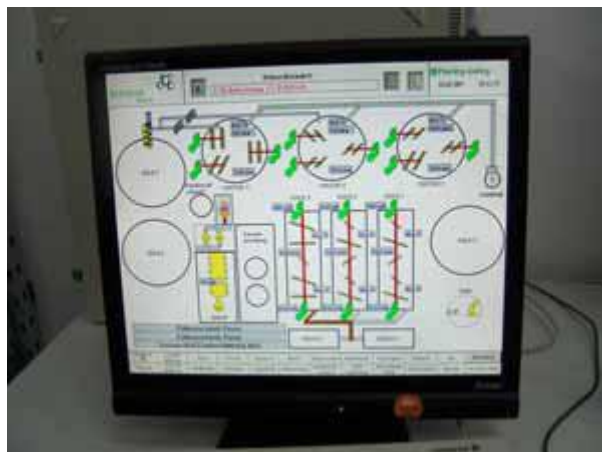
Stupanj iskoristivosti modernih kongregacijskih generatora je do 90%. Na proizvodnju električne energije otpada 35%, a na toplinsku energiju 65%. Iskorištavanje proizvedene toplinske energije važan je parametar za energetske i ekonomske učinkovitost bioplinskog postrojenja.

Proizvedena toplinska energija se djelomično koristi za grijanje digestora. Dvije trećine ukupne proizvedene toplinske energije može se iskoristiti za druge potrebe.

Sva električna energija proizvedena iz bioplina prodaje se u mrežu zbog povlaštenih cijena za otkup električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije. Utrošena energija kupuje se iz mreže od distributera po nižoj cijeni (Horvatović i sur., 2013.).

#### 2.10.11. Kontrolna jedinica

Bioplinsko postrojenje je kompleksan sustav u kojem postoji velika međuovisnost svih dijelova postrojenja. Zato je potrebno imati dobru kontrolu i centralizirano promatranje pomoću računalnog sustava. Ono je ključni dio u radu postrojenja i ukoliko je dobro vođeno jamči uspjeh i izbjegavanje kvarova. Bitno je pratiti i prepoznati odstupanja od standardnih vrijednosti i rano intervenirati primjenom korekcijskih mjera. Modernija postrojenja opremljena su računalnim sustavom koji na monitoru (Slika 27.) prikazuje cijelo postrojenje i vizualizaciju trenutnog procesa sa daljinskim sustavom za alarm.



Slika 27. Sustavi kontrole preko računala.

Izvor: [http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)

Na takvim centralnim upravljačkim jedinicama obavlja se nadzor i upravljanje parametara, kao što su: količina unosa tekućine, razina punjenja fermentatora, razina punjenja spremnika za plin, procesna temperatura, pH vrijednost, količina plina i sastav plina (Horvatović i sur., 2013.).

#### 2.10.12. Sustav čišćenja bioplina (desumporizacija i sušenje)

Bioplin koji izlazi iz fermentatora zasićen je vodenim parama. Osim metana i ugljikovog dioksida sadrži i različite količine sumporovodika. Sumporovodik je otrovan plin, neugodnog mirisa. Kombinacijom sa vodenom parom iz bioplina stvara sumpornu kiselinu.

U procesu anaerobne digestije iz stajskog gnoja suhi bioplin ima prosječni udio sumporovodika od 1000 do 3000 ppm (parts per million). Kada se koristi u plinskim motorima u kogeneraciji udio sumporovodika mora biti manji od 700 ppm za većinu motora. Tako se izbjegava se visoka korozija i prebrzo trošenje ulja za podmazivanje, koje ima visoku cijenu. Postoje dva načina desumporizacije: biološka i kemijska.

Biološka metoda se najčešće koristi na način da se ubrizgavaju male količine zraka, od 2% do 8 % u sirovi bioplin. Time sumporovodik biološki oksidira u slobodan sumpor u krutom obliku ili u sumpornu kiselinu u tekućem obliku.

Kemijskom metodom se sprječava oslobađanje sumporovodika dodavanjem različitih kemijskih aditiva i lužina u supstrat ili dodavanjem željezne otopine u sirovinu.

O temperaturi ovisi koliku će količinu vlage bioplin apsorbirati. Relativna vlaga proizvedenog bioplina u fermentatoru iznosi 100%. To znači da je plin zasićen vodenom parom. Vodenu paru je potrebno ukloniti iz bioplina. Tako se kogeneracijsko postrojenje zaštititi od habanja i oštećenja. Dio vodene pare kondenzira se hlađenjem plina.

Kondenziranje započinje čim plin napusti fermentator i to u plinovodima koji transportiraju plin iz fermentatora u jedinicu za kogeneraciju. Voda se kondenzira na stjenkama cijevi. Zbog čega se one postavljaju pod određenim kutom kako bi se kondenzat mogao sakupiti u separatoru na najnižoj točki cjevovoda (Horvatović i sur., 2013.).

## 2.11. Nedostaci proizvodnje bioplina

Korištenje bioplina ima i nedostataka. Među najvažnije svakako spada visok sadržaj sumpornih oksida (SO<sub>x</sub>) u ispušnim plinovima. Oni vrlo agresivnom korozijom uništavaju metal. Sumporni oksidi utječu na povećanje ukupnog kiselninskog broja mazivih ulja kojima se motor podmazuje (TAN)

Kiseli sastojci koji nastaju u mazivom ulju djeluju u procesima oksidacije i nitracije na degradaciju samog maziva. Nastajanjem taloga i naslaga na vitalnim dijelovima motora uzrokuju njegovo propadanje uznapredovanom korozijom metalnih dijelova.

Opseg tih negativnih pojava i posljedica korištenja bioplina kao goriva za pogon motora s unutarnjim izgaranjem ovisi o izvoru i svojstvima bioplina.

Najnepovoljniji je slučaj kada se kao sirovinu za proizvodnju bioplina koristi stajski gnoj od krava. On sadrži najviše sumpora iz kojega izgaranjem u motoru nastaju korozivni i štetni sumporni oksidi. Korištenje tog goriva uvjetuje češću izmjenu uobičajenih komercijalnih motornih ulja.

Da bi se to izbjeglo, sve se više u takvim slučajevima za podmazivanje motora s unutarnjim izgaranjem koriste se motorna ulja s vrlo visokim baznim brojem TBN. Njegove bazne komponente aditiva neutraliziraju sumporne okside i na taj način produljuju vijek trajanja uljnog punjenja i smanjuju štetne učinke na motoru (Kolombo, 2009.).

### 3. MATERIJAL I METODE

Pokus je postavljen u Dalju na OPG-u Dušan Balić. Provođenje pokusa započeto je 8. ožujka 2013. godina na pokusnoj parceli dužine 180m i širine 7m (Slika 28.).



Slika 28. Odabrana parcela za sjetvu pokusa sirka za bioplin (foto R. Gantner)

Na pokusnoj parceli tip tla bio je ritska crnica. Predusjev je bio kukuruz. Duboko oranje obavljeno je u jesen. Zatvaranje zimske brazde uslijedilo je krajem zime. Predsjetvena priprema tla na pokusnoj parceli obavljena je sjetvospremačem dana: 23. travnja 2013. godine. Prema dostupnim resursima za provedbu pokusa (raspoloživo zemljište, radna snaga, oprema, sjeme) osnovu pokusa sačinjavala su: 3 genotipa sirka za voluminoznu krmu i biomasu:

KWS Freya:

Hibrid sirka i sudanske trave. Pogodan je za glavni i postrni usjev. Ima naglašeni početni vigor i visoki potencijal busanja. Ukoliko se sjetva obavlja u redovnom roku ima mogućnost drugog otkosa. Odlikuje ju vrlo dobra otpornost na polijeganje. Ima poluotvoreni tip metlice i visok sadržaj suhe tvari. Potencijal prinosa zelene mase do 90 t/ha. Tolerantna je na reduciranu obradu tla (Chobotova i Babić, 2012.).



Slika 29. KWS Freya.

Izvor: <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### KWS Tarzan

Hibrid sirka pogodan za glavni usjev. Ima vrlo brzi početni porast i vrlo dobru otpornost na polijeganje. Visoko je tolerantan na sušu. Otvorenog je tipa metlice/klasa. Tolerantan je na reduciranu obradu tla, i visoko tolerantan na kompeticiju biljaka u gustom sklopu. Manje je zahtijevan u mineralnoj ishrani dušikom u odnosu na kukuruz. Vrlo dobre tolerantnosti na: bolesti stabljike, lista, metlice i prema suši. Potencijal prinosa zelene mase kreće se do 110 t/ha, što je u skladu s proizvodnom karakteristikom o visokom sadržaju suhe tvari (Chobotova i Babić, 2012.).

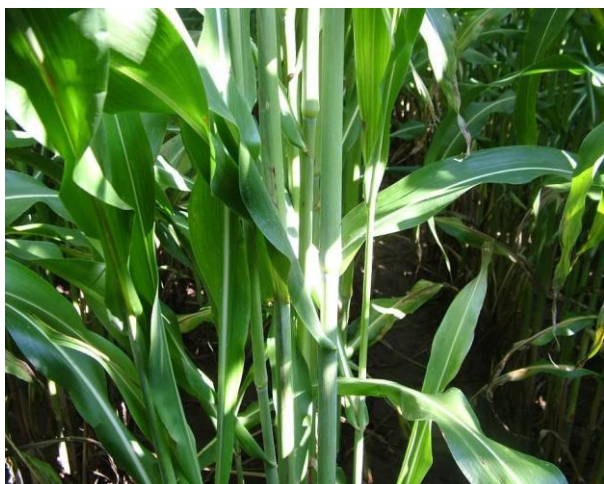


Slika 30. KWS Tarzan.

Izvor: Izvor. <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

#### KWS Zerberus

Hibrid krmnoga sirka. Pogodan za glavni ili postrni usjev. Odlikuje ga brzi početni porast i visoka otpornost na polijeganje (Chobotova i Babić, 2012.).



Slika 31. Stabljika s listovima (lijevo) KWS hibrida krmnog sirka Zerberus.

Slika 32. metlica (desno) KWS hibrida krmnog sirka Zerberus.

Izvor: Izvor. <http://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak>

Sva tri genotipa su porijeklom od tvrtke KWS Sjeme d.o.o. jer jedino tvrtka KWS Sjeme d.o.o. ima u ponudi svojega sjemenskog programa sjeme sorata s dozvolom za promet sjemena u Republici Hrvatskoj (Sortna lista, 2013.).

U Poljoprivrednom institutu u Osijeku razvijena je manja količina sjemena 2 genotipa sirka zrnaša. Te su ta dva genotipa upotrijebljena u pokusu. Na istoj pokusnoj lokaciji postavljen je pokus silažnoga kukuruza s ciljem usporedbe proizvodnosti biomase i bioplina s tradicionalno najzastupljenijom kulturom u Republici Hrvatskoj.

Sjetva pokusa obavljena je ručno (Slika 33. i Slika 34.) u 3 ponavljanja koja odgovaraju rasporedu u 3 bloka (tzv. “random block design“ - slučajni blok sustav).



Slika 33. Ručno izvođenje redova za sjetvu. (foto. R. Gantner).



Slika 34. Ručna sjetva sirka u pokusu za za bioplin. (foto. R. Gantner).

Blokovi su bili postavljeni uzduž parcele. Tako da je prvo i drugo ponavljanje zasijano na konvencionalno pripremljenome tlu, a treće ponavljanje je posijano u pokrov od ponikle bijele djeteline i korova. Sjetva je obavljena 30. travnja (1. ponavljanje) i 2. svibnja (2. i 3. ponavljanje), što su optimalni rokovi preporučeni od proizvođača sjemena

U pokusu je zasijano u svakom ponavljanju po 10 redova dužine 7m krmnoga sirka. 10 redova je odabrano zao da se u predviđena 3 roka košnje (mliječna zrna, voštane zrelosti i kasna voštana zrelost zrna) mogu pokositi po 2 središnja reda. To je omogućilo reprezentativnu količinu biomase za procjenu prinosa i bioplina. 2 rubna preostala reda koriste za međusobno odvajanje ispitivanih genotipova, odnosno za uklanjanje tzv. rubnih efekata.

Hibrid sirka i sudanske trave zasijan je po 12 redova u svakom ponavljanju. Što je izvršeno s svrhom boljeg uklanjanja rubnih efekata između različitih rokova košnje. Komparativne parcele silažnoga kukuruza zasijane su 24. travnja do 26. travnja. Što se smatra optimalnim agrotehničkim rokom koji je preporučen od strane proizvođača sjemena.



Sjetva sirkova zrnaša obavljena je nakon isporuke sjemena s Poljoprivrednoga instituta u Osijeku 10. svibnja. U odnosu na sirkove za proizvodnju voluminozne krme, sjetva sirkova zrnaša obavljena 10. svibnja. Može se smatrati prikladnim rokom, zbog očekivane kraće vegetacije. Dubina sjetve bila je 6cm, zbog vrlo grube predsjetvene pripreme i bojazni da sjeme neće biti dobro pokriveno zemljom u slučaju pliće sjetve. Ukoliko nastupe sušni uvjeti to bi imalo za posljedicu slabije nicanje i moglo bi dovesti do neuspjeha pokusa.

Međuredni razmak od 70cm držan je konstantnim tijekom izvođenja pokusa. Razmak unutar reda prilagođavan je s preporučenim sklopom biljaka, koji je preporučen od strane proizvođača sjemena sirka. Hibridi krmnoga sirka posijani su na sjetveni sklop od 25 zrna/m<sup>2</sup> Sirkovi zrnaši posijani su na sjetveni sklop od 25 zrna/m<sup>2</sup>.

Odgovarajući razmak unutar reda održavan je tijekom vegetacije upotrebljavanjem mjerne letvice između položenih sjemenki. Komparativni silažni kukuruz (KWS Mikado i KWS Korimbos) sijani su na sklop od 6.5 zrna/m<sup>2</sup> i 8 zrna /m<sup>2</sup> u skladu s preporukama proizvođača sjemena.

Nicanje krmnih sirkova nastupilo je 14. svibnja. Što je u skladu s predviđenom dužinom nicanja od strane proizvođača sjemena, i u hladnijim uvjetima kakvi su nastupili poslije sjetve.18. svibnja. Poniknuli su sirkovi i hibridi sirka i sudanske trave. Visina biljaka bila je oko 3cm uz mnogo poniknutih korova.



Slika 35. Ponikli redovi sirka „Tarzan“ lijevo 18. svibnja. 2013. (foto. R. Gantner)

Slika 36. Poniknuli redovi sirka „Zerberus“ desno 18. svibnja 2013. (foto. R. Gantner)

Zbog izrazito gustog ponika korova odlučeno je obaviti okopavanje kada dozvole uvjeti vlažnosti tla. Paralelno s okopavanjem obavljena je prva prihrana mineralnim gnojivom u dozi od 240.00 kg/ha uz redove sirka.

Košnja pokusnih parcelica izvršena je ručno - srpom. Visina košnje bila je 30cm od ravnine tla. Košnja i uzorkovanje obavljani su 2. rujna. 2013. godine. Pokusna masa svake parcelice zasebno je povezana konopcem i automobilskom prikolicom prevožena u dvorište OPG-a Slavomir Balić u Dalju, gdje je obavljeno vaganje prinosa zelene mase.

Kada je prikupljen cjelokupni pokusni materijal s pokusnih parcelica, izvršena je: procjena sadržaja suhe tvari u svježoj biljnoj masi.

procjena sadržaja suhe tvari provedena je slijedećim postupkom:

odvagan je svježi poduzorak od 3kg,

poduzorak je stavljen u sušionik na 90° tijekom 48 sati,

suhi uzorak je odmah nakon vađenja iz sušionika izvagan na preciznoj laboratorijskoj vagi.

Postotni sadržaj suhe tvari procijenjen je postupkom:

masa suhog uzorka/masa svježeg uzorka x 100 %

Prinos suhe tvari procijenjen je množenjem sadržaja suhe tvari s prinosom svježe mase.

Prinos bioplina dobiven je iz jednadžbe: Prinos bioplina ( $\text{nm}^3/\text{ha}$ ) = prinos suhe tvari biomase iz pokusa ( $\text{t}/\text{ha}$ ) x prosječan prinos bioplina po jedinici suhe tvari biomase ( $\text{nm}^3/\text{t}$ ) iz istraživanja Mahmooda i sur. (2013. godine).

Prinos metana dobiven je iz jednadžbe: Prinos metana ( $\text{nm}^3/\text{ha}$ ) = prinos suhe tvari biomase iz pokusa ( $\text{t}/\text{ha}$ ) x prosječan prinos metana po jedinici suhe tvari biomase ( $\text{nm}^3/\text{t}$ ) iz istraživanja Mahmood i sur. (2013.).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Prosječni prinosi svježe mase i suhe tvari

Tablica 5. Prosječan prinos svježe mase kod ispitivanih hibrida , prosječan udio suhe tvari u svježoj masi i prinos suhe tvari.

Hibrid	Prosječan prinos svježe mase	Suha tvar u svježoj masi	Prinos suhe tvari
Prosjek 3 ponavljanja((A+B+C)/3)	t/ha	%	t/ha
Sirak zrnaš Polj.Ins.Os	18,4	37,3	6,8
KWS Freya sirak x sudanska trava	36,7	41,5	15,3
KWS Zerbus silo sirak	43,4	33,1	14,4
KWS Tarzan silo sirak	41,8	40,7	17,0
KWS Korimbos FAO 600 Kod 8.5 bilj./m <sup>2</sup>	32,7	39,7	13,0
KWS Mikado FAO 600 Kod 8.5 bilj./m <sup>2</sup>	35,7	43,9	15,7
KWS Korimbos FAO 600 Kod 6.0 bilj./m <sup>2</sup>	30,6	42,3	12,9
KWS Mikado FAO 600 Kod 6.0 bilj./m <sup>2</sup>	36,7	34,4	12,6

Iz Tablice 5. je vidljivo da se ostvareni prosječni prinosi svježe mase razlikovao među ispitivanim hibridima. Prosječno se kretao od minimalnih 18,4 t/ha kod hibrida sirka zrnaša Poljoprivrednog Instituta u Osijeku do maksimalnih 43,4 t /ha kod hibrida silo sirka Zerberus KWS-a (Tablica 5.).

Varirao je i prosječan postotak suhe tvari u svježoj masi. Kretao se od 33,1 % kod KWS silo-sirka Zerberus do 41,5 % kod hibrida sirka i sudanske trave KWS Freya. Opseg kretanja sadržaja suhe tvari silažnih sirkova bio je sličan opsegu kretanja kod suhe tvari kod ispitivanih silažnih kukuruza.

Među ispitivanim hibridima najmanji prinos suhe tvari (t/ha) imao je hibrid sirka zrnaša Poljoprivrednog Instituta Osijek s 6,8 t /ha, dok je najveći prinos suhe tvari (t /ha) zabilježen kod KWS hibrida silo sirka Zerbus, 17,0 t/ha. (Tablica 5.).

Sirak zrnaš Poljoprivrednog Instituta u Osijeku iako ima najmanji prosječan prinos 18,4 t /ha i prinos suhe tvari od 6,8 t/ha, odlikuje se visokim sadržajem suhe tvari u svježoj masi sa 37,3 % .

#### 4.2. Procijenjeni prinosi bioplina i metana

Tablica 6. Procijenjeni prinosi bioplina i metana na pokusu u Dalju (2013. godine.).

Hibrid	Prinos suhe tvari (t/ha) Dalj	Prosječan prinos bioplina po jedinici suhe tvari biomase (nm <sup>3</sup> /t) iz istraživanja Mahmooda i sur. (2013.) (nm <sup>3</sup> /t)	Prosječan prinos metana po jedinici suhe tvari biomase (nm <sup>3</sup> /t) iz istraživanja Mahmooda i sur. (2013.) (nm <sup>3</sup> /t)	Procijenjeni prinos bioplina (nm <sup>3</sup> /ha) (Dalj, 2013.)	Procijenjeni prinos metana (nm <sup>3</sup> /ha) (Dalj, 2013.)
Sirak zrnaš polj.Inst.OS	6,8	604,4	307,3	4110	2090
KWS Freya sirak x sudanska trava	15,3	604,4	307,3	9248	4702
KWS Zerbus silo sirak	14,4	604,4	307,3	8704	4426
KWS Tarzan silo sriak	17,0	604,4	307,3	10276	5225
KWS Korimbos FAO 600,kod 8.5 biljaka/m <sup>2</sup>	13,0	604,4	307,3	7858	3995
KWS Mikado FAO 600,kod 8.5 biljaka/m <sup>2</sup>	15,7	604,4	307,3	9490	4825
KWS Korimbos FAO 600.kod 6.0 biljaka /m <sup>2</sup>	12,9	604,4	307,3	7797	3965
KWS Mikado FAO 600,kod 6.0 biljaka/m <sup>2</sup>	12,6	604,4	307,3	7616	3872
Prosjek	13,4			8137	4137
Minimum	6,8			4110	2090
Maksimum	17			10276	5225

Prema jednadžbi za procjenu prinosa bioplina na provedenom poljskom pokusu u Dalju najmanji prinos bioplina ostvario je hibrid srika zrnaša Poljoprivrednog instituta u Osijeku s 4110 nm<sup>3</sup>/ha bioplina (Tablica 6.). Najveći prinos bioplina na provedenome pokusu u Dalju ostvario je hibrid KWS Tarzan silo sirak s 10276 nm<sup>3</sup>/ha.

Prema jednadžbi za izračunavanje prinosa metana, najmanji prinos metana na provedenom poljskom pokusu u Dalju ostvario je hibrid srika zrnaša Poljoprivrednog instituta u Osijeku s 2090 nm<sup>3</sup>/ha (Tablica 6.). Najveći prinos metana na provedenome poljskom pokusu u Dalju ostvario je hibrid KWS Tarzan silo sirak s 5225 nm<sup>3</sup>/ha (Tablica 6.)

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Prinosi suhe tvari i procijenjeni prinos bioplina i metana

Ukoliko bismo uspoređivali prinose suhe tvari s provedenog poljskog pokusa u Dalju s prethodnim istraživanjima Mahmood i sur. (2009.), možemo vidjeti velike razlike u prinosima suhe tvari. Naime, na provedenome poljskom pokusu u Dalju (2013.), prinosi suhe tvari kretali su se od 6,8 t/ha do 17,0 t/ha, dok se u istraživanju Mahmooda i sur. (2009.) prinos suhe tvari kretao od 15,03 t/ha do 22,6 t/ha. Na prinos suhe tvari kod Mahmooda i sur. (2009.) značajan utjecaj imala je i lokacija pokusa. Tako se na lokaciji GI 09 prinos suhe tvari hibrida u pokusu kretao od 11,9 t/ha kod hibrida Silage king do maksimalnih 19,1 t/ha kod hibrida Goliath.

Jasno se može zaključiti da su dobivene razlike u prinosima suhe tvari vrlo velike.

Isto tako razlike u prinosima postoje kada bismo usporedili dva najbolja hibrida iz provedenih pokusa. Primjerice hibrid KWS Tarzan silo sirak na provedenome pokusu u Dalju imao je najveći prinos suhe tvari i iznosio je 17,0 t/ha (Tablica 6.) usporedivši ga s hibridom Cerberus iz istraživanja Mahmood i sur. (2009.) kod kojega je prinos suhe tvari na lokaciji GG 09 iznosio 22,6 t/ha. Može se zaključiti da unatoč prosječnim rezultatima iz navedenih istraživanja pojedinačni hibridi pokazuju značajno veće razlike u sadržaju suhe tvari od drugih. Hibridi su kod većeg sadržaja suhe tvari zasigurno i kvalitetniji.

Prinosi svježe mase silažnih sirkova bili su slični prinosima Habyarimane i sur.(2004.) u mediteranskoj regiji: oni su u uvjetima navodnjavanja ostvarili prinose, ovisno o hibridu, između 33 i 51 t/ha, te između 20 i 29 t/ha bez navodnjavanja. Međutim, Del Gatto i sur. (2013.) ostvarili su mnogo veće prinose suhe tvari: od 16,2 t/ha kod hibrida Trudan HL do 26,2 t/ha kod hibrida Bulldozer u 2011., te od 15,8 t/ha kod hibrida Trudan Hill, do 21,6 t/ha kod Bulldozera u 2012.

Na provedenome poljskom pokusu u Dalju 2013. godine procijenjeni prinosi bioplina kretali su se u rasponu od 4110 nm<sup>3</sup>/ha do 10276 nm<sup>3</sup>/ha. Najveći prinos bioplina od 10276 nm<sup>3</sup>/ha procijenjen je kod hibrida sirka KWS Tarzana.

Procijenjeni rezultati slični su prinosima bioplina iz istraživanja Mahmood i sur. (2009.), gdje su se vrijednosti prinosa bioplina iz biomase sirka kretale od 7,64 nm<sup>3</sup>/ha do 12,60 nm<sup>3</sup>/ha, dok im je najveći prinos bioplina ostvaren kod kukuruza Agrogas, od 14,38 nm<sup>3</sup>/ha.

S obzirom na dobivene rezultate postavljenog poljskog pokusa u Dalju, te prethodnih istraživanja Mahmooda i sur. (2009. ), Del Gatto i sur. (2013.), Habyarimana i sur. (2004.), može se zaključiti da na prinos suhe tvari, prinos bioplina i prinos metana mogu značajno utjecati odabir hibrida u uzgoju, ali i lokacija, tlo te primijenjena agrotehnika.

## 5.2. Vremenske prilike

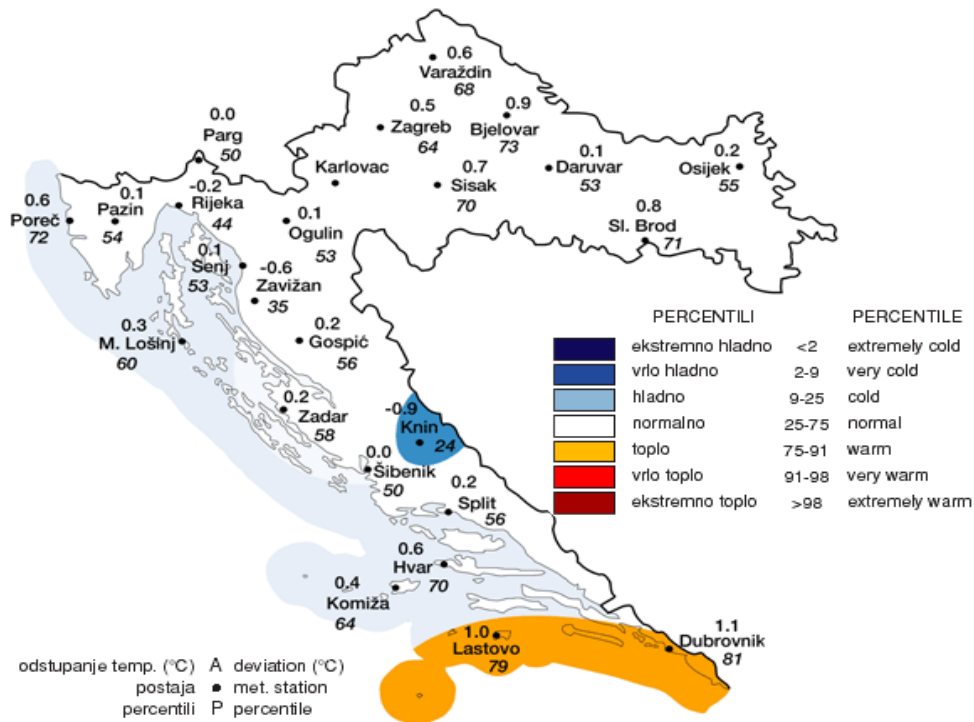
Analiza količina oborina za travanj 2013. godine, izraženih u postotcima višegodišnjeg prosjeka (1961.godine. - 1990. godine.), pokazuje da su količine oborina bile većinom ispod višegodišnjeg prosjeka. Količine oborina za travanj 2013. godine kretale su se u rasponu od 40% od višegodišnjeg prosjeka (DHMZ, 2013.)

Analiza temperaturnih anomalija za svibanj 2013. godine pokazala je da su gotovo u cijeloj Hrvatskoj srednje mjesečne temperature zraka bile iznad višegodišnjeg prosjeka 1961. godine. – 1990. godine (DHMZ, 2013.) što je vidljivo iz Slike 37.

Analiza količina oborina za svibanj 2013. godine koje su izražene u postotcima višegodišnjeg prosjeka (1961. godine - 1990. godine.), pokazuje da su količine oborine bile većinom iznad višegodišnjeg prosjeka. Oborinske prilike u Hrvatskoj za svibanj 2013. godine opisane su sljedećim kategorijom: vrlo kišno za područje Osijeka, odnosno i Dalja. To je vidljivo iz Slike 38.

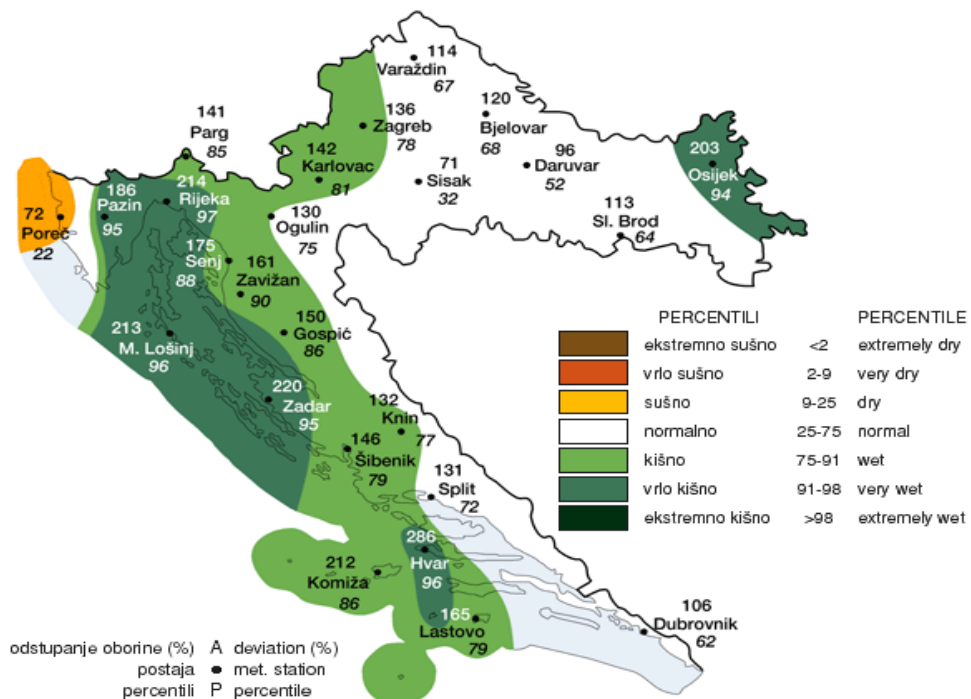
S obzirom na to da je tijekom svibnja na području Osijeka i Dalja prevladavalo vrlo kišno vrijeme predsjetvena priprema tla obavljena je vrlo grubo. Nakon toga se strahovalo od mogućih sušnih uvjeta koji bi doveli do slabijeg nicanja i neuspjeha pokusa. Isto se pokazalo opravdanim jer je tijekom sljedećih mjeseci od lipnja do kolovoza prevladavalo vrlo vruće vrijeme s visokim temperaturama i vrlo malo oborina.





Slika 37. Odstupanja srednje temperature zraka za svibanj 2013.godine.

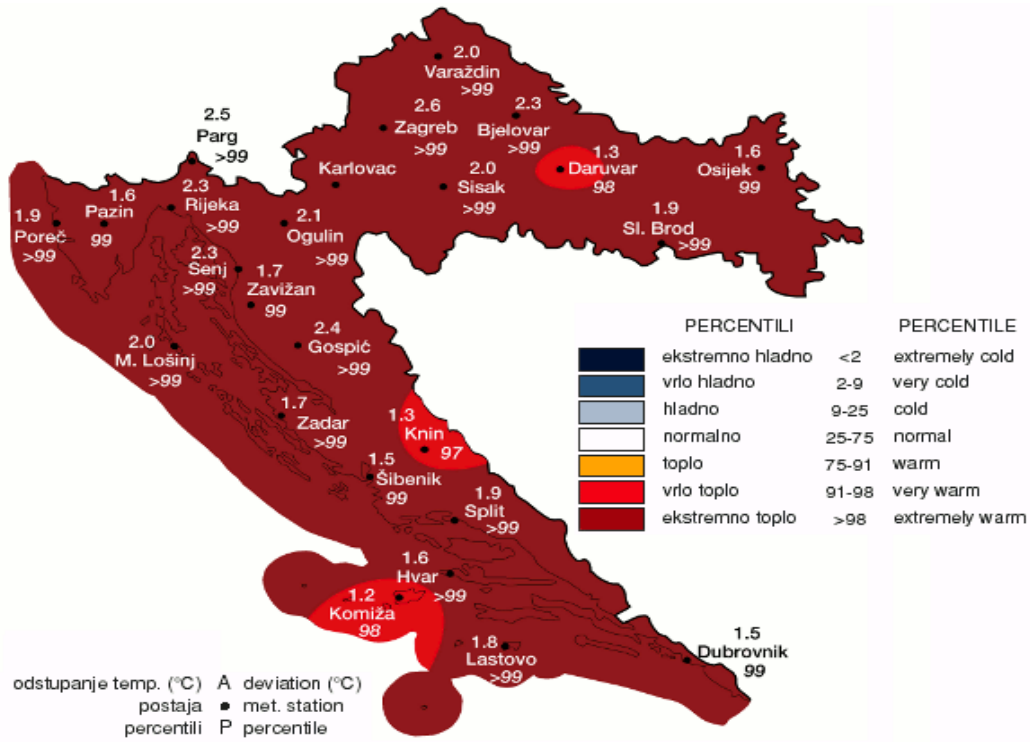
Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)



Slika 38. Odstupanje količine oborine za svibanj 2013. godine.

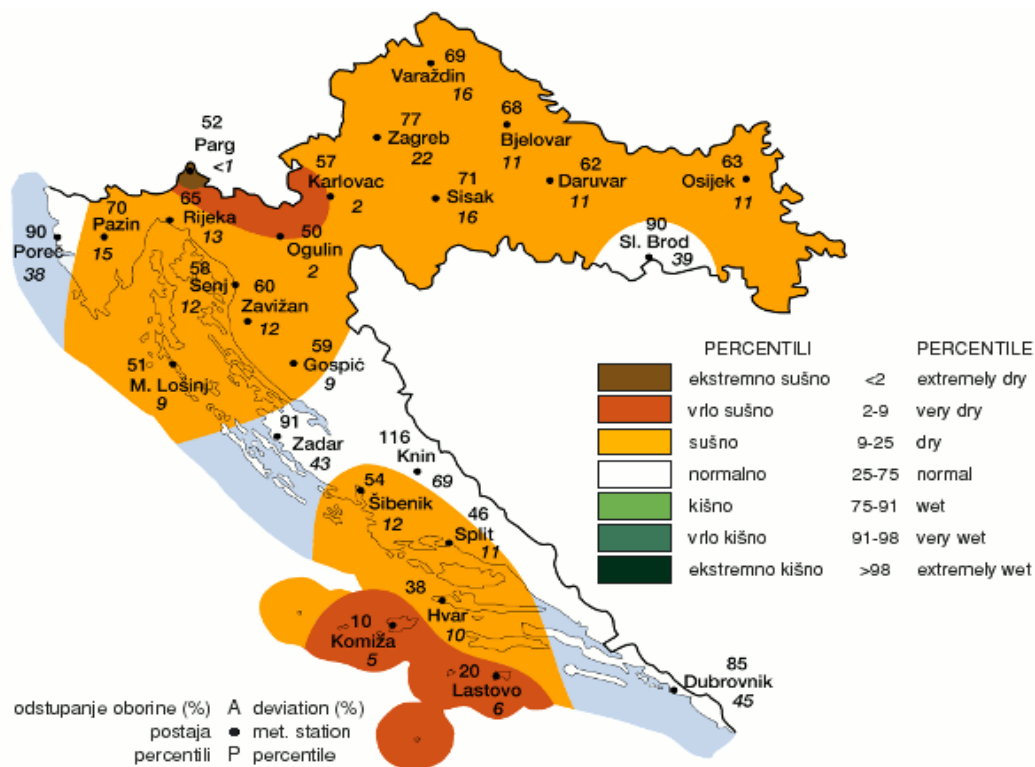
Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)

Tako su u srpnju i kolovozu zabilježene ekstremno visoke temperature, oborina gotovo da i nije bilo. Visoke temperature zraka tijekom ljetnih mjeseci i prosjeci oborina prikazani su na : Slici 39 i Slici 40.



Slika 39. Odstupanje srednje temperature zraka u ljeto tijekom 2013.godine.

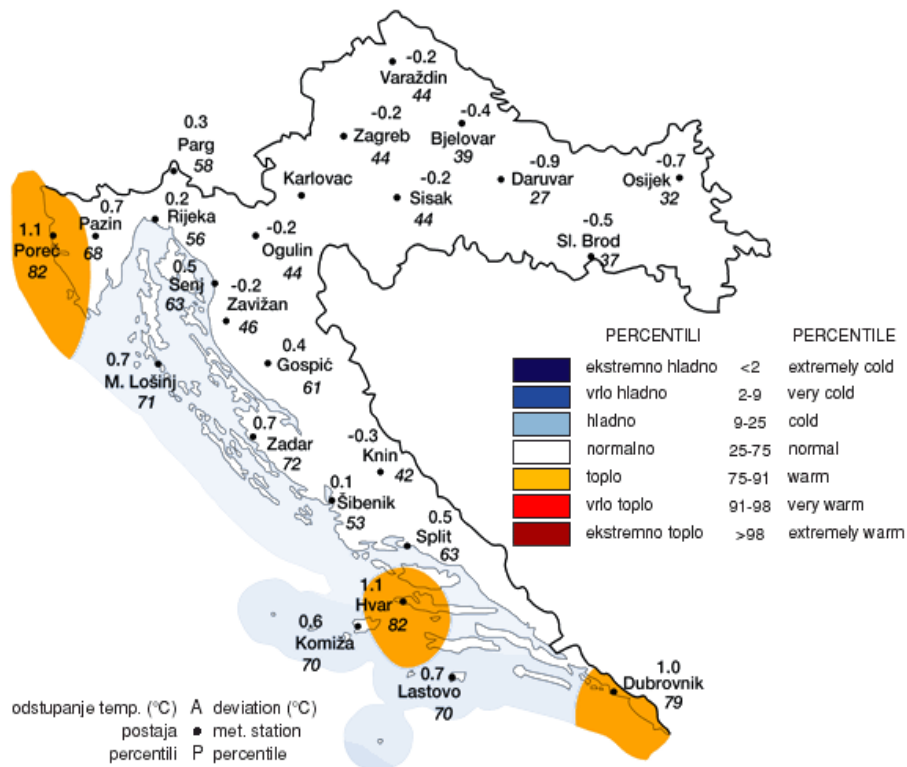
Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)



Slika 40. Odstupanje srednje količine oborina u ljeto 2013.godine.

Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)

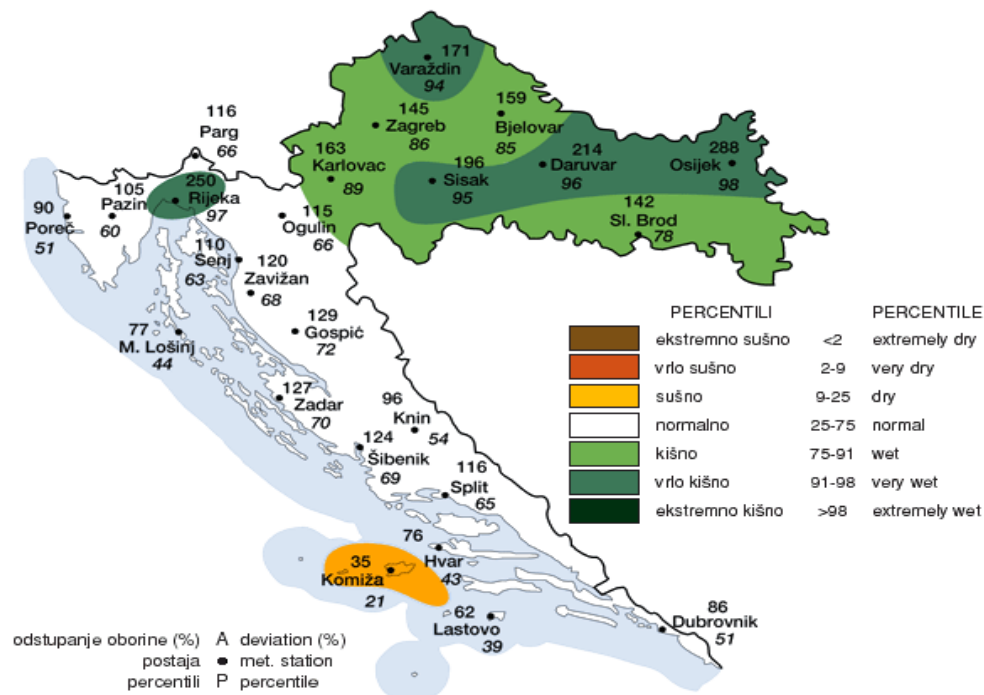
Značajnije snižavanje temperature zabilježene su tek početkom jeseni, u rujnu. Tada je ujedno nastupilo i blago zahlađenje zbog pojave vrlo kišnog vremena. Analizom temperaturnih anomalija za rujnu 2013. godine utvrđeno je da su u kontinentalnom dijelu Hrvatske srednje mjesečne temperature zraka bile ispod višegodišnjeg prosjeka Kao što je i prikazano na Slici 41.



Slika 41. Odstupanje srednje temperature zraka u rujnu 2013.godine.

Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)

Analiza količina oborina za rujan 2013. godine koje su izražene u postocima (%) višegodišnjeg prosjeka (1961. - 1990.) pokazuje da su količine oborine bile većinom iznad višegodišnjeg prosjeka. Odstupanja srednjih količina oborina u rujnu 2013. godine prikazana su na Slici 42.



Slika 42. Odstupanja srednjih količina oborina u rujnu 2013.godine.

Izvor: [http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)

Na temelju prikazanih meteoroloških prilika može se zaključiti da se uzgoj sirkova u provedenom pokusu za bioplin odvijao u prilično nepovoljnim uvjetima što je imalo za posljedicu ostvarenje prinosa biomase i suhe tvari niže od potencijala rodosti ispitivanih hibrida.

### 5.3.9. Potencijal proizvodnje bioplina u Republici Hrvatskoj

Sektor proizvodnje i iskorištavanja bioplina u Republici Hrvatskoj je jedan od najmanje razvijenih. Istovremeno je i najdinamičniji sektor među obnovljivim izvorima energije. Vrlo jaki poticaj prema proizvodnji bioplina iz životinjskih ekskremenata došao iz transponiranja tzv. Nitratne direktive u nacionalno zakonodavstvo i usvajanje paketa. Ona opisuje proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije zajedno sa tarifnim sustavom za povlaštene proizvođače. Do danas, bioplin nije bio u fokusu proizvodnje obnovljivih izvora energije na najvišim razinama svjetske politike. No, bioplin bi mogao doprinijeti ispunjenju ciljeva ne samo vezanih za proizvodnju obnovljive energije nego i, u najmanju ruku, ciljeva zaštite okoliša (Kulišić, 2009.).

Do 2012. godine se električna energija iz obnovljivih izvora proizvodila u elektrani na deponijski plin snage 2 MW, na zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševac i vjetroelektrani Ravne na Pagu snage 5,95 MW, te nizu malih fotonaponskih sustava. Pored spomenute elektrane na deponijski plin na Jakuševcu, to su elektrana na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda snage 2,5 MW pri Zagrebačkim otpadnim vodama u Zagrebu i bioplinsko postrojenje u Ivankovu snage 1 MW. Elektrana na bioplin iz poljoprivredne biomase je u vlasništvu Poljoprivredne zadruge Osatina, a s redovnim pogonom i isporukom električne energije u elektroenergetsku mrežu je krenula u veljači 2009. godine (Al Seadi i Kulišić, 2008.). Do sredine 2009. godine je registriran rad svega tri bioplinska postrojenja, s time da je samo jedno od njih koristilo sirovinu koja je porijeklom iz poljoprivrede i sa statusom povlaštenog proizvođača električne energije.

#### 5.3.10. Strategijski ciljevi energetskeg razvoja Republike Hrvatske

Strategijski ciljevi energetskeg razvoja Republike Hrvatske prema Fištreku (2013.) su:

- udio obnovljivih izvora energije 20% u bruto neposrednoj potrošnji energije
- 10% udio obnovljivih izvora energije u svim oblicima prijevoza
- 5% udio električne energije iz obnovljivih izvora energije, uključujući velike hidroelektrane, u ukupnoj potrošnji električne energije
- 20% udio bruto neposredne potrošnje energije za grijanje i hlađenje iz obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije za grijanje i hlađenje
- Proizvodnja 84 PJ energije iz obnovljivih izvora energije u 2020.

Republika Hrvatska će strategijom energetskeg razvoja poticati: proizvodnju i uporabu bioplina, domaću proizvodnju bioplinskih postrojenja, izgradnju distribuiranih izvora energije (iskoristivih za potrebe samih farmi, ali i lokalne zajednice) radi zbrinjavanja otpada iz poljoprivredne proizvodnje, smanjenja emisije stakleničkih plinova. To će omogućiti poticanje razvoja poljoprivrednih gospodarstva. Vlada Republike Hrvatske će svojim politikama unapređivati suradnju nadležnih ministarstva. Na taj će se način djelovati u cilju stvaranja edukativnih programa usmjerenih prema korisnicima i potencijalnim poduzetnicima. Cilj je da se već u 2010. godini iz obnovljivih izvora energije proizvodi oko 42 PJ, a u 2020. godini čak oko 84 PJ.

Republika Hrvatska strategijom postavlja cilj da iz poljoprivredne proizvodnje u energetske svrhe iskoristi u 2020. godine ekvivalent od barem 20% ukupnih uvjetnih grla i da tako proizvede oko 2,6 PJ energije iz bioplina odnosno oko 100 milijuna m<sup>3</sup> bioplina (Kralik, 2011.).

## 6. ZAKLJUČAK

Prosječni prinos suhe tvari biomase ispitivanih sirkova bio je 13,5 t/ha suhe tvari, što se može smatrati relativno niskim ali očekivanim prinosom s obzirom na primijenjenu agrotehniku i vremenske uvijete tijekom pokusne 2013. Godine. Istraživane sorte silažnog sirka u primijenjenom roku košnje (faza metličanja), koja je obavljena 2. rujna 2013. godine, pokazale su različiti prinos suhe tvari po jedinici površine. Ostvari prinos suhe tvari kretao se od 6,8 t/ha kod sirka zrnaša Poljoprivrednog instituta u Osijeku, do 17,0 t/ha kod hibrida silo sirka KWS Tarzan. Sukladno s najvećim ostvarenim prinosom suhe tvari od 17,0 t/ha kod hibrida silo sirka KWS Tarzana može se reći da je silo-sirak veliki proizvođač biomase.

Paralelno s ispitivanjima prinosa suhe tvari (t/ha), obavljeno je i procjenjivanje prinosa bioplina i prinosa metana. Prosjek procijenjenog prinosa bioplina bio je 8137 nm<sup>3</sup>/ha, te da se isti kretao u rasponu od 4110 nm<sup>3</sup>/ha kod sirka zrnaša Poljoprivrednog instituta u Osijeku do 10276 nm<sup>3</sup>/ha kod KWS hibrida silo sirka Tarzana. Prosjek procjene prinosa metana za sve ispitivane genotipove bio je 4138 nm<sup>3</sup>/ha, i isti se, ovisno o genotipu kretao u rasponu od 2090 nm<sup>3</sup>/ha kod sorte sirka zrnaša Poljoprivrednog instituta u Osijeku do 5225 nm<sup>3</sup>/ha kod hibrida silo sirka KWS Tarzana.

Istraživanje je pokazalo da se unatoč nepovoljnim vremenskim prilikama tijekom 2013. godine, mogu ostvariti vrlo dobri proizvodni rezultati.



## 7. LITERATURA

- \*\*\* (2012.): Isplativost proizvodnje krmnog sirka u 2012. *Gospodarski list* 2012(22):10-11.  
<http://www.gospodarski.hr/Publication/2012/10/isplativost-proizvodnje-krmnog-sirka-u-2012/7630>
- \*\*\* (2014) Bioplin. Croatian – Hungarian renewable energy network.  
<http://www.chren.eu/index.php/hr/biogas/19-bioplin>
- \*\*\* (2014.): Priprema silaže. AS. Hibridi. Novi beograd
- \*\*\* (2014.a): Biomasa – obnovljivi izvor energije. *Gospodarski list* 2014(13):47-59.
- Al Seadi, T., Kulišić, B. (2008): Bioplin priručnik. Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb.  
[https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik\\_za\\_bioplin\\_w.pdf](https://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf)
- Antoski, S., Reljin, S., Romić, S., Sivčev, S., Stančev, S., Šušić, S., Vukašinović, S., Bešatak, T., Dimitrovski, T., Vrebalov, T., Blečić, V., Butozan, V., Crnčević, V., Đorđević, V., Jasnić, V., Kovačević, V., Litričin, V., Mihalić, V., Nejgebauer, V., Penavin, V., Radovanović, V., Ranđelović, V., Sadar, V., Trunančić, V., Ranđelović, V., Bayer, Z., Katić, Z., Lazić, Z., Racz, Z., Smrček, Z., Štafa, Z., Vukičević, Z., Zakić, Z., Janković, Ž., Tešić, Ž., (1973.): Poljoprivredna enciklopedija: treći tom. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb.
- Chobotowa, M., Babić, D. (2012): KWS Hibridni sirak: karakteristike hibrida i tehnologija proizvodnje. Proizvođački katalog. KWS Sjeme d.o.o. Požega.  
<https://www.kws.hr/aw/KWS/croatia/~dwaj/Sirak/>
- Del Gatto, A., Mangoni, L., Pieri, S. (2013.): Evaluation of biomass sorghum genotypes during three harvesting dates in East Central Italy. VII Congreso Iberice de Agroingenieria y Cicencias Hortícolas. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Državni hidrometeorološki zavod (2013): Praćenje klime: ocjena mjeseca, sezone i godine
- Fištrek, Ž. (2012.): Razvitak održivog tržišta bioplina u srednjoj i istočnoj Europi. Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb.  
[http://www.biogasin.org/files/pdf/hr\\_interaktivni/2\\_Razvoj%20trzista%20bioplina%20u%20EU%20i%20potencijali%20u%20RH.pdf](http://www.biogasin.org/files/pdf/hr_interaktivni/2_Razvoj%20trzista%20bioplina%20u%20EU%20i%20potencijali%20u%20RH.pdf)
- Gagro, M. (1997.): Žitarice i zrnate mahunarke. Hrvatsko agronomsko društvo. Zagreb.
- Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M., Lorenzoni, C. (2004.): Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops and Products* 20(1):23–28.

- Horvatović, Z., Stojkov, M., Janković, Z., Tunić, D., Galeb, V.: Bioplin i bioplinsko postrojenje 2013. godine,  
[http://klima.hr/ocjene\\_arhiva.php](http://klima.hr/ocjene_arhiva.php)  
<http://www.ashibridi.rs/novosti/saveti/24/priprema-silaze-.html>
- Kolombo, M., (2009.): Bioplin prednosti i nedostaci. Goriva i maziva 48(2):222-226.
- Kovačević, V., Rastija, M. (2009.): Žitarice. Interna skripta, neobjavljena. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek.
- Kralik, D. (2010.): Potencijal bioplina u Hrvatskoj. Hrvatska gospodarska komora. Zajednica obnovljivih izvora energije. Grupacija za bioplin.  
[http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF\\_OBNOVLJIVI\\_COM/Potencijali\\_bioplina\\_u\\_Hrvatskoj\\_Hrvatsko\\_novinarsko\\_drustvo\\_2.pdf](http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF_OBNOVLJIVI_COM/Potencijali_bioplina_u_Hrvatskoj_Hrvatsko_novinarsko_drustvo_2.pdf)
- Kralik, D., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek: Potencijali bioplina u Hrvatskoj 2011. godine
- Kulšić, B.: Potencijal proizvodnje bioplina u Hrvatskoj, Energetski institut Hrvoje požar, veljača 2009. godine.
- KWS (2012): Tehnologija proizvodnje sirka. Proizvođački katalog.  
<http://www.kws.de/go/id/thb>
- Mahmood, A., Ullah, H., Ijaz, M., Javaid, M. M., Shahzad, A. N., Honermeier, B. (2013.): Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. Australian Journal of Crop Science 7(10):1456-1462.
- Pospišil, A. (2010.): Ratarstvo 1 dio. Zrinski d.d. Čakovec.
- Roth, G. W., Harper, J. K. (2012.): Ensiling sorghum. Penn State College of Agriculture.  
<http://www.PennStateCollegeofAgricultureandScience.com>
- Stjepanović, M. (2002.): Krmno bilje. Interna skripta, neobjavljena, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek.
- Šljivac, D., Šimić, Z. (2009.): Obnovljivi izvori energije – Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija. Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske.  
<http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>

## 8. SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je prikazati proizvodnost biomase i suhe tvari sirka za bioplin u uvjetima 2013. godine u Dalju te procjenu prinosa bioplina i metana po jedinici površine. Ispitivanje proizvodnosti biomase i suhe tvari provedeno je metodom poljskog pokusa, a procjena prinosa bioplina i metana korištenjem referentnih prinosa po kilogramu suhe tvari biomase iz literaturnih podataka. Ostvareni prinosi suhe tvari biomase sirkova kretali su se u rasponu od 6,8 do 17 t/ha, ovisno o genotipu, a procijenjeni prinosi bioplina od 4110 do 10276 nm<sup>3</sup>/ha i metana od 2090 do 5225 nm<sup>3</sup>/ha, također ovisno o ispitivanom genotipu sirka. Relativno niski prinosi suhe tvari biomase u odnosu na proizvodni potencijal ispitivanih genotipova može se objasniti nepovoljnim okolišnim uvjetima tijekom provođenja poljskog pokusa. Rezultati ispitivanja proizvodnosti biomase i suhe tvari mogu smatrati visoko relevantnima za manje povoljne okoliše, a procijenjeni prinosi bioplina i metana trebaju se prihvatiti s oprezom jer je primijenjena formula procjene na temelju prinosa bioplina po jedinici suhe tvari biomase, bez uvažavanja razlika u kvaliteti biomase među ispitivanim genotipovima. Posebnosti kvalitete pojedinih genotipova nisu bile ispitane u vrijeme izrade ovoga rada zbog ograničenosti istraživačkih resursa.

Ključne riječi: sirak, bioplin, metan, suha tvar, prinos

## 9. SUMMARY

### **SILAGE SORGHUM PRODUCTION FOR BIOGAS**

The aim of this study was to present biomass and dry matter productivity of sorghums for biogas in the conditions of 2013 in Dalj, and to estimate the biogas and methane yield per unit area. Investigation of biomass and dry matter yield was conducted by field trial and estimation of biogas and methane yield by using reference yields per kg of dry matter of the biomass from the literature data. Realized average dry matter yields varied from 6.8 t/ha to 17,0 t/ha, depending on the sorghum genotype. Estimated biogas yields varied from 4110 nm<sup>3</sup>/ha to 10276 nm<sup>3</sup>/ha and methane yield from 2090 nm<sup>3</sup>/ha to 5225 nm<sup>3</sup>/ha, depending on the genotype too. Yields of dry matter of the biomass were relatively low in comparison with the potential productivity of investigated silage sorghums due to unfavorable environmental conditions during the study. The biomass and dry matter productivity may be considered highly relevant to less favorable environmental conditions, but estimate yields of biogas and methane should be considered with caution due to method of estimation – i.e. “flat rate” coefficients regardless the genotypes’ herbage quality specialties. The genotypes herbage quality specialties’ were not analyzed due to limited research resources.

Keywords: sorghum, biogas, methane, dry matter yield

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Utjecaj različitih temperatura na klijanje sjemena .....	10
Tablica 2. Sredstava za zaštitu usjeva sirka od korova.....	22
Tablica 3. Prosječan kemijski sastav bioplina.....	35
Tablica 4. Prikaz ovisnosti dužine trajanja procesa o temperaturi .....	38
Tablica 5. Prosječan prinos svježe mase kod ispitivanih hibrida (t/ha), prosječan udio suhe tvari u svježoj masi i prinos suhe tvari .....	58
Tablica 6. Procijenjeni prinosi bioplina i metana na pokusu u Dalju (2013. godine.).....	60

## 11. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Predviđanja i vrhunac proizvodnje sirove nafte na svjetskoj razini.....33

## 12. POPIS SLIKA

Slika 1. Rasprostranjenost sirka u svijetu.....	6
Slika 2. Sjetva sirka pneumatska sijačicom za kukuruz ili šećernu repu.....	15
Slika 3. Rezultat sjetve sirka pneumatskom sijačicom za kukuruz ili šećernu repu.....	16
Slika 4. Predsjetvena priprema tla i sjetva u jednom prohodu.....	16
Slika 5. Rezultat predsjetvene pripreme tla i sjetve u jednom prohodu.....	17
Slika 6. Direktna sjetva.....	17
Slika 7. Rezultat direktne sjetve.....	18
Slika 8. Oštećenje sirka od herbicida.....	23
Slika 9. Učinkovitost zaštite usjeva od korova.....	24
Slika 10. <i>Exerohilum turcicum</i> ( <i>Helminthosporium turcicum</i> ).....	25
Slika 11. <i>Diabroticae virgifera</i> na listu kukuruza.....	25
Slika 12. Kukuruzni plamenac ( <i>Ostrinia nubilalis</i> ) u stabljici sirka.....	26
Slika 13. Lisne uši na listu sirka.....	27
Slika 14. Žetva silažnoga sirka silažnim kombajnom.....	28
Slika 15. Bunker silos.....	31
Slika 16. Kukuruzna silaža skladištena u velikoj hrpi na zemlji, pokrivena slojem travnate silaže.....	31
Slika 17. Održivi ciklus proizvodnje bioplina anaerobnom digestijom.....	34
Slika 18. Bioplinsko postrojenje s kodigestijom kukuruzne silaže i stajskog gnoja.....	39
Slika 19. Utovarivač puni spremnik (kontejner) kukuruznom silažom.....	41
Slika 20. Shema digistora kod bioplinskog postrojenja.....	42
Slika 21. Sustav grijanja bioplinskog postrojenja.....	43
Slika 22. Miješalica s lopaticama smješšana unutar fermentatora.....	45
Slika 23. Vanjsko niskotlačno spremište za skladištenje plina.....	46
Slika 24. Sigurnosni tlačni ventili.....	46
Slika 25. Moderne baklje za bioplin.....	47
Slika 26. Spremišta za skladištenje digestata pokrivena prirodnim plutajućim slojem.....	48
Slika 27. Sustavi kontrole preko računala.....	49
Slika 28. Odabrana parcela za sjetvu pokusa sirka za bioplin.....	52
Slika 29. KWS Freya.....	53
Slika 30. KWS Tarzan.....	54
Slika 31. Stabljika s listovima KWS hibrida krmnog sirka Zerberus.....	54

Slika 32. Metlica KWS hibrida krmnog sirka Zerberus.....	54
Slika 33. Ručno izvođenje redova za sjetvu.....	55
Slika 34. Ručna sjetva sirka u pokusu za bioplin.....	55
Slika 35. Ponikli redovi sirka „Tarzan“ 18. svibnja.2013.....	56
Slika 36. Poniknuli redovi sirka „Zerberus“ 18. svibnja 2013.....	56
Slika 37. Odstupanja srednje temperature zraka za svibanj 2013.godine.....	64
Slika 38. Odstupanje količine oborine za svibanj 2013. godine.....	64
Slika 39. Odstupanje srednje temperature zraka u ljeto tijekom 2013. godine.....	65
Slika 40. Odstupanje srednje količine oborina u ljeto 2013. godine.....	66
Slika 41. Odstupanje srednje temperature zraka u rujnu 2013. godine.....	67
Slika 42. Odstupanja srednjih količina oborina u rujnu 2013. godine.....	68



### 13. ZAHVALA

Mentoru doc. dr. sc. Ranku Gantneru, na susretljivosti, razumijevanju i pomoći pri pisanju rada.

Roditeljima na poticajnom duhu, savjetima i podršci prilikom školovanja i studiranja.

Mojim prijateljima koji su me bodrili i pružali podršku tijekom moga studiranja.

## 14. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studiji Bilinogojstvo – biljna proizvodnja

### PROIZVODNJA SILAŽNOG SIRKA ZA BIOPLIN

Tomislav Prgić

#### Sažetak:

Cilj ovog rada bio je prikazati proizvodnost biomase i suhe tvari sirka za bioplin u uvjetima 2013. godine u Dalju te procjenu prinosa bioplina i metana po jedinici površine. Ispitivanje proizvodnosti biomase i suhe tvari provedeno je metodom poljskog pokusa, a procjena prinosa bioplina i metana korištenjem referentnih prinosa po kilogramu suhe tvari biomase iz literaturnih podataka. Ostvareni prinosi suhe tvari biomase sirkova kretali su se u rasponu od 6,8t/ha do 17,0 t/ha, ovisno o genotipu, a procijenjeni prinosi bioplina od 4110 nm<sup>3</sup>/ha do 10276 nm<sup>3</sup>/ha i metana od 2090 nm<sup>3</sup>/ha do 5225 nm<sup>3</sup>/ha, također ovisno o ispitivanom genotipu sirka. Relativno niski prinosi suhe tvari biomase u odnosu na proizvodni potencijal ispitivanih genotipova može se objasniti nepovoljnim okolišnim uvjetima tijekom provođenja poljskog pokusa. Rezultati ispitivanja proizvodnosti biomase i suhe tvari mogu smatrati visoko relevantnima za manje povoljne okoliše, a procijenjeni prinosi bioplina i metana trebaju se prihvatiti s oprezom jer je primijenjena formula procjene na temelju prinosa bioplina po jedinici suhe tvari biomase, bez uvažavanja razlika u kvaliteti biomase među ispitivanim genotipovima. Posebnosti kvalitete pojedinih genotipova nisu bile ispitane u vrijeme izrade ovoga rada zbog ograničenosti istraživačkih resursa.

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Mentor doc. dr. sc. Ranko Gantner

Broj stranica: 82

Broj grafikona i slika: 1 i 42

Broj literaturnih navoda: 24

Broj priloga: 10

Jezik izvornika : hrvatski

Ključne riječi: sirak, bioplin, metan, suha tvar, prinos

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

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

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

## 15. BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Osijek B.Sc.  
Faculty of Agriculture  
Graduate programs Plant - crop production

### SILAGE SROGHUM PRODUCTION FOR BIOGAS

Tomislav Prgić

#### Summary:

The aim of this study was to present biomass and dry matter productivity of sorghums for biogas in the conditions of 2013 in Dalj, and to estimate the biogas and methane yield per unit area. Investigation of biomass and dry matter yield was conducted by field trial and estimation of biogas and methane yield by using reference yields per kg of dry matter of the biomass from the literature data. Realized average dry matter yields varied from 6.8t/ha to 17,0 t/ha, depending on the sorghum genotype. Estimated biogas yields varied from 4110 nm<sup>3</sup>/ha to 10276 nm<sup>3</sup>/ha and methane yield from 2090 nm<sup>3</sup>/ha to 5225 nm<sup>3</sup>/ha, depending on the genotype too. Yields of dry matter of the biomass were relatively low in comparison with the potential productivity of investigated silage sorghums due to unfavorable environmental conditions during the study. The biomass and dry matter productivity may be considered highly relevant to less favorable environmental conditions, but estimate yields of biogas and methane should be considered with caution due to method of estimation – i.e. “flat rate” coefficients regardless the genotypes’ herbage quality specialties.

The genotypes herbage quality specialties’ were not analyzed due to limited research resources..

The work was created at the Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor doc. dr. sc. Ranko Gantner

Number of pages: 82

The number of graphs and images: 1:42

Number of literature citations: 24

Number of attachments: 10

Source language: Croatian

Keywords: sorghum, biogas, methane, dry matter yield

Date of defense:

Expert Committee on Defence:

1st prof. dr. sc. Bojan Stipešević, President

2nd doc. dr. sc. Ranko Gantner, mentor

3rd prof. dr. sc. Davor Kralik member

The work is stored in the Library, Faculty of Agriculture, University of Osijek, King Peter Svacica 1d.