

# POJMOVNIK BIOPLINA

## Priručnik



**Tajana Krička**  
**Neven Voća**  
**Vanja Jurišić**



**Imena autora i naslov:**

Tajana Krička, Neven Voća, Vanja Jurišić  
Pojmovnik bioplina: priručnik

**Podatak o izdanju:**

naklada 500 primjeraka

**Mjesto i godina izdavanja:**

Zagreb, 2009.

**Naziv nakladnika i sjedište:**

Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, Avenija Dubrovnik  
12, 10000 Zagreb

**Naziv tiskare i sjedište:**

Biga d.o.o. Sranjska 4

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu  
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 673625  
ISBN 978-953-6135-72-1

**Recenzenti:**

prof.dr.sc. Mirsad Đonlagić,  
Fakultet Elektrotehnike, Univerzitet u Tuzli, BiH  
prof.dr.sc. Tomislav Jurić,  
Poljoprivredni fakultet, Sveučilište J.J. Strossmayer u Osijeku  
doc.dr.sc. Tibela Landeka Dragičević,  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**Lektura:**

Višnja Barać, prof.

Objavlivanje ovog sveučilišnog priručnika odobrio je Senat Sveučilišta u Zagrebu.

**KAZALO**

<b>PROSLOV</b>	<b>1</b>
<b>A</b>	<b>1</b>
ANAEROBNA FERMENTACIJA.....	1
<b>B</b>	<b>2</b>
BIOGORIVA.....	2
BIOMASA.....	2
BIOPLIN.....	3
BIOPLINSKO POSTROJENJE.....	3
<b>C/Č/Ć</b>	<b>4</b>
CHP POSTROJENJA.....	4
ČIMBENICI PROIZVODNJE BIOPLINA.....	4
<b>D/Đ/DŽ</b>	<b>6</b>
DIREKTIVA O BIOGORIVIMA.....	6
DRUGA GENERACIJA BIOGORIVA.....	6
<b>E</b>	<b>7</b>
EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA.....	7
EFEKT STAKLENIKA.....	8
ENERGIJA.....	8
<b>F</b>	<b>9</b>
FERMENTIRANI OSTATAK – BIOGNOJIVO.....	9
FERMENTORI ZA PROIZVODNJU BIOPLINA.....	10
<b>G</b>	<b>11</b>
GORIVO.....	11
GLICEROL.....	11
GNOJOVKA.....	12
GNOJNICA.....	13

<b>H</b>	<b>14</b>
HIGIJENIZACIJA...	14
<b>I/J</b>	<b>15</b>
INOKULUM.....	15
JEDINIČNE VRIJEDNOSTI I MATEMATIČKO MODELIRANJE.....	15
<b>K</b>	<b>17</b>
KYOTSKI PROTOKOL.....	17
KOFERMENTACIJA.....	17
KOGENERACIJA.....	18
KOGENERACIJSKO POSTROJENJE.....	19
KOROZIJA.....	21
KONTINUIRANO BIOPLINSKO POSTROJENJE.....	22
KRUTO GNOJIVO.....	22
KLAONIČKI OTPAD.....	23
<b>L</b>	<b>24</b>
LEGISLATIVA.....	24
<b>M</b>	<b>26</b>
METANOGENE BAKTERIJE.....	26
METAN KAO BIOGORIVO.....	27
MIJEŠALICE.....	27
<b>N/NJ</b>	<b>28</b>
NAJZNAČAJNIJI TIPOVI POSTROJENJA (JEDNOSTRUKA/DVOSTRUKA POSTROJENJA).....	28
NAČINI IZGRADNJE BIOPLINSKIH POSTROJENJA.....	29
<b>O</b>	<b>30</b>
ODSUMPORAVANJE BIOPLINA.....	30
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE.....	30
ORGANSKA GNOJIVA.....	31

OKOLIŠ.....	31
OTPAD.....	32
OTPAD ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA.....	33

<b>P</b>	<b>34</b>
----------	-----------

PLUTAJUĆE ČESTICE .....	34
PRAVILNIK O NAČINU POSTUPANJA S NUSPROIZVODIMA ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA KOJI NISU ZA PREHRANU LJUDI.....	34
PREDTRETMAN ULAZNE SIROVINE.....	35
PRVA GENERACIJA BIOGORIVA.....	35
PRIKLJUČAK BIOPLINSKOG POSTROJENJA NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU.....	36

<b>R</b>	<b>37</b>
----------	-----------

RAZGRADNJA ORGANSKOG MATERIJALA TIJEKOM ANAEROBNE FERMENTACIJE.....	37
---	----

<b>S/Š</b>	<b>38</b>
------------	-----------

STOČARSTVO.....	38
STRATEGIJA O BIOGORIVIMA.....	38
SPREMNIK BIOPLINA.....	39
SASTAV BIOPLINA.....	39
SIROVINE.....	39
ŠARŽNO BIOPLINSKO POSTROJENJE.....	43

<b>T</b>	<b>44</b>
----------	-----------

TONUĆE ČESTICE.....	44
TARIFNI SUSTAV.....	44
TEKUĆE GNOJIVO.....	45

<b>U</b>	<b>46</b>
----------	-----------

UPRAVLJANJE OTPADOM/OSTATKOM.....	46
UTROŠAK RADA.....	46
UPRAVLJANJE BIOPLINSKIM POSTROJENJEM.....	47

UVJETI PRI KOJIMA SE ODVIJA ANAEROBNA FERMENTACIJA.....47

**V** **48**

VRIJEME ANAEROBNE FERMENTACIJE.....48

VIRTUALNE BIOPLINSKE ELEKTRANE.....48

**Z / Ž** **49**

ZAKON O GNOJIVIMA I POBOLJŠIVAČIMA TLA.....49

ZAŠTITA OKOLIŠA.....50

ŽIVOT.....50

**LITERATURA** **52**

---

# PROSLOV

Ubrzani razvoj, koji je posljedica tehničko-tehnološke revolucije, kako u prošlom tako i u ovom stoljeću, zasniva se na mogućnostima zadovoljavanja sve većih potreba za energijom. Zbog neusuglašenosti potreba i mogućnosti, svijet je doživio tri energetske krize i to sedamdesetih, osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća, a posljednja, četvrta, nažalost traje i danas, svom svojom žestinom. Posljedica tih kriza je pojačana zainteresiranost za bolje i racionalnije korištenje postojećih, ali i korištenje novih, obnovljivih energetskih izvora.

Nakon dvaju energetskih kriza nastaje globalna 'ekološka kriza', koja se u razvijenim državama očituje poglavito kao problem zbrinjavanja otpada - nekontrolirano i neodgovorno odložen otpad ugrožava zdravlje ljudi i okoliš. Stoga je s novim interesima došlo do mijenjanja globalne energetske politike poticanjem proizvodnje energije iz biomase i otpada.

Sve zemlje Europske unije preuzele su obvezu promjene odnosa u energetskom sektoru temeljem zajedničkih pravila koja su određena „Bijelom“ i „Zelenom knjigom“. „Bijela knjiga“ Europske komisije definira 2010. godinu kao krajnji rok do kojega se emisija CO<sub>2</sub> mora smanjiti za 50% u transportu i to za period od 1990. do 2010. godine, što iznosi 84% od ukupnog smanjenja emisija CO<sub>2</sub> u atmosferi. Kako je i, između ostaloga, postojala sve veća zabrinutost ljudi za preveliko ispuštanje stakleničkih plinova u atmosferu i njegov utjecaj na smanjenje ozona te njegov utjecaj na zdravlje i globalno zagrijavanje, posegnulo se za dobro znanim tehnologijama proizvodnje bioplina iz otpada stočarske industrije. Biomasa se može smatrati strateškim resursom, jer je ne samo obnovljiva nego i dostupna svugdje i može proizvesti proizvode važne za državni prosperitet, koji mogu poboljšati socioekonomski status (gorivo za transport, električnu i toplinsku energiju, kemikalije i dr.).

U posljednjih desetak godina, u Europskoj uniji instalirano je više stotina većih i manjih bioplinskih jedinica s ciljem proizvodnje bioplina kao goriva u postrojenjima za dobivanje struje i vruće vode. Najveći opskrbljivači sirovinom tih postrojenja su životinjske farme (80%), klaonice, restorani, bolnice i ostala industrijska postrojenja koja imaju organski otpad. Procesom anaerobne fermentacije nastaje bioplin, koji se najčešće sastoji od oko 60% metana, 35% ugljikovog dioksida i 5% smjese vodika, dušika, amonijaka, sumporovodika, ugljikovog monoksida, kisika i vodene pare. Bioplin se najčešće koristi za dobivanje toplinske i električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama. Energetski potencijal je oko 23 MJ/m<sup>3</sup>, zavisno od količine metana.

Pred Vama je prvo izdanje priručnika "Pojmovnik bioplina" kojim želimo pridonijeti boljem razumijevanju i razvoju proizvodnje bioplina. Priručnik je sastavljen od pojmova poredanih abecednim redoslijedom zbog jednostavnijeg pronalaženja pojmova, a kako bi se stručna literatura mogla jednostavnije pratiti. Pišući ovaj priručnik svjesni smo da isti nije idealan, no takav i ne postoji, ali željeli smo popuniti literaturnu prazninu iz ove tematike u Hrvatskoj.

Koristimo priliku da se zahvalimo recenzentima koji su pridonijeli da ovaj Priručnik zaživi.

Zahvaljujemo Gradskom uredu za poljoprivredu i šumarstvo grada Grada Zagreba što su financijski podržali ovaj projekt te posebna zahvala gospođi Željki Gudelj Velaga, dipl.ing. na pomoći koju nam je pružila.

Autori priručnika





Pročelnik Gradskog ureda za poljoprivredu i šumarstvo  
Emil Tuk, dr.vet.med.

Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo provodi niz aktivnosti sa zadaćom da se poveća konkurentnost poljoprivrednih proizvođača uvjetima koji vladaju na tržištu. Samo tako moguće je održati poljoprivrednu proizvodnju, osigurati konkurentnost domaćih proizvoda, osobito onih koji predstavljaju tradiciju i običaje ruralnog dijela Grada Zagreba. Pristupanjem Hrvatske Europskoj uniji pokrenuta je prilagodba zakonskog okvira i pred poljoprivrednike se postavljaju novi zahtjevi, visoki standardi sigurnosti hrane, dobrobiti životinja i zaštite okoliša. Upravo unaprijeđenje poljoprivredne proizvodnje uz očuvanje okoliša je jedan od najvećih izazova koji su pred nama. U tom cilju pripremljen je i projekat „Unaprijeđenje proizvodnje na poljoprivrednim gospodarstvima uvođenjem bioplinskog postrojenja“. Grad Zagreb i njegov prsten, Zagrebačka županija, čine cjelinu u kojoj je razvijena ratarska i stočarska proizvodnja u procesu kojih nastaju određene količine biorazgradivog otpada. Nekontrolirano i neodgovorno odložen otpad ne samo da ne zadovoljava zakonske standarde, već i ugrožava zdravlje ljudi i onečišćenje okoliša. Jedan od rezultata istraživanja u sklopu ovog projekta je i prijedlog kako dobro gospodariti s biološkim otpadom koji nastaje u poljoprivrednoj proizvodnji, koristiti ga i zbrinuti. Osnovno predloženo rješenje je sanacija biološkog otpada, uz neposrednu financijsku dobit, korištenjem tehnologije anaerobne fermentacije koja se koristi u bioplinskim postrojenjima.

Kako rezultati ovog projekta imaju praktičnu primjenu, kroz izgradnju bioplinskih postrojenja smatramo važnim da se naši poljoprivrednici upoznaju s osnovnim pojmovima. Tiskanjem priručnika koji je pred Vama treba pomoći svim potencijalnim korisnicima da se lakše odluče na ulaganje u bioplinska postrojenja.



# A

## ANAEROBNA FERMENTACIJA

Anaerobna fermentacija je biokemijski proces u kojem određene vrste bakterija razgrađuju biomasu u anaerobnim uvjetima. Velik broj bakterija, koje djeluju zajednički, u nekoliko stupnjeva prevode biološki materijal u bioplin. Anaerobne bakterije jedne su od najstarijih živih organizama na zemlji. Izuzev drveta, koji sadrži neprobavljive sastojke poput lignina, ove bakterije mogu razgraditi gotovo sav biološki materijal. Proces anaerobne fermentacije događa se u nekoliko stupnjeva koji uključuju različite vrste bakterija. U prvoj fazi, hidrolitičke i fermentativne bakterije razgrađuju ugljikohidrate, proteine i masti koje se nalaze u biomasi te ih prevode u masne kiseline, alkohol,  $\text{CO}_2$ , vodik, amonijak i sulfide. Ovaj stupanj se naziva hidroliza (ili likvefakcija). Potom, u drugoj fazi, acetogene bakterije dalje razgrađuju produkte hidrolize u octenu kiselinu, vodik i  $\text{CO}_2$ . Na poslijetku, metanogene bakterije prevode ove međuprodukte u bioplin i fermentirani ostatak kao biognojivo.

Prednosti anaerobne fermentacije biomase i otpada jesu:

- dobivanje bioplina kao energenta,
- biomasa je razgrađena i transformirana u masu s visokom hranidbenom vrijednošću što je čini idealnim gnojivom; često je to gnojivo glavni proizvod nakon fermentacije, a bioplin ima tek sporednu važnost,
- tijekom procesa, u fermentoru se uništi čak 99% patogenih bakterija; istovremeno se eliminiraju oblaci muha koje prate takav otpad,
- tvari koje kod netretiranog otpada dovode do neugodnih mirisa, kao što su masne kiseline, fenoli, derivati fenola, u bioplinskom postrojenju se uglavnom razgrađuju i emisija neugodnih mirisa se smanjuje za 90%,
- izuzetan ekološki značaj budući da je metan u atmosferi odgovoran za oko 10% globalnog zatopljenja, a 30 bioplinskih postrojenja prosječne veličine pohrani 4800 metričkih tona metana godišnje i spriječi njihovu emisiju u atmosferu.



Slika 1. Dozatori i fermentori bioplinskog postrojenja

# B

## BIOGORIVA

Biogoriva danas predstavljaju najvredniji oblik obnovljivih izvora energije dobivenih iz biomase. Biogoriva su, s obzirom na podrijetlo, podijeljena na alkoholna biogoriva (kao zamjena ili dodatak benzinu u benzinskim motorima), biljna ulja (kao zamjena ili dodatak mineralnom gorivu u Dieselovim motorima) i plinovita biogoriva (biometan iz bioplina kao zamjena metanu iz zemnog plina u benzinskim motorima).

Danas razlikujemo biogoriva prve generacije i biogoriva druge generacije, ovisno o sirovini koja se koristi za njihovu proizvodnju, kao i o samom procesu proizvodnje.

Biodizel, bioetanol i bioplin u ovom su trenutku najznačajnija biogoriva dobivena iz obnovljivih izvora energije koja se u različitim udjelima dodaju motornim gorivima proizvedenim iz nafte i koriste za motore s unutarnjim izgaranjem.



## BIOMASA

Biomasa je obnovljivi izvor energije, a tim pojmom obuhvaćeni su drvena biomasa (najčešće ostaci iz drvne industrije), žitarice (ostaci poljoprivredne industrije, posebne vrste biljaka) i organski otpad (kućni otpad, otpaci iz industrije). Zbog vrlo širokog značenja samog pojma, proučavanje biomase vrlo je složeno. Biomasa, posebice drvena, dugo je vremena bila najčešće upotrebljavani obnovljivi izvor, posebice za proizvodnju toplinske energije. U posljednje vrijeme biomasa se sve više počinje koristiti i za proizvodnju električne energije, kao i u obliku kogeneracije – kombinirane proizvodnje električne i toplinske energije. Postoje razne procjene potencijala i uloge biomase u globalnoj energetskej politici u budućnosti, no, u svim se scenarijima predviđa njezin značajan porast i bitno važnija uloga.

Gorivo iz biomase se, prema *Uredbi o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora* (Narodne novine, broj 140/97), definira kao 'gorivo koje se dobiva od biljaka ili dijelova biljaka kao što su drvo, slama, stabljike žitarica, ljuštore itd.'

## BIOPLIN

Bioplin nastaje procesom anaerobne fermentacije biomase te je smjesa nekoliko plinova, pri čemu metan i ugljik dioksid čine 90% ukupne smjese. Bioplin se obično sastoji i od manjih količina vodika, dušika, amonijaka, sumporovodika, ugljikovog dioksida, kisika i vodene pare. Metan je zapaljiv plin, a energetski sadržaj bioplina ovisi upravo o količini metana koja se nalazi u njemu. Ogrjevna vrijednost bioplina kreće se od 25 do 26 MJ/m<sup>3</sup>.

Udio metana u bioplinu, ovisno o sirovini obično je od 55-70%. Metan se može prevesti u toplinsku ili električnu energiju korištenjem standardnih kogeneracijskih tehnika. Nadalje, idealan je za kogeneracijska postrojenja, ali se može koristiti i kao gorivo u motorima. Pogodan je za motore s unutarnjim izgaranjem koji, u kombinaciji s generatorom, mogu proizvoditi električnu i toplinsku energiju. Komprimirani se bioplin može također koristiti kao alternativno gorivo u transportu.

Mogućnosti korištenja bioplina su raznolike. Najčešća primjena je direktno na farmama životinja, gdje bioplin pokreće agregate za dobivanje struje i tople vode. Količina tako dobivene energije često premašuje potrebe same farme pa je, ovisno o distributerima, moguće energiju i prodavati. Kao primjer može poslužiti farma sa 760 krava, koja sve potrebe za energijom pokriva iz vlastitog bioplinskog postrojenja, a višak električne energije prodaje i s njime zadovoljava potrebe još 45 prosječnih domaćinstava.

## BIOPLINSKO POSTROJENJE

Bioplinsko postrojenje je sustav u kojem se unutar prirodnog, zatvorenog, hranjivog kružnog toka daju integrirati sljedeći zadaci: odstranjivanje otpada, recikliranje, higijenzacija, opskrba energijom, opskrba gnojivom i proizvodnja humusa.



Slika 2. Bioplinsko postrojenje

# CIČIĆ

## CHP POSTROJENJA

CHP postrojenja (eng. *CHP - combined heat and power*) jest često korišteni naziv za postrojenja s kombiniranim grijanjem i snagom – kogeneracijska postrojenja.

Slika 3. Kogeneracija – za proizvodnju toplinske i električne energije



## ČIMBENICI PROIZVODNJE BIOPLINA

Stvarna proizvodnja bioplina ovisi o mnogo različitih čimbenika:

### 1. Prinos bioplina

Količinu bioplina, dobivenu nakon anaerobne fermentacije, najbolje je izražavati na 1 kg organske suhe tvari (oST), jer se u tom slučaju navodi i količina vlage. Sastav sirovine kao i stupanj razgradivosti iste od presudnog su utjecaja na prinos bioplina.

### 2. Stupanj razgradivosti

Stupanj razgradivosti predstavlja udio organske suhe tvari razgrađen u zadanom vremenu fermentacije. U praksi dolazi do stupnja razgradivosti od najviše 50-80%. Maksimalna razgradivost ne može biti postignuta budući da sirovina sadrži lignin, kojeg metanogene bakterije ne mogu razgraditi.

### 3. Vrijeme fermentacije

Vrijeme fermentacije izuzetno utječe na stupanj razgradivosti, kvalitetu i prinos bioplina (tablica 1).

Tablica 1. Vrijeme fermentacije u odnosu na različite temperature procesa

Temperatura procesa (°C)	Vrijeme fermentacije (dani)
20-25	60
30-35	30
45-55	15

#### 4. Sastav supstrata

Organski sadržaj supstrata uključuje ugljikohidrate, masnoće i proteine. Na sastav supstrata utječe tijekom biocenoze u procesu, kao i produkti koji nastaju pri izmjeni tvari. Na količinski udio glavnih produkata koji nastaju izmjenom tvari pri potpunoj anaerobnoj razgradnji ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) u velikoj mjeri utječe sastav početnog supstrata. Masnoće povećavaju vrijednosti specifične količine plina, proteini – u svezi sa sastavom plina – povećavaju sadržaj metana u bioplinau (tablica 2).

Tablica 2. Specifična iskoristivost i sastav plina pri razgradnji ugljikohidrata, masnoća i proteina

Supstrat	Količina bioplina (L/kg Ž.O.)	Udio metana (%)	Udio ugljikohidrata (%)	Bruto energija (kWh/kg Ž.O.)
ugljikohidrati	790	50	50	4,0
masti	1250	68	32	4,9
proteini	700	71	29	8,0

U proizvodnji bioplina moguće je u proizvodnji energije iskoristiti sve vrste biomase, od životinjskog gnoja pa do zelene biomase. Organsku biomasu moguće je fermentirati cijelu godinu u svježem obliku ili kao biomasu. U ovisnosti o raspoloživom supstratu različit je i prinos bioplina po suhoj tvari. Dobro se primjerice razgrađuju masti, vlakna i stariji dijelovi biljaka. U tablici 3 prikazani su različiti prinosi bioplina uvjetovani ulaznom supstratu koji je podvrgnut anaerobnom fermentacijom.

Tablica 3. Supstrati u proizvodnji bioplina

Sirovina	% suhe tvari	% organske suhe tvari	Udio metana ( $\text{CH}_4$ )	$\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg}$ oST	$\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ supstrata	$\text{Nm}^3$ bioplina/t
goveđa gnojovka	3	80-85	55	0,2	4,8	20-34
svinjska gnojovka	2,5	80-85	60	0,3	6	20
goveđi gnoj	20	80	55	0,2	32	90
svinjski gnoj	20	82,5	60	0,3	48	74
gnoj peradi	20	75	65	0,3	48	56
sadržaj želuca goveđa	12	80	-	0,4	38	-
sadržaj želuca svinja	12	80	-	0,48	44	-
ostaci ekstrakcije uljarica	90	93	58	0,8	680	500
zrna žitarica	-	97	52	-	-	590
slama žitarica	-	93	50	-	-	300
biorazgradivi otpad	30-50	85	-	0,4	102	-

# D/Đ/DŽ

## DIREKTIVA O BIOGORIVIMA

*Direktiva o alternativnim gorivima u cestovnom prijevozu te mjerama za promociju biogoriva (2003/30/EC) je najznačajnija direktiva Europske unije u području biogoriva. U navedenom se dokumentu predlažu mjere koje će po prihvaćanju postati obveza i za zemlje kandidate za prijam u EU, pa tako i za Hrvatsku. Tako zemlje članice EU imaju pravo primijeniti diferenciranu poreznu stopu na biogoriva kako bi se potaknulo njihovo korištenje, što bi 2020. godine rezultiralo zamjenom 10% tradicionalnih goriva u prometu alternativnim.*

Osim navedene Direktive, postoji niz drugih direktiva koje je donijela Europska komisija, a koje se odnose na biomasu i energente dobivene iz iste.

## DRUGA GENERACIJA BIOGORIVA

Sadašnji izazov u proizvodnji biogoriva jesu nove kompetitivne i održive tehnologije i procesi proizvodnje. Kako bi se to postiglo, osim poticanja implementacije u ovom trenutku dostupnih biogoriva, potrebno je i promovirati prijelaz na tzv. drugu generaciju biogoriva, odnosno proizvodnju biogoriva iz većeg broja sirovina uz manje troškove. U tablici 4 navedene su vrste biogoriva druge generacije, kao i sirovine iz kojih se ona proizvode.

Tablica 4. Biogoriva druge generacije

Vrsta biogoriva	Specifično ime	Sirovina	Proces proizvodnje
Bioetanol	Celulozni bioetanol	Lignocelulozni materijali	Hidroliza i fermentacija
Sintetska biogoriva	BTL – biomasa u tekuće gorivo FT – Fischer-Tropsch biodizelsko gorivo Sintetsko biodizelsko gorivo Biometanol Bio-DME – Biodimetil eter	Lignocelulozni materijal	Uplinjavanje i sinteza
Biodizel (hibrid između I. i II. generacije)	NExBTL	Biljna ulja i životinjske masti	Hydrogenacija
Bioplina	SNG (sintetski prirodni plin)	Lignocelulozni materijali	Uplinjavanje i sinteza
Biovodik		Lignocelulozni materijali	Uplinjavanje i sinteza



# E

## EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA

Prema *Uredbi o praćenju emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj* (Narodne Novine, broj 1/07), staklenički plinovi se definiraju kao plinoviti sastojci atmosfere koji se nadziru. Staklenički plinovi jesu komponente atmosfere koje doprinose 'efektu staklenika'. Neki staklenički plinovi prirodno se pojavljuju u atmosferi, dok su neki rezultat ljudske aktivnosti, kao što je izgaranje fosilnih goriva. Kategoriziraju se na sljedeći način:

1. Staklenički plinovi:
  - ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ),
  - metan ( $\text{CH}_4$ ),
  - dušikov monoksid (NO),
  - fluorougljikovodici,
  - perfluorougljici,
  - sumpor-heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ).
2. Indirektni staklenički plinovi:
  - dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ),
  - sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ),
  - ne-metanski hlapivi organski spojevi (NMVOC),
  - ugljikov monoksid (CO).

U sektoru poljoprivrede emisija  $\text{CH}_4$  i NO uvjetovana je različitim poljoprivrednim aktivnostima. Za emisiju  $\text{CH}_4$  je najznačajnije stočarstvo (unutrašnja fermentacija). Kako se broj stoke od 1990. godine konstantno smanjivao, posljedično je došlo i do smanjenja emisije  $\text{CH}_4$  sve do 2000. godine kad je zabilježen porast emisije pri čemu je ovaj trend porasta zadržan do 2004. godine.

Emisija NO promatra se kao izravna emisija iz obrade poljoprivrednih tala, emisija uslijed raspada životinjskog otpada (gospodarenje gnojivima) i neizravna emisija. Slično kao i emisija  $\text{CH}_4$ , od 2000. godine prisutan je trend porasta emisije NO zbog povećanja uporabe mineralnih dušičnih gnojiva.

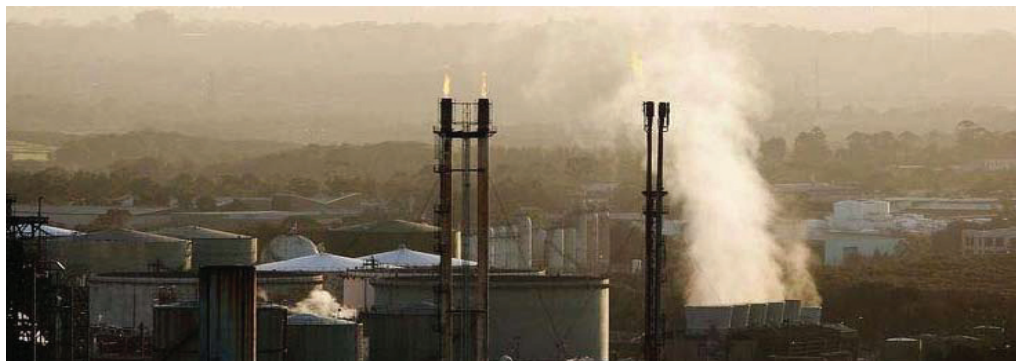
U sektoru poljoprivrede prisutna su dva značajna izvora emisije metana: unutrašnja fermentacija u procesu probave preživača (mliječne krave predstavljaju najveći izvor) i različiti postupci vezani uz spremanje i primjenu organskih gnojiva. Ukupna emisija metana za domaće životinje računa se kao zbroj emisije podrijetlom iz unutrašnje fermentacije i emisije uvjetovane načinom gospodarenja organskim gnojivom.

U okviru sektora poljoprivrede utvrđena su tri izvora emisije NO i to izravna emisija NO iz poljoprivrednih tala, izravna emisija NO iz stočarstva i neizravna emisija NO uvjetovana poljoprivrednim aktivnostima. Najveća emisija od gore navedenih dolazi od izravne emisija iz poljoprivrednih tala, a uključuje ukupne količine dušika koje se javljaju u sustavima uzgoja bilja.

Prema IPCC metodologiji, posebno se analizira primjena mineralnog dušika, dušika iz organskih gnojiva, zatim količina dušika vezana fiksatorima dušika, količina oslobođena razgradnjom biljnih ostataka, te na kraju količina dušika koja se oslobađa mineralizacijom zbog obrade tresetnih tala.

Mjere za smanjenje emisije stakleničkih plinova u sektoru poljoprivrede obuhvaćaju:

- uskladištenje ugljika u poljoprivrednim tlima,
- poboljšanja u primjeni organskih i mineralnih gnojiva u svrhu smanjenja emisije dušikovog oksida,
- smanjenje emisije uslijed smanjenja unutrašnje fermentacije,
- anaerobna fermentacija povezana s razgradnjom organskih gnojiva i proizvodnja bioplina.



## EFEKT STAKLENIKA

Efekt staklenika je proces kojim atmosfera zadržava dio sunčeve energije, zagrijava Zemlju i osigurava pogodnu klimu. Većina znanstvenika smatra kako se ovaj efekt neprirodno povećava zbog ispuštanja 'stakleničkih plinova' uzrokovanih ljudskim aktivnostima, što dovodi do globalnog rasta temperature i klimatskih poremećaja.

## ENERGIJA

Energija je sposobnost sustava za obavljanje nekog rada, a može se reći da su rad i energija ekvivalentni pojmovi, iako opseg i sadržaj tih dvaju riječi nije posve identičan. Promjena energije jednaka je izvršenom radu pa se stoga i izražavaju istom mjernom jedinicom - džul [J]. Obavljanje rada može se manifestirati na mnogo načina: kao promjena položaja, brzine, temperature itd.

Energija se ne može uništiti, ona prelazi iz jednog oblika u drugi, s jednog tijela na drugo i uvijek u skladu sa zakonom o očuvanju energije. Postoje mnogi oblici energije koji opet imaju svoje podskupine koje dolaze do izražaja kod proučavanja različitih znanstvenih problema; to su kinetička, potencijalna, toplinska, unutarnja, električna energija itd.

Energetska vrijednost  $1,0 \text{ m}^3$  bioplina iznosi približno  $6,0 \text{ kWh}$ . Ta količina dovoljna je za približno  $1,8 \text{ kWh}$  električne i približno  $3,6 \text{ kWh}$  toplinske energije.

# F

## FERMENTIRANI OSTATAK – BIOGNOJIVO

Fermentirani ostatak koji ostaje nakon procesa anaerobne fermentacije i dobivanja bioplina može se koristiti kao biognojivo, kao i za potreban vodnjavanje poljoprivrednih površina. Fermentirani ostatak ima nekoliko prednosti kad se koristi kao biognojivo, a to su visoki udio hranjivih tvari, humusne karakteristike te velika količina vode. Anaerobni proces razgradnje organskih supstanci u zatvorenom sustavu bioplinskog postrojenja prolazi praktički bez gubitaka na biljnim hranjivim tvarima. Razgrađene mineralne tvari, a pogotovo dušik, ostaju u cijelosti zadržane te 'spremne' za gnojidbu. Za razliku od gnojidbe s nefermentiranim organskim gnojivima fermentirano organsko gnojivo ima brže djelovanje, jer su hranjive tvari nakon fermentacije već u mineraliziranom obliku i tako mogu biti bolje iskorištene od biljaka. Prednosti fermentiranog ostatka u odnosu na nefermentirani jesu:

- većina se raspoloživog dušika prije fermentacije gnoja nalazi u obliku amonijaka  $\text{NH}_3$  koji se nakon anaerobne fermentacije pretvara u amonijev ion ( $\text{NH}_4^+$ ) i nitratni ion ( $\text{NO}_3^-$ ), koji su rastopljeni u fermentiranom ostatku. Takvi oblici dušika dostupniji su za biljke tijekom gnojidbe te ga biljke koriste brže i manje ga se ispere iz tla u podzemne vode,

- veći dio organskih tvari lakše se inkorporira u tlo s tim da ostane više dušika koji je dostupniji korijenu biljaka,



Slika 4. Detalj usipnog koša

- organske se kiseline u bioplinskim postrojenjima razgrađuju do te mjere da biljkama u tlu su bezopasne. S time postizemo bolji rast biljaka i veći udio organizama koji pridonose stabilnoj strukturi tla (rahla i humusna tla). Fermentirani ostatak može se koristiti kao tekuće ili kruto gnojivo.

## FERMENTORI ZA PROIZVODNJU BIOPLINA

Glavni dio bioplinskih postrojenja su fermentori (digestori) – brtvljeni, nepropusni spremnici koji osiguravaju odgovarajuće uvjete za prirodnu razgradnju organske tvari i proizvodnju bioplina. U fermentorima je moguće odvijanje dva tipa procesa:

- mezofilna razgradnja – spremnici se griju na temperaturu od oko 35°C, a sadržaj ostaje u spremniku do 40 dana. Ova je reakcija manje osjetljiva na promjene uvjeta u fermentoru u odnosu na termofilnu razgradnju, ali je generiranje bioplina sporije i potrebni su veći spremnici.

- termofilna razgradnja – temperatura u spremnicima je oko 55°C i vrijeme razgradnje je do 14 dana. Ovaj proces omogućuje bolji prinos metana, brži protok sadržaja kroz spremnike, bolje uništavanje patogenih bakterija i virusa, ali zahtjeva skuplju tehnologiju, veći unos energije te kompliciranije održavanje i rukovanje postrojenjem.

Fermentori različitih oblika i dimenzija najčešće se izrađuju iz betona, ali se koriste i drugi materijali kao npr. čelik, cigla, polimeri. Atmosfera u fermentorima mora biti kontrolirana, tj. temperatura se mora kretati u rasponu odgovarajućem za proces razgradnje organske tvari. U spremnicima se, osim grijača, nalaze i miješalice koje u određenim vremenskim razdobljima miješaju masu i time omogućavaju bržu razgradnju tvari i ubrzavaju proces stvaranja bioplina. Rad tih miješalica poboljšava proces stvaranja bakterija, te povećava količinu dobivenog plina. Nakon završetka reakcije fermentori se prazne i sadržaj odlazi u separatore, gdje se odvajaju kruta i tekuća faza tog sadržaja. Daljnjom obradom krute i tekuće faze, koja uključuje sušenje, sterilizaciju, analizu kemijskog sastava te eventualne intervencije u sadržaj i oblik, dobiva se ekološko, visokokvalitetno tekuće i kruto gnojivo koje se može

koristiti u poljoprivredi i kućanstvima. Na gornjoj površini fermentora nalaze se cijevi za transport plina. Proizvodnja i potrošnja plina nisu uvijek vremenski sinkronizirani, stoga je potrebno predvidjeti i mogućnost skladištenja plina. Spremnici su najčešće izvedeni u obliku polimernih vreća koje su plinonepropusne, otporne na udarce, temperaturu i starenje.



Slika 5. Fermentor u izgradnji

# G



## GORIVO

Goriva su sve tvari koje izgaranjem daju toplinu. Toplinska energija dobiva se iz goriva kemijskim procesom koji se zove oksidacija ili gorenje. U najviše slučajeva oksidacija je spajanje gorive tvari i kisika. Gorive su tvari najvećim dijelom ugljici pa je gorenje spajanje kisika (gorive tvari) s ugljikom.

I ne-ugljična goriva kao npr. vodik, klor, amonijak, natrij, spajanjem s kisikom oksidiraju i oslobađaju toplinu. Prilikom oksidacije dolazi do kemijske reakcije, promjene u strukturi atoma goriva i oksidansa (kisika) te se takva goriva svrstavaju u kemijska goriva.

Goriva se mogu podijeliti na razne načine i to na goriva prema agregatnom stanju, nastanku, vrsti izvora energije i primjeni.

## GLICEROL

Prema *Ženevskoj nomenklaturi*, glicerol se naziva propantriol, a empirijska formula mu je  $C_3H_8O_3$ . Molekulska masa glicerola je 92,06 g/mol, gustoća pri 20°C je 1,2604 g/mL, a vrelište mu je na 290°C. Glicerol je visokokvalitetni proizvod dobiven kao nusproizvod u proizvodnji biodizelskoga goriva. Do sada se korištenje glicerola svodilo na njegovo korištenje kao gorivo putem spaljivanja i dobivanja toplinske energije, dok je njegovo pročišćavanje u svrhu daljnjeg korištenja u industrijske svrhe preskupo. Međutim, spaljivanje nije optimalno rješenje sanacije za ovu visokovrijednu sirovinu. Kao jedno od rješenja nameće se njegovo korištenje kao dodatka supstratu koji fermentira u proizvodnji bioplina, a u svrhu stabilizacije fermentacije i većeg prinosa bioplina.

## GNOJOVKA

Gnojovka je smjesa urina, fekalija i manjih ili većih količina vode. Gnojovka nastaje otjecanjem navedenih sastojaka kroz rešetkasti pod i nakupljanjem u podzemnim bazenima. Bez obzira što se čini da je njome lakše manipulirati zbog manje količine slame, ima dosta nedostataka. Veći je gubitak hranjiva za vrijeme aplikacije, a još uz to je i pojačan neugodan miris; pojačava zakorovljenost te odbija stoku da pasu na pognojnim pašnjacima.

Gnojovki se može dodati manja ili veća količina vode, stoga ih možemo podijeliti na „guste“ (gnojovke bez dodavanja vode ili razrijeđena s vodom u omjeru 1:3) i „rijetke“ (razrijeđene s vodom u omjeru 1:5, 1:10, 1:15).

Bolje su one s manjom količinom vode, jer će tada biti kruće konzistencije i bogatija hranjivima. Previše slame također nepovoljno djeluje, uglavnom zbog manipulacije, jer može doći do začepljenja pri ispuštanju.

Primjena gnojovke ovisi o broju stoke i brzini punjenja bazena. Bazeni bi se trebali puniti kroz pet do šest mjeseci. Prema provedenim istraživanjima u Njemačkoj zapremina bazena po uvjetnom grlu trebala bi iznositi kod krava  $5,5 \text{ m}^3$ , a kod svinja  $7,3 \text{ m}^3$ . Obično se, radi ubrzanja fermentacije i sprječavanja gubitka hranjiva, na dno bazena stavlja nešto komposta, a na površinu sloj treseta deo 20 cm ili sitna isjeckana slama pomiješana s koprivom. Time se ujedno sprječava i neugodan miris i isparavanje amonijaka, te osigurava energija potrebna bakterijama da usvoje dušik kao organski vezan.

Gnojovku treba održavati u aeriranom stanju, jer u anaerobnim uvjetima dolazi do stvaranja amonijaka i mliječne kiseline, što utječe na stvaranje smrada i oštećenja biljaka i faune tla. Aeracijom gnojovke podiže se temperatura i smanjuje brojnost sjemena korova te patogena, ali se prevodi i dušik iz amonijačnog u organski oblik čime se sprječava njegov gubitak. Temperaturu treba održavati tako da ne pređe  $35^\circ\text{C}$ , jer se tada gubi dušik. Prozračivanje gnojovke obavlja se na dva načina. Prvi je slanjem zraka pod pritiskom kroz cijev, koji ulazi u gnojovku i on ju tada ne miješa, a drugi način je bacanje gnojovke u zrak propelerima ili miješalicama pri čemu se poboljšava njeno miješanje i oksidacija. Miješalice se mogu nalaziti na površini ili dnu gnojovke.

Miješanje se izvodi u prosjeku 3 puta dnevno po sat vremena. Ovaj postupak je daleko skuplji i mora se ukalkulirati isplativost izvođenja, međutim eliminira sve one gore navedene nedostatke gnojovke.

Primjena gnojovke ovisi o vrsti namjene. Na livadama i pašnjacima obično je u količini od 20-40 t/ha i to u proljeće nakon svake kosidbe ili ispaše, a može i u jesen da bi se uskladištilo što više hranjiva u korijenu. Žitarice se gnoje u količini 6-10 t/ha, a okopavine 20-30 t/ha. Na oranicama najbolje je vrijeme primjene prije sjetve.



Slika 6. Gnojovka

## GNOJNICA

Gnojnica je tekuće organsko gnojivo koje se sastoji od mokraće domaćih životinja, vode od pranja staja i oborina, izmiješane s dijelovima stelje i fekalija, te isteka gnojišta.

Gnojnica nastaje otjecanjem urina koji se ocjeđuje iz krutih dijelova gnoja koji se nalazi uskladišten ili već u štali. Često sadrži manje količine vode koje su posljedica pranja staje. Jedna litra prikupljenog tekućeg gnoja od goveda sadrži oko 5 kg dušika, 2 kg fosfora i 7 kg kalija. Isto kao i kod gnojovke, i gnojnicu treba zračiti odnosno dovoditi nove količine kisika jer se tada razbija sluz, i tada tlo brže upija i sprječava se stvaranje pokorice. Gnojnicu treba upotrebljavati zrelu, a ne sirovu (neprevrelu). Što je više prevrela, manje zaudara te ju je moguće upotrebljavati kasnije u proljeće. Žitna strništa dobro je pognojiti gnojnicom radi balansiranja odnosa C:N, ili kulture za zelenu gnojidbu. Gnojnica se ne primjenjuje u jesen ili ranu zimu jer će se tada hraniva izgubiti, a prije primjene treba fermentirati i biti stara najmanje 3 mjeseca.

# H

## HIGIJENIZACIJA

Tretman i odlaganje gnoja tijekom i nakon uzgoja stoke uvijek predstavlja ekološki problem. Organoleptički, fizikalno-kemijski i epidemiološko-epizootički sastav gnoja predstavlja higijenski rizik za atmosferu, tlo i vodu, čiji se ekosustav mijenja neovisno o tome stavlja li se gnoj na zemlju, koristi za navodnjavanje ili sl. Međutim, problemi se javljaju s razvojem neugodnih mirisa, štetnih plinova i mikroorganizama, kao i s kontaminacijom površinskih i podzemnih voda te tla.

Potreba za higijenzacijom gnoja, zajedno s mehaničkim i biološkim tretmanima, sve se više naglašava, posebice kad se govori o mikrobiološkom sastavu gnoja, koji može biti i patogen. Higijenzacija gnoja podrazumijeva smanjenje broja mikroorganizama ispod infektivne doze uz dodatak nekog dezinfekcijskog sredstva. Budući se na ovaj način ne uklanjaju svi mikroorganizmi iz gnoja, uveden je naziv 'prihvatljiv rizik'. Prilikom odabira dezinfekcijskog sredstva mora se uzeti u obzir njegova efikasnost; međutim, ne manje važan parametar je i njegova razgradivost zajedno s ekološki prihvatljivim razgradnim produktima (ostacima).



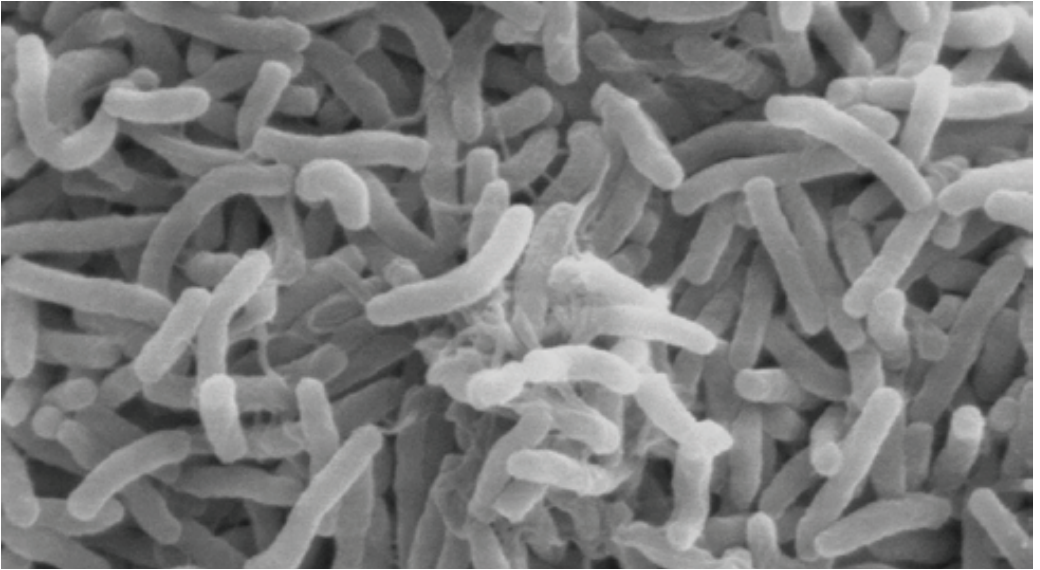
Slika 7. Detalj plinske stanice



# I/J

## INOKULUM

Inokulum je otopina različitih kultura bakterija, kojima se nacjepljuje supstrat (organska tvar) za pokretanje reakcije fermentacije. Proizvodnja bioplina, a time i aktivnost bakterija, ovisi o količini, kvaliteti i starosti inokuluma.



Slika 8. Mikroskopski prikaz inokuluma

## JEDINIČNE VRIJEDNOSTI I MATEMATIČKO MODELIRANJE

Mjerna jedinica je veličina s kojom se u svrhu mjerenja uspoređuju druge istovrsne veličine. Zakonite mjerne jedinice su mjerne jedinice čija je uporaba propisana *Zakonom o mjeriteljstvu* (Narodne novine, broj 163/2003). U Republici Hrvatskoj primjenjuju se mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica (SI), decimalne jedinice, iznimno dopuštene jedinice izvan SI i složene mjerne jedinice. SI jedinice dijele se na osnovne SI jedinice, izvedene SI jedinice s posebnim nazivima i znakovima te izvedene SI jedinice bez posebnih naziva i znakova.

U tablici 5 prikazane su važnije jedinice koje se koriste prilikom proizvodnje i korištenja bioplina, dok su u tablici 6 prikazani višekratnici jedinica, koji kao prefiksi jedinica tvore decimalnu jedinicu.

Tablica 5. Fizičke veličine i jedinice koje se koriste prilikom proizvodnje i korištenja bioplina

Fizička veličina		Jedinica		
Naziv	Znak	Naziv	Znak	Definicija
energija, rad	E; w; W	džul (joule)	J	$\text{kgm}^2\text{s}^{-2} = \text{Nm}$
gustoća	$\rho$	kilogram po kubičnom metru	$\text{kgm}^{-3}$	-
masa	m	tona	t	$t = 10^3 \text{ kg}$
molarna masa	M	gram po molu	$\text{gmol}^{-1}$	-
ogrjevna vrijednost	C; H	džul po kubičnom metru/kilogramu	$\text{Jm}^{-3}; \text{Jkg}^{-1}$	-
snaga	P	watt	W	$\text{kgm}^2\text{s}^{-3} = \text{Js}^{-1}$
temperatura	T	celzijus	$^{\circ}\text{C}$	-
tlak	p	pascal; bar	Pa; bar	$\text{Nm}^{-2} = \text{bar} = 10^5 \text{ Pa}$
volumen (obujam)	V	kubični metar; litra	$\text{m}^3; \text{L}$	$\text{L} = 10^{-3} \text{ m}^3$

Tablica 6. Višekratnici decimalnih umnožaka jedinica

Faktor	Prefiks	Oznaka	Faktor	Prefiks	Oznaka
$10^1$	deka	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hekto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	mili	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	piko	p



Matematički model je konceptualni model koji koristi matematički jezik kako bi se opisalo ponašanje nekog sustava, a posebno se koristi u prirodnim znanostima i inženjerstvu. Matematički model predstavlja osnovne aspekte već postojećeg sustava ili sustava koji će biti konstruiran. Matematički modeli mogu se pojaviti u mnogim oblicima, uključujući dinamičke sustave, statističke modele, diferencijalne jednadžbe itd.

# K

## KYOTSKI PROTOKOL

Na trećoj Konferenciji stranaka UNFCCC u Kyotu 11. prosinca 1997. godine prihvaćen je Kyotski protokol kojim industrijalizirane države svijeta postavljaju cilj smanjenja emisije stakleničkih plinova ukupno za 5% u razdoblju od 2008. do 2012. godine, u odnosu na bazu 1990. godinu. Ciljevi za pojedine države su različiti: od (-)8% smanjenja do (+)10% povećanja emisije. Obveze smanjenja emisije mogu se postići primjenom vlastitih mjera ili u drugim državama putem tzv. mehanizama Kyotskog protokola. Kyotski protokol polazi od činjenice da je s gledišta globalnog zatopljenja svejedno gdje je geografski došlo do emisije, odnosno gdje je smanjena emisija. Kyotskim protokolom uspostavlja se sustav koji omogućava smanjenje emisije uz minimalne troškove, a ujedno dolazi do transfera tehnologija i financijskih sredstava u nerazvijene države gdje je primjena mjera najjeftinija.



## KOFERMENTACIJA

Kofermentacija znači istovremenu fermentaciju sirovina, poput trave, kukuruza ili otpadaka pomiješanih sa životinjskim gnojivom. Većina kofermenata daje znatno više prinose bioplina nego, primjerice, gnoj.

Kad se za fermentaciju koristi organski otpad, mora se strogo pridržavati propisa danih Regulativom o životinjskom otpadu koji nije namijenjen za ljudsku prehranu (Europski parlament, 1774/2002) te utvrditi postojanje nužnih dozvola. Postrojenje mora i tehnički odgovarati kofermentima. Tako, primjerice, kod tvari koje su sklone stvaranju plivajućih nakupina kao što su trava ili kukuruz, trebalo bi upotrebljavati odgovarajuću tehniku fermentacije. Nadalje, u odnosu na kofermente koji su skloni stvaranju mirisa ili su higijenski problematični, nužno je imati zatvoreni prijamni prostor.

## KOGENERACIJA

Kogeneracija se definira kao kombinirana proizvodnja električne (ili mehaničke) te iskoristive toplinske energije u jedinstvenom procesu. Toplinska energija koja ostaje neiskorištena u konvencionalnoj elektrani (ili se ispušta u okoliš uz negativne učinke) koristi se za potrebe u raznim proizvodnim procesima ili, što je češći slučaj, za grijanje pojedinačnih građevina ili čak cijelih naselja. Toplinska energija može se koristiti za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka. Jedan od načina korištenja kogeneracije je i trigeneracija, gdje se dio energije koristi i za hlađenje. Kao gorivo može se koristiti prirodni plin, biomasa, drvena građa ili vodik (u slučaju gorivih ćelija), a izbor tehnologije za kogeneraciju ovisi o raspoloživosti i cijeni goriva.

Prednosti kogeneracijskih sustava, pred klasičnim sustavima s odvojenom opskrbom električnom i toplinskom energijom, vidljive su ako se međusobno usporede gubici koji nastaju pri proizvodnji energije u oba sustava.

Kogeneracijski se procesi najčešće razmatraju zbog svoje visoke energetske učinkovitosti i zbog smanjenog štetnog utjecaja na okoliš u odnosu na konvencionalne sustave. Zbog relativno smanjene potrošnje goriva smanjuje se cijena proizvodnje energije, što ukazuje na opravdano korištenje takvih procesa u gospodarenju energijom.

Ukoliko se iz proizvedene toplinske energije realizira i proizvodnja rashladne energije, ekonomičnost kogeneracijskog postrojenja postaje još veća. Kogeneracijski je proces najučinkovitiji kad pokriva temeljno toplinsko i električno opterećenje i ostvaruje što veći broj sati rada godišnje. Ulaganje u sustave kogeneracije uključuje cijenu kogeneracijskog postrojenja, električnu opremu potrebnu za priključak na mrežu, prilagodbu postojećeg sustava i potrošača toplinske energije, sustav za hlađenje i ventilaciju pogonskog agregata, sustav za korištenje ispušnih plinova te ostale troškove instalacije i montaže koji podrazumijevaju inženjering i financijske usluge.

Na isplativost kogeneracijskog postrojenja najviše će utjecati trošak primarnog energenta, odnosno goriva te cijena električne energije. Troškovi goriva direktno su ovisni o vrsti korištenog goriva i karakteristikama pogonskog agregata te predstavljaju najznačajnije pogonske troškove koji mogu doseći i do 80% ukupnih troškova. Instaliranje kogeneracijskih postrojenja ima smisla i ekonomičnije je u slučaju kad postoji potrošnja sveukupne proizvedene topline iz spojenog procesa. Stoga primjenu kogeneracijskih postrojenja treba

vezivati uz koncepte primjene odvedene topline, odnosno procesa gdje se odvedena toplina koristi ili za proizvodnju pare ili vruće vode (grijanje zatvorenih bazena, sportskih centara, bolnica, škola, stambenih naselja, zgrada itd.) ili za proizvodnju ohlađene vode za procese hlađenja pomoću apsorpcijskih hladnjaka ili za proizvodnju pare i topline neophodne za tehnološke procese u procesu sušenja.

Kogeneracijska proizvodnja ima manju ukupnu emisiju od konvencionalne proizvodnje, ali je povećan lokalni utjecaj. Do toga dolazi zbog činjenice da je primjenom kogeneracije, osim proizvodnje toplinske energije, na lokaciju prenesena proizvodnja električne energije koja se inače obavlja na nekoj udaljenoj lokaciji. Uz to, električna energija se proizvodi ne samo za potrebe u bioplinskom postrojenju i pratećim objektima, već se značajna količina predaje u javnu elektroenergetsku mrežu te ju koriste ostali potrošači. Dakle, na globalnoj razini primjena kogeneracijskog procesa zbog svoje visoke učinkovitosti nosi i značajne ekološke prednosti.

## KOGENERACIJSKO POSTROJENJE

Najisplativije korištenje bioplina kao goriva izvodi se u kogeneracijskim postrojenjima za istodobnu proizvodnju električne i toplinske energije. Ovaj princip osigurava najučinkovitije iskorištavanje goriva – troši se 30% manje goriva nego u odvojenoj proizvodnji. No, kod kogeneracijskih postrojenja dodatan je izazov zadovoljavanje trenutnih potreba potrošača, kako za toplinskom, tako i za električnom energijom, a ti zahtjevi ne moraju nužno pratiti jedan drugoga. Ukoliko je kogeneracijsko postrojenje priključeno na elektroenergetsku mrežu, potrebe za električnom energijom mogu biti zadovoljene i iz mreže, pa ovaj problem nije toliko izražen. No, u slučaju izoliranog rada, upravo su zahtjevi za električnom energijom ti koji određuju rad postrojenja – električna energija mora biti proizvedena u trenutku potražnje.

Kogeneracijska postrojenja jedan su od načina maksimalnog iskorištenja primarne energije. Kod kogeneracijskih postrojenja koriste se izravni i neizravni postupci pretvorbe kemijske energije goriva u električnu i toplinsku energiju. Njihova je prednost u visokom stupnju iskoristivosti te ekološkoj i ekonomskoj prihvatljivosti njihove upotrebe.

Za izravnu pretvorbu koriste se razne vrste gorivih ćelija odnosno elemenata ili članaka, dok se za neizravnu pretvorbu koriste motori s unutarnjim izgaranjem, plinske turbine i parne turbine.

Stvoreni bioplin u bioplinskom postrojenju sagorijeva u motoru s unutrašnjim izgaranjem te pokreće generator. Pri tome se otprilike trećina energije bioplina konvertira u struju, dok je ostatak na raspolaganju kao toplinska energija.

Motori s unutarnjim izgaranjem toplinski su motori kod kojih se toplina pretvara u mehanički rad. Motori s unutarnjim izgaranjem se u kogeneracijskim postrojenjima mogu koristiti kao plinski motori (Otto), dizelski motori i plinsko-dizelski motori.

Kod dualnog motornog pogona (plin-dizelsko gorivo) osnovno gorivo je plin, a dizelsko gorivo se dodaje u iznosu od 3 do 15%, što omogućava lakše paljenje, jer bioplina zahtijeva višu temperaturu paljenja nego dizelsko gorivo.

Plinski su motori najprihvatljiviji kogeneracijski uređaji sa stajališta plinskih distributivnih mreža, jer ne zahtijevaju posebne opskrbe tlakove plina te se mogu opskrbljivati sa standardnim tokovima distribucije plina.

Prema broju okretaja motori mogu biti sporohodni 80-300 o/min, srednjehodni 450-1000 o/min i brzohodni 1200-3000 o/min. Kod standardnih kogeneracija najviše se koriste brzohodni motori.

Motori s izravnim ubrizgavanjem su Diesellovi motori kod kojih do osnovnog opterećenja dolazi iskrenjem (paljenje iskrenjem). Time se ti motori mogu pokretati i ukoliko je kvaliteta plina loša i na razini na kojoj bi inače plinski motori već stali. Ulje za paljenje se troši i kad na raspolaganju ima dovoljno bioplina kojeg se može trošiti. Stoga motori s izravnim ubrizgavanjem unatoč niskim investicijskim troškovima imaju - kad ih se uspoređuje s ostalim plinskim motorima s unutrašnjim izgaranjem - visoke pogonske troškove, ali u pravilu imaju i viši stupanj korisnosti od plinskih motora s unutrašnjim izgaranjem uz paljenje na kompresiju.

Zbog njihovih prednosti u vidu pogonske sigurnosti radije ih se primjenjuje u manjim bioplinskim postrojenjima kod kojih su varijacije u kvaliteti plina puno izrazitije (u prvom redu pri kofermentaciji).

U tablici 7 prikazane su različite vrste motora i postupaka paljenja koje se primjenjuju uz bioplina. Budući da motori s izravnim ubrizgavanjem imaju oko 30% višu razinu korisnosti i povoljniji odnos cijene koštanja i učinka, nego oni uz paljenje na kompresiju, na poljoprivrednim su bioplinskim postrojenjima puno češći.

Tablica 7. Osnovne specifikacije motora koji kao gorivo mogu koristiti bioplina

Supstrat	Vrsta motora i način paljenja		
	Otto motor	Dieselov motor	Dieselov motor s izravnim ubrizgavanjem
cijena	niska	vrlo visoka	visoka
stupanj korisnosti (el.)	20-25%	cca. 30-35%	30-38%
vijek trajanja	kratak	srednji	srednji
buka	srednja	jaka	srednja
čestice čađe u ispuhu	nema ih	nema ih	ima ih
tehničko održavanje	jako	slabo	srednje
potrošnja ulja za paljenje	nema je	nema je	cca. 10% od sadržaja energije u bioplina
rezervno gorivo u slučaju izostanka proizvodnje plina	tekući plin (benzin)	tekući plin	ulje za grijanje, dizel (biodizel)

U srednje velikom bioplinskom postrojenju od 150 kW nastaje oko 1.500.000 kWh topline. Od toga se otprilike 25% procesne energije upotrebljava za grijanje fermentora i za postojeće naprave za higijenzaciju. Ostatak je namijenjen za korištenje u vidu toplinske energije, čime se mogu zagrijavati stambene jedinice, štale, radionice itd. Nažalost, na poljoprivrednom gospodarstvu u pravilu nema dovoljno toplinske potrošnje, da bi se mogla iskoristiti cjelokupna toplinska energija koja nastaje pri proizvodnji bioplina. Budući da su s druge strane toplinske cijevi vrlo skupe, nije ekonomično transportirati toplinu dugačkim dionicama do možebitnog korisnika. Pri novom koncipiranju bioplinskih postrojenja trebalo bi razmisliti o izravnoj lokaciji – gdje su potencijalni toplinski korisnici i kako bi se u njihovoj blizini moglo locirati bioplinsko postrojenje. Sva preostala toplina koja se ne može iskoristiti biva odstranjena preko sigurnosnog hladnjaka.



Slika 9. Detalj plinske stanice

## KOROZIJA

Gnojovka, kofermenti i nastajući bioplin mogu zbog svojih fizikalno-kemijskih svojstava nagrizati materijale kao što su beton i željezo, stoga je nužno zaštititi stjenke fermentora. No, u pravilu čelik ne korodira u doticaju s gnojovkom, odnosno gnojovkom s kofermentima pa se najčešće ne treba stavljati zaštita, emajlirati niti primijeniti visokokvalitetni čelik. Nadalje, zaštititi se mora i područje u čeličnom fermentoru koje nije stalno pokriveno tekućim medijem.

## KONTINUIRANO BIOPLINSKO POSTROJENJE

Kontinuirani pogon je pogon u kojem se organski materijal neprekidno unosi u fermentor, a istovremeno se potiskuje jednaka količina fermentiranog ostataka iz bioreaktora. Količina i sastav bioplina ostaje kontinuiran, odnosno mijenja se samo ukoliko se promjeni količina i sastav ulazne sirovine.

Količina i sastav bioplina u kontinuiranom bioplinskom postrojenju ostaje kontinuiran tijekom određenog vremenskog razdoblja. Ovaj je tip bioplinskog postrojenja najrašireniji u praksi. Njegova prednost je ta što se redovitom opskrbom mikrobne kulture može doseći približno konstantna proizvodnja bioplina. Mogući mu je nedostatak taj što tijekom fermentacije može doći do isplivavanja materijala, koji se potom taloži na površini u obliku plutajućih čestica, što može dovesti do smanjenja proizvodnje bioplina. Osim toga, plutajuće čestice obično su po sastavu masti s visokim specifičnim prinosom plina, koje ne podliježu fermentacijskom procesu. Stoga se za kontinuirana bioplinska postrojenja treba predvidjeti oprema za uništavanje plutajućih čestica. Plutajuće čestice mogu se uništiti intenzivnim miješanjem ili prepumpavanjem sadržaja fermentacije.

## KRUTO GNOJIVO

Kruti gnoj spoj je fekalija i urina pomiješan sa steljom – stajski gnoj. Slama upija tekuće izlučevine životinja, dok mikroorganizmi i dušični spojevi koji se nalaze u fekaliju potiču razgradnju stelje. Takav gnoj slaže se na hrpe s formiranjem kosih stranica radi otjecanja vode za vrijeme kišnih razdoblja. Lošim slaganjem dolazi do zadržavanja vode i bržeg propadanja stajnjaka.

Kod stajskog gnoja u stajama uslijed gaženja stoke zrak biva istiskan, a proces fermentacije sveden na minimum. Na gornjim slojevima dolazi do aerobne fermentacije, uz temperature oko 45°C. Svakodnevnim nanošenjem nove stelje temperatura se smanjuje i stvaraju se aerobni uvjeti. Ovaj je tip gnoja najkvalitetniji tip životinjskog gnoja zbog već rečene mješavine stelje, tekućeg i krutog gnoja.

Gnojenje krutim gnojem dobivenim iz fermentiranog ostatka ima svoje značenje kod stvaranja humusa. Jačim isušivanjem vode fermentirani ostatak pokazuje nižu početnu hranjivost, ali dugoročno ima dobro djelovanje. Fermentirani ostatak nakon isušivanja, odnosno čvrsto gnojivo, ima oko 70% vode. Tekući ostatak nakon isušivanja može se koristiti za daljnju upotrebu, npr. za navodnjavanje. Ovaj postupak nije ekonomičan, a mehanička odvodnja uz pomoć filtera vrlo je skupa i tehnički zahtjevna.





## KLAONIČKI OTPAD

Osnovne skupine spojeva u najvećoj mjeri zastupljene u klaoničkom otpadu su bjelančevine, lipidi, šećeri i nukleinske kiseline. Klaonički otpad se do pojave *Bovine spongiformne encefalopatije* obrađivao u kafilerijskim pogonima, a mesno-koštano brašno kao komponenta upotrebljavalo se u hranidbi životinja. Međutim, pojavom kravljeg ludila zabranjuje se upotreba mesno-koštanog brašna u hranidbi. Radi zbrinjavanja lešina i klaoničkog otpada ostaju kafilerijski pogoni za preradu, no određuje im se metoda spaljivanja kao jedina ispravna metoda za sanaciju i konačno zbrinjavanje mesno-koštanog brašna.

Kako je klaonički otpad visoko vrijedna sirovina za anaerobnu fermentaciju, odnosno proizvodnju bioplina, potrebno je primijeniti određeni predtretman – i to alkalnu hidrolizu, kako bi uslijed umetanja molekula vode između atoma u vezama došlo do pucanja kemijskih veza velikih bjelančevinastih molekula, nukleinskih kiselina (DNA i RNA), lipida, virusa i priona pri čemu nastaju manje molekule koje se vežu s NaOH/KOH u Na/K-soli, a masne se kiseline vežu s lužinom u sapune. Nastala otopina je neutralna ili slabo alkalna otopina organskih tvari te pogodna za mikrobiološku razgradnju anaerobnim putem, odnosno prikladna je sirovina za anaerobnu fermentaciju. Može se katalizirati enzimima, metalnim solima, kiselinama ili lužinama. Lužine su najčešći katalizatori i to vodene otopine kalij (KOH) i natrij (NaOH) hidroksida. Grijanjem se proces hidrolize znatno ubrzava, a količina lužine dodaje se proporcionalno količini otpada. Sadržaj se neprekidno miješa 3-6 sati pri 150°C i tlaku od 4 bara, no u iznimnim slučajevima moguće je proces prekinuti i ranije. U procesu hidrolize velike se molekule u agresivnom mediju hidroliziraju u manje. Čimbenici koji pogoduju tome su temperatura i vrijeme zagrijavanja te za to posebno opremljeni digestori. Oni osiguravaju dobivanje sterilne otopine, blago alkalne, tamne i mirisa sapuna. Korištenjem KOH dobivena otopina bogata je kalijem te je nakon razrjeđenja pogodna za primjenu na tlo kao tekuće gnojivo.

## L



## LEGISLATIVA

Važnije direktive i regulative Europske unije u području obnovljivih izvora energije i biogoriva jesu:

- 2001/77/EC - *Promotion of renewable energy-based sources* - Promocija proizvodnje energije iz obnovljivih izvora;
- COM (2001) 547 - *Communication on alternative fuels for road transportation and on a set of measures to promote the use of biofuels* - Priopćenje o alternativnim gorivima za cestovni prijevoz i o mjerama za promidžbu korištenja biogoriva;
- 2003/30/EC - *Promotion of biofuels for transport applications* - Promicanje korištenja biogoriva ili drugih goriva iz obnovljivih izvora energije u prometu;
- 2003/96/EC - *Community framework for the taxation of energy products and electricity* - Okvir EU za oporezivanje energenta i električne energije iz obnovljivih izvora;
- 2004/8/EC - *Promotion of electric and heat energy by cogeneration plants* - Promocija proizvodnje električne i toplinske energije putem kogeneracijskih postrojenja;
- COM (2005) 299 - *Cohesion policy of growth support and hiring* - Kohezijska politika podrške rasta i zapošljavanja;
- COM (2005) 628 - *Action plan for biomass* - Akcijski plan za biomasu;
- COM (2005) 634 - *Promotion of „clean“ transport vehicles* - Promocija „čistih“ transportnih vozila;
- COM (2005) 666 - *Thematic strategy for preventing and recycling waste* - Tematska strategija za prevenciju i reciklažu otpada;
- COM (2005) 667 - *Legal terms about waste* - Zakonodavni okviri o otpadima;
- COM (2006) 34 - *Strategy of production and use of biofuels in EU* - Strategija o proizvodnji i korištenju biogoriva u EU;
- COM (2006) 845 - *Biofuels progress report* - Izvješće o napretku u području biogoriva;

- COM (2006) 847 - *Towards a European Strategic Energy Technology Plan* - Europski strateški plan energetske strategije;
- COM (2007) 1 - *An Energy Policy Europe* - Energetska politika Europe.

Važnija legislativa u Republici Hrvatskoj:

- *Zakon o veterinarstvu* (Narodne novine, broj 70/97);
- *Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o veterinarstvu* (Narodne novine, 105/01);
- *Zakon o gnojivima i poboljšivačima tla* (Narodne novine, broj 163/03);
- *Uredba o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje naknade za emisiju u okoliš oksida sumpora izraženih kao sumporov dioksid i oksida dušika izraženih kao dušikov dioksid* (Narodne novine, broj 71/04);
- *Pravilnik o načinu i rokovima obračunavanja i plaćanja naknade za emisiju u okoliš oksida sumpora izraženih kao sumporov dioksid i oksida dušika izraženih kao dušikov dioksid* (Narodne novine, broj 95/04);
- *Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji* (Narodne novine, broj 177/04);
- *Pravilnik o obliku, sadržaju i načinu vođenja očevidnika obveznika plaćanja naknade za emisiju u okoliš oksida sumpora izraženih kao sumporov dioksid* (Narodne novine, broj 120/04);
- *Zakon o zaštiti zraka* (Narodne novine, broj 178/04);
- *Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom* (Narodne novine, broj 42/05);
- *Zakon o zaštiti prirode* (Narodne novine, broj 70/05);
- *Uredba o kakvoći biogoriva* (Narodne novine, broj 141/05);
- *Zakon o tržištu električne energije* (Narodne novine, broj 33/07);
- *Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije* (Narodne novine, broj 33/07);
- *Uredba o minimalnom udjelu obnovljivih izvora energije i kogeneracije* (Narodne novine, broj 33/07);
- *Uredba o postotku biogoriva u ukupnom udjelu goriva u 2007. godini i količini biogoriva koje se mora staviti u promet na domaće tržište u 2007. godini* (Narodne novine, broj 43/07);
- *Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije* (Narodne novine, broj 67/07);
- *Uredba o naknadi za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije* (Narodne novine, broj 33/07);
- *Pravilnik za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije* (Narodne novine, broj 67/07);
- *Uredba o jediničnim naknadama, korektivnim koeficijentima i pobližim kriterijima i mjerilima za utvrđivanje naknade za emisiju u okoliš ugljikovog dioksida* (Narodne novine, broj 73/07);
- *Pravilnik o načinu i rokovima obračunavanja i plaćanja naknade za emisiju u okoliš ugljikovog dioksida* (Narodne novine, broj 77/07);
- *Zakon o zaštiti okoliša* (Narodne novine, broj 110/07).

# M



Slika 10. Pročišćivač voda

## METANOGENE BAKTERIJE

Metanogene bakterije nastanjivale su Zemlju prije otprilike 3,5 milijarde godina, dakle još u doba kada atmosfera nije sadržavala kisik. Ti organizmi ne mogu koristiti kisik, jer on na njih ima toksično djelovanje. Stoga, u današnjoj atmosferi ove bakterije mogu preživjeti jedino na mjestima gdje nema zraka ili na mjestima gdje je potrošnja kisika puno brža od njegova nastajanja, kao što su duboke močvare, donji organski slojevi dubokih jezera i probavni trakt ljudi i životinja. Ipak, i u umjetnim spremnicima, tzv. fermentorima, mogu se održavati anaerobni uvjeti.

Metanogene bakterije jesu združena kultura velikog broja različitih bakterijskih vrsta, većinom prabakterija, koje provode razgradnju organske tvari uz proizvodnju bioplina. Metanogene bakterije pripadaju skupini primitivnih mikroorganizama iz skupine *Archaea*. Rastu i razmnožavaju se u anaerobnim uvjetima, a prisutnost kisika na njih djeluje inhibitorno. Metanogene bakterije nalaze se u močvarama, u probavnom traktu, pogotovo kod preživača, itd. Iz tog prirodnog životnog prostora pronalaze se predispozicije za egzistenciju ovih bakterija.

S ekološkog aspekta metanogene bakterije imaju značajnu ulogu u anaerobnim okolišima, u kojima uklanjaju suvišni vodik te fermentiraju produkte nastale djelovanjem drugih anaerobnih mikroorganizama.

Dosad je poznato desetak različitih vrsti metanogenih bakterija, *Methanobacterium propinicum*, *Methanobacterium soehmgenii*, *Methanobacterium suboxydans*, *Methanobacterium ruminatum*, *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium omelianskii*, *Methanobacterium vaniellii*, *Methanobacterium mazei*, *Methanobacterium barkeri* i *Methanobacterium methanica*.

Bakterije se principijelno razlikuju prema području temperature u kojima

razvijaju najjaču životnu sposobnost, a metanogene bakterije jako su osjetljive na promjenu temperature, pogotovo na sniženje temperature. Naglo sniženje temperature za 2°C do 3°C negativno utječe na njihovu metaboličku aktivnost.

## METAN KAO BIOGORIVO

Metan je bezbojni staklenički plin, spoj ugljika i vodika, kemijske formule CH<sub>4</sub>. To je najjednostavniji spoj iz porodice ugljikovodika. Netopljiv je u vodi, a u smjesi sa zrakom vrlo je eksplozivan. Metan je glavni sastojak zemnoga plina i bioplina, zapaljen gori svijetlim modrikastim plamenom. Nadalje, metan je primarna komponenta bioplina, koji se dobiva anaerobnom fermentacijom biomase.

Metan spada u skupinu stakleničkih plinova, a karakterizira ga veća učinkovitost u zadržavanju topline u atmosferi nego što je ima ugljikov dioksid. Upravo je to razlog zašto se danas nastoji pronaći način sprječavanja emisije metana u atmosferu te njegovo korištenje u proizvodnji električne i toplinske energije.

U zadnje vrijeme sve je atraktivnija primjena metana dobivenog pročišćavanjem bioplina kao goriva za vozila. U Švedskoj postoji niz pumpnih stanica za punjenje osobnih vozila metanom iz bioplina i još ih se planira izgraditi. Šveđani imaju jednostavnu logiku; bioplin je jedan od rijetkih obnovljivih izvora energije, manje zagađuje okoliš, emisije štetnih plinova znatno su niže pri izgaranju bioplina nego goriva fosilnog porijekla. Prema *Swedish Institute for Agricultural Engineering*, ukupni bioplinski potencijal u Švedskoj iznosi 7,2 TWh/godini što je dovoljno za zadovoljavanje energetske potrebe oko 700.000 vozila.

## MIJEŠALICE

Kvalitetno miješanje supstrata u fermentorima osiguravaju specijalne miješalice postavljene u blizinu ulaznog otvora fermentora. Rad tih miješalica poboljšava proces stvaranja bakterija te povećava količinu dobivenog bioplina.

Kod fermentora se u pravilu primjenjuju dvije različite vrste miješalica:

- propelersko-potopna miješalica kod tzv. fermentora-miješalica (samostojeći fermentori od betona ili čelika),
- miješalica s vitlom kod ležećih fermentora sa stalnim dotokom.

Propelersko-potopne miješalice rade s relativno puno snage od oko 5-15 kW, a stoje na osovini kojoj se može regulirati visina. Njihova primjena stvara velike brzine strujanja koje s jedne strane vode do daljnjeg usitnjavanja ulazne sirovine, a s druge nastaje i jaka rezna sila (sila smicanja), koja uništava metanogene bakterije.

Miješalice s vitlom rade polako (4 o/min) pa im je potrošnja manja, npr. 2 kW za fermentor od 270 m<sup>3</sup>. Kraci miješalice dopiru praktički do vanjskih stjenki fermentora pa se sprječava nastajanje plivajućih nakupina. Osim toga djeluju i na količinu tonućih čestica. Važno je da je njihova proizvodnja dobre kvalitete koja im daje nužnu stabilnost.

# N/NJ

## NAJZNAČAJNIJI TIPOVI POSTROJENJA (JEDNOSTRUKA/ DVOSTRUKA POSTROJENJA)

Kod jednostrukih postrojenja cjelokupna proizvodnja bioplina odvija se u jednom fermentoru. S druge strane, kod dvostrukih postrojenja, procesi proizvodnje metana odvijaju se u dva različita spremnika. Prostornim razdvajanjem se za oba procesa stvaraju optimalni uvjeti. Dakako da time raste i vrijednost početne investicije, pa bez obzira na rezultat, odnosno veći prinos bioplina, rentabilnost jedva da je poboljšana.

U praksi se često kombinacija mezofilnih uvjeta s termofilnim naziva dvostrukim postrojenjem. Takva se postrojenja primjenjuju za kofermentaciju, kad treba doseći higijenizaciju. Pritom se termofilnim uvjetima može povećati prinos bioplina, odnosno smanjiti vrijeme fermentacije.

Drugostupanjska bioplinska postrojenja kontinuirana su postrojenja kod kojih proces fermentacije teče u dva prostora fermentacije, uključena naizmjenično. Na taj način je osigurano točno odabrano vrijeme zadržavanja, što je bitno i za uništavanje nepoželjnih mikroorganizama prisutnih u supstratu i inokulumu. Raspodjela vremena zadržavanja u prostorima za fermentaciju iznosi 1/3 prema 2/3, pri čemu se 80% bioplina proizvede u prvom prostoru fermentacije. Drugi prostor fermentacije bioplinskog postrojenja najčešće je predimenzioniran te se istovremeno koristi za međuskladištenje, pri čemu nastaje kombinacija kontinuiranog sa šaržnim bioplinskim postrojenjem.



Slika 11. Fermentor

## NAČINI IZGRADNJE BIOPLINSKIH POSTROJENJA

Postoje tri načina izgradnje bioplinskih postrojenja i to:

- okomita,
- vodoravna, i
- cjevasta postrojenja.

Okomita bioplinska postrojenja su konstrukcije s odnosom visine i širine većim od 1. Uobičajeno se takva postrojenja konstruiraju u obliku zdenca. Plinovi koji se stvaraju skladište se u spremniku. Okomita bioplinska postrojenja mogu se graditi ispod ili iznad razine zemlje. Prednost okomitih postrojenja je u povoljnijem miješanju unutar fermentora.

Vodoravno bioplinsko postrojenje s odnosom visine i širine manjim od 1. Ono se gradi na područjima gdje se ne može graditi postrojenje u obliku zdenca, npr. zbog nepovoljnog zemljišta (stijena, previsoki vodostaj podzemnih voda). Prednost ovog tipa konstrukcije relativno je dugo zadržavanje supstrata unutar fermentora. Međutim, vrlo je teško uspostaviti zadovoljavajuće miješanje unutar fermentora. U osnovi se vodoravna bioplinska postrojenja mogu graditi ispod ili iznad razine zemlje.

Cjevasta bioplinska postrojenja karakteriziraju plastična crijeva ili baloni koji objedinjuju fermentor i spremnik za plin. Prednost ovog tipa postrojenja leži u mogućnosti izgradnje masovne proizvodnje bioplina uz mali trošak. Cjevasta postrojenja mogu se graditi isključivo na površini zemlje, pri čemu glavni problem predstavlja izolacija vanjskog omotača fermentora na područjima s značajnim klimatskim promjenama.



Slika 12. Bioplinsko postrojenje

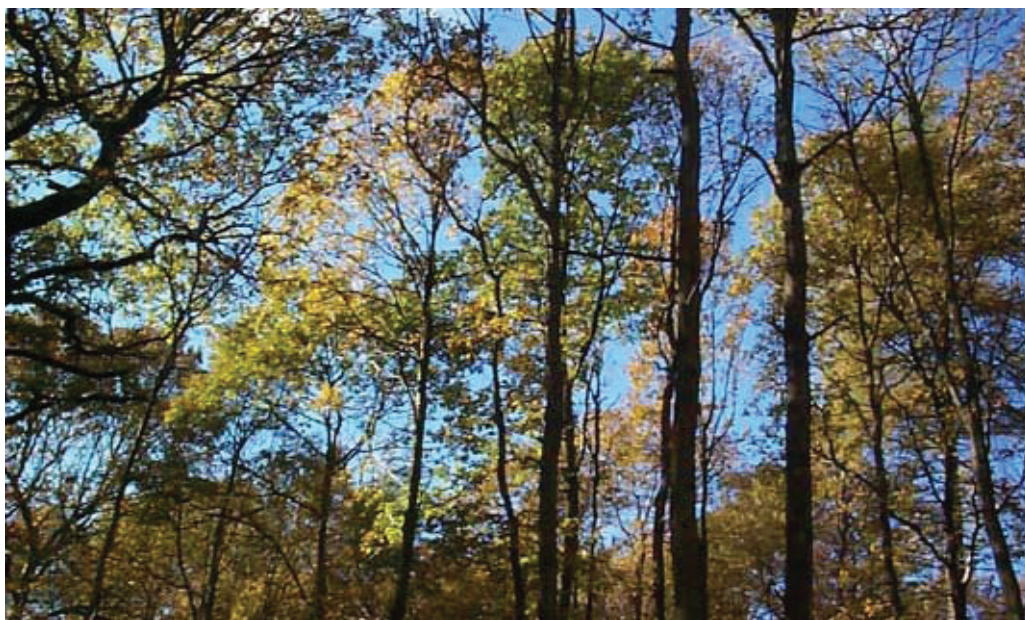
# O

## ODSUMPORAVANJE BIOPLINA

Sumpor je nečistoća prisutna u gorivu koja se mora ukloniti jer u suprotnom, prilikom izgaranja goriva, dolazi do stvaranja sumporovog dioksida koji je komponenta kiselih kiša. Nadalje, sumpor također smanjuje učinak nekih tehnika kontrole zagađenja atmosfere. Budući da bioplin sadrži određenu količinu sumporovodika ( $H_2S$ ), nužno je primijeniti postupak odsumporavanja.

Ekstremnim biološkim odsumporavanjem sumpornim bakterijama postižu se optimalni rezultati. Vodikov sulfid i ugljikov disulfid su otrovi, koji se često pojavljuju kao sastavni dio plinova. U određenim koncentracijama oni znaju imati i izrazito intenzivan miris. S druge strane, emisije sumporovog dioksida povećavaju se prilikom izgaranja vodikovog sulfida i ugljikovog disulfida.

Proces uklanjanja sumpora, tzv. odsumporavanje, podrazumijeva kemijsku reakciju pri visokoj temperaturi i tlaku kako bi se uklonili atomi sumpora te se nadomjestili vodikovim atomima. Ovaj proces doprinosi zaštiti okoliša, ali nije ekonomičan te poskupljuje proizvodnju energije za oko 10%.



## OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivim izvorima energije (OIE) smatraju se izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana Sunčeva energija, biogorivo, biomasa, bioplin, geotermalna energija, energija valova, energija plime i oseke, energija plina iz deponija ili postrojenja za preradu otpadnih voda.



Poticanje korištenja obnovljivih izvora energije strateški je cilj Europske unije budući da je u skladu sa Strategijom održivog razvoja i omogućava ostvarenje ciljeva Kyotskog protokola u smislu smanjenja emisije stakleničkih plinova i zaštite okoliša.

## ORGANSKA GNOJIVA

Osim željenih produkata (mlijeko, meso), intenzivno stočarstvo generira i nusprodukte ograničene primjenjivosti kao što su korištena stelja i životinjski ekskrementi (fekalij, gnojnica) koje je potrebno zbrinuti, tj. adekvatno primijeniti. Količina i vrsta tih nusprodukata ovisna je o kako o načinu uzgoja, tako i o primijenjenom tipu štala i njihovoj opremi. Zbrinjavanje tih produkata, ili radije: njihovo prevođenje u oblik koji se na ekološki prihvatljiv način može odlagati u prirodu ili primjenjivati u proizvodnim procesima (u sklopu poljoprivredne proizvodnje ili izvan nje) u pravilu je povezan s troškovima. Različitim postupcima nusprodukti, odnosno otpadne tvari, skladište se, separiraju i prerađuju u različite oblike gnojiva (stajski gnoj, kompost itd.) odnosno obrađuju (gnojnica) - primjerice filtracijom i reverznom osmozom - do te mjere da se mogu ispuštati u vodotoke ili komunalne sustave za pročišćavanje otpadnih voda.

Njihovom mineralizacijom tlo se obogaćuje biljnim hranjivima, izvor su za rad i umnožavanje mikroorganizama u tlu, poboljšavaju strukturu tla, a time utječu na povoljnije vodo – zračne odnose u tlu.

Vrijednost je organskih gnojiva velika, ali unatoč njihovim bogatstvima u sadržaju hranjiva, rezultati mogu biti različiti. To se prvenstveno odnosi na ispravnost primjene i čuvanja. Kvaliteta ovisi o vrsti i količini gnoja životinja, načinu skupljanja i načinu dozrijevanja gnoja, kvaliteti u hranjivima što ovisi o starosti i stanju gnoja, vrsti stajne i stupnju razrijeđenosti ekskremenata s vodom ili količini dodane stelje.

Bogatstvo organskih gnojiva hranjivima ovisi o načinu spremanja, stajanju u staji, načinu iznošenja u polje i njegovoj primjeni. Gubitke hranjiva u gnojivima treba smanjiti na najmanju moguću mjeru, jer će samo tako rezultati primjene biti uspješniji.

Organska gnojiva mogu biti:

- životinjskog podrijetla (stajski gnoj, gnojnica, gnojovka),
- biljnog podrijetla (slama, različiti komposti, zelena gnojidba),
- komunalni gradski muljevi.

## OKOLIŠ

Okoliš je pojam za cjelokupnost prirodne i po čovjeku stvorene (antropogene) okoline, tj. skup biotskih faktora (živa priroda) i abiotskih faktora (neživa priroda: stijene, tlo, voda, zrak) te njihov odnos. Iz toga slijedi pojam zaštita okoliša (dio toga je i zaštita prirode), koja je stručno pitanje, ali i masovni pokret (ekološki pokret), a u posljednje vrijeme i vrlo profitabilna djelatnost.

## OTPAD

Gospodarenje otpadom je skup aktivnosti, odluka i mjera za: sprečavanje nastanka otpada, smanjivanje količine otpada i/ili njegovoga štetnog utjecaja na okoliš; skupljanje, prijevoz, uporaba i zbrinjavanje, uključujući i nadzor nad takvim operacijama, kao i brigu o odlagalištima koja su zatvorena.

Otpad koji nastaje od ostataka iz poljoprivrede, šumarstva, prehrambene i drvne industrije predstavlja količinski značajnu stavku u ukupnom otpadu Hrvatske. Unapređivanje sustava gospodarenja poljoprivrednim i šumarsko-drvnim otpadom pokrenut će nadležni subjekti na temelju sljedećih smjernica:

- poticanje izbjegavanja nastanka i/ili smanjivanja količine poljoprivrednog i šumarsko-drvnog otpada mjerama čistije proizvodnje,
- unapređivanje sustava skupljanja i iskorištavanja poljoprivrednog i šumarsko-drvnog otpada,
- gradnja građevina i postrojenja za materijalno i energetska iskorištavanje poljoprivrednog i šumarsko-drvnog otpada,
- iskorištavanje gnojovke iz stočarstva,
- povećavanje kapaciteta kafilerija (Dalmacija i Slavonija).

Biorazgradivi otpad iz kućanstava, odnosno zeleni otpad s gradskih zelenih površina i groblja te odvojeno skupljeni biootpad od sredine devedesetih, obrađuje se u dvije biokompostane s otvorenim kompostiranjem u hrpama Jankomir i Markuševac kojima rukovodi Zrinjevac d.o.o. Nova kompostana za tunelsko kompostiranje sagrađena je na odlagalištu otpada Jakuševac-Prudinec u okviru projekta njegove sanacije i uređenja. Ukupni kapacitet uređaja za biološku obradu otpada u Gradu Zagrebu iznosi 33.000 t godišnje. Tri zagrebačke kompostane jedine su komunalne kompostane u Republici Hrvatskoj.



Slika 13. Baliranje slame

## OTPAD ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA

U stočarstvu nastaju velike količine ostataka u obliku ekskremenata (životinjski gnoj i mokraća) koji, zajedno sa steljom, stvaraju gnojovku. Osim za proizvodnju bioplina važna je i gnojidba organskim gnojivom iz stočarstva, jer je bogat s hranjivim tvarima potrebnim za rast biljaka.

Postoje i razlike između porijekla gnoja pa nije isti gnoj od peradi i goveđi. Kokošji gnoj ima malo ugljika, a puno lako razgradivog dušika koji se brzo raspada i odmah oslobađa biljna hranjiva. Već za nekoliko mjeseci oslobodi se oko 60-90% ukupnih hranjiva, dok kod goveđeg gnoja, koji ima znatno više ugljikovih spojeva (celuloza, lignin, itd.), i čiji se dušik nalazi u teško razgradivim oblicima, u prvoj se godini oslobodi tek oko 45% ukupno dodanih hranjiva.

Tablica 8. Broj stoke i količina ekskremenata u Hrvatskoj (2003)

Stoka	Broj (mil.)	Količina ekskremenata* (mil. t/god)
Goveda	0,444	6,2
Svinje	1,347	2,0
Ovce	0,587	0,5
Perad	11,778	0,5
UKUPNO	14,156	9,2

\* Udio suhe tvari 5-10%

U Hrvatskoj je 2003. godine nastalo ukupno oko 9,2 mil. tona ekskremenata stoke (89% od goveda i svinja). Ocjenjuje se da se polovica koristi kao gnojivo u poljoprivredi, zanemarive količine za proizvodnju energije u obliku bioplina, a otpadom/ostatkom se može smatrati oko 4,6 mil. t/god.

Postupanje sa životinjskim otpadom po veterinarsko-zdravstvenim načelima i načelima veterinarske zaštite okoliša podrazumijeva prihvata, skupljanje, razvrstavanje prema stupnju rizičnosti (kategorije), privremeno uskladištavanje otpada u sabiralištima s uređajima za hlađenje, razudbu uginulih životinja (utvrđivanje uzroka uginuća) i toplinsku doradu.

Životinjski otpad nastaje također i u klaonicama, objektima za preradu mesa, riba, jaja, mlijeka i crijeva, zatim hladnjačama, skladištima, valionicama jednodnevnih pilića, tržnicama, prodavaonicama mesa, ribarnicama, ugostiteljstvu i drugim objektima javne prehrane, objektima za uzgoj i držanje životinja, zoološkim vrtovima, lovnom gospodarstvu, lučkim terminalima, graničnim prijelazima, u prijevozu životinja i proizvoda te drugim mjestima na kojima se životinje drže, uzgajaju i proizvode namirnice životinjskog porijekla.

# P

## PLUTAJUĆE ČESTICE

Sirovine koje se prerađuju u bioplinskim postrojenjima često se sastoje od čestica male mase. Plutajuće nakupine koje nastaju pri preradi ovih sirovina u gornjem dijelu fermentora dovode do stvaranja nepovoljnih uvjeta za fermentaciju, a time i lošeg prinosa bioplina. To dovodi do smetnji u radu sustava ukoliko nakupine uđu u cijevi i sl. Nadalje, ukoliko nakupine imaju nepoželjnu konzistenciju, ne mogu se 'razbiti' uobičajenim tehnikama miješanja. Posljedica su prekidi u radu fermentora, koji uzrokuju povećani radni angažman kao i troškove i koji dovode do prestanka proizvodnje električne energije. U postrojenjima s ležećim čeličnim fermentorima prisilno dolazi do miješanja – kraci miješalice dopiru gotovo do stjenki fermentora i prisilno potiskuju tvari koje isplivavaju.

## PRAVILNIK O NAČINU POSTUPANJA S NUSPROIZVODIMA ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA KOJI NISU ZA PREHRANU LJUDI

Prema *Pravilniku o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog porijekla koji nisu za prehranu ljudi* (Narodne novine, broj 56/2006) postoji:

- otpad koji ne treba tretirati ni pregledati,
- otpad koje treba samo pregledati,
- otpad kojeg treba pregledati i tretirati.

Nadalje, u istom Pravilniku navodi se:

- kako treba tretirati biootpad da bi se postigla higijenzacija – 24 sata na 55°C uz 20 dana mirovanja (mezofilnog i termofilnog) ili 1 sat na 70°C, posebno pri recikliranju na trajnoj zelenoj površini,
- propisi u odnosu na najviše vrijednosti teških metala itd.,
- propisi u odnosu na maksimalne dostavne količine,
- propisi o kontroli tla (ali ne u odnosu na otpatke koji se smiju ostavljati na trajno zelenim površinama kao što su npr. otpaci iz separiranih masti nakon higijenzacije),
- propisi u odnosu na higijenske provjere (mjerjenje temperature na mjestu higijenzacije kontinuirano na tri mjesta, provjera dislocirano uzetim uzorcima, provjera izlaznog proizvoda na salmonele i potencijalno klijavuće sjemenja te dijelova biljaka,
- propisi u odnosu na obvezatno administriranje (*input* liste, dostavnice).

## PREDTRETMAN ULAZNE SIROVINE

Cilj primjene predtretmana je poboljšanje rukovanja s biomasom i osiguranje lakše razgradnje biomase bakterijama u fermentoru. Nadalje, cilj predtretmana može biti i toplinska obrada sirovine ili higijenzacija biomase kako bi ista zadovoljila specifične zahtjeve.

Za energetske usjeve i ostale krute sirovine kao predtretman primjenjuje se mehaničko usitnjavanje. Tretman povišenim tlakom omogućuje i korištenje opasnog otpada, poput nusproizvoda životinjskog podrijetla II. kategorije. Tijekom ovog predtretmana materijal se usitnjava i sterilizira sukladno propisima.

## PRVA GENERACIJA BIOGORIVA

Prva generacija biogoriva podrazumijeva biogoriva proizvedena iz sirovina poput šećerne repe, zrna žitarica ili uljarica, uz 50%-tno smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u odnosu na fosilna goriva tijekom njihova životnog ciklusa. Ova se biogoriva trenutno mogu proizvesti na komercijalnoj razini, a najznačajnija su biodizel i bioetanol (iz sirovina na bazi šećera i škroba).

U tablici 9 dat je prikaz biogoriva prve generacije te sirovine iz kojih se ona proizvode.

Tablica 9. Prva generacija biogoriva

Vrsta biogoriva	Specifično ime	Sirovina	Proces proizvodnje
Bioetanol	Konvencionalni bioetanol	Šećerna repa, zrna žitarice	Hidroliza i fermentacija
Biljno ulje	Čisto biljno sirovo ulje	Uljarice	Hladno prešanje/ekstrakcija
Biodizel	RME – metilni ester repičinog ulja FAME/FAEE – metilni/etilni ester masnih kiselina	Uljarice	Hladno prešanje/ekstrakcija + transesterifikacija
Biodizel	Biodizel iz otpadnog jestivog ulja (FAME/FAEE)	Otpadno ulje iz friteza	Transesterifikacija
Bioplin	Pročišćeni bioplin	Biomasa i stajski gnoj	Fermentacija
Bio-ETBE	Etil- <i>tert</i> -butil-eter	Bioetanol	Kemijska sinteza

## PRIKLJUČAK BIOPLINSKOG POSTROJENJA NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU

Većina postrojenja za iskorištavanje obnovljivih izvora energije, pa i bioplina, ima male nazivne snage, a projektirana su najčešće za proizvodnju električne energije (ponekad i toplinske) i njezinu predaju u nisko- ili sredjenaponsku distribucijsku mrežu. Priključak takvog postrojenja na već izgrađenu distribucijsku mrežu utječe na glavni koncept rada tradicionalne zrakaste (radijalne) distribucijske mreže (s jednosmjernim tokovima snage). Nadalje, prilikom priključka bioplinskih postrojenja na mrežu valja razmotriti i neke ekonomske i zakonske zahtjeve.

Proizvođač električne energije iz obnovljivih izvora energije dužan je tražiti dozvolu za priključak svog postrojenja na postojeću distribucijsku mrežu od različitih regulatornih tijela koja propisuju nužne tehničke uvjete.



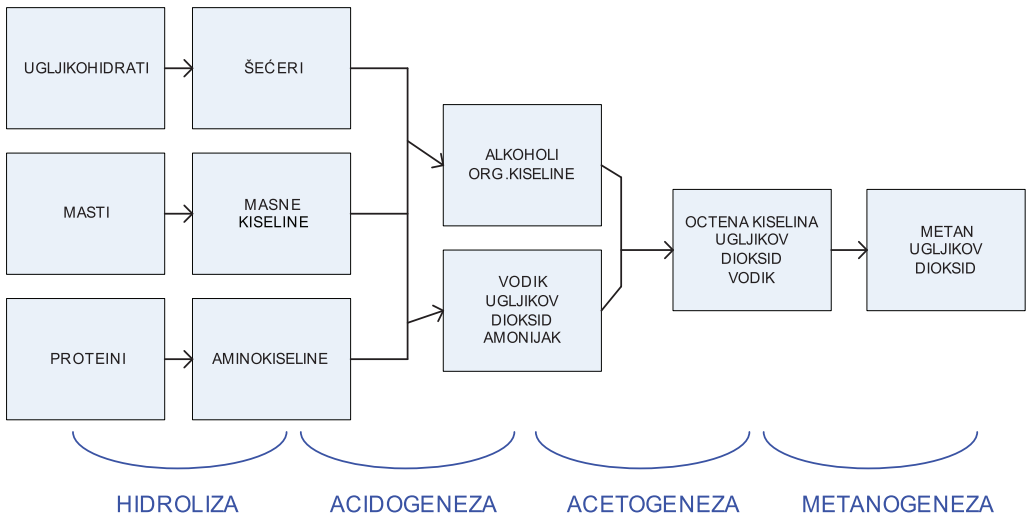
Slika 14. Priključak bioplinskog postrojenja na elektroenergetsku mrežu

# R

## RAZGRADNJA ORGANSKOG MATERIJALA TIJEKOM ANAEROBNE FERMENTACIJE

Proces anaerobne fermentacije događa se u nekoliko stupnjeva koji uključuju različite vrste bakterija. U prvoj fazi, hidrolitičke i fermentativne bakterije razgrađuju ugljikohidrate, proteine i masti koji se nalaze u biomasi te ih prevode u masne kiseline, alkohol, ugljikov dioksid, vodik, amonijak i sulfde.

To su procesi hidrolize i acidogeneze. Potom, u drugoj fazi, acetogene bakterije dalje razgrađuju produkte hidrolize u octenu kiselinu, vodik i ugljikov dioksid.



Slika 15. Shema razgradnje organskog materijala tijekom anaerobne fermentacije

# S/Š



## STOČARSTVO

Stočarstvo je poljoprivredna djelatnost kojom se bave ljudi još od davnih vremena, od doba naših dalekih predaka. Stočarstvom su se ljudi počeli baviti kako bi prehranili sebe i svoju obitelj. U početku su ljudi išli u lov kako bi preživjeli od gladi. Zbog toga su ubijali životinje, a kasnije su ih pripitomljavali kako ne bi morali ići u šume i tamo ih hvatati i ubijati.

Iako je stočarstvo u Republici Hrvatskoj u stalnom padu, iz ovog se sektora u Europskoj uniji dobivaju najveće količine bioplina. Korištenjem gnoja od 150 krava može se proizvesti dovoljno bioplina za pogon motora od 60 kW, što je dovoljno za pokrivanje potreba za električnom energijom manjeg sela. Prema izračunima, 100 kW električne energije pokreće jedna farma s 30 do 60 goveda, 400 do 600 svinja te između 32.000 i 35.000 pilića u kombinaciji sa silažom s farma od 30 do 50 ha (silaža žitarica, trava, sudanske trave itd.).

Za proizvodnju 500 kW električne energije potrebna je mala grupa poljoprivrednika s oko 1.500 do 2.000 svinja ili 1.260.000 pilića u kombinaciji sa silažom s farmi od 150 do 250 ha (silaža žitarica, trava, sudanske trave itd.). Za 1.000 kW električne energije, potreban je veći broj farmi s 2.000 do 3.000 svinja, 1.800.000 pilića u kombinaciji sa silažom s farmi od 300 do 500 ha (silaža žitarica, trava, sudanske trave itd.). Najviše energije u kWh godišnje nastaje iz gnoja goveda.

## STRATEGIJA O BIOGORIVIMA

*Strategiju o biogorivima* - COM(2006) 34, o njihovoj proizvodnji i korištenju, donijela je Europska komisija u 2006. godini. Sastoji se od sedam dijelova: stimulacija proizvodnje biogoriva, ostvarivanje koristi za okoliš, razvoj proizvodnje i distribucije goriva, širenje opskrbe sirovinama, jačanje trgovačkih



mogućnosti, potpora zemljama u razvoju te potpora istraživanjima i razvoju. Strategija se temelji na unapređivanju tehnologija proizvodnje i korištenja biogoriva prve generacije i razvoju novih tehnologija druge generacije. Konačni cilj kojemu *Strategija* teži ostvarivanje je pogonske energije u prometu koja će biti bezemisijaska.

## SPREMNIK BIOPLINA

Količina proizvodnje bioplina tijekom dana varira ovisno o ritmu punjenja fermentora, vrsti ulazne sirovine, itd. Osim toga, nužno je povremeno isključiti kogeneracijsko postrojenje u svrhu redovnog tehničkog održavanja, čime također dolazi do kolebanja u proizvodnji bioplina. Stoga je nužno imati spremnik bioplina. Za razliku od poljoprivrednih bioplinskih postrojenja, bioplin se sprema u spremnik nižeg tlaka, na nekoliko mbara, što smanjuje troškove brtvljenja, kompresora i spremnika otpornih na tlak. U tu svrhu služe jastuci od folije u zdanjima, češće pod laganim nadstrešnicama ili plinski spremnici u fermentorima (pneumatskim šatorima).

## SASTAV BIOPLINA

Bioplin se sastoji od nekoliko komponenti i to:

- 55-70% metana,
- 30-35% ugljikov dioksida,
- 1-5% vodene pare,
- 1-2% plinova u tragovima (npr. sumporovodik).

## SIROVINE

Općenito, svi organski materijali podložni su fermentaciji. S tehničkog, odnosno energetskog gledišta, najvažniji organski materijali su sljedeći:

- komunalne otpadne vode i kruti otpad (razgradnja prije odlaganja),
- poljoprivredni otpad/ostatak (životinjsko gnojivo, biljni ostaci),
- industrijski organski otpad/ostatak (kemijska industrija, prehrambena industrija),
- otpaci iz klaonice,
- kuhinjski otpad (restorani),
- plantažno uzgojeno raslinje namijenjeno za iskorištavanje u energetske svrhe.

U bioplinskim postrojenjima moguće je korištenje različitih vrsta biomase kao sirovina, od čiste gnojovke pa do različitih organskih supstrata. Organsku biomasu moguće je dodavati u fermentor tijekom proizvodnje bioplina u svježem obliku ili konzerviranu u obliku silaže ili sjenaže. O sastavu supstrata uvelike će ovisiti proizvodnja i kakvoća bioplina. Najveći opskrbljivači bioplinskih postrojenja organskim otpadom su životinjske farme (80%), klaonice, domaćinstva, restorani, bolnice kao i prehrambena industrija. Iz navedenih sirovina razgrađuju se masti, ugljikohidrati, proteini i vlakna uz kvalitetnu proizvodnju bioplina.

U tablici 10 prikazan je prinos bioplina dobivenog iz različitih ulaznih sirovina. Od navedenih ulaznih sirovina, najveći prinos je iz tehničke masti, a najmanji iz svinjskog i kravljeg gnoja. Vrlo su vrijedne sirovine u proizvodnji bioplina travnati usjevi, organski otpad iz naselja i vršni dijelovi korijena šećerne repe s listovima. Od različitih ulaznih sirovina nastaju različite količine bioplina pa tako 1 t gnoja goveda ne daje istu količinu bioplina kao i 1 t svinjskog gnoja.

S obzirom na brojnost životinja najveće količine bioplina energetske vrijednosti od 23 do 25 MJ/m<sup>3</sup> dobivaju se iz gnoja goveda, a najmanje iz gnoja brojlera s energetsom vrijednošću od 21 do 23 MJ/m<sup>3</sup>. Otpad iz prehrambene industrije također predstavlja važan segment u proizvodnji ukupne količine bioplina, s energetsom vrijednošću od 21 do 25 MJ/m<sup>3</sup>.

Tablica 10. Količine bioplina koje se mogu generirati iz različitih vrsta supstrata

Supstrat	Udio organske suhe tvari (%)	Količina bioplina generiranog iz svježe tvari (Nm <sup>3</sup> /t)	Udio CH <sub>4</sub> (%)
Gnojnica tovnih goveda	85,0	34,0	55,0
Gnojnica mliječnih goveda	85,0	20,2	55,0
Gnojnica svinjska	85,0	20,4	60,0
Konjski gnoj	75,0	63,0	55,0
Goveđi gnoj	80,0	90,0	55,0
Svinjski gnoj	82,5	74,3	60,0
Ovčji gnoj	80,0	108,0	55,0
Gnoj peradi	75,0	56,3	65,0
Slama, ječam	93,7	312,0	50,5
Slama, zob	93,5	313,9	50,7
Slama, raž	94,4	285,5	50,9
Slama, pšenica	91,9	291,8	50,8
Zob, zrno	96,7	501,1	54,1
Kukuruz, zrno	98,3	590,3	52,8
Sjemenke uljane repice	95,5	644,5	65,7
Raž, zrno	97,8	597,0	52,0
Triticale, zrno	97,7	586,7	52,4
Pšenica, zrno	98,1	598,2	52,8
Voćna komina, jabuka	97,6	111,6	51,7
Pogača bućine koštice 15% masti	91,7	572,3	64,4
Pogača lana	93,6	509,4	60,4
Ostatak ekstrakcije kukuruznih klica	95,7	573,1	52,6
Ostatak ekstrakcije palme	95,7	499,1	54,2
Ostatak ekstrakcije uljane repice	92,1	496,1	59,8
Ostatak ekstrakcije suncokreta	93,0	420,5	61,3
Pogača suncokreta (hladno prešanje)	91,9	438,4	62,8



Europska komisija svakoj je pojedinoj sirovini za proizvodnju bioplina pridodala točno specifičnu šifru. U nastavku je dat pregled sirovina s pripadajućim šiframa.

- Ekskrementi peradi 13701
- Gnojnica goveda 13703
- Goveđi gnoj 13704
- Svinjska gnojnica 13703
- Svinjski gnoj 13704
- Konjski gnoj 13704
- Ovčji gnoj 13704
- Sjeno 11701
- Djetelina 11701
- Slama žitarica 11100
- Kukuruzovina 11701
- Kukuruzna silaža 11701
- Travnata silaža 11701
- Krumpirova cima 11701
- Glava korijena i list šećerne repe 11701
- Lišće 11701
- Stočna hrana 11701
- Stočna hrana s prošlim rokom trajanja 11702
- Namirnice s prošlim rokom trajanja 11102
- Pljeva i prašina nakon žetve žitarica 11103
- Ostaci začina 11104
- Melasa 11110
- Tijesto 11111
- Stari kruh 11111
- Repini rezanci 11112
- Ostale muljevite namjernice 11114
- Ostaci konzerva i tvornica duboko smrznutih proizvoda (meso, riba) 11115
- Ostaci konzerva i tvornica duboko smrznutih proizvoda (voće, povrće, gljive) 11117

- Sredstva za uživanje s prošlim rokom trajanja 11401
- Trop od slada, klice od slada 11404
- Trop od hmelja 11405
- Jabučni trop 11407
- Trop od krušaka 11407
- Trop od žitarica 11407
- Trop od melase 11407
- Talog iz pivovara 11411
- Talog iz proizvodnje vina 11413
- Talog iz proizvodnje alkohola 11414
- Voćni ostaci 11415
- Jabučni ostaci 11415
- Ostaci od krušaka 11415
- Ostaci iz proizvodnje kave 11416
- Ostaci iz proizvodnje čaja 11417
- Ostaci iz proizvodnje kakaa 11418
- Kvasac ili ostaci slični kvascu 11419
- Ostaci i otpaci iz proizvodnje voćnih sokova 11423
- Ostaci očišćenog ječma, šturo zrno ječma 11406
- Ostaci uljarica 12101
- Sačma uljane repice 12101
- Sačma ricinusa 12101
- Pokvarena biljna ulja 12102
- Masti 12302
- Sadržaj separatora masti 12501
- Sirutka 12502
- Emulzija od ulja, masti i voska 12503
- Talog iz proizvodnje jestivih masti 12702
- Talog iz proizvodnje jestivih ulja 12703
- Talog iz centrifuga 12704
- Aktivna glina, uljena 12901
- Iznutrice 13103
- Riba 13105
- Krv 13106
- Želučano-crijevni sadržaj 13108
- Otpaci divljači 13109
- Ostaci mesa i kože, crijeva i ostalih dijelova životinjskog tijela 13110
- Škrobni talog 19101
- Otpaci želatine 19903
- Ostaci iz proizvodnje škroba od krumpira 19904
- Ostaci iz proizvodnje škroba od kukuruza 19905
- Ostaci iz proizvodnje škroba od riže 19906
- Biogeni otpaci, prikupljeni odvojeni 91601
- Otpaci kuhinja i kantina 91202
- Otpaci povrća 91601
- Otpaci vrtova i parkova (trava) 91701
- Otpaci s groblja (trava) 91701

Dodatne sirovine koje se namjeravaju iskoristiti pri anaerobnom procesu, moraju u pogledu svog porijekla potjecati iz poznatog proizvodnog procesa i također moraju posjedovati određenu kvalitetu, što se i dokazuje certifikatom (svjedodžbom o ispitivanju). U certifikatu su sadržani važni parametri za anaerobni proces (ST, oST, odnos C:N, biološka razgradivost) kao i moguća prisutnost teških metala, inhibitora, ostatka antibiotika te ostalih štetnih tvari, kao npr. tvari s visokom koncentracijom sumpora.

## ŠARŽNO BIOPLINSKO POSTROJENJE

Nakon punjenja prostora fermentacije sa supstratom i inokulumom, postrojenje se zatvara i proces fermentacije se odvija do svog završetka. Završetak procesa utvrđuje se u skladu s ekonomskim parametrima. Vrijeme fermentacije znatno je duže u šaržnim postrojenjima nego kod kontinuiranih postrojenja. Uobičajeno vrijeme fermentacije iznosi između 30 i 100 dana, ovisno o temperaturi procesa.

Šaržna su postrojenja prikladna za fermentaciju slamnatih i vlaknastih materijala. Takvim se postrojenjem umanjuje trošak koji je potreban za postavljanje postrojenja za predtretman (usitnjavanje).



Slika 16. Detalj bioplinskog postrojenja

# T

## TONUĆE ČESTICE

Sirovine koje se koriste u bioplinskim postrojenjima često se sastoje od mineralnih primjesa. Biootpad iz kućanstava može, primjerice, sadržavati pijesak i šljunak i do 30% cjelokupne količine. Mineralne tvari talože se u donjem dijelu fermentora, a sloj koji je nastao kao njihov rezultat može pritom iznositi i do 50 cm godišnje, čime dolazi do smanjenja volumena fermentora te smanjenja snage grijanja preko podnice fermentora.

Ležeći fermentori nakupljaju istaložene tvari pomoću limenih vodilica na kracima miješalice i prebacuju ih na odvod teških tvari, čime se izbjegavaju prekidi u radu i gubitak sati rada (za pražnjenje fermentora).

## TARIFNI SUSTAV

Na temelju članka 28. stavka 3. *Zakona o energiji* (Narodne novine, brojevi 68/01 i 177/04) Vlada Republike Hrvatske je 2007. godine donijela „Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije“. Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije određuje se pravo povlaštenih proizvođača električne energije na poticajnu cijenu električne energije koju operator tržišta plaća za isporučenu električnu energiju proizvedenu iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja.

Tarifnim se sustavom utvrđuju tarifne stavke i visina tarifnih stavki za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja, ovisno o vrsti izvora, snazi i drugim elementima isporučene električne energije, kao i načinima i uvjetima primjene tih elemenata.

Poticajna cijena plaća se proizvođaču električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i postrojenja kogeneracijskih. Za elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža itd.) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva itd.) instalirane električne snage do uključivo 1 MW, poticajna cijena za isporučenu električnu energiju iznosi 1,20 kn (0,16 Eur), a za postrojenja instalirane snage veće od 1 MW poticajna cijena iznosi 1,04 kn (0,14 Eur). Visina poticajne cijene električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, a za vrijeme važenja ugovora o otkupu električne energije, godišnje se korigira za indeks cijena na malo.

Ugovor o otkupu električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja sklapa se na određeno vrijeme od 12 godina. Postojeća postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije starija od 12 godina nemaju pravo na poticajnu cijenu.



Slika 17. Fermentirani ostatak

## TEKUĆE GNOJIVO

Najjednostavnija primjena fermentiranog ostatka je njegova primjena kao tekućeg gnojiva i to kad je važna početna hranjivost gnojiva. Kad je gnojivo u tekućem obliku, veća je kontaktna površina između njega i tla, čija je posljedica brži premještaj hranjivih tvari iz gnojiva u tlo. Istovremeno, dodavanjem tekućeg gnojiva dolazi do navodnjavanja površine.

# U

## UPRAVLJANJE OTPADOM/OSTATKOM

Koncept hijerarhije upravljanja otpadom/ostatkom ukazuje da je najefektivnije rješenje za životnu sredinu smanjenje stvaranja otpada. Međutim, tamo gdje dalje smanjenje nije praktično, proizvodi i materijali mogu biti iskorišteni ponovo, za istu ili različitu namjenu. Ukoliko ta mogućnost ne postoji, otpad/ostatak može se dalje iskoristiti za reciklažu ili kompostiranje, ili kroz proizvodnju energije. U slučaju kad niti jedna od prethodnih opcija ne daje odgovarajuće rješenje, otpad/ostatak treba deponirati na odgovarajuće odlagalište. Usporedba i izbor preferiranih opcija tretmana i odlaganja otpada/ostatka unutar održive strategije upravljanja moraju biti sačinjeni na realnoj osnovi. Obim raspoloživih opcija tretmana je širok i uključuje:

- reciklažu i ponovnu upotrebu dijela otpada/ostatka dobivenog iz različitih izvora,
- kompostiranje,
- anaerobnu fermentaciju,
- spaljivanje,
- deponiranje.

## UTROŠAK RADA

Temelj bioplinskog postrojenja je biološki proces koji ima vlastitu dinamiku i koji na određeni način valja svakodnevno poticati. To u odnosu na jednostavna postrojenja za izgaranje gnojovke s malim udjelom (trajno) obnovljivih sirovina, odnosno poljoprivrednim otpadom, znači utrošak rada od 0,5 do 1 sata dnevno. Sagorijeva li se drugi otpad mora se uzeti u obzir i vrijeme za akviziciju otpadnih tvari, ispunjavanje dokumentacije kao i intenzivniji nadzor samog postrojenja. Nadalje, daljinskim nadziranjem može se znatno smanjiti nužni utrošak rada.



Slika 18. Vanjski dio miješalice



## UPRAVLJANJE BIOPLINSKIM POSTROJENJEM

Upravljačka jedinica jedna je od temeljnih komponenti bioplinskog postrojenja. Preko nje mogu se centralno nadgledati i regulirati sve crpke i miješalice, odnosno obuhvatiti svi procesni podaci, poput ulazne sirovine, temperature, količine i kvalitete bioplina te se mogu vizualizirati i dokumentirati, kao i učiniti dostupnim. Na taj način olakšano je ispunjavanje svih zakonskih obveza budući da se svi problemi pri proizvodnji bioplina koji možebitno nastanu mogu pravodobno uvidjeti i spriječiti.

## UVJETI PRI KOJIMA SE ODVIJA ANAEROBNA FERMENTACIJA

Fermentacija se može odvijati u fermentoru pri različitim temperaturama, ovisno o kulturi mikroorganizama koja se koristi. Stoga razlikujemo mikroorganizme čija je aktivnost karakteristična za određeni temperaturni raspon. Temperaturna područja u kojima se može odvijati fermentacija jesu:

1. psihofilno (<25°C) koje karakterizira niska brzina rasta, dugo vrijeme počeka, neisplativo za fermentaciju otpada, a i nije više u primjeni.

2. mezofilno (25-45°C) koje karakterizira relativno stabilna biocenoza, zadovoljavajući prinos bioplina uz prihvatljivo vrijeme počeka; međutim, dopušteno je samo uz prethodnu ili naknadnu higijenzaciju.

3. termofilno (45-60°C) kojeg karakterizira visok prinos bioplina, kratko vrijeme počeka, visoka higijenzacija, visoka potrošnja energije za zagrijavanje fermentora, osjetljiva biocenoza (manje vrsti raspoloživih mikroorganizama).



# V

## VRIJEME ANAEROBNE FERMENTACIJE

Anaerobna razgradnja supstrata uz tvorbu bioplina proces je koji ovisi o nekoliko čimbenika, između ostalog i o vremenu. Vrijeme potrebno za razgradnju organskog materijala ovisi o razgradnji organskih spojeva budući se jednostavni spojevi brže pretvaraju u bioplin u odnosu na kompleksne organske molekule.

Vrijeme trajanja anaerobne fermentacije ovisi o temperaturi pri kojoj se proces odvija. Stoga anaerobna fermentacija u mezofilnim uvjetima (temperatura 25-45°C) traje 50-60 dana, dok ona u termofilnim uvjetima (temperatura 45- 60°C) traje kraće, od 30-40 dana.

## VIRTUALNE BIOPLINSKE ELEKTRANE

Jedan od tehničkih problema elektrana koje spadaju u kategoriju distribuirane proizvodnje kontrola je aktivne i jalove snage. Ovi problemi se također pojavljuju i kod rada bioplinskih postrojenja i riješen je austrijskim modelom virtualnih bioplinskih elektrana.

Bioplinske elektrane rade pod maksimalnim opterećenjem što je duže moguće (što znači gotovo čitavu godinu) iz ekonomskih razloga (zelene tarife), što djeluje kao barijera provođenju kontrole radne snage. Što se tiče kontrole jalove snage, vrlo česte barijere nalaze se u nedostatku odgovarajuće opreme, operatorima sustava nejasnih prednosti koje ona donosi te niskom ili čak štetnom utjecaju na stabilnost mreže, u slučaju da jedna bioplinska elektrana unosi jalovu snagu u mrežu bez ikakve zajedničke kontrolne strategije. Ovaj problem može biti riješen međusobnim povezivanjem određenog broja bioplinskih elektrana u jednu centralno kontroliranu 'virtualnu bioplinsku elektranu'.

Model takve virtualne elektrane treba se temeljiti na zahtjevima, kako operatora sustava, tako i operatora elektrane. Potrebno je odrediti i ocijeniti tehničke granične uvjete individualnih elektrana. Ključno je pitanje analize ponašanje faktora snage bez centralizirane kontrole jalove snage i poboljšanje ili pogoršanje faktora snage (godišnji prosjek), kao i utjecaj na stabilnost napona i gubitke prijenosa u slučaju centralizirane kontrole jalove snage. Rad elektrane s boljim faktorom snage također znači i bolje ekonomske karakteristike njezinog rada. Danas je faktor snage u većini elektrana između 0,90 i 0,92. Ukoliko se godišnji faktor snage poboljša, bioplinska elektrana bit će u mogućnosti davati više radne snage u mrežu te time povećati svoj profit. Očekivane prednosti mogu biti smanjeni gubici u mreži i optimiran rad velikih elektrana do tada korištenih za regulaciju jalove snage. Prednosti centralne kontrole jalove energije također se mogu gledati i kroz smanjene emisije CO<sub>2</sub> uzrokovane smanjenim gubicima u prijenosnoj mreži.

# Z / Ž

## ZAKON O GNOJIVIMA I POBOLJŠIVAČIMA TLA

*Zakon o gnojivima i poboljšivačima tla* (Narodne novine, broj 163/2003) valja poštovati kad se gnojiva stave u promet. Stavljanje u promet u smislu ovog Zakona znači ponudu, pripravljanje za odvoz i predaju (i bez naplate). Čak i predaja materijala neke tvrtke svojim vlasnicima podrazumijeva stavljanje u promet.

S druge strane djelomično preuzimanje ostatka odnosno isporuka nekoj tvrtki nije stavljanje u promet. Izrečeno na drugi način – ako žarne ostatke – bez obzira s ili bez otpada – primjenjujete na vlastitim površinama, na vas se Zakon o gnojivima ne odnosi.

Navedenim se Zakonom uređuje kakvoća, kontrola kakvoće, označavanje, promet i nadzor u prometu gnojiva (jednako mineralnih i organskih) i poboljšivača tla. 'Gnojiva' su tvari čija je glavna namjena ishrana biljaka. 'Organska gnojiva' su organske tvari uglavnom biljnog i/ili životinjskog podrijetla, koje se dodaju u tlo s osnovnom namjenom ishrane bilja, 'poboljšivači tla' jesu tvari dodane u tlo s osnovnom namjenom poboljšavanja fizikalnih i/ili kemijskih svojstava i/ili biološke aktivnosti tla. Gnojiva i poboljšivači tla mogu biti u prometu ako ispunjavaju propisane uvjete glede najmanjih zahtjeva kakvoće, ako su označena na propisani način te ako pravilnom uporabom ne ugrožavaju plodnost tla, zdravlje ljudi i životinja te okoliš. Gnojiva i poboljšivači tla moraju biti odgovarajuće kakvoće, odnosno sadržavati određeni najmanji sadržaj hranjiva, imati odgovarajuća kemijska, fizička, fiziološka, mehanička i druga svojstva te ne smiju sadržavati veće količine štetnih tvari od dozvoljenih. Gnojiva se moraju koristiti u skladu s načelima dobre poljoprivredne prakse što podrazumijeva obavljanje gnojidbe određenom vrstom i količinom gnojiva u skladu s potrebama biljaka i tla, uzevši pri tom u obzir raspoložive hranjive tvari u tlu, organsku tvar tla, klimatske uvjete područja i uvjete sjetve i sadnje. Proizvođači gnojiva i poboljšivača tla dužni su provoditi kontrolu njihove kakvoće u proizvodnji i otpremi u ovlaštenim laboratorijima za kontrolu kvalitete.

Gnoj mora odgovarati određenom tipu gnoja. U slučaju žarenih ostataka najčešće će biti riječi o tekućem sekundarnom ostatku iz gnojiva. Pri tome je riječ o sljedećim minimalnim vrijednostima hranjivih tvari: 0,5% N, 0,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,5% K<sub>2</sub>O, sumarno u barem 2% suhe tvari (ST). Kao ulazna sirovina ne smiju se primijeniti sve tvari, inače dopuštene *Pravilnikom o biootpadu*, već isključivo biootpad iz posebnog skupljališta nakon anaerobne obrade, kao i biljni otpad iz industrije živežnih namirnica i krmiva, trgovine i obrta, filtriran mulj u smislu odredbe o prečišćavanju (tretiran aerobno ili anaerobno, stabiliziran), krumpirov sok, proizvodna voda iz tvornica šećera, mljekara, pogona za preradu voća, povrća ili krumpira te (proizvedenog) gnojiva.

Da bi došlo do stavljanja u promet mora se napraviti deklaracija shodno propisima o gnojivima, s detaljnim podacima npr. o ulaznoj sirovini, sastavu hranjivih tvari, njihovoj dostupnosti, naputcima o upotrebi, skladištenju, osobi koja ih stavlja u promet itd.

Fermentirani ostatak nakon proizvodnje bioplina, u odnosu na neobrađeni gnoj, ima sljedeće prednosti:

- razgradnjom organskog supstrata izuzetno je homogen i tečan, zbog čega brzo nestane s biljaka i ulazi brzo u tlo, što znači manje štetnog izgrizanja biljaka i smanjivanje gubitaka dušika,
- hranjive tvari P i K ostaju u cijelosti u istim vrijednostima,
- udio  $\text{NH}_4$  se žarenjem povećava,
- razgrađuju se mirisne tvari,
- organske kiseline se razgrađuju, čime se dodatno smanjuje izgrizanje, što omogućuje čak i okomitu gnojidbu iz stojećih spremnika, čime se povećava duljina vremenskog razdoblje istjecanja tvari.

## ZAŠTITA OKOLIŠA

Zaštita okoliša regulira ograničenja utjecaja postrojenja na okolinu, a odnosi se na područja namijenjena urbanizaciji, industriji, prometu, poljoprivredi, kao i na druge čovjekove aktivnosti. Zaštita okoliša je kompromis između zahtjeva za ekonomskim aktivnostima i zahtjeva za očuvanjem kvalitete prirode. Za pojam zaštite okoliša u posljednje se vrijeme veže nešto aktivniji koncept - okolišno upravljanje, koji prema ISO EN 14000 znači upravljanje uz uvažavanje okolišne komponente.

## ŽIVOT

Život na Zemlji nastao je i opstao milijunima godina zahvaljujući povoljnim klimatskim prilikama. Klima se može promatrati kao obnovljivi resurs kojemu je energetska komponenta energija Sunca, a materijalna komponenta oceani kao rezervoari za vodu. Energija Sunca potiče kruženje vode na Zemlji i time omogućava život. Tamo gdje nema vode nema ni kvalitetnog života, npr. u pustinjama. Klimatske promjene na zemlji dostigle su takav nivo da možemo govoriti o klimatskoj krizi. Vizija izlaska iz te krize vrlo je jasna i to je povratak na manje štetne izvore energije. Međutim, lobiji koji zagovaraju daljnju upotrebu fosilnih goriva i nuklearne energije daleko su premoćni na tržištu energije i trenutno nema nikakvih naznaka usporavanja potrošnje 'prljavih' izvora energije. Takav pristup mogao bi u budućnosti znatno promijeniti klimu, a time bi život klimatski osjetljivih biljaka i životinja bio ugrožen. Budući da sve vrste žive u prirodnoj ravnoteži to bi utjecalo na cijeli biološki sustav Zemlje. Da bi se izbjegla takva budućnost Zemlje, neke države počele su poticati programe štednje energije i prelazak na 'čiste' izvore energije. Globalno gledano za sada nema velikog napretka u tome budući da je količina energije dobivena na taj

način daleko manja prema energiji dobivenoj od fosilnih goriva i nuklearnih elektrana.

Cjelokupna tehnologija proizvodnje bioplina stavljena je u funkciju zaštite okoliša i boljeg ukupnog života čovjeka.



# LITERATURA

1. Ahring, B.K.; Westermann, P. (1988), Product inhibition of butyrate metabolism by acetate and hydrogen in thermophilic culture, *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. LIV, 2393 – 2397.
2. Ahring, B.K.; Schmidt, J.E.; Winter-Nielsen, M.; Macario, A.J.L. (1993): Effect of medium composition and sludge removal on the production, composition and architecture of thermophilic acetateutilizing granules from an upflow anaerobic sludge blanket reactor; *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 2538 – 2545.
3. Ahring, B.K. (1994): Status on science and application of thermophilic anaerobic digestion, *Wat. Sci. Technol.* 30, 241 – 249.
4. American Society of Agronomy (1982): *Methods of soil analysis*, Knjiga, Madison, Wisconsin, SAD.
5. Angelidaki, I.; Ahring, B.K. (1993): Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* Vol. XXXVIII, 560 – 564.
6. Basiliko, N.; Yavitt, J.B. (2001): Influence of Ni, Co, Fe and Na additions on methane production in *Sphagnum* – dominated northern American peatlands, *Biogeochemistry* 52, 133 – 153.
7. BIOEN (1998): Program korištenja biomase i otpada, Knjiga, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.
8. Bouallagui, H.; Ben Cheikh, R.; Marouani, L.; Hamdi, M. (2003): Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in tubular digester, *Bioresource Technology* 86, 85 – 89.
9. Bryant, M.P. (1979): Microbial methane production – theoretical aspects, *J. Animal Sc.*, 48, 193 – 201.
10. Bujoczek, G.; Oleszkiewicz, J.; Sparling, R.; Cenkowski, S. (2000): High solid anaerobic digestion of chicken manure, *J. agric. Engng. Res.*, 76, 51 – 60.
11. Boone, D.R. (1982): Terminal reaction in anaerobic digestion of animal waste, *Appl. Environ. Microbiol.*, 43, 57 – 64.
12. Callaghan, F.J.; Wase, D.A.J.; Thayani, K.; Forester, C.F. (2002): Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass and Bioenergy*, 27, 71 – 77.
13. Cheng, Z.T.; Noike, T. (1994): Influence of retention time on reactor performance and bacterial trophic population in anaerobic digestion processes, *Water Res.*, 28, 27–36.
14. Chynoweth, I. (1987): *Anaerobic digestion of biomass*, Elsevier Applied Science Publishers, London, England.
15. Dalemo, M.; Sonesson, U.; Jönsson, H.; Björklund, A. (1998): Effects of including nitrogen emissions from soil in environmental systems analysis of waste management strategies, *resources, Conservation and Recycling* 24, 363 – 381.
16. Ferguson, T.; Mah, R. (1987): *Methanogenic bacteria – Anaerobic digestion of Biomass*, Elsevier Applied Science, London i New York, 49 – 63.
17. Fukushi, K., Babel, S., Burakrai S. (2003): Survival of *Salmonella* spp. in a simulated acid- phase anaerobic digester treating sewage sludge, *Bioresource Technology* 86, 53 – 57.

18. Gonzales-Gill, G.; Kleerebezem, R.; Lettinga, G. (1993): Effects of nickel and cobalt on kinetics of methanol conversion by methanogenic sludge as assessed by on line CH<sub>4</sub> monitoring, *Appl Microbiol Biotechnol* 65, 1789 – 1793.
19. Hanaki, K.; Hirunmasuwan, S.; Matsuo, T. (1994): Selective use of microorganisms in anaerobic treatment processes by application of immobilization, *Water Res.*, 28, 993 – 996.
20. Hashimoto, A.G. (1986): Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes, *Agric. Wastes* 9, 241 – 261.
21. Gorris, L. G. M.; van Deursen, J. M. A.; van der Drift, C.; Vogels, G. D. (1989): Inhibition of propionate degradation by acetate in methanogenic fluidized bed reactors, *Biotechnol. Lett.*, Vol. XI, 61 – 66.
22. Hill, D.T.; Taylor, S.E.; Grift, T.E. (2001): Simulation of low temperature anaerobic of dairy and swine manure, *Bioresource Technology*, 78, 127 – 131.
23. Huang, J.J.H.; Shih, J.C.H. (1981): The potential of biological methane generation from chicken manure, *Biotechnology and Bioengineering*, 23, 2307 – 2314.
24. Jackson, M.L. (1958): *Soil chemical analysis*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 498.
25. Jarvis, A.; Nordberg A.; Jarlsvik, T.; Mathisen, B.; Svensson, B.H. (1997): Improvement of a grass-clover silage-fed biogas process by the addition of cobalt, *Biomass Bioenergy* 12, 453 – 460.
26. Kalambura D.; Kalambura S.; Krička, T.; Jukić, Ž.; Voća, N. (2004): Conversion of manure into biogas – economic assessment of feasibility of investments; *Zbornik radova; 1. Međunarodni i 18. Hrvatski kongres tehnologa za poslijehetvenu tehnologiju; Stubičke Toplice*, 161-165.
27. Kalambura, S.; Krička, T.; Jukić, Ž.; Voća, N.; Kalambura, D. (2005): Alkalna hidroliza klaoničkog otpada, *Krmiva – časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme*, Vol.47, No.2, 97-100.
28. Kalambura S.; Krička, T.; Jukić, Ž.; Voća, N.; Kalambura D. (2004): Catering slaughterhouse waste by method of alkaline hydrolysis; *Zbornik radova; 1. Međunarodni i 18. Hrvatski kongres tehnologa za poslijehetvenu tehnologiju, Stubičke Toplice*; 156-160.
29. Kaltwasser, B.J. (1980): *Biogas – Regenerative Energieerzeugung durch anaerobe Fermentation organischer Abfälle in Biogasanlagen*, Knjiga, Bauverlag GmbH, Berlin, Germany.
30. Kida, K, Shigematsu, T.; Kijima, J.; Numaguchi, M.; Mochinaga, Y.; Abe N.; Morimura, S. (2001): Influence of Ni<sup>2+</sup> and Co<sup>2+</sup> on methanogenic activity and the amounts of coenzymes involved in methanogenesis, *J. Biosci Bioeng* 91, 590 – 595.
31. Krička, T.; Voća, N.; Jukić, Ž.; Kalambura, S. (2003): Biogas production from industry sources, *Zbornik radova, International Conference Flour – Bread, Opatija*, 354 – 362.
32. Krička, T.; Voća, N.; Jukić, Ž.; Janušić, V.; Matin, A. (2006): Iskustva u proizvodnji i iskorištavanju obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji; *Krmiva – časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme*, Vol.48, No.1, 49-54.
33. Krička, T.; Tomić, F.; Voća, N.; Janušić, V. (2007): Proizvodnja bioplina iz ostataka poljoprivredne proizvodnje, *Naftaplin – Znanstveno-stručno glasilo hrvatske udruge naftnih inženjera i geologa, Zbornik radova s 4. Međunarodnog znanstveno-stručnog skupa o naftnom gospodarstvu, Zadar*, 49-58.

34. Labudović, B. (2002): *Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, knjiga, Zagreb.*
35. Lafferty, R.M. (1982): *Energija u proizvodnji hrane, III sastanak prehrambenih tehnologa, biotehnologa i nutricionista Hrvatske, Zbornik radova, Zagreb.*
36. Magbanua, B.S.; Adams, T.T.; Jonston, P. (2001): *Anaerobic codigestion of hog and poultry waste, Bioresource Technology, 76, 165 – 168.*
37. Mah, R.A. (1982): *Methanogenesis and methanogenic partnership, Philos. Trans. of Royal Soc. of London, 297, 599 – 616.*
38. Marchaim, U.; Levanon, D.; Danai, O.; Musaphy, S. (1991): *A suggested solution for slaughterhouse wastes: uses of the residual materials after anaerobic digestion, Bioresource Technology, 37, 127 – 134.*
39. Mata-Alvarez, J.; Mace, S.; Llabres, P. (2000): *Anaerobic digestion of organic solid wastes, An overview of research achievements and prospectives, Bioresource Technology, 74, 3 – 16.*
40. McInerney, M.J.; Bryant, M.P. (1981): *Basic principles of bioconversion in digestion and methanogenesis, Biomass Conversion – processes for energy and fuel, Plenum Publ. Corp. New York, 227 – 296.*
41. Mochinaga, K.K.; Abe, Y.; Morimura, S. (1997): *Influence of Ni<sup>2+</sup> and Co<sup>2+</sup> on activity of microorganisms related to methane fermentation, Proc 8th Int Conf Anaerob Digest, Sendai, Japan, 27 – 30.*
42. Nies, D.H. (1999): *Microbial heavy metal resistance, Appl Microbiol Biotechnol 51, 730 – 750.*
43. Ram, M.S.; Singh, L.; Suyanarayana, M.V.S.; Alam, S.I. (2000): *Effect of iron, nickel and cobalt on bacterial activity and dynamics during anaerobic oxidation of organic matter, Water Air Soil Pollut 117, 1 – 4.*
44. Sahlström, L. (2003): *A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants, Bioresource Technology, 87, 161 – 166.*
45. Salminen E.; Rintala, J.; Härkönen, J.; Kuitunen, M.; Högmänder, H.; Oikari, A. (2001): *Anaerobically digested poultry slaughterhouse wastes as fertiliser in agriculture, Bioresource Technology, 78, 81 – 88.*
46. SAS Institute (1997): *User's Guide, Vol 2, Cary, NC, USA.*
47. Selimbašić, V.; Simičić, H.; Žunić, E.; Petric, I.; Ripoll, X. F. (2004): *Anaerobna fermentacija goveđeg gnoja pri temperaturi 55°C, 32. Simpozij "Aktualni zadaci poljoprivredne mehanizacije", Zbornik radova, Opatija, 361 – 370.*
48. Sharma, N. (1994): *Recycling of organic wastes through earthworms: an alternative source of organic fertiliser for crop growth in India, Energy conserv Management, 35, 25 – 50.*
49. Shih, J.C.H. (1987): *Ecological benefits of anaerobic digestion, Poultry Science 66, 946 – 950.*
50. Shih, J.C.H. (1993): *Recent development in poultry waste digestion and feather utilisation – a review, Poultry Science, 72, 1617 – 1620.*
51. Sleat, R.; Mah, R. (1987): *Hydrolytic bacteria – Anaerobic digestion of biomass, Elsevier Applied Science, London and New York, 15 – 33.*
52. Sosnowski, P.; Wiczorek, A.; Ledakowicz, S. (2003): *Anaerobic co-digestion of sewage and organic fraction of municipal solid wastes, Advances in Environmental Research, 7, 609 – 616.*
53. Šalamon, J.; Glanser – Šoljan M.; Dvoraček, L.; Ban S.; Zelenko F. (1983): *Anaerobna fermentacija tekućeg svinjskog gnoja u metan, Zbornik radova – aktualni problemi mehanizacije, Opatija, 137 – 143.*



54. Takashima, M.; Speece R.E. (1997): Competition for essential trace metals, Fe and Ni, between acetate-utilising methanogens, Proc 8th Int Conferention Anaerobic Digestion, Sendai, Japan, 95 – 98.
55. Tiquia, S.M.; Tam, N.F.Y.; Hodgkiss, I.J. (1996): Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter, Environ. Pollut, 93, 249 – 256.
56. Torein, D.F.; Hattingh, W.H.J. (1969): Anaerobic digestion – I. The microbiology of anaerobic digestion, Water Res. 3, 385 – 416.
57. Varel, V.H.; Isaacson, H.R.; Bryant, M.P. (1977): Thermophilic methane production from cattle waste, Appl. Environ. Microbiol. 33, 298 – 307.
58. Vermeulen, J.; Huysmans, A.; Crespo, M.; van Lierde, A.; de Rycke, A.; Verstraete, W. (1992): Processing of biowaste by anaerobic composting to plant growth substrates, Proceedings of International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, April 14 – 17, 1992, Venice, Italy, 147 – 157.
59. Voća, N.; Krička, T.; Jukić, Ž.; Kalambura, S.; Kalambura D. (2003): Biogas pilot plant in Croatia, Zbornik radova, 1<sup>st</sup> International Ukrainian Conference on Biomass for Energy – Industrial heat engineering, Vol. 25, No.4, Kijev, Ukrajina, 86-87.
60. Voća, N.; Krička, T.; Čosić, T.; Rupiće, V.; Jukić, Ž.; Kalambura, S. (2005): Kakvoća digestiranog ostatka nakon anaerobne digestije pilećeg gnoja, Krmiva – časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme, Vol.47, No.2, 65-72.
61. Voća, N.; Krička, T.; Čosić, T.; Rupiće, V.; Jukić, Ž.; Kalambura, S. (2005): Digested residue as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion, Plant, soil and environment, Vol.51, No.6, 262-266.
62. Wang, W. (1991): Ammonia toxicity to macrophytes (common duckweed and rice) using staling and renewal methods, Environ. Toxicol. Chem. 10, 1173 – 1177.
63. Webb, A.R.; Hawkes, F.R. (1985): The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium – nitrogen levels, Agricultural Wastes, 14, 135 – 156.
64. ... (2001): Pravilnik o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i u proizvodnju biljnih proizvoda u RH, Narodne novine 91/2001, Zagreb.
65. ... (2006): Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog porijekla koji nisu za prehranu ljudi, Narodne novine 56/2006, Zagreb.
66. ... (2002): *Regulation on laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption, EC/1774/2002.*

Dr.sc. **Tajana Krička**, redoviti profesor diplomirala je na Fakultetu poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na usmjerenju Mehanizacija poljoprivrede, na kojem je završila i Poslijediplomski studij te obranila magistarski rad i doktorsku disertaciju. Nakon diplomiranja zapošljava se na istom fakultetu i to na Institutu za mehanizaciju, tehnologiju i graditeljstvo. Nakon izdvajanja, prelazi u Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, čija je predstojnica bila u dva mandata. Autorica je i koautorica više od 150 znanstvenih i stručnih radova objavljenim u domaćim i stručnim časopisima. Aktivno sudjeluje u brojnim domaćim i stranim skupovima u kojima je član znanstvenog i organizacijskog odbora. Član je niza znanstvenih i stručnih odbora te odbora i povjerenstava u tijelima državne uprave. Bila je voditelj i suradnik na znanstvenim i stručnim projektima. Redoviti je profesor te koordinator i suradnik više preddiplomskih, diplomskih i doktorskih modula Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Doc.dr.sc. **Neven Voća** je diplomirao na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na usmjerenju Mehanizacija poljoprivrede. Nakon diplomiranja zapošljava se na istom fakultetu i to na Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. Poslijediplomski studij je završio također na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je obranio magistarski rad i doktorsku disertaciju. Autor je i koautor devedesetak znanstvenih i stručnih radova objavljenih u domaćim i stranim časopisima te aktivno sudjeluje u brojnim domaćim i stranim skupovima. Kao docent je suradnik na više preddiplomskih i diplomskih modula, koji se održavaju u sklopu nastave Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

**Vanja Jurišić**, dipl.ing. diplomirala je 2004. godine na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je iste godine upisala i doktorski studij. Na Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu zaposlena je kao znanstveni novak od rujna 2004. godine. Autorica je i koautorica više od 40 znanstvenih i stručnih radova te je suradnik na nekoliko domaćih i međunarodnih znanstveno-istraživačkih projekata. Kao sudionik i član organizacijskih tijela sudjelovala je na brojnim domaćim i međunarodnim skupovima. Suradnik je na nekoliko preddiplomskih modula Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a u okviru svoje znanstvene izobrazbe sudjelovala je na mnogim domaćim i međunarodnim seminarima i radionicama.

