



bioplin

PRIRUČNIK



BiG>East
Biogas for Eastern Europe

bioplin

PRIRUČNIK

ISBN 978-87-992962-2-4

ISBN 978-953-6474-59-2

Autori

Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen

Autori nacionalnog dodatka i adaptacije glavnog teksta

Biljana Kulišić, Ana Kojaković

Recenzija

Dominik Rutz; Teodorita Al Seadi, Konstantinos Sioulas, Biljana Kulišić

Urednica

Teodorita Al Seadi

Urednica nacionalnog dodatka

Biljana Kulišić

Prijevod i adaptacija

Ana Kojaković, Biljana Kulišić, Veljko Vorkapić, Dino Novosel, Kristina Kružić

Lektura

Anita Filipović

Naslovnica

Catrineda Al Seadi

Sva su prava zadržana. Umnožavanje ove publikacije ili njezinih dijelova u bilo kojem obliku, nisu dozvoljeni bez prethodnog pisanog odobrenja izdavača ili vlasnika prava.

Urednik ne odgovara za točnost i/ili kompletnost informacija i podataka navedenih u ovom priručniku.

Zahvala

Ovaj priručnik pripremljen je zajedničkim radom grupe stručnjaka za bioplin iz Danske, Njemačke, Austrije i Grčke, u okviru projekta BiG>East (EIE/07/214/SI2.467620), koji se provodi od rujna 2007. do veljače 2010. godine. Cilj projekta je promocija razvoja AD tehnologija u istočnoj Europi. BiG>East projekt sufinancira Europska komisija u okviru Programa *Intelligent Energy for Europe*.

Priručnik je pripremljen u glavnoj verziji - na engleskom jeziku - koja je zatim prevedena i adaptirana na bugarski, hrvatski, grčki, latvijski, rumunjski i slovenski što su jezici zemalja u kojima se provodi BiG>East projekt. Svaka od tih verzija sadrži i dodatno poglavlje s informacijama specifičnima za pojedinu zemlju, koje je pripremio projektni partner iz dotične zemlje. Prijelom, dodatno čitanje i naslovnica priručnika su pripremili naši talentirani studenti.

Hvala vam svima za odličan timski rad.

Teodorita Al Seadi, urednica

listopad 2008.

Sadržaj

SADRŽAJ.....	3
PREDGOVOR.....	8
KAKO KORISTITI OVAJ PRIRUČNIK?	10
ŠTO JE BIOPLIN I ZAŠTO NAM JE POTREBAN?.....	11
1. PREDNOSTI TEHNOLOGIJE BIOPLINA.....	11
1.1. DRUŠTVENE KORISTI	11
1.1.1. <i>Obnovljivi izvori energije</i>	11
1.1.2. <i>Smanjenje emisije stakleničkih plinova i ublažavanje posljedica globalnog zagrijavanja</i>	12
1.1.3. <i>Smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih goriva</i>	12
1.1.4. <i>Doprinos EU-a ciljevima važnim za energetiku i okoliš</i>	12
1.1.5. <i>Smanjenje količine otpada</i>	12
1.1.6. <i>Stvaranje novih radnih mjesta</i>	13
1.1.7. <i>Fleksibilno i učinkovito korištenje bioplina</i>	13
1.1.8. <i>Smanjenje potrošnje vode</i>	13
1.2. KORISTI ZA POLJOPRIVREDNIKE	13
1.2.1. <i>Ostvarivanje dodatnog prihoda za uključene poljoprivrednike</i>	13
1.2.2. <i>Digestat je izvrsno gnojivo</i>	13
1.2.3. <i>Zatvoreni ciklus hranjivih tvari</i>	13
1.2.4. <i>Fleksibilnost u korištenju različitih vrsta biomase</i>	14
1.2.5. <i>Smanjenje pojave neugodnih mirisa i insekata</i>	15
1.2.6. <i>Veterinarska sigurnost</i>	15
2. BIOPLIN IZ AD - POSTOJEĆE STANJE I POTENCIJAL.....	15
2.1. POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE AD I TRENDOVI U ISTRAŽIVANJU	15
2.2. POTENCIJAL BIOPLINA	16
3. NEŠTO VIŠE O ANAEROBNOJ DIGESTIJI (AD).....	17
3.1. SUPSTRATI AD	18
3.2. BIOKEMIJSKI POSTUPAK AD	23
3.2.1. <i>Hidroliza</i>	25
3.2.2. <i>Acidogeneza</i>	25
3.2.3. <i>Acetogeneza</i>	25
3.2.4. <i>Metanogeneza</i>	25
3.3. PARAMETRI AD.....	26
3.3.1. <i>Temperatura</i>	26
3.3.2. <i>pH-vrijednosti i optimalni intervali</i>	29
3.3.3. <i>Hlapljive masne kiseline (HMK)</i>	29

3.3.4.	<i>Amonijak</i>	30
3.3.5.	<i>Elementi u tragovima, hranjive i toksične tvari</i>	30
3.4.	RADNI PARAMETRI	31
3.4.1.	<i>Sadržaj organske tvari u digestoru</i>	31
3.4.2.	<i>Vrijeme hidraulične retencije (VHR)</i>	31
3.4.3.	<i>Lista pokazatelja</i>	32
4.	OSNOVNE PRIMJENE BIOPLINA	33
4.1.	POLJOPRIVREDNA BIOPLINSKA POSTROJENJA	34
4.1.1.	<i>Bioplinška postrojenja za obiteljska gospodarstva</i>	34
4.1.2.	<i>Bioplinška postrojenja za poljoprivredna gospodarstva</i>	35
4.1.3.	<i>Centralizirana (zajednička) postrojenja za proizvodnju bioplina</i>	38
4.2.	POSTROJENJA ZA OBRADU OTPADNIH VODA	41
4.3.	POSTROJENJA ZA OBRADU KRUTOG KOMUNALNOG OTPADA.....	42
4.4.	INDUSTRIJSKA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOPLINA	42
4.5.	PROIZVODNJA DEPONIJSKOG PLINA	43
5.	UPOTREBA BIOPLINA	45
5.1.	SVOJSTVA BIOPLINA	45
5.2.	DIREKTNO IZGARANJE I UPOTREBA BIOPLINA ZA PROIZVODNJU TOPLINSKE ENERGIJE.....	47
5.3.	KOGENERACIJSKA PROIZVODNJA TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	47
5.3.1.	<i>Plinski-Otto motori</i>	48
5.3.2.	<i>Plinski-dizel motor s pilot paljenjem</i>	49
5.3.3.	<i>Stirlingov motor</i>	49
5.4.	BIOPLINSKE MIKROTURBINE	50
5.5.	GORIVNE ĆELIJE	50
5.6.	PROIZVODNJA BIOMETANA (DORADA/PROČIŠĆAVANJE BIOPLINA).....	52
5.6.1.	<i>Bioplin kao transportno gorivo</i>	53
5.6.2.	<i>Biometan za injektiranje u plinsku distribucijsku mrežu</i>	54
5.6.3.	<i>Ugljikov dioksid i metan kao kemijski proizvodi</i>	55
6.	KORIŠTENJE DIGESTATA	55
6.1.	AD – TEHNOLOGIJA ZA UPRAVLJANJE KRUTIM I TEKUĆIM STAJSKIM GNOJEM	55
6.2.	OD GNOJOVKE DO DIGESTATA I GNOJIVA	56
6.2.1.	<i>Biološka razgradnja organske tvari</i>	56
6.2.2.	<i>Smanjenje neugodnih mirisa</i>	56
6.2.3.	<i>Sanitacija</i>	57
6.2.4.	<i>Uništavanje sjemenja korova</i>	57
6.2.5.	<i>Izbjegavanje pojave „oprženih“ biljaka</i>	57
6.2.6.	<i>Poboljšanje hranjivih sposobnosti</i>	58
6.3.	PRIMJENA DIGESTATA KAO GNOJIVA	58
6.4.	UČINCI PRIMJENE DIGESTATA NA TLO.....	59

6.5.	PRAKTIČNA ISKUSTVA	60
6.6.	KONDICIONIRANJE DIGESTATA	61
6.6.1.	<i>Strategije za kondicioniranje digestata</i>	61
6.6.2.	<i>Neophodna razmatranja</i>	64
6.7.	UPRAVLJANJE KVALITETOM DIGESTATA	64
6.7.1.	<i>Uzorkovanje, analiziranje i deklariranje digestata</i>	64
6.7.2.	<i>Upravljanje hranjivim tvarima u digestatu</i>	65
6.7.3.	<i>Osnovne mjere za sigurno recikliranje i kvalitetu digestata</i>	65
7.	DIJELOVI BIOPLINSKOG POSTROJENJA	66
7.1.	PRIHVATNA JEDINICA	70
7.2.	SKLADIŠTENJE I KONDICIONIRANJE SIROVINE	70
7.2.1.	<i>Skladištenje sirovine</i>	70
7.2.2.	<i>Kondicioniranje</i>	73
7.3.	SUSTAV PUNJENJA	75
7.3.1.	<i>Transport tekuće sirovine</i>	75
7.3.2.	<i>Transport krute sirovine</i>	77
7.4.	ARMATURA I CJEVOVODI	80
7.5.	SUSTAV GRIJANJA – GRIJANJE FERMENTATORA	81
7.6.	FERMENTATOR	82
7.6.1.	<i>Fermentatori obročnog tipa</i>	83
7.6.2.	<i>Fermentatori kontinuiranog tipa</i>	84
7.6.3.	<i>Održavanje fermentatora</i>	88
7.7.	TEHNOLOGIJE MIJEŠANJA	88
7.7.1.	<i>Mehaničko miješanje</i>	89
7.7.2.	<i>Pneumatično miješanje</i>	91
7.7.3.	<i>Hidraulično miješanje</i>	91
7.8.	SPREMIŠTE ZA BIOPLIN	91
7.8.1.	<i>Niskotlačni spremnici</i>	92
7.8.2.	<i>Srednje i visokotlačni spremnici za bioplin</i>	93
7.8.3.	<i>Plamen (baklja) za bioplin</i>	93
7.9.	ČIŠĆENJE BIOPLINA	95
7.9.1.	<i>Kondicioniranje plina</i>	95
7.9.2.	<i>Desumporizacija</i>	96
7.9.3.	<i>Sušenje</i>	99
7.10.	SKLADIŠTENJE DIGESTATA	100
7.11.	KONTROLNA JEDINICA	102
7.11.1.	<i>Količina unosa tekuće sirovine</i>	104
7.11.2.	<i>Razina punjenja fermentatora</i>	104
7.11.3.	<i>Razina punjenja spremnika za plin</i>	104

7.11.4.	Procesna temperatura.....	104
7.11.5.	pH vrijednost.....	104
7.11.6.	Određivanje masnih kiselina	104
7.11.7.	Količina plina	104
7.11.8.	Sastav plina	105
KAKO POČETI?.....		106
8.	PLANIRANJE I GRADNJA BIOPLINSKOG POSTROJENJA	106
8.1.	OSTVARIVANJE PROJEKTA IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA	106
8.2.	NA KOJI NAČIN OSIGURATI KONTINUIRANU OPSKRBU SIROVINOM?	109
8.2.1.	Određivanje veličine postrojenja koje koristi poljoprivrednu sirovinu osnovu.....	110
8.2.2.	Određivanje veličine postrojenja koje koristi industrijski/ komunalni otpad kao sirovinu	111
8.2.3.	Sheme snabdijevanja sirovinom	112
8.3.	GDJE SMJESTITI BIOPLINSKO POSTROJENJE?	112
8.4.	DOBIVANJE DOZVOLA.....	113
8.5.	POKRETANJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA.....	114
9.	SIGURNOST BIOPLINSKOG POSTROJENJA	115
9.1.	PREVENCIJA OD EKSPLOZIJA I POŽARA.....	115
9.2.	RIZIK OD TROVANJA I GUŠENJA	117
9.3.	ZDRAVLJE I RIZIK OD NESREĆA	117
9.4.	SANITARNE MJERE, KONTROLA PATOGENA I VETERINARSKI ASPEKTI	118
9.4.1.	Higijenski aspekti bioplinskih postrojenja	118
9.4.2.	Parametri za higijensku učinkovitost bioplinskog postrojenja	118
9.4.3.	Indikatorske vrste.....	120
9.4.4.	Zahtjevi za sanitarnu obradu.....	121
10.	EKONOMIKA BIOPLINSKOG POSTROJENJA.....	124
10.1.	FINANCIRANJE PROJEKTA BIOPLINA.....	124
10.2.	EKONOMSKE PROJEKCIJE ZA PROJEKTE PROIZVODNJE I KORIŠTENJA BIOPLINA.....	124
10.2.1.	Zaključci o ekonomskoj projekciji za projekte proizvodnje i korištenja bioplina	125
BIOPLIN U HRVATSKOJ.....		127
11.	BIOPLIN I OSTALI OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U HRVATSKOJ	127
11.1.	ZAKONODAVNI OKVIR	129
11.1.1.	Zakonodavni okvir bioplina kao jednog od OIE	133
11.1.2.	Ostali zakonski propisi vezani za bioplin.....	134
11.2.	INSTRUMENTI POTPORE I FINANCIRANJA.....	136
11.3.	KORIŠTENJE OTPADA ZA PROIZVODNJU BIOPLINA U HRVATSKOJ.....	138
11.4.	DOSTUPNOST SIROVINE U HRVATSKOJ	139
11.5.	POLJOPRIVREDNA STRUKTURA U HRVATSKOJ	140
11.6.	MOGUĆNOSTI UBRIZGAVANJA BIOMETANA U HRVATSKI SUSTAV PRIRODNOG PLINA.....	141
11.7.	UTJECAJI PROIZVODNJE BIOPLINA U HRVATSKOJ.....	142

11.8. ZAKLJUČCI I PREPORUKE ZA IMPLEMENTIRANJE BIOPLINSKIH POSTROJENJA U HRVATSKOJ	144
PRILOZI – KORISNE INFORMACIJE.....	147
PRILOG 1: POJMOVNIK, PRETVORBENE JEDINICE I KRATICE	147
<i>PRETVORBENE JEDINICE</i>	153
<i>POPIS KRATICA.....</i>	154
PRILOG 2: LITERATURA.....	155
PRILOG 3: LITERATURA NACIONALNOG DODATKA.....	157
PRILOG 4: ADRESE.....	158

Predgovor

Jedan od glavnih problema zaštite okoliša suvremenog društva je kontinuirani porast nastajanja organskog otpada. U mnogim zemljama je održivo upravljanje otpadom, koje podrazumijeva i sprječavanje njegovog nastanka i smanjenje novih količina, postao glavni politički prioritet i važan dio zajedničkih napora u smanjenju zagađenja okoliša i emisija stakleničkih plinova radi ublažavanja globalnih klimatskih promjena. Dosadašnja praksa nekontroliranog odlaganja otpada danas više nije prihvatljiva. Čak i kontrolirano odlaganje otpada na za to predviđenim odlagalištima ili spaljivanje organskog otpada više ne predstavljaju prikladan način njegovog zbrinjavanja, a standardi za okoliš su sve rigorozniji te upućuju na povrat energije i uporabu hraniva te organske tvari.

Smatra se da je proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom (AD) optimalni proces za tretiranje životinjskog izmeta i gnojnice, kao i širok spektar organskog otpada, budući da se time ovi supstrati pretvaraju u obnovljivu energiju i, često, ekološki prihvatljivo gnojivo u poljoprivredi. Istovremeno se izdvajanjem organske frakcije iz tijeka otpada povećava učinkovitost energetske pretvorbe putem spaljivanja preostalog otpada te biokemijska stabilnost odlagališta.

AD je mikrobiološki proces razlaganja organske tvari bez prisutnosti kisika, koji je uobičajen u prirodnom okolišu, a danas se naveliko primjenjuje u proizvodnji bioplina u zrako-nepropusnim reaktorima, zvanim digestori ili fermentatori. U postupku anaerobne razgradnje djelovanjem različitih vrsta mikroorganizama nastaju dva glavna proizvoda: bioplin i digestat. Bioplin je zapaljivi plin koji se sastoji od metana, ugljikovog dioksida, ostalih plinova i elemenata u tragovima. Digestat je anaerobno razgrađen supstrat, bogat makro- i mikro-nutrijentima što ga čini prikladnim biljnim gnojivom.

Proizvodnja i sakupljanje bioplina iz biološkog postupka po prvi put je dokumentirana u Velikoj Britaniji 1895. godine (Metcalf i Eddy, 1979.). Od tog vremena pa do danas postupak se razvijao te je postao široko rasprostranjena metoda obrade otpadnih voda i stabilizacije otpadnog mulja. Energetska kriza ranih 70-ih godina prošlog stoljeća rezultirala je porastom svijesti o korištenju obnovljivih izvora energije, uključujući i bioplin iz AD. Zanimanje za bioplin povećalo se zbog globalnih napora usmjerenih na zamjenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima, te traženja ekološki prihvatljivog rješenja za obradu i uporabu životinjskih ekskremenata i ostalog organskog otpada.

Danas bioplinska postrojenja koja prerađuju sirovine iz poljoprivrede predstavljaju jednu od najvažnijih primjena AD. Samo u azijskim zemljama, a naročito u Kini, Indiji, Nepal i Vijetnamu, postoji nekoliko milijuna vrlo jednostavnih, malih bioplinskih digestora koji proizvode plin za kuhanje i osvjetljavanje kućanstava. U Europi i sjevernoj Americi svakodnevno raste broj poljoprivrednih bioplinskih postrojenja, a danas ih funkcionira nekoliko tisuća od kojih većina koristi suvremene tehnologije AD. Ako se promatra samo Njemačka, tamo se bioplin proizvodio iz više od 3 700 bioplinskih postrojenja tijekom 2007. godine.

U usporedbi s drugim biogorivima, bioplin iz AD predstavlja važan prioritet u europskim smjernicama za transport i energiju. Bioplin predstavlja jeftin i CO₂ neutralan izvor obnovljive energije, koji daje mogućnost prerade i recikliranja raznih poljoprivrednih

ostatka i sporednih proizvoda na održiv i ekološki prihvatljiv način. Istovremeno, bioplin sa sobom povlači i brojne socio-ekonomske koristi za društvo kao cjelinu, ali i za dionike uključene u njegovu proizvodnju i iskorištavanje.

Proširenjem Europske unije proširila se i obitelj europskih proizvođača bioplina koji će imati koristi od implementacije tehnologija za proizvodnju bioplina za proizvodnju obnovljive energije te doprinijet će rješavanju važnih problema zagađenja okoliša te pružiti podršku održivom ruralnom razvoju, a time i poljoprivrednom sektoru.

Teodorita Al Seadi i Dominik Rutz

Kako koristiti ovaj priručnik?

Jedan od ključnih problema s kojim se susreću ljudi zainteresirani za tehnologije bioplina je nepostojanje jedinstvenog izvora informacija o AD procesu, tehničkim i ne-tehničkim aspektima planiranja, gradnje i rada bioplinskih postrojenja kao i o korištenju bioplina i digestata. Nabrojane informacije razasute su u različitoj literaturi, što navodi na potrebu za objedinjavanjem i „pročišćavanjem“ postojećih informacija.

Ovaj priručnik sastoji se od četiri dijela. Prvi dio „**Što je bioplin i zašto nam je potreban**“ daje osnovne informacije o tehnologijama proizvodnje bioplina, s opisom mikrobiološkog procesa AD i njegove primjene u društvu, načina održive upotrebe bioplina i digestata te glavnih tehničkih dijelova bioplinskog postrojenja. Drugi dio knjige „**Kako početi?**“ prikazuje na koji način treba pristupiti planiranju i gradnji bioplinskog postrojenja, koje mjere zaštite je potrebno uzeti u obzir, kao i koji su mogući troškovi i koristi takvog postrojenja. Ovaj dio je nadopunjen izračunom u Excelu koji se može preuzeti sa službene internetske stranice projekta. Treći dio „**Korisne informacije**“ uključuje objašnjenje termina, kratice, konverzijske jedinice, preporučenu dodatnu literaturu i korisne adrese. Četvrti dio „**Implementacija bioplinskih postrojenja u Hrvatskoj**“ sadrži informacije o potencijalu proizvodnje bioplina i statusu u Hrvatskoj 2008. godine, relevantne nacionalne zakonske propise, glavne poticaje i prepreke za razvoj bioplinskih postrojenja, kao i korisne adrese, internet stranice i ostalo.

Namjera ovog priručnika je dati smjernice „Kako pristupiti“, pružajući osnovne informacije o bioplinu proizvedenom procesom AD s fokusom na poljoprivredna bioplinska postrojenja te, pružiti jedinstveni izvor informacija o tehničkim i netehničkim aspektima proizvodnje bioplina s naglaskom na sirovinu koja potiče iz poljoprivrede. Ovaj priručnik namijenjen je poljoprivrednicima, budućim upraviteljima bioplinskih postrojenja te ostalim dionicima u proizvodnji bioplina.

Budući da je hrvatsko zakonodavstvo u procesu prihvaćanja pravne stečevine EU-a, potrebno je kod nadležnih institucija provjeriti jesu li nacionalni zakoni još uvijek na snazi, odnosno treba li preuzeti upute iz zakonodavnih akata EU-a navedenih u glavnom dijelu Priručnika ili se voditi uputama navedenih u nacionalnom dodatku. Iz tog razloga je u nacionalnom dodatku naveden kratki pregled važećeg zakonodavnog okvira ili stanja u bioplinskom sektoru, a dodani su i kontakti nadležnih institucija na kojima se može provjeriti da li je došlo do kakvih promjena.

Što je bioplin i zašto nam je potreban?

1. Prednosti tehnologije bioplina

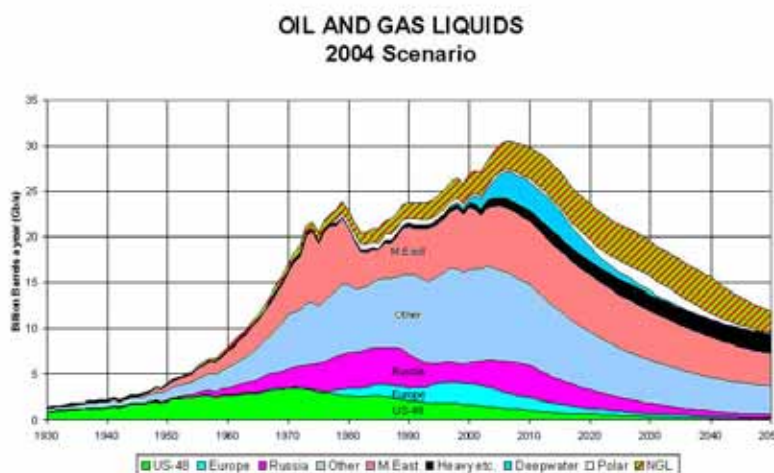
Proizvodnja i korištenje bioplina iz anaerobne digestije (AD) ima pozitivan učinak na okoliš i društveno-gospodarske koristi za društvo u cjelini kao i za uključene poljoprivrednike. Iskorištavanje unutarnjeg vrijednosnog lanca bioplina poboljšava lokalne gospodarske uvjete i osigurava radna mjesta u ruralnim područjima te povećava kupovnu moć u regiji. Samim time poboljšava životni standard i doprinosi ekonomskom i socijalnom razvoju.

1.1. Društvene koristi

1.1.1. Obnovljivi izvori energije

Današnja globalna opskrba energijom snažno je ovisna o fosilnim izvorima (sirova nafta, lignit, željezna ruda, ugljen i prirodni plin). Ovi izvori energije fosilizirani su ostaci biljaka i životinja koji su stotinama milijuna godina bili izloženi visokim temperaturama i tlaku unutar Zemljine kore. Upravo zbog toga fosilna goriva su neobnovljivi izvori energije, čije se rezerve iscrpljuju znatno brže nego što se stvaraju nove.

Vrhunac korištenja naftnih izvora definiran je kao „trenutak u kojem je dostignuta maksimalna proizvodnja sirove nafte, nakon kojeg će razina proizvodnje nadalje padati“. Prema nekim autorima „naftni vrhunac“ se već događa ili se očekuje u nadolazećem razdoblju (Slika 1.1.). Za razliku od fosilnih goriva, bioplin proizveden metodom AD je trajno obnovljiv izvor energije, budući da se proizvodi iz biomase koja u sebi procesom fotosinteze skladišti sunčevu energiju. AD ne pridonosi samo energetske balansu pojedinih država, već doprinosi očuvanju prirodnih resursa i povoljno djeluje na okoliš.



Slika 1.1. Predviđanja i vrhunac proizvodnje sirove nafte na svjetskoj razini

Izvor: ASPO Newsletter

1.1.2. Smanjenje emisije stakleničkih plinova i ublažavanje posljedica globalnog zagrijavanja

Iskorištavanjem fosilnih goriva kao što su lignit, mrki ugljen, sirova nafta i prirodni plin dolazi do oksidacije ugljika pohranjenog milijunima godina u Zemljinoj kori, pri čemu se izgaranjem oslobađa energija, a u atmosferu ispušta ugljikov dioksid (CO₂). Povećanje koncentracije CO₂ u atmosferi uzrokuje globalno zatopljenje, budući da je CO₂ staklenički plin. Izgaranjem bioplina također se oslobađa CO₂, no razlika u odnosu na fosilna goriva je u tome što je CO₂ iz bioplina nedugo prije oslobađanja bio apsorbiran iz atmosfere fotosintetskom aktivnošću biljaka. Korištenjem bioplina proces ugljika zatvoren je u kratkom vremenu (od jedne do nekoliko godina). Proizvodnjom bioplina AD smanjuju se emisije metana (CH₄) i dušikovog oksida (N₂O) do kojih dolazi tijekom odlaganja i korištenja stajskog gnoja. Staklenički potencijal metana je 25, a dušikovog oksida čak 298 puta veći od stakleničkog potencijala ugljikovog dioksida¹. Korištenjem bioplina se supstituira potrošnja fosilnih goriva za proizvodnju energije i pogonskog goriva te se na taj način znatno smanjuje emisija CO₂, CH₄ i N₂O, što pridonosi ublažavanju pojave globalnog zatopljenja.

1.1.3. Smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih goriva

Fosilna goriva su ograničeni resursi, koncentrirani na nekoliko zemljopisnih područja naše planete. Zemlje koje se nalaze izvan naftom bogatih područja imaju trajno nesiguran status i ovisnost o uvozu energenata. Većina europskih zemalja snažno je ovisna u uvozu fosilnih goriva iz područja bogatih fosilnim gorivima kao što su Rusija i zemlje Bliskog istoka. Razvoj i implementacija sustava obnovljivih izvora energije kao što je bioplin iz AD, temeljeni na nacionalnim resursima, povećat će stabilnost nacionalne opskrbe energijom i smanjiti ovisnost o uvozu energenata.

1.1.4. Doprinos EU-a ciljevima važnim za energetiku i okoliš

Borba protiv globalnog zatopljenja je među prioritetnim ciljevima energetske politike EU kao i zemalja kandidata i pristupnica EU. Europski ciljevi proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, smanjenje emisija stakleničkih plinova i održivo upravljanje otpadom temelje se na prihvaćanju obveze članica EU-a da implementiraju odgovarajuće mjere u svojim zemljama. Proizvodnja i korištenje bioplina iz AD ima potencijal da pridonese ispunjavanju svih zadanih ciljeva u isto vrijeme.

1.1.5. Smanjenje količine otpada

Jedna od glavnih prednosti proizvodnje bioplina je transformacija većih količina otpada u vrijedan izvor energije, jer se organski otpad koristi kao supstrat za AD. Mnoge europske zemlje suočene su s problemom nastanka velikih količina otpada organskog porijekla ponajprije iz industrije, poljoprivredne proizvodnje, kućanstava i postrojenja za obradu otpadnih voda. Bioplinska postrojenja izvrstan su način za ispunjavanje sve restriktivnijih nacionalnih i europskih propisa iz područja gospodarenja otpadom i iskorištavanja organskog otpada za proizvodnju energije prilikom čega se organski otpad može

¹http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm

reciklirati u gnojivo. Tehnologija bioplina doprinosi smanjenju volumena otpada i troškova zbrinjavanja.

1.1.6. Stvaranje novih radnih mjesta

Razvoj nacionalnog bioplinskog sektora pogoduje otvaranju novih tvrtki sa značajnim ekonomskim potencijalom koji će ekonomski osnažiti ruralna područja i stvoriti nova radna mjesta. U usporedbi s korištenjem fosilnih goriva iz uvoza, proizvodnja bioplina metodom AD zahtijeva znatno više radne snage za proizvodnju, prikupljanje i transport supstrata, proizvodnju tehničke opreme, izgradnju, upravljanje i održavanje bioplinskih postrojenja i ostalih operacija vezanih za rad postrojenja.

1.1.7. Fleksibilno i učinkovito korištenje bioplina

Bioplin je fleksibilan energent primjenjiv za različite potrebe. U zemljama u razvoju najjednostavnija primjena bioplina je za kuhanje i rasvjetu. U mnogim europskim zemljama bioplin se koristi kao energent za kogeneracijsku proizvodnju topline i električne energije. Bioplin se uz doradu i pročišćavanje može uključiti i u sustav postojeće mreže prirodnog plina ili koristiti kao pogonsko gorivo u vozilima.

1.1.8. Smanjenje potrošnje vode

U usporedbi s ostalim biogorivima, za proces proizvodnje bioplina troši se najmanja količina vode. Ovaj aspekt jednako je važan kao i energetska učinkovitost bioplina s obzirom na predviđenu nestašicu vode u mnogim dijelovima svijeta.

1.2. Koristi za poljoprivrednike

1.2.1. Ostvarivanje dodatnog prihoda za uključene poljoprivrednike

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

1.2.2. Digestat je izvrsno gnojivo

Postrojenje za proizvodnju bioplina ne proizvodi samo energiju. Biomasa preostala nakon anaerobne razgradnje organske tvari – digestat- predstavlja vrijedno gnojivo, bogato dušikom, fosforom, kalijem i mikro-nutrijentima. Za rasprostiranje po poljoprivrednoj površini može se koristiti ista mehanizacija koja se koristi za svježi stajski gnoj i gnojnicu. U usporedbi sa svježim stajskim gnojem, digestat ima znatno bolja gojibena svojstva zahvaljujući homogenosti i većoj hranidbenoj vrijednosti, boljem omjeru ugljika i dušika te gotovo potpunom nedostatku neugodnog mirisa.

1.2.3. Zatvoreni ciklus hranjivih tvari

Proces proizvodnje bioplina - od proizvodnje supstrata pa do korištenja digestata kao gnojiva - čini zatvoreni ciklus hranjivih tvari. Količina ugljikovih spojeva (C) smanjuje se postupkom digestije, pri čemu se metan (CH₄) koristi za proizvodnju energije, a ugljikov dioksid (CO₂) se ispušta u atmosferu i biva ponovo vezan u biljke tijekom fotosinteze. Nešto ugljikovih spojeva ostaje u digestatu. Oni povećavaju sadržaj ugljika u tlu ukoliko

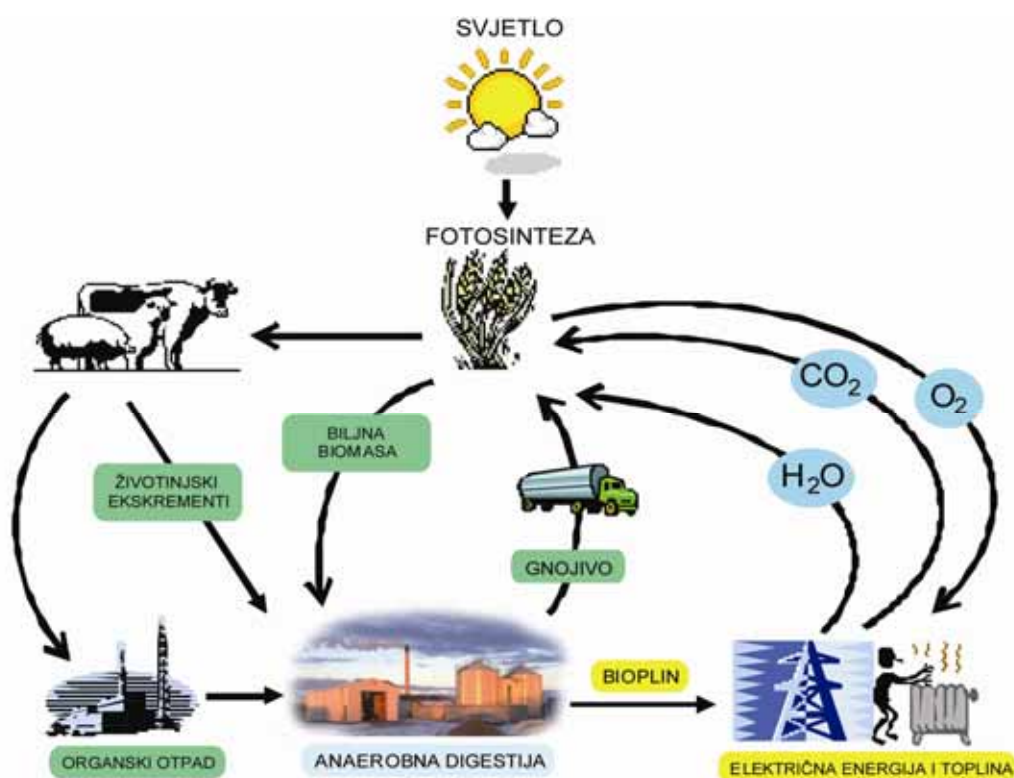
se digestat koristi u gojidbene svrhe. Proizvodnja bioplina se može dobro integrirati u konvencionalnu i ekološku poljoprivredu, gdje digestat zamjenjuje mineralna (umjetna) gnojiva, proizvedena uz veliki utrošak fosilnih goriva. Na Slika 1.2. je prikazan zatvoreni održivi ciklus bioplina.

1.2.4. Fleksibilnost u korištenju različitih vrsta biomase

Za proizvodnju bioplina mogu se koristiti različite sirovine: stajski gnoj, gnojovka i gnojnica, žetveni ostatak, organski otpad iz mliječne industrije, organski otpad iz prehrambeno-prerađivačke industrije, organska frakcija mulja nastala pročišćavanjem otpadnih voda, organski otpad iz kućanstava i ugostiteljske djelatnosti, biljke proizvedene kao energetske nasadi i ostalo. Bioplin se može prikupljati i s odlagališta otpada.

Jedna od glavnih prednosti proizvodnje bioplina je mogućnost korištenja tzv. mokre biomase kao sirovine. Primjeri mokre biomase su otpadni mulj od pročišćavanja otpadnih voda, muljeviti ostaci iz mljekarskih i svinjogojskih farmi ili flotacijski mulj iz prehrambene industrije u kojem je udio vlage veći od 60 – 70 posto.

U zadnje se vrijeme naveliko koriste brojni energetske usjevi (pšenica, kukuruz, uljana repica i ostalo) kao sirovina za proizvodnju bioplina. Osim ovih sirovina, sve vrste poljoprivrednih ostataka - usjeva koji su zbog nekog razloga neprihvatljivi za prehranu ljudi i životinja (primjerice, propali usjevi uslijed vremenskih nepogoda) - mogu biti korišteni za proizvodnju bioplina i gnojiva. Brojni životinjski nusproizvodi koji nisu prihvatljivi za prehranu ljudi, također, mogu biti procesirani u bioplinskom postrojenju. Detaljniji opis supstrata za anaerobnu digestiju opisan je u poglavlju 3.1.

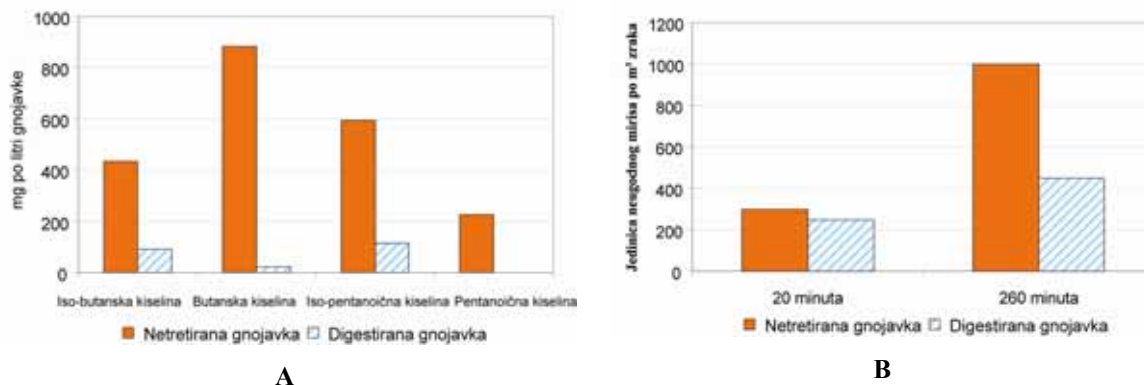


Slika 1.2. Održivi ciklus proizvodnje bioplina AD

Izvor: T. Al Seadi, 2002.

1.2.5. Smanjenje pojave neugodnih mirisa i insekata

Skladištenje i primjena gnojnice, stajskog gnoja i različitog organskog otpada uzrokuju pojavu neugodnih mirisa te privlače insekte. AD reducira nastanak neugodnih mirisa za gotovo 80 posto. Digestat gotovo i nema miris, a miris amonijaka nestaje nekoliko sati nakon primjene. Na Slika 1.3. prikazano je smanjenje pojave neugodnog mirisa putem AD.



Slika 1.3. A) Koncentracija neugodnih mirisa i hlapivih masnih kiselina u netretiranom i tretiranom stajskom gnoju B) koncentracija neugodnih mirisa u uzorku zraka uzetom na polju nakon aplikacije stajskog gnoja i digestata

Izvor: Hansen et al, 2004.

1.2.6. Veterinarska sigurnost

Korištenje digestata kao gnojiva povećava veterinarsku sigurnost u odnosu na netretirani stajski gnoj i gnojnicu. AD uključuje kontroliranu sanitarnu obradu digestata prije nego se upotrijebi za gnojivo. Sanitarna obrada digestata može se provesti na termofilnim temperaturama digestije, pasterizacijom ili sterilizacijom pod tlakom ovisno o vrsti sirovine. U oba slučaja cilj je inaktivirati patogene, uništiti sjemena korova i ostalih bioloških opasnosti te prekinuti lanac prijenosa bolesti.

2. Bioplin iz AD - postojeće stanje i potencijal

2.1. Postojeće tehnologije AD i trendovi u istraživanju

U zadnjih nekoliko godina svjetsko tržište bioplina bilježi značajan porast te su mnoge zemlje razvile moderne tehnologije za proizvodnju bioplina kao i konkurentna nacionalna tržišta bioplinom iza čega stoje dekade intenzivnog istraživanja i razvoja značajno pomognute državnim potporama i podrškom javnosti. Europski sektor bioplina broji na tisuće bioplinskih instalacija, a zemlje poput Austrije, Danske, Njemačke i Švedske su predvodnice u razvitku tehnologije s najvećim brojem suvremenih bioplinskih postrojenja. I u drugim dijelovima svijeta postoje brojna bioplinska postrojenja. Tako se pretpostavlja da je 2006.godine u Kini bilo oko 18 milijuna ruralnih bioplinskih postrojenja za kućanstva, a ukupni je potencija Kine za proizvodnju bioplina procjenjen na 145 milijardi kubičnih metara. Istovremeno, u Indiji radi oko 5 milijuna malih

bioplinskih postrojenja. U Nepal i Vijetnamu također postoji značajan broj bioplinskih instalacija vrlo male snage, primjerene vlasništvu jednog kućanstva.

Većina bioplinskih postrojenja u Aziji pripada vrlo jednostavnim tehničkim rješenjima što ih čini jednostavnim za replikaciju i izgradnju. S druge strane Atlantika, SAD, Kanada te brojne zemlje Južne Amerike su na putu razvitka modernih sektora bioplina koji podržava povoljno političko okruženje.

U cijelom svijetu se polažu značajni naponi u istraživanju i razmjeni praktičnog iskustva kako bi se usavršile tehnologije konverzije, poboljšala stabilnost i djelotvornost rada i procesa. Kontinuirano se razvijaju i prilagođavaju fermentatori, rade se nove kombinacije supstrata, sustavi za unos supstrata, spremnici i ostala oprema.

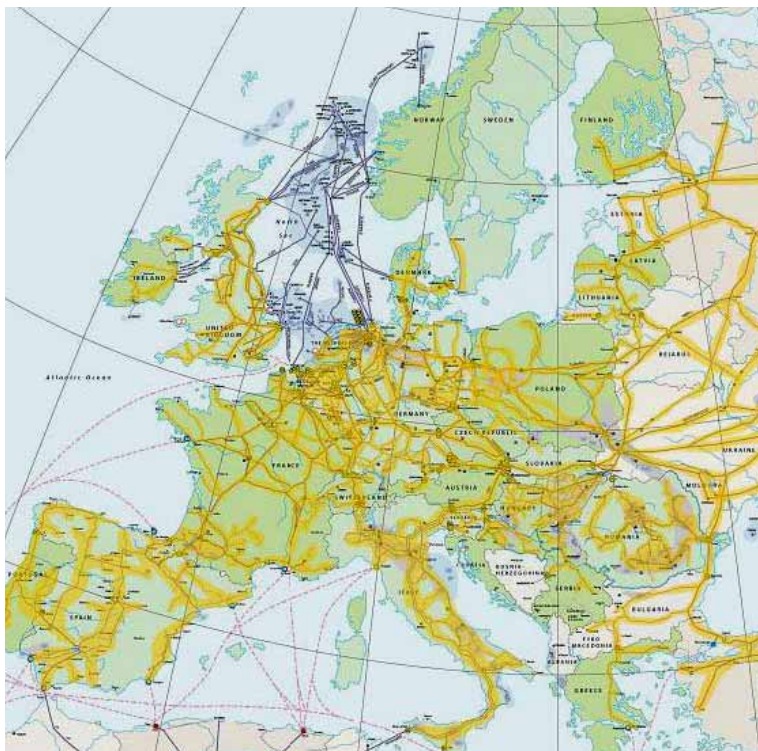
Pored uobičajenih sirovina za AD, neke su zemlje započele s kultiviranjem usjeva i proizvodnjom kultura u energetske nasadima za potrebe proizvodnje bioplina. Istraživanje je usmjereno na povećanje produktivnosti i raznolikosti energetskih usjeva i određivanja njihovog potencijala za proizvodnju bioplina. Uzgajanje energetskih usjeva je dovelo do nove poljoprivredne prakse te se trebaju ustanoviti novi sljedovi plodoreda čime međukulture i kombinacije usjeva predstavljaju značajnu temu mnogih istraživanja.

Korištenje bioplina za proizvodnju toplinske i električne energije u kogeneraciji standardna je primjena kod bioplinskih postrojenja u Europi. U Švedskoj, Njemačkoj i Švicarskoj bioplin se pročišćava i doraduje te koristi kao pogonsko gorivo u sektoru prometa. U spomenutim zemljama uspostavljena je mreža postrojenja za pročišćavanje i distribuciju bioplina. Pročišćavanje bioplina i puštanje u sustav plinske mreže relativno je novi postupak. Prve takve instalacije izvedene su u Njemačkoj i Austriji gdje se biometan injektira u sustav postojeće plinske mreže. Najnovija primjena bioplina je proizvodnja električne energije tehnologijom gorivih ćelija, čiji se razvoj približava komercijalnoj razini u Europi i SAD.

Integralna proizvodnja biogoriva (bioplina, bioetanol i biodizela), hrane i sirovina za industriju dio je jedinstvenog koncepta biorafinerija. Ovo je jedno od značajnih područja suvremenih istraživanja. U ovakvom integralnom sustavu bioplin osigurava potrebnu energiju za proizvodnju tekućih biogoriva, a otpad iz drugih procesa se koristi kao supstrat za AD. Integrirani koncept biorafinerije ima niz prednosti s obzirom na energetske učinkovitost, ekonomičnost i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Iz toga razloga su diljem Europe i svijeta inicirani brojni pilot projekti čiji će rezultati biti poznati u narednih nekoliko godina.

2.2. Potencijal bioplina

Na globalnoj razini potencijal proizvodnje energije iz biomase smatra se vrlo visokim. Postojeće procjene izrađene su na temelju različitih scenarija i pretpostavki, ali svi rezultati ukazuju na to da se danas vrlo mali dio tog potencijala koristi. Prema različitim scenarijima, procjenama i studijama, korištenje biomase u energetske svrhe bi se moglo znatno povećati. Europska udruga za biomasu (European Biomass Association - AEBIOM) procjenjuje da se energija proizvedena iz biomase može povećati sa 72 Mtoe iz 2004. godine na 220 Mtoe u 2020. Najveći potencijal za povećanje leži u poljoprivrednoj biomasi. Prema procjenama AEBIOM-a, 20 - 40 Mha (milijuna hektara) zemljišta u EU27 moglo bi se koristiti za proizvodnju energije, bez utjecaja na opskrbu hranom u EU.



Slika 2.1. Europska mreža plinovoda i potencijalni koridori (žuto označeno) prikladni za proizvodnju i injektiranje biometana u plinovodni sustav

Izvor: Thrän , Seiffert, Müller-Langer, Plättner, Vogel, 2007.

Njemački Institut za energetiku i okoliš tvrdi da je bioplinski potencijal dovoljan da se u potpunosti zamjeni ukupna potrošnja prirodnog plina, injektiranjem pročišćenog bioplina (biometana) u sustav plinske mreže (Slika 2.1.). Procjena potencijala proizvodnje bioplina u Europi predstavlja izazov zbog različitih čimbenika i pretpostavki koje se moraju uzeti u obzir kod izračuna. Na primjer, potencijal proizvodnje bioplina ovisi o: raspoloživosti poljoprivrednih površina koje se mogu koristiti u energetske svrhe bez utjecaja na proizvodnju hrane, produktivnosti energetske usjeva, prinosu metana iz sirovinskog supstrata te energetske učinkovitosti krajnjeg iskorištavanja bioplina.

3. Nešto više o anaerobnoj digestiji (AD)

AD je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima (bez prisustva kisika). Anaerobna razgradnja prirodan je proces koji se svakodnevno događa u prirodi npr. u morskom sedimentu, u probavi preživača ili prilikom nastanka treseta. Kod bioplinskih postrojenja, rezultati AD procesa su *bioplin* i *digestat*. U slučajevima kada se za proces AD koristi homogena mješavina iz dvaju ili više različitih supstrata, kao na primjer gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije, postupak se naziva kodigestija. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina.

3.1. Supstrati AD

Za supstrat AD radi proizvodnje bioplina mogu poslužiti različiti tipovi biomase. Najčešće se koriste sljedeće kategorije supstrata:

- stajski gnoj i gnojnica
- ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje
- razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije (ostaci biljnog i životinjskog porijekla)
- organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva (ostaci biljnog i životinjskog porijekla)
- otpadni muljevi
- energetske usjevi (kukuruz, sirak, različite vrste trava, djetelina)

Primjeri ovih kategorija supstrata ilustrirani su na slikama 3.1, 3.2. i 3.3., dok tablica 3.1. sadrži popis otpadnih materijala pogodnih za proizvodnju bioplina.

Tablica 3.1. Organski otpad (biootpad) pogodan za biološki tretman

Šifra otpada ¹	Opis otpada	
02 00 00	Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanja i prerade	Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, šumarstva, lovstva i ribarstva
		Otpad od pripreme i prerade mesa, ribe i ostalih namirnica životinjskog porijekla
		Otpad od pripreme i prerade voća, povrća, žitarica, jestivih ulja, kaka, čaja i duhana; otpad od konzerviranja, proizvodnje i ekstrakcije kvasca, pripreme melase i ostaci fermentiranja
		Otpad iz proizvodnje šećera
		Otpad iz mliječne industrije
		Otpad iz pekarske i slastičarske industrije
		Otpad iz proizvodnje alkoholnih i bezalkoholnih pića (osim kave, čaja i kaka)
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona	Otpad iz obrade drva i proizvodnje panela, furnira i namještaja
		Otpad iz prerade celuloze i proizvodnje papira i kartona
04 00 00	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije	Otpad iz industrijske prerade kože i krzna
		Otpad iz tekstilne industrije
15 00 00	Ambalaža; apsorbenzi, materijali za brisanje i upijanje, filterski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način	Ambalažni otpad (uključujući odvojeno prikupljeni ambalažni komunalni otpad)

19 00 00	Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu	Ostatak nakon anaerobnog tretmana otpada
		Otpad iz procesa obrade otpadnih voda koji nije drugačije specificiran
		Otpad od pripreme vode za opskrbu građana i pripreme industrijske vode
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz kućanstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije	Otpad iz različitih frakcija osim(15 01)
		Otpad iz vrtova i gradskih parkova (uključujući i otpad s groblja)
		Ostali komunalni otpad

¹ Kôd od 6 znamenki koristi se u Europskom katalogu otpada *European waste catalogue* (EWC), usvojene odlukom Europske komisije

Izvor: Europski katalog otpada(EWC), 2007.



Slika 3.1. Komunalni otpad dostavljen u bioplinско postrojenje (Njemačka)

Izvor: Rutz, 2008.



Slika 3.2. Otpad iz restorana i ugostiteljstva

Izvor: Rutz, 2008.



Slika 3.3. Kukuruzna silaža

Izvor: Rutz, 2008.

Korištenje životinjskih ekskremenata za AD ima neke prednosti s obzirom na sljedeće karakteristike:

- prirodno sadrže anaerobne bakterije
- imaju visoki sadržaj vode (4-8% suhe tvari u gnojnici), koja služi kao otapalo za druge tvari i omogućuje dobro miješanje s drugim supstratima
- jeftini su i lako dostupni, sakupljaju se kao otpad sa stočarskih gospodarstava

Tijekom posljednjih godina su, osim životinjskih ekskremenata, testirani i drugi supstrati za potrebe procesa digestije. Oni uglavnom pripadaju tzv. energetskim usjevima koji predstavljaju poljoprivredne kulture proizvedene isključivo za proizvodnju energije. Energetski nasadi se uglavnom sastoje od jednogodišnjih biljaka (vrste iz porodice trava, kukuruz, repa i dr.), a mogu imati i višegodišnje nasade drvenastih vrsta (vrba, topola). No drvenaste vrste se prije upotrebe u AD moraju obraditi kako bi se uklonio lignin, a ta je tehnologija još uvijek u razvitku.

Supstrati za AD klasificiraju se prema sadržaju suhe tvari (ST), prinosu metana i ostalim kriterijima. U tablici 3.2. dan je pregled karakteristika pojedinih supstrata koji se koriste za AD.

Supstrati sa sadržajem ST manjim od 20 posto koriste se za tzv „mokru digestiju“ (neki autori ovaj proces nazivaju i mokra fermentacija). U tu kategoriju supstrata svrstavaju se stajski gnoj i gnojnica kao i organski otpad iz prehrambene industrije s visokim sadržajem vode. Kada je u supstratu sadržaj ST 35 posto ili veći, proces digestije se naziva „suha digestija“, a tipičan je za AD energetskih usjeva i silažu. Odabir tipa i količine sirovine pogodne za supstratnu mješavinu ovisi o udjelu ST te o sadržaju šećera, masnoća i bjelančevina.

Tablica 3.2. Karakteristike pojedinih supstrata

Vrsta supstrata	Organska tvar	C:N omjer	Suha tvar (ST) %	HKT* % ST	Prinos bioplina $m^3 \cdot kg^{-1}$ HKT	Nepoželjni sadržaj	Ostale neželjene tvari
Svinjski izmet	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	Komadi drva, iverje, voda, pijesak, slama	Antibiotici i dezinfekcijska sredstva
Izmet goveda	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	6-20	5-12	80	0,20-0,30	Dlake, zemlja, voda, slama i grančice	Antibiotici i dezinfekcijska sredstva, NH_4^+
Izmet peradi	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	10-30	80	0,35-0,60	Kamenčići, pijesak i perje	Antibiotici i dezinfekcijska sredstva, NH_4^+
Iznutrice	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-5	15	80	0,40-0,68	Životinjska tkiva	Antibiotici i dezinfekcijska sredstva

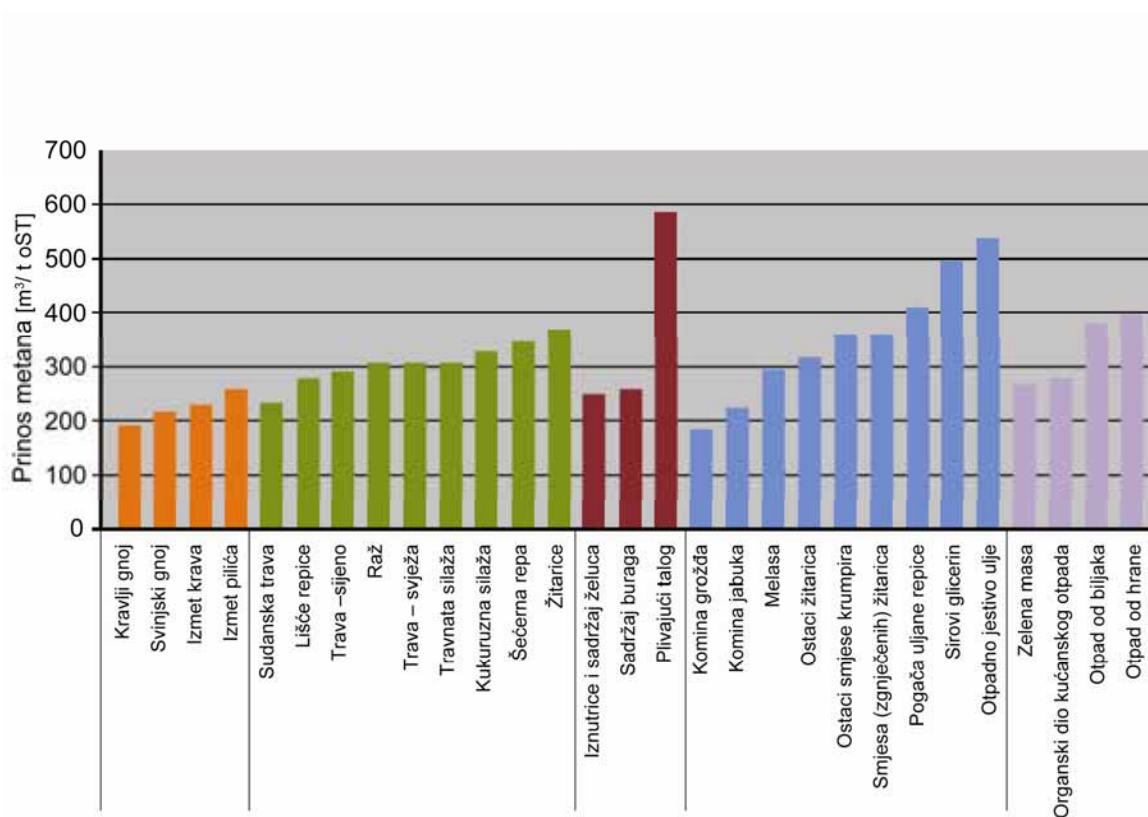
Sirutka	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine	n.a.	8-12	90	0,35-0,80	Onečišćenja tijekom transporta	
Koncentrirana sirutka – plazma	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine	n.a.	20-25	90	0,80-0,95	Onečišćenja tijekom transporta	
Otopljene životinjske masti	65-70% bjelančevine 30-35% masti					Životinjska tkiva	Teški metali, dezinfekcijska sredstva, organski zagađivači
Trop (ostatak nakon fermentacije)	Ugljikohidrati	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78	Nerazgradivi dijelovi voća	
Slama	Ugljikohidrati i masti	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	Pijesak i kamenčići	
Vrtni otpad		100-150	60-70	90	0,20-0,50	Zemlja, celulozna vlakna	Pesticidi
Trava		12-25	20-25	90	0,55	Kamenčići	Pesticidi
Travnata silaža		10-25	15-25	90	0,56	Kamenčići	
Otpad od voća		35	15-20	75	0,25-0,50		
Riblje ulje	30-50% masti	n.a.					
Sojino ulje i margarin	90% biljna ulja	n.a.					
Alkohol	40% alkohol	n.a.					
Ostaci hrane			10	80	0,50-0,60	Kosti, plastika	Dezinfekcijska sredstva
Organski otpad iz kućanstava						Plastika, metal, kamen, drvo i staklo	Teški metali, dezinfekcijska sredstva, organski zagađivači
Muljevi otpadnih voda							Teški metali, dezinfekcijska sredstva, organski zagađivači

* hlapive krute tvari

Izvor: Al Seadi, 2003.

Supstrati koji imaju visok sadržaj lignina, celuloze i hemiceluloze, primjerice drvo, također se mogu koristiti u kodigestiji, ali, kao što je već bilo rečeno, moraju proći predtretman kako bi se povećala mogućnost digestije.

Potencijal nastanka metana vrlo je važan čimbenik za vrednovanje supstrata za AD. Na slici 3.4. prikazan je prinos metana kod korištenja različitih vrsta supstrata. Iz prikaza je vidljivo da sâm stajski gnoj ima mali metanski potencijal. Zbog toga se stajski gnoj rijetko digestira sam već se često pomiješa sa supstratima koji imaju veći potencijal za proizvodnju metana. Najčešći supstrati koji se dodaju stajskom gnoju i gnojnici su uljni ostaci iz prehrambene i ribarske industrije te proizvodnje stočne hrane, ostaci nastali u prilikom proizvodnje alkoholnih pića, ostaci iz pivovara i prerade šećera te trave, žitarice ili uljarice uzgojene kao energetski usjevi.



Slika 3.4. Usporedba supstrata s obzirom na prinos metana

Izvor: PraBl, 2007.

Supstrati za AD mogu biti kontaminirani (zagađeni) kemijskim, biološkim i fizikalnim tvarima. Stoga je neophodna kontrola kvalitete svake sirovine namijenjene proizvodnji bioplina kako bi se osiguralo sigurno recikliranje digestata u obliku organskog gnojiva. U tablici 3.3. prikazan je sadržaj potencijalno problematičnih materijala, zagađivača i patogena koji se mogu naći u supstratima, a koji se najčešće koriste za AD.

Ostaci životinjskog porijekla koji se koriste u procesu AD zahtijevaju posebnu pažnju i kontrolu. EU Direktiva 1774/2002 propisuje pravila postupanja i iskorištavanja životinjskih nus-proizvoda koji nisu namijenjeni ljudskoj prehrani. Direktiva propisuje minimalna pravila i mjere koje se moraju provoditi te ukazuje kakav tip životinjskih

ostataka može biti korišten za proizvodnju bioplina. Kompletan tekst direktive dostupan je na internetskoj stranici: <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/f81001.htm>.

Tablica 3.3. Kategorizacija pojedinih AD supstrata s obzirom na potencijalni sadržaj problematičnih materijala, kontaminirajućih tvari i patogena

		Rizik				
		<i>Sigurno</i>	<i>Higijenski rizik</i>	<i>Udio problematičnih tvari</i>	<i>Rizik od kontaminacije</i>	
Supstrat	<i>Komunalni otpadni materijali</i>	Zelenilo, pokošena trava		Biootpad, zelenilo s rubova prometnica		
	<i>Ostaci iz industrije</i>	Ostaci povrća, kaša, trop	Hrana kojoj je istekao rok trajanja, namirnice oštećene u transportu		Otpad iz proizvodnje biljnih ulja	
	<i>Poljoprivredni otpad</i>	Tekući gnoj, kruti gnoj				bakar i cink
		Lišće repe, slama				
	<i>Obnovljivi sirovi materijali</i>	Kukuruzna silaža, travnata silaža				
	<i>Klaonički otpad</i>		Burag, sadržaj probanog trakta, odvojene masnoće, krv, brašno, itd.			Odvojene masti
<i>Ostalo</i>		Industrijski kuhinjski otpad, kućanski otpad				

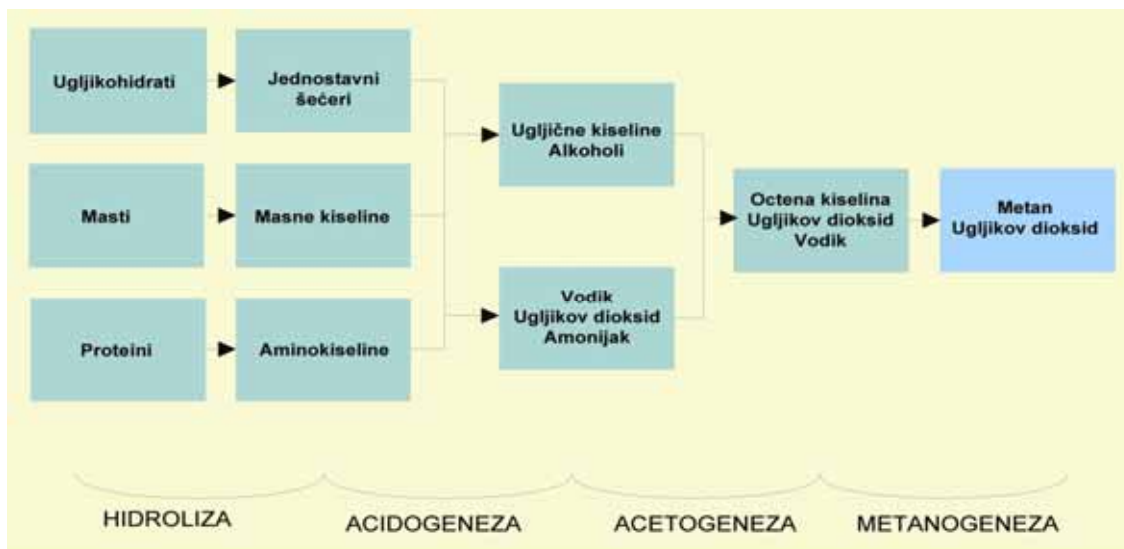
Izvor: Pražl, 2008.

3.2. Biokemijski postupak AD

AD je mikrobiološki proces razgradnje organske tvari bez prisutnosti kisika. Glavni proizvodi ovog procesa su bioplin i digestat. Bioplin je gorivi plin koji se primarno sastoji od metana i ugljikovog dioksida. Digestat je procesirani ostatak supstrata, nastao tijekom proizvodnje bioplina.

Tijekom proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnim razgradnjom (uz prisutnost kisika) ili kompostiranjem. Energija koja se nalazi kemijskim vezama supstrata oslobađa se u obliku metana.

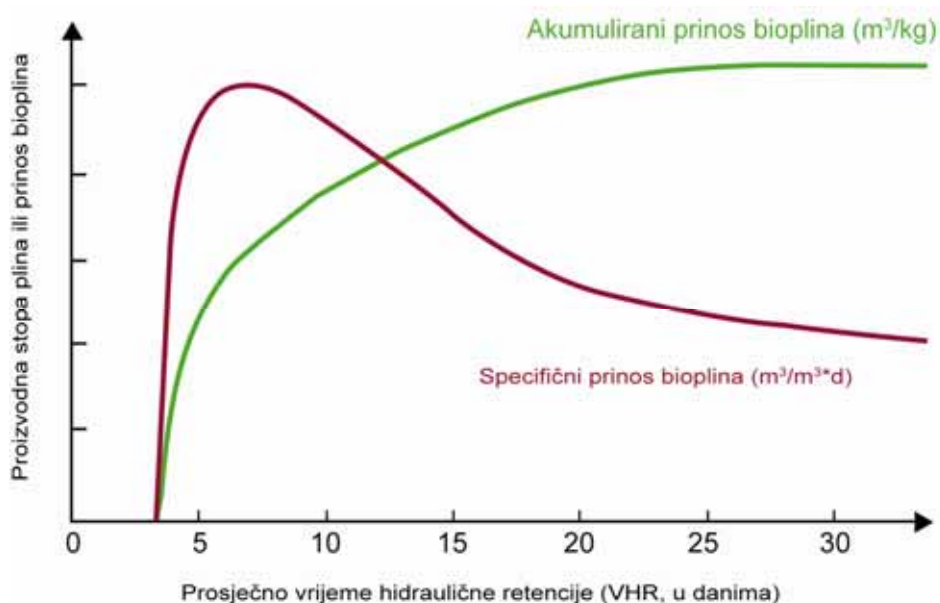
Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se inicijalni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje bioplina djeluju specifične grupe mikroorganizma. Pojednostavljeni dijagram AD prikazan je na slici 3.5. Naglašene su četiri glavne faze u procesu nastanka bioplina: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza.



Slika 3.5. Glavne faze u procesu nastanka bioplina

Izvor: Al Seadi, 2003.

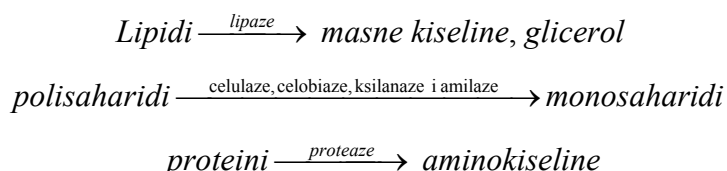
Koraci u procesu dobivanja bioplina prikazani na slici 3.5. se odvijaju paralelno u vremenu i prostoru spremnika za digestiju (fermentatora). Brzina ukupnog procesa razlaganja je jednaka najsporijoj reakciji u nizu. Kod bioplinskih postrojenja koja rade na razlaganju biljnih supstrata koji sadrže celulozu, hemi-celulozu i lignin, brzina procesa se određuje brzinom hidrolize. Tijekom faze hidrolize nastaje relativno mala količina bioplina. Proizvodnja bioplina vrhunac dostiže u fazi metanogeneze. Odnos između nastanka bioplina i trajanja vremena hidraulične retencije (VHR) (zadržavanje supstrata unutar fermentatora) prikazan je na slici 3.6.

Slika 3.6. Proizvodnja bioplina povećanjem količine supstrata (*Batch-Test*)

Izvor: LfU, 2007.

3.2.1. Hidroliza

Hidroliza je teoretski prva faza AD tijekom koje se organska tvar (polimeri) razlaže na manje jedinice zvane monomeri i oligomeri. Polimeri poput ugljikohidrata, lipida, aminokiselina i bjelančevina transformiraju se u glukozu, glicerol, purine, piridine i sl. Hidrolitičke bakterije luče hidrolitičke enzime i transformiraju biopolimere u jednostavne i topljive spojeve kako je prikazano:



Opisani lančani procesi odvijaju se istodobno unutar fermentatora. Brzina cjelokupnog procesa razgradnje određena je brzinom odvijanja najsporije reakcije u lancu. U procesu hidrolize sudjeluje široki spektar bakterija koje izlučuju egzoenzime, koji razgrađuju čestice supstrata. Produkti hidrolize dalje razgrađuju (probavljaju) prisutne bakterije, koje ujedno koriste ove spojeve za vlastite metaboličke procese.

3.2.2. Acidogeneza

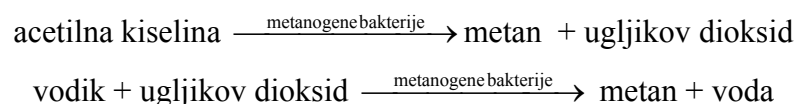
U fazi acidogeneze proizvodi hidrolize se uz pomoć acidogenih bakterija (fermentacije) transformiraju u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70%) te na hlapljive masne kiseline (HMK) i alkohole (30%).

3.2.3. Acetogeneza

Tijekom acetogeneze se proizvodi fermentacije koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u metan pretvaraju u metanogene spojeve. HMK i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. HMK koje imaju lance ugljika duže od dvije jedinice i alkohol s više od jedne molekule ugljika oksidiraju u acetate i vodik. Nastanak vodika povećava parcijalni tlak vodika u digestoru, što se može smatrati otpadnim proizvodom acetogeneze, jer inhibira metabolizam acetogenih bakterija. Tijekom metanogeneze vodik se transformira u metan. Proces acetogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno kao simbiotsko djelovanje dvije grupe organizama.

3.2.4. Metanogeneza

Proizvodnja metana i ugljikovog dioksida potaknuta je aktivnošću metanogenih bakterija. 70 posto metana nastaje iz acetata, dok ostalih 30 posto nastaje pretvorbom iz vodika i ugljičnog dioksida, kako je opisano u jednadžbi:



Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Metanogeneza uvelike ovisi o uvjetima rada, odnosno uvjetima medija. Na uspješnost metanogeneze utječe niz čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata. Pretrpavanje digestora, promjena temperature i povećani dotok kisika obično rezultiraju zaustavljanjem proizvodnje metana.

3.3. Parametri AD

Učinkovitost AD ovisi o nekoliko ključnih parametara pa je vrlo važno osigurati optimalne uvjete za razvoj anaerobnih mikroorganizama. Na njihov rast i aktivnost snažno utječe nedostatak kisika, temperatura, pH vrijednost, opskrbljenost hranjivima, intenzitet miješanja kao i prisutnost inhibitora. Metanske bakterije strogi su anaerobi i zato se mora spriječiti svaki dotok kisika u digestor.

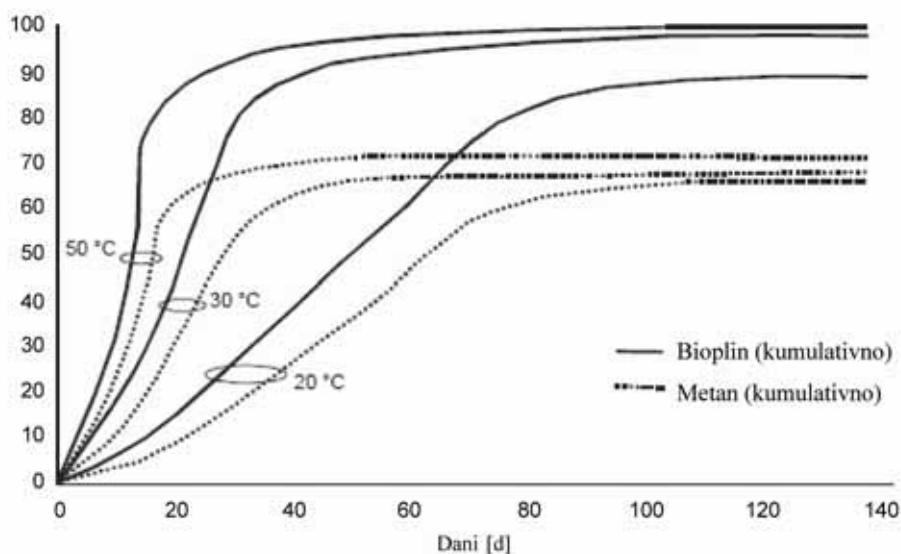
3.3.1. Temperatura

Sam postupak AD može se odvijati na različitim temperaturama. Temperature se klasificiraju u tri temperaturne zone: psihofilnu temperaturnu zonu (ispod 25°C), mezofilnu zonu (25 – 45°C) i termofilnu zonu (45 – 70°C). Duljina trajanja postupka AD u direktnoj je vezi s temperaturom na kojoj se postupak odvija. (tablica 3.4.)

Tablica 3.4. Temperatura i duljina trajanja procesa

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihofilno	< 20 °C	70 do 80 dana
Mezofilno	30 do 42 °C	30 do 40 dana
Termofilno	43 do 55 °C	15 do 20 dana

Stabilnost temperature je ključna za AD. U praksi, radna temperatura se odabire prema vrsti supstrata, a neophodna temperatura se održava putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora. Na slici 3.7. prikazana je stopa relativnog prinosa bioplina ovisno o temperaturi i vremenu retencije.



Slika 3.7. Relativni prinos bioplina, ovisno o temperaturi i vremenu retencije

Izvor:LfU, 2007.

Većina suvremenih postrojenja za proizvodnju bioplina rade na termofilnim temperaturama jer to ima brojne prednosti u odnosu na procese koji se odvijaju na mezofilnim i psihofilnim temperaturama:

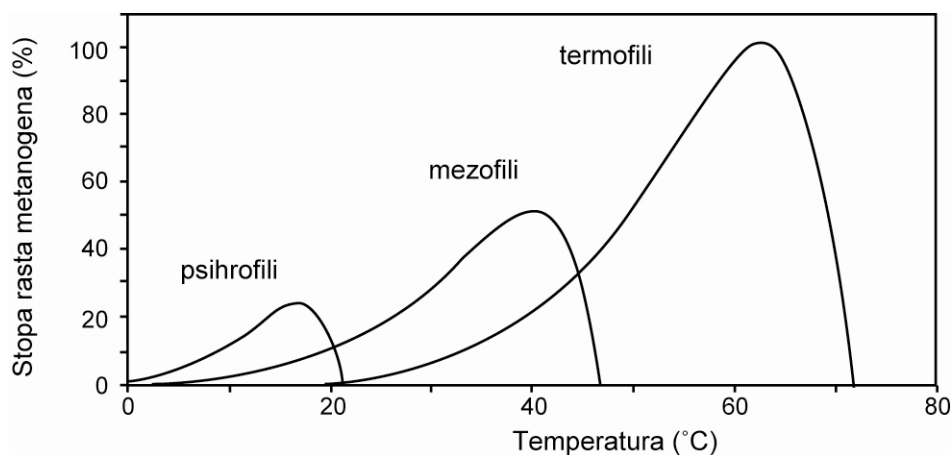
- učinkovito uništenje patogena
- viša stopa rasta metanogenih bakterija na višim temperaturama
- kraće vrijeme digestije, što proces čini bržim i učinkovitijim
- poboljšana razgradnja i iskoristivost hranjivih tvari iz supstrata
- bolja razgradnja krutih tvari i iskoristivost supstrata
- bolja mogućnost razdvajanja tekuće i krute frakcije supstrata

Nedostaci procesa proizvodnje pri termofilnim temperaturama očituju se u:

- većem stupnju neravnoteže
- većoj potrošnji energije radi postizanja većih temperatura zagrijavanjem
- većem riziku od inhibicije amonijakom (stvaranje amonijaka)

Temperatura na kojoj se odvija AD utječe na toksičnost amonijaka. Toksičnost amonijaka povećava se s porastom temperature, a može se smanjiti snižavanjem temperature procesa. No, smanjene temperature procesa na 50°C ili niže uzrokuje drastičan pad rasta termofilnih mikroorganizama i predstavlja rizik potpunog nestanka mikroorganizama radi smanjenja stope rasta na razine niže od VHR (Angelidaki, 2002.). To znači da se termofilni digestori mogu napuniti većom količinom supstrata ili raditi s kraćim VHR

nego mezofilni digestori jer je stopa rasta termofilnih organizama veća od stope rasta mezofilnih vrsta (slika 3.8.).



Slika 3.8. Relativni rast nastanka psihrofilnih, mezofilnih i termofilnih metanogena

Izvor: Angelidaki, 2004.

Razgradnja različitih kemijskih tvari (NH_3 , H_2 , CH_4 , H_2S , HMK) također ovisi o temperaturi procesa (tablica 3.5). Kada se radi o tvarima koje imaju inhibirajuće djelovanje na proces, poznavanje sadržaja može biti vrlo važno.

Tablica 3.5. Odnos temperature i koncentracije određenih plinova u vodi.

Plin	Temperatura (°C)	Topivost mmol/l vode	Promjena topivosti 50°C-35°C
H_2	35	0,749	3,3 %
	50	0,725	
CO_2	35	26,6	36 %
	50	19,6	
H_2S	35	82,2	31 %
	50	62,8	
CH_4	35	1,14	19 %
	50	0,962	

Viskozitet sadržaja unutar digestora obrnuto je proporcionalan temperaturi. Što su temperature veće supstrat je manjeg viskoziteta, odnosno prelazi u tekuće stanje, čime je olakšana difuzija otopljenih tvari. Postupak na termofilnim temperaturama rezultira bržim kemijskim reakcijama, a time i većom učinkovitošću proizvodnje metana, većom topljivošću i manjim viskozitetom.

Veći utrošak energije pri termofilnim procesima opravdan je boljim prinosom bioplina. Temperaturnu procesa važno je održati konstantnom jer promjene ili variranja temperature negativno utječu na proizvodnju bioplina. Termofilne bakterije su osjetljive na variranja temperature od +/- 1°C, te im je potrebno duže vremena da se prilagode novonastalim uvjetima i dosegnu maksimalnu proizvodnju metana. Mezofilne bakterije manje su osjetljive i podnose fluktuacije temperature od +/- 3°C bez znatnih smetnji u proizvodnji bioplina.

3.3.2. pH-vrijednosti i optimalni intervali

Kiselost odnosno bazičnost otopine (odnosno kod AD, mješavine supstrata) izražava se pH vrijednošću. pH vrijednost supstrata utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama i kvalitetu odvajanja pojedinih spojeva važnih za uspješnost postupka AD (amonijak, sulfidi i organske kiseline). Nastanak metana odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti, od otprilike pH 5,5 do 8,5 s optimumom između 7 i 8 za većinu metanogena, dok su za acidogene bakterije, u mnogim slučajevima, optimalne niže vrijednosti pH-a.

Optimalne pH vrijednosti za mezofilnu digestiju su u rasponu od 6,5 do 8, a do inhibicije procesa dolazi ako pH vrijednost padne ispod 6 ili poraste iznad 8,3. Topivost ugljikovog dioksida u vodi opada s povećanjem temperature pa je pH vrijednost u termofilnim digestorima veća nego u mezofilnim digestorima, budući da otopljeni ugljikov dioksid u reakciji s vodom stvara ugljičnu kiselinu.

Amonijak koji nastaje razgradnjom proteina iz organskih tvari ili zbog sadržaja amonijaka unesenog supstratom može uzrokovati povećanje pH vrijednosti, dok akumuliranje HMK u supstratu snižava pH vrijednost.

Unutar anaerobnih reaktora se pH vrijednost kontrolira sustavom bikarbonatnih pufera. Stoga pH vrijednost unutar fermentatora ovisi o parcijalnom tlaku ugljikovog dioksida i sadržaju bazičnih i kiselih spojeva u tekućoj fazi supstrata. U slučaju promjene koncentracije bilo kiselih bilo lužnatih spojeva, bikarbonatni puferi sprečavaju promjenu pH vrijednosti do određene razine. Kada se kapacitet puferskog sustava iscrpi, dolazi do drastičnih promjena pH vrijednosti, što dovodi do potpune inhibicije procesa digestije. Iz ovog razloga pH vrijednost nije moguće koristiti kao jedini indikator za praćenje procesa, već se on uvijek promatra u korelaciji s drugim parametrima.

Puferski kapacitet supstrata koji se koriste za AD može varirati. Iskustva iz Danske potvrđuju da puferski kapacitet kravljeg stajskog gnoja varira iz sezone u sezonu, što je najvjerojatnije uvjetovano sastavom stočne hrane. pH vrijednost stajskog gnoja domaćih životinja je parametar koji nije pogodan kao pokazatelj nestabilnosti u procesu, budući da se njegova vrijednost vrlo malo i sporo mijenja. No, važno je napomenuti da pH vrijednost može biti brz, pouzdan i jeftin način praćenja neravnoteže, osobito u sustavima s malim puferskim kapacitetom, kao što su procesi koji koriste različite vodenaste tipove supstrata (otpadne vode).

3.3.3. Hlapljive masne kiseline (HMK)

HMK su spojevi sa šest ili manje atoma ugljika (npr. acetat, propionat, butirat i laktat) koji nastaju kao međuspojevi tijekom faze acidogeneze. Stabilnost procesa AD i koncentracija nastalih međuspojeva su povezani.

Nestabilnost procesa dovodi do akumulacije HMK unutar digestora, što može dovesti do pada pH vrijednosti. Akumulacija HMK se neće uvijek odraziti padom pH vrijednosti, zbog puferske sposobnosti određenih supstrata. Na primjer, stajski gnoj ima suvišak alkalnih tvari, što znači da količina HMK mora biti iznad određene granice prije no što dođe do pada pH vrijednosti. U tim slučajevima koncentracija kiselina u digestoru može biti toliko visoka da je proces AD već u velikoj mjeri inhibiran.

Iskustvo pokazuje da se dva različita fermentatora mogu ponašati potpuno različito kod iste koncentracije HMK. Ista koncentracija HMK može biti optimalna u jednom digestoru, a istovremeno inhibirajuća za proces u drugom digestoru. Jedno od mogućih objašnjenja može biti da se sastav populacije mikroorganizama razlikuje u svakom digestoru. Kao i kod određivanja pH vrijednosti, koncentracija HMK ne može se preporučiti kao zaseban indikator procesa.

3.3.4. Amonijak

Amonijak (NH_4) je važna hranjiva tvar i ima značajnu funkciju u procesu AD. Amonijak je važna hranjiva tvar koja služi kao prethodnik prehrambenim namirnicama i gnojivima, a obično se susreće kao plin, karakteristično odbojnog mirisa. Glavni izvor amonijaka u procesu AD su bjelančevine.

Previsoka koncentracija amonijaka, osobito u neioniziranom obliku, može potpuno zaustaviti proces digestije. Ovakav slučaj je karakterističan za AD gnojnice, radi visoke koncentracije amonijaka u urinu. Kako bi se spriječio inhibitorni učinak, koncentraciju amonijaka u smjesi supstrata treba održavati ispod 80 mg/l. Metanogene bakterije izuzetno su osjetljive na inhibiciju amonijakom. Koncentracija slobodnog amonijaka direktno je proporcionalna temperaturi te je stoga rizik inhibicije amonijakom veći kod termofilnih procesa nego kod mezofilnih. Razlog tome je što je za inhibiciju amonijakom odgovoran neionizirani oblik amonijaka. Slobodni amonijak (NH_3) je frakcija amonijaka koja inhibira proces anaerobne razgradnje. Koncentracija slobodnog amonijaka računa se iz prikazane ravnotežne jednadžbe:

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{T} - \text{NH}_3]}{\left(1 + \frac{H^+}{ka}\right)}$$

u kojoj (NH_3) i ($\text{T} - \text{NH}_3$) predstavljaju koncentraciju slobodnog i ukupnu koncentraciju amonijaka, a (ka) predstavlja konstantu razdvajanja čija vrijednost raste s povećanjem temperature.

Iz toga slijedi da će povećanje pH vrijednosti i temperature dovesti do povećanja inhibicije, budući da ovi parametri utječu na udio slobodnog amonijaka. Kada je proces zaustavljen uslijed povećanja koncentracije amonijaka, povećava se i koncentracije HMK što dovodi do smanjenja pH vrijednosti. To će djelomično umanjiti učinak amonijaka radi smanjenja koncentracije slobodnog amonijaka (smanjene pH vrijednosti).

3.3.5. Elementi u tragovima, hranjive i toksične tvari

Elementi u tragovima željezo, nikal, kobalt, selen, molibden i volfram važni su elementi za rast i preživljavanje anaerobnih bakterija jednako kao i makronutrijenti. Optimalan odnos makronutrijenata ugljika, dušika, fosfora i sumpora (C:N:P:S) iznosi 600:15:5:1.

Nedostatan sadržaj hranjivih tvari i elemenata u tragovima, kao i prevelika razgradivost supstrata, može uzrokovati inhibiciju ili narušavanje procesa AD.

Jedan od uzročnika koji može djelovati na životni ciklus bakterija su toksične tvari koje u digester dospijevaju zajedno sa supstratom ili nastaju tijekom samog postupka digestije. Teško je odrediti granicu toksičnosti u supstratu (koncentracije i vrste toksičnih tvari), budući da toksični spojevi mogu nastati tijekom kemijskih procesa, a anaerobni mikroorganizmi se u određenim granicama mogu adaptirati novonastalim uvjetima.

3.4. Radni parametri

3.4.1. Sadržaj organske tvari u digesteru

Biopliniska se postrojenja grade prema ekonomskim i tehnološkim parametrima. Za maksimalni prinos bioplina, dobiven potpunom digestijom supstrata, potrebno je dugo VHR i odgovarajuća veličina digestora. U praksi, izbor sustava za digestiju (veličina i tip digestora) temelji se na kompromisu između maksimalnog prinosa bioplina i opravdanog ulaganja u postrojenje. U tom je smislu unos organske tvari važan radni parametar, koji indicira koliko suhe organske tvari može biti uneseno u digester, po volumenu i u jedinici vremena, što je iskazano u sljedećoj jednadžbi.

$$B_R = m * c / V_R$$

B_R	unos organske tvari [kg/d*m ³]
m	masa supstrata unesena po jedinici vremena [kg/d]
c	sadržaj organske tvari [%]
V_R	volumen digestora [m ³]

3.4.2. Vrijeme hidraulične retencije (VHR)

Važan parametar za dimenzioniranje digestora je vrijeme hidraulične retencije (VHR). Vrijeme hidraulične retencije je prosječni vremenski interval zadržavanja supstrata u digesteru. VHR je u korelaciji s volumenom (digestora) (V_R) i volumenom supstrata (V) unesenog u jedinici vremena, a može se izračunati prema sljedećoj jednadžbi:

$$VHR = V_R / V$$

VHR	vrijeme hidraulične retencije [dan]
V_R	volumen digestora [m ³]
V	volumen supstrata unesenog u jedinici vremena [m ³ /d]

Prema jednadžbi će povećanje volumena unesene organske tvari skratiti VHR. Vrijeme zadržavanja sadržaja u digesteru mora biti dovoljno dugo kako bi se osiguralo da je količina bakterija iznesenih obrađenim ostatkom (digestatom) manja od novonastalih bakterija (koje se nalaze u dijelu supstrata koji ostaje u digesteru). Uobičajeno vrijeme

potrebno za razmnožavanje bakterija je 10 ili više dana. Kratko vrijeme zadržavanja u fermentatoru omogućava preradu veće količine supstrata, ali rezultira manjim prinosom plina. Stoga je neophodno prilagoditi VHR specifičnom stupnju razgradnje korištenog supstrata. Ukoliko se zna ciljani VHR, dnevni unos supstrata i vrijeme potrebno za njegovu razgradnju, moguće je izračunati potreban volumen digestora.

3.4.3. Lista pokazatelja

Različiti parametri mogu se koristiti za evaluaciju učinkovitosti bioplinskih postrojenja i usporedbu različitih bioplinskih sustava (tablica 3.6).

Tablica 3.6. Radni parametri bioplinskog postrojenja

Parametar	Simbol / Formula	Jedinica	Utvrđeno kroz: mjerjenje tijekom postupka / proračunom
Temperatura	t	°C	Mjerenje tijekom postupka
Radni tlak	P	mbar	Mjerenje tijekom postupka
Kapacitet, protočnost	V	m ³ /d; t/d	Mjerenje
Volumen digestora/reaktora	V _R	m ³	Određeno konstrukcijom
Količina plina	V po danu V po godini	m ³ /d; m ³ /a	Mjerenje tijekom postupka i konverzije u Nm ³
Vrijeme retencije (hidraulično, minimalno garantirano)	HRT MGT	d	Proračun iz radnih podataka
Punjenje organskom tvari		kg oTS / (m ³ * d)	Proračun iz radnih podataka
Koncentracija metana u bioplinu	CH ₄	%	Mjerenje tijekom postupka
Specifični prinos plina		%	Proračun iz radnih podataka
Specifična proizvodnja bioplina		m ³ / m ³	Proračun iz radnih podataka
Ukupna energija		kWh	Proračun iz količine plina i koncentracije metana
Proizvodnja električne energije		kWh	Mjerenje na BTTP generatoru
Plasman u mrežu		kWh	Mjerenje na BTTP generatoru
Učinkovitost	η	%	Proračun iz radnih podataka
Opskrba toplinom / električnom energije		kWh	Temeljeno na planiranom, naknadno mjerenjem tijekom postupka proizvodnje
Specifična opskrba toplinom / el. energijom		kWh/m ³ sirovine kWh/UG	Proračun iz radnih podataka
Proizvodnja energije		kWh	Zbroj energije koja može biti iskorištena. Izračun iz radnih podataka
Učinkovitost elektrane	η	%	Iskoristiva energija dobivena

			od ukupne energije
Dostupnost		%	Postotak sati u godini tijekom kojih je elektrana radila punim kapacitetom
Iskoristivost		%	Odnos stvarne količine unosa i projektiranog kapaciteta
Ukupno ulaganje		€	Ukupna investicija u bioplinsko postrojenje
Subvencije		€	Propisane
Postotak subvencija		%	Postotak svih subvencija u ukupnom ulaganju
Specifična ulaganja		€/m ³ reaktor €/UG	Osjetljivost se vidi samo u slučaju kada se koristi primarno stajski gnoj s mjesta uzgoja (farmi) (UG - uvjetno grlo)
Specifični troškovi tretiranja		€/m ³ ulaznog materijala; €/UG	Izračun

Izvor: Schnell, Fachverband Biogas e.V.

U literaturi se najčešće spominju dvije kategorije pokazatelja:

- pokazatelji koji su egzaktno izmjereni tijekom rada postrojenja uz određenu vrstu supstrata metodom uzorkovanja
- pokazatelji koji se zasnivaju na modeliranim podacima

Za evaluaciju učinkovitosti bioplinskih postrojenja provode se višekriterijske analize. Analize temeljene na pojedinačnim pokazateljima teško mogu dati pouzdane rezultate. Uvijek je potrebno uključiti ekonomske pokazatelje kako bi se pratilo hoće li bioplinsko postrojenje osigurati povrat investicije u prihvatljivom roku.

4. Osnovne primjene bioplina

Proizvodnja bioplina putem AD je rasprostranjena metoda obrade otpada iz stočarstva (životinjskog izmeta i gnojnice) u modernim društvima radi proizvodnje obnovljive energije i poboljšanja kvalitete stajskog gnoja.

U zemljama sa značajnom poljoprivrednom proizvodnjom, kontinuirano postrožavanje propisa koji se odnose na skladištenje i uporabu stajskog gnoja i otpada organskog porijekla, potaknulo je rast interesa za postupak AD. S druge strane, razvoj tržišta bioplina tijekom posljednjih godina potaknuo je interes poljoprivrednika za podizanje usjeva na kojima će se uzgajati žitarice i uljarice za proizvodnju bioplina. AD glavna je tehnologija za stabilizaciju primarnog i sekundarnog otpadnog mulja pri obradi otpadnih voda organske, prehrambeno-prerađivačke i fermentacijske industrije, kao i pri recikliranju frakcije krutog komunalnog otpada organskog porijekla. Specijalna primjena provodi se kod prikupljanja bioplina s odlagališta.

4.1. Poljoprivredna bioplinska postrojenja

U poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima prerađuju se supstrati koji uglavnom potječu ili su vezani za poljoprivrednu proizvodnju (stajski gnoj, gnojnica, ostaci i nus-proizvodi usjeva te energetske usjevi).

Kravlji i svinjski gnoj i gnojovka osnovni su supstrati za većinu poljoprivrednih bioplinskih postrojenja, iako u posljednje vrijeme raste broj postrojenja koja za svoj rad koriste usjeve s energetske nasada. Sirovi stajski gnoj i gnojnica uobičajeno se koriste kao organsko gnojivo za prihranu usjeva, no AD poboljšava njihovu hranidbenu vrijednost na sljedeći način:

- stajski gnoj i gnojnica različitog porijekla (krave, svinje, perad) miješaju se u istom digestoru, i na taj način se dobiva bolji odnos hranjivih tvari
- AD razlaže složene organske tvari (uključujući organski dušik) i povećava se količina hranjivih tvari kojeg biljka može direktno iskorištavati
- kodigestija stajskog gnoja s drugim supstratima (npr. klaonički otpad, otpadne masti i ulja, otpad iz kućanstava, biljni ostaci) dodaje znatnu količinu hraniva mješavini supstrata.

Prema relativnoj veličini, funkciji i lokaciji, postoje tri glavne kategorije poljoprivrednih bioplinskih postrojenja:

- Bioplinska postrojenja za obiteljska gospodarstva (mala postrojenja)
- Bioplinska postrojenja za farme (srednje velika postrojenja)
- Centralizirana bioplinska postrojenja sa zajedničkom kodigestijom (velika postrojenja)

4.1.1. Bioplinska postrojenja za obiteljska gospodarstva

Tehnologija izgradnje bioplinskih postrojenja razlikuje se od zemlje do zemlje ovisno o klimatskim uvjetima, nacionalnim specifičnostima, zakonodavnom okviru i financijskim mogućnostima.

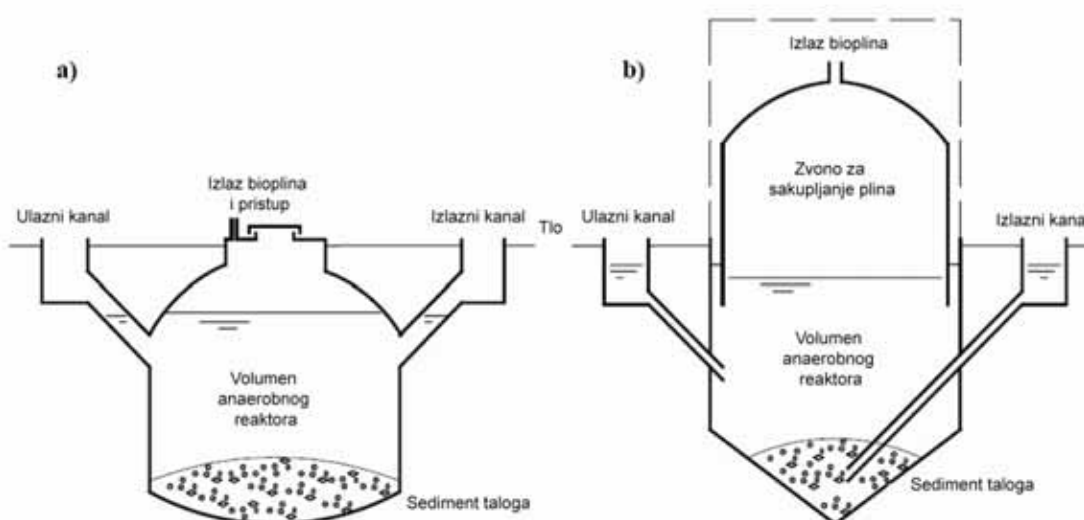
U Nepal, Kini ili Indiji postoje milijuni obiteljskih bioplinskih postrojenja koja su tehnološki vrlo jednostavna. Supstrat za proizvodnju bioplina je organski otpad iz kućanstava i poljoprivrednih gospodarstava, a proizvedeni bioplin koristi se za zadovoljavanje potreba kućanstva (npr. kuhanje i osvjetljenje).

Fermentatori ovakvih postrojenja su jednostavni, jeftini i čvrsti te istodobno jednostavni za upravljanje i održavanje, dok je materijal za izgradnju dostupan lokalno. Digestori ovog tipa obično nemaju instrumente za kontrolu procesa, a njihovo zagrijavanje nije potrebno (psihrofilni i mezofilni procesi) budući da je većina ovakvih digestora instalirana u zemljama s toplijom klimom i dugim VHR.

- a) Kineski tip postrojenja (slika 4.1.a) ima podzemni reaktor (digestor) najčešće volumena od 6 do 8 m³. Puni se otpadnim vodama iz kućanstva, stajskim gnojem i otpadom organskog porijekla. Reaktor radi poluautomatski, pri čemu se supstrat dodaje ručno jednom dnevno, a istovremeno se uklanja približno ista količina tekućine koja nastaje tijekom digestije. Supstrat se ne miješa tijekom digestije pa se sediment koji se nataloži na dnu reaktora mora ručno ukloniti 2 do 3 puta godišnje.

Kod uklanjanja sedimenta na dnu reaktora ostavlja se približno jedna petina sadržaja koji služi kao inokulum (podloga za razvoj mikroorganizama).

- b) Indijski tip malog postrojenja (slika 4.1.b) za proizvodnju bioplina sličan je kineskom u dijelu podzemnog kotla koji se puni otpadom iz kućanstva i otpadom s malih poljoprivrednih gospodarstava. Razlika je u tome što se supstrat taloži na dnu reaktora, a bioplin se sakuplja u plutajućem bioplinskom zvonu, koje služi kao rezervoar.
- c) Treći tip malih bioplinskih postrojenja su prijenosna postrojenja koja se sastoje od horizontalnog cilindričnog reaktora. Supstrat se dodaje na jednoj strani, a digestat se prikuplja na drugoj strani cilindričnog digestora. Supstrat sporo protječe kroz reaktor, a dio digestata ponovo se vraća u digestiju radi razblaživanja novog supstrata i inokulacije.



Slika 4.1. Načela rada ruralnih reaktora za fermentaciju: a) kineski ; b) indijski tip

Izvor: Angelidaki, 2004.

4.1.2. Bioplinska postrojenja za poljoprivredna gospodarstva

Ovakva postrojenja su obično dimenzionirana za jedno gospodarstvo, u skladu s količinom raspoloživog supstrata koji nastaje na farmi. U većini ovakvih postrojenja provodi se kodigestija stajskog gnoja i manje količine drugih supstrata bogatih metanom koji pospješuju nastanak bioplina. Supstrati bogati metanom uključuju otpad od prerade ribe i ostatke proizvodnje biljnih ulja. Postoje postrojenja za poljoprivredna gospodarstva koja koriste sirovinu koja se doprema cijevima sa susjednih gospodarstava ili su pak susjedna gospodarstva povezana s AD digestorom putem cjevovoda.

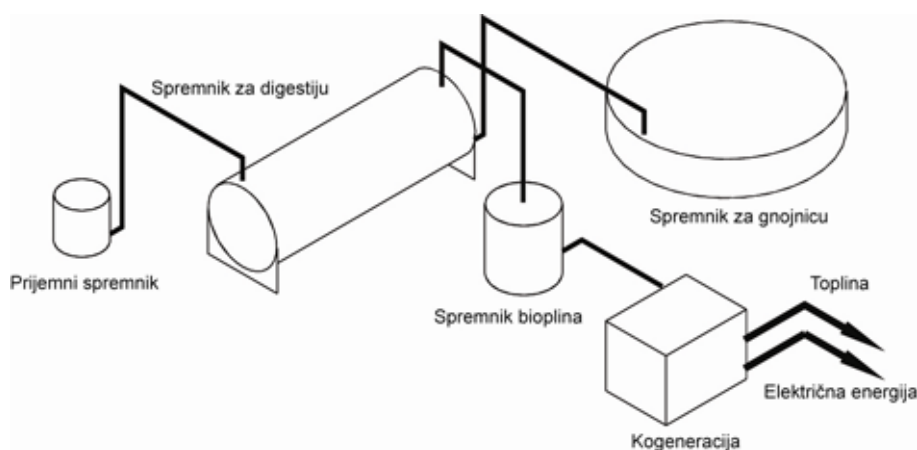
Postoje različiti koncepti bioplinskih postrojenja za poljoprivredna gospodarstva diljem svijeta. U Europi su Njemačka, Austrija i Danska pioniri u proizvodnji bioplina na poljoprivrednim gospodarstvima. Interes poljoprivrednika za proizvodnju bioplina u stalnom je porastu. Proizvodnja bioplina pruža nove poslovne prilike poljoprivrednicima zbog zbrinjavanje otpada nastalog na poljoprivrednim gospodarstvima i proizvodnju kvalitetnog gnojiva, ali i mogućnost sudjelovanja na tržištu obnovljivim izvorima energije.

Poljoprivredna bioplinska postrojenja mogu varirati u veličini, dizajnu i korištenoj tehnologiji. Neka postrojenja vrlo su mala i tehnološki jednostavna, dok su druga većih dimenzija i tehnološki složena te slična centraliziranim postrojenjima za kodigestiju (vidi poglavlje 4.1.3.). Usprkos razlikama, princip rada je isti za sva postrojenja: supstrat se prikuplja u predspremniku iz kojeg se prepumpava u digestor koji je nepropustan za plinove, a izrađen od čelika ili betona i toplinski izoliran kako bi se temperatura procesa održala konstantnom (mezofilna, na oko 35°C ili termofilna na oko 55°C).

Digestori mogu biti horizontalni ili vertikalni, obično imaju sustav za miješanje i homogeniziranje supstrata, kako bi se na najmanju moguću mjeru sveo rizik stvaranja plutajućih slojeva i sedimenta. Miješanje supstrata jamči bolju opskrbu mikroorganizama hranjivim tvarima jer zbog miješanja oni dopijevaju u sve slojeve supstrata pospješujući postupak proizvodnje bioplina. Prosječno VHR, odnosno zadržavanje supstrata u digestoru je između 20 i 40 dana, ovisno o vrsti supstrata i temperaturi na kojoj se odvija digestija.

Digestat se koristi kao gnojivo za prihranu usjeva na gospodarstvima, a višak se prodaje poljoprivrednim gospodarstvima u blizini. Proizvedeni bioplin koristi se za proizvodnju toplinske i električne energije, pri čemu se od 10 do 30 posto proizvedene topline i električne energije koristi za potrebe rada bioplinskog postrojenja i samog gospodarstva. Preostala električna energija se prodaje distributerima, a toplina potrošačima u susjedstvu.

Osim digestora opremljenog sa sporo rotirajućim sustavom za miješanje supstrata, postrojenje se sastoji od: spremnika za skladištenje stajskog gnoja, spremnika za skladištenje digestata, spremnika za skladištenje proizvedenog bioplina i kogeneracijske jedinice (generatora za proizvodnju toplinske i električne energije).



Slika 4.2. Shematski prikaz bioplinskog postrojenja na poljoprivrednim gospodarstvima, s horizontalnim digestorom od nehrdajućeg čelika

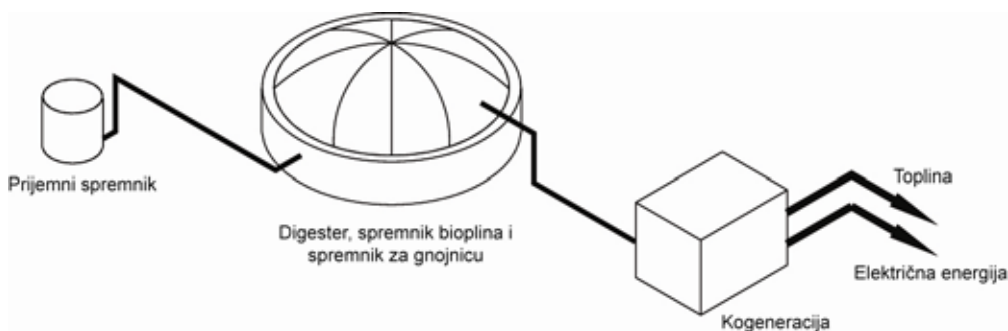
Izvor: Hjort-Gregersen, 1998.



Slika 4.3. Horizontalni digester izrađen u Danskoj

Izvor: Nordisk Folkecenter, 2001.

Takozvani „dva u jedan“ sustavi su vertikalno cilindrični s koničnim dnom (slike 4.4. i 4.5), a fermentator i spremnik digestata su u jednom dijelu. U ovakvim sustavima fermentator je pričvršćen na stjenku spremnika za digestat (nalazi se unutar spremnika). Fermentator je obložen plino-nepropusnom membranom koja se prilagođava količini proizvedenog plina. Unutar digestora nalazi se električni propeler za miješanje supstrata. Nadalje, postrojenje ima i spremnik za miješani supstrat i kogeneracijsku jedinicu.



Slika 4.4. Shematski prikaz postrojenja ‘dva u jedan’ za poljoprivredna gospodarstva, s mekanom membranom

Izvor: Hjort-Gregersen, 1998.



Slika 4.5. Postrojenje za proizvodnju bioplina na farmi u Danskoj, kodigestija stajskog gnoja i energetskih usjeva

Izvor: Groengas A/S



Slika 4.6. Vertikalni digestor u Njemačkoj , prerada svinjskog i gnoja peradi i silaže

Izvor: Krieg i Fisher, 2008.

Odnedavno se intenzivno razvijaju postrojenja prilagođena proizvodnji bioplina iz usjeva uzgojenih na energetske nasadima. Prednost energetskih usjeva je u tome što se može proizvesti više energije nego digestijom organskog otpada. No, kod korištenja energetskih nasada pojavljuju se ograničenja s obzirom na troškove rada, korištenja i dostupnosti zemljišta.



Slika 4.7. Vertikalni digestor u Njemačkoj izgrađen 2005. godine za fermentaciju energetskih usjeva

Izvor: Krieg i Fisher, 2008.

4.1.3. Centralizirana (zajednička) postrojenja za proizvodnju bioplina

Kodigestija u centraliziranom postrojenju temelji se na digestiji stajskog gnoja i gnojnice prikupljenih s nekoliko poljoprivrednih gospodarstava u bioplinskom postrojenju koje je smješteno u središtu na području prikupljanja supstrata. Centralni položaj postrojenja u odnosu na poljoprivredna gospodarstva ima za cilj smanjiti troškove transporta, vrijeme i radnu snagu potrebnu za transport gnojiva u postrojenje i digestata iz postrojenja. Stajski gnoj kodigestira se s nizom drugih supstrata (npr. razgradivi ostaci iz poljoprivrede, prehrambeno-prerađivačke industrije, prerade ribe, odvojenog organskog komunalnog otpada te taložnih muljeva dobivenih pročišćavanjem komunalnih voda). Ovakva

tehnologija široko je raširena u Danskoj (slika 4.8), ali i ostalim dijelovima svijeta s intenzivnom stočarskom proizvodnjom.

Stajski gnoj i gnojnice (npr. svinjska i kravlja gnojnice, krzna, iznutrice, pileći gnoj) sakuplja se u spremnike ili kanale za gnojnicu. Spremnici s gnojnicom transportiraju se u vakuumski zatvorenom kamionima u bioplinsko postrojenje prema utvrđenom rasporedu. U bioplinskom postrojenju supstrat se miješa s kosupstratima, homogenizira i prepumpava u digestor. Centralizirana postrojenja za proizvodnju bioplina odgovorna su za sakupljanje i prijevoz svježeg gnoja i gnojnice te odvoz digestata na poljoprivredna gospodarstva. Digestat se odvozi direktno na polja koja je potrebno prihraniti (nagnojiti) ili na mjesta u skladišta za daljnju distribuciju digestata.

Digestija se odvija na mezofilnim ili termofilnim temperaturama uz VHR od 15 do 25 dana. Prije same digestije obavlja se sanitarni pregled supstrata radi eventualnog suzbijanja širenja patogenih organizama, sjemena korova i osiguranja sigurne primjene digestata kao gnojiva.

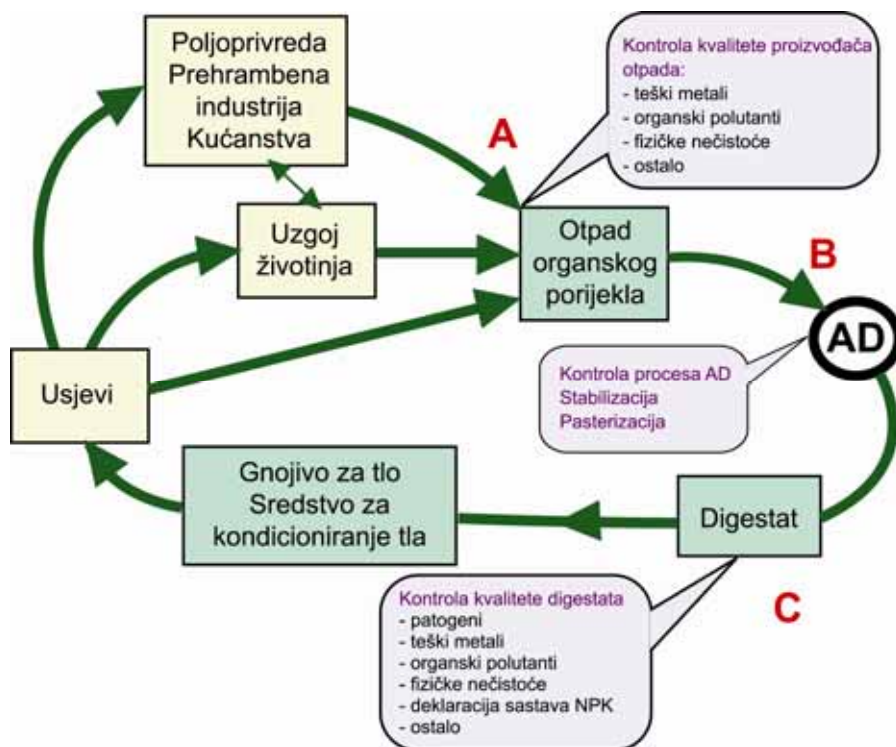


Slika 4.8. Centralizirano postrojenje za ko-digestiju u Danskoj

Izvor: Lemvig Biogas

Unos supstrata u digestor je kontinuiran, a količina organske tvari koja ulazi u digestor jednaka je količini tvari koja napušta digestor u preciznim vremenskim razmacima. Prerađeni digestat se sustavom cijevi transportira u spremnike. U većini slučajeva spremnici su pokriveni s membranom koja ne propušta plin. U spremnicima digestata naknadno se oslobađaju dodatne količine bioplina na nižim temperaturama (do 15% od ukupne količine). Ovaj bioplin prikuplja se s bioplinom proizvedenim u digestoru. Proizvedeni digestat analizira se i definira s obzirom na sadržaj hraniva (suha organska tvar, hlapljive čvrste tvari, natrij, fosfor, kalij, pH) te odvozi na polja, odnosno do spremnika digestata na poljima. Poljoprivrednici za gnojidbu koriste onu količinu digestata koja im je dozvoljena prema propisima (kg digestata/ha površine). Ostatak digestata prodaje se kao gnojivo poljoprivrednicima u regiji. U svim slučajevima digestat je integriran u gnojidbene planove svakog gospodarstva u zamjenu za mineralna ili umjetna gnojiva. Na taj način proizvodnja bioplina postaje dio zaokruženog ciklusa

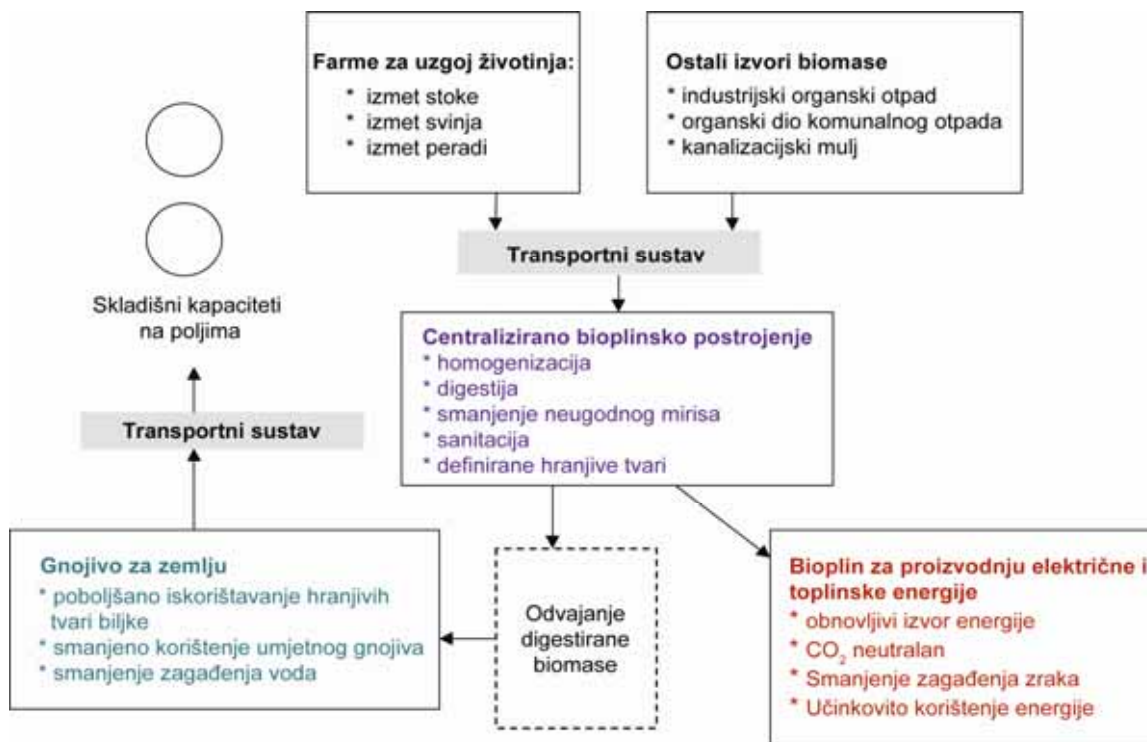
oporabe hraniva iz stajnjaka i organskog otpada (slika 4.9.). Većina centraliziranih postrojenja opremljena je sustavom za razdvajanje tekuće i krute frakcije digestata.



Slika 4.9. Shematski prikaz zaokruženog ciklusa centraliziranog postrojenja za AD
Izvor: Al Seadi, 2003.

Centralizirani sustav za kodigestiju predstavlja integrirani sustav za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora uz zbrinjavanje organskog otpada i recikliranje hraniva. Ovakvo postrojenje ima brojne pozitivne učinke na okoliš i ostvarenje dodatnih prihoda za poljoprivrednike, operatere bioplinskih postrojenja i cjelokupno društvo:

- jeftino i po okoliš neškodljivo recikliranje stajskog gnoja i organskog otpada
- proizvodnja energije iz obnovljivih izvora
- smanjenje emisija stakleničkih plinova u atmosferu
- poboljšanje sanitarnih uvjeta kroz sanitarnu obradu digestata
- poboljšanje učinkovitosti gnojiva (hraniva)
- smanjenje pojave neugodnih mirisa i insekata
- ekonomska korist za poljoprivrednike



Slika 4.10. Glavni smjerovi integralnog koncepta ko-digestije u centraliziranim bioplinским postrojenjima.

Izvor: Tafdrup, 1994. i Al Seadi 2003.

Većina centraliziranih postrojenja organizirana je po principu zadruge ili dioničkog društva. Vlasnik odnosno vlasnici poduzeća su poljoprivrednici koji snabdijevaju postrojenje sirovinom. Većina takvih zadruga ima upravno vijeće koje određuje smjernice razvoja, odlučuje o zapošljavanju osoblja, kao i svim financijskim i pravnim pitanjima koja se odnose na izgradnju postrojenja, opskrbu supstratom, distribuciju digestata, prodaju energije i financiranje. U Danskoj se pokazalo da su takva poduzeća ekonomski isplativa i predstavljaju organizacijski funkcionalne strukture.

4.2. Postrojenja za obradu otpadnih voda

AD je široko rasprostranjena metoda za obradu primarnih i sekundarnih muljeva nastalih aerobnom obradom otpadnih voda. Ovaj sustav se primjenjuje u mnogo razvijenih zemalja u kombinaciji s primjenom naprednih tehnologija za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. AD se primjenjuje radi stabilizacije i smanjenja konačne količine otpadnog mulja. Tehnologija tretiranja otpadnih muljeva AD dobro je razvijena. Većina inženjerskih tvrtki koje provode obradu otpadnih voda ima kapaciteta i za primjenu AD. Ovisno o nacionalnim propisima i prioritetima, u zemljama EU-a se od 30 do 70 posto otpadnih muljeva obrađuje postupkom AD.

Tekući ostatak se može koristiti kao gnojivo na poljoprivrednim površinama ili za proizvodnju energije spaljivanjem. U nekim zemljama muljevi se odlažu na odlagališta otpada. Ovakva praksa negativno utječe na okoliš radi procjeđivanja hranjivih tvari u

podzemne vode i emisija onečišćujućih tvari u atmosferu te je stoga zabranjena u većini europskih zemalja.



Slika 4.11. Postrojenje za obradu otpadnih voda Psytalia u Ateni, Grčka
Izvor: EYDAP SA

4.3. Postrojenja za obradu krutog komunalnog otpada

U velikom broju zemalja kruti komunalni otpad se prikuplja te spaljuje u velikim spalionicama ili odlaze na odlagališta otpada. Ovakva praksa je zapravo gubitak energije i hranjivih tvari jer se organska frakcija otpada može izdvojiti i iskoristiti kao supstrat za AD. Čak se i nesortirani otpad može procesirati i zatim koristiti za proizvodnju bioplina.

Posljednjih godina razdvajanje i recikliranje otpada privlači pozornost. Razdvajanje krutog komunalnog otpada omogućuje naprednije recikliranje pojedinih frakcija prije konačnog odlaganja. Poznavanje porijekla organskog otpada važno je za određivanje najprikladnije metode obrade. Otpad organskog porijekla iz kuhinja i restorana sadrži više vlage i nepovoljnu strukturu za kompostiranje (aerobno razlaganje), ali je vrlo pogodan za AD. Drvenasti otpad sadrži vlakna lignina i celuloze pa ga je potrebno prethodno obraditi ukoliko se koristi za AD, dok je za kompostiranje pogodan u svom izvornom obliku.

Korištenje organskog dijela komunalnog otpada za proizvodnju bioplina ima veliki potencijal. Diljem svijeta radi nekoliko stotina postrojenja koja kao supstrat koriste odvojeno prikupljenu organsku frakciju komunalnog otpada. Cilj je promijeniti uobičajeni tijek organskog komunalnog otpada, odnosno odlaganje ili spaljivanje zamijeniti recikliranjem i vraćanjem dijela hranjivih tvari u sektor poljoprivrede. Organski komunalni otpad može se kao kosupstrat dodavati stajskom gnojivu u procesu kodigestije.

4.4. Industrijska postrojenja za proizvodnju bioplina

Obrada industrijskog otpada organskog porijekla i otpadnih voda provodi se anaerobnim procesima više od stotinu godina. Danas je AD standardna tehnologija za obradu otpadnih voda iz različitih industrija, osobito iz industrije prerade hrane, poljoprivrednih proizvoda i farmaceutske industrije. AD se može koristiti i kao obrada koja prethodi konačnom

odlaganju na za to predviđeno odlagalište. Zahvaljujući napretku tehnologije, razrijeđene industrijske otpadne vode također mogu biti digestirane. U zemljama EU-a koje su ujedno pioniri u brizi za okoliš, bilježi se rast interesa za tretiranje industrijskog organskog otpada AD.

Gospodarenje krutim otpadom organskog porijekla iz industrije sve je više kontrolirano zakonodavstvom vezanim za okoliš. Metodu AD za tretman industrijskih otpadnih voda koriste različite industrije:

- industrija prerade hrane, npr. konzerviranje povrća, prerada mlijeka i sira, otpad iz klaonica, industrija prerade krumpira
- industrija pića, npr. pivovare, proizvodnja bezalkoholnih pića i sokova, destilerije, prerada kave
- industrijski proizvodi, npr. papir i karton, guma, kemikalije, škrob, farmaceutski proizvodi

Industrijska bioplinska postrojenja imaju niz prednosti za društvo i uključene industrije:

- dodana vrijednost ostvaruje se vraćanjem dijela hranjivih tvari u tlo, a troškovi odlaganja otpada se smanjuju
- proizvedeni bioplin koristi se za proizvodnju energije
- učinkovito tretiranje otpada doprinosi „zelenom“ imidžu kompanije

Za očekivati je da će društvene prednosti korištenja ovakvih tehnologija kao i dobrobit za okoliš, nasuprot visokim troškovima zbrinjavanja otpada na druge načine, povećati broj instaliranih industrijskih bioplinskih postrojenja.

4.5. Proizvodnja deponijskog plina

Odlagališta otpada se mogu smatrati velikim anaerobnim postrojenjima s razlikom što je kod njih proces razgradnje manje kontinuiran i ovisi o starosti odloženog otpada.

Prikupljanje deponijskog plina od esencijalne je važnosti za zaštitu okoliša, uglavnom zbog smanjenja emisija metana i ostalih plinova koji nastaju na odlagalištima otpada. Deponijski plin je jeftin izvor energije, sastavom je jako sličan bioplinu proizvedenom AD u bioplinskim postrojenjima (50-70% metana, 30-50% ugljikovog dioksida). Deponijski plin može sadržavati toksične plinove koji potječu od razgradnje otpada.

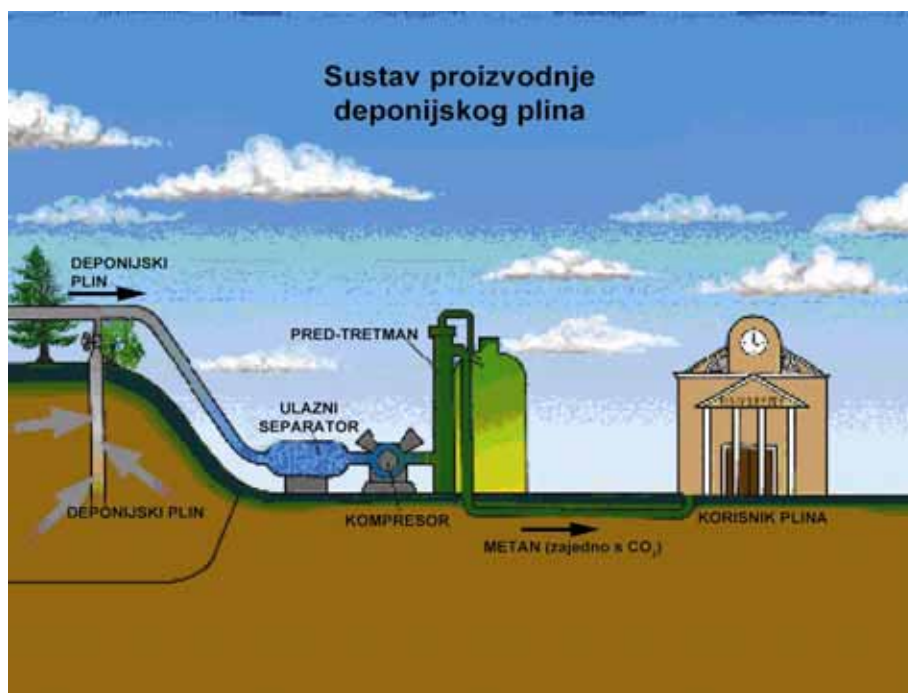
Prikupljanje deponijskog plina moguće je optimirati sustavnim upravljanjem koje se sastoji od usitnjavanja otpada, kruženjem organske frakcije otpada i tretiranjem odlagališta kao bioreaktora.

Deponijski bioreaktor je kontrolirano odlagalište, projektirano na način da se ubrza konverzija krutog otpada u metan. Odlagalište je obično razdvojeno na više manjih dijelova – ćelija i opskrbljeno je sustavom za prikupljanje eluata s dna ćelija. Prikupljeni eluat se sustavom cijevi odvodi natrag na površinu i distribuira po ćelijama. Na taj se način odlagalište transformira u veliki digester krute tvari.

Prikupljanje deponijskog plina doprinosi bržoj stabilizaciji odlagališta i stvaranju prihoda iz upotrebe plina.

Radi udaljenosti odlagališta od naselja i industrijskih zona proizvedeni deponijski plin najčešće se koristi za proizvodnju električne energije, no moguće ga je koristiti u različite

svrhe, kao na primjer za grijanje prostora ili se može pročišćavati kako bi se koristio kao pogonsko gorivo za vozila ili puštao u sustav plinske mreže.



Slika 4.12. Sustav za prikupljanje i iskorištavanje deponijskog plina
Izvor : NST Engineers, 2007.



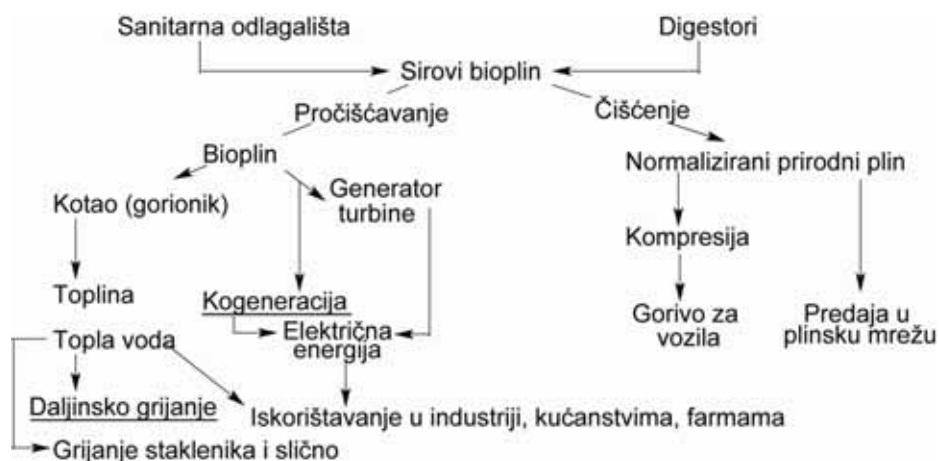
Slika 4.13 Projekt prikupljanja deponijskog plina Ano Liosia, Atena, Grčka
Izvor: Sioulas, 2005.



Slika 4.14. Emisije plinova i propuštanje sadržaja odlagališta u podzemne vode koje su prijetnja okolišu

5. Upotreba bioplina

Bioplin se može koristiti za različite energetske potrebe ovisno o prirodi izvora i lokalnom potražnjom za specifičnim vrstama energije. Bioplin se najčešće koristi za proizvodnju toplinske energije direktnim izgaranjem, proizvodnju električne energije putem energetskih ćelija ili u mikro turbinama te proizvodnju topline i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima ili pak kao pogonsko gorivo za vozila (slika 5.1.).



Slika 5.1. Pregled mogućnosti korištenja bioplina

5.1. Svojstva bioplina

Svojstva i sastav bioplina ovise o tipu supstrata, načinu proizvodnje (vrsti postrojenja), temperaturi na kojoj se odvijao proces, trajanju retencije, volumenu digestora i ostalim čimbenicima. Energetska vrijednost bioplina nalazi se kemijski vezana u metanu. Prosječna toplinska vrijednost bioplina je oko 21 MJ/Nm^3 , prosječna gustoća iznosi $1,22 \text{ kg/Nm}^3$ (s 50% udjela metana), a težina je slična zraku ($1,29 \text{ kg/Nm}^3$). Prosječan sastav bioplina prikazan je u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Sastav bioplina

Spoj	Kemijski simbol	Udio (Vol.-%)
Metan	CH ₄	50-75
Ugljikov dioksid	CO ₂	25-45
Vodena para	H ₂ O	2 (20°C) -7 (40°C)
Kisik	O ₂	<2
Dušik	N ₂	<2
Amonijak	NH ₃	<1
Vodik	H ₂	<1
Sumporovodik	H ₂ S	<1

Prinos metana u procesu AD ovisi o sadržaju bjelančevina, masti i ugljikohidrata kao što je prikazano u tablici 5.2.

Tablica 5.2. Prosječni teoretski prinos plina

Supstrat	l plina / kg suhe tvari	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]
Bjelančevine	700	70 - 71	29 - 30
Masti	1 200 to 1 250	67 - 68	32 - 33
Ugljikohidrati	790 to 800	50	50

Prinos metana AD supstrata ovisi o udjelu proteina, masti i ugljikohidrata kako je prikazano u tablici 5.3.

Tablica 5.3. Sadržaj metana u različitim vrstama supstrata

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

5.2. Direktno izgaranje i upotreba bioplina za proizvodnju toplinske energije

Najjednostavniji i najrašireniji način korištenja bioplina je direktno izgaranje bioplina u kotlovima ili na gorionicima. Ovakav način primjene uobičajen je za bioplin proizveden u malim digestorima obiteljskog tipa. Primjenjuje direktno izgaranje u gorionicima predviđenim za prirodni plin. Za proizvodnju topline bioplin se može spaljivati na mjestu proizvodnje ili se plinovodima transportirati do krajnjih korisnika. Bioplin nije potrebno pročišćavati kod proizvodnje topline jer kontaminacija nečistoćama do određene razine ne predstavlja ograničenje, kao što je to slučaj za druge načine primjene. No, prije upotrebe bioplin prolazi proces kondenzacije, eliminacije čestica, kompresije, hlađenja i sušenja.

5.3. Kogeneracijska proizvodnja toplinske i električne energije

Kogeneracijska proizvodnja toplinske i električne energije smatra se vrlo učinkovitim načinom korištenja bioplina. Prije korištenja u kogeneracijskim postrojenjima bioplin se suši i kondicionira. Većina plinskih motora ima ograničenja s obzirom na sadržaj sumporovodika, halogenih ugljikohidrata i siloksana koji se nalaze u neobrađenom bioplinu. Stupanj iskoristivosti modernih kogeneracijskih generatora je do 90 posto, pri čemu proizvodnja električne energije iznosi 35, a toplinske 65 posto.

Kogeneracijska postrojenja na bioplin su najčešće termoelektrane blokovskog tipa (BTE) s motorima na izgaranje koji su povezani s generatorom. Motor generatora može biti plinski-otto motor, plinski-dizel motor ili plinski-dizel motor s pilot paljenjem. Plinski-otto i plinski-dizel motor rade na Otto principu, dakle bez samozapaljenja goriva, a razlikuju se jedino u stupnju kompresije. Stoga će se u nastavku teksta ove vrste motora zamijeniti sinonimom plinski-otto motori. Alternativa spomenutim vrstama motora su plinske mikroturbine, Stirlingovi motori i gorivne ćelije. Ove su tehnologije još u razvoju ili u fazi izrade prototipa. Svi načini primjene kogeneracija detaljnije su opisani u sljedećim poglavljima.



Slika 5.2. Plamenik za proizvodnju toplinske energije iz bioplina

Izvor: Agrinz GmbH

Električna energija proizvedena iz bioplina može se koristiti za rad električnih uređaja kao što su pumpe, kontrolni sustavi ili miješalice. No, u mnogo zemljama u kojima je propisana povlaštena cijena za otkup električne energije iz obnovljivih izvora (*feed-in* tarifa), sva električna energija proizvedena u bioplinskom postrojenju se prodaje u mrežu, a energija potrebna za rad postrojenja se kupuje ponovno iz mreže od distributera po nižoj cijeni.

Iskorištavanje proizvedene toplinske energije važan je parametar za energetske i ekonomske učinkovitost bioplinskog postrojenja. Proizvedena toplinska energija se djelomično koristi za grijanje digestora, a otprilike dvije trećine ukupne proizvedene energije može se koristiti za druge potrebe. U Njemačkoj su mnoga bioplinska postrojenja ranijih generacija izgrađena isključivo za proizvodnju električne energije, dok se toplinska energija uopće nije iskoristavala. Danas je iskorištavanje i toplinske energije obavezno iz ekonomskih razloga jer zbog porasta cijena, kao na primjer cijene kukuruza, za mnoga postrojenja prodaja samo električne energije nije dovoljna za ekonomsku održivost. Stoga radi što veće učinkovitosti postrojenja i ostvarivanja održive profitabilnosti, na tržište treba plasirati obje vrste energije.

Toplinska energija se može koristiti za potrebe industrije, poljoprivrede (zagrijavanje plastenika) ili grijanje različitih vrsta objekata. Tvornice i industrijska postrojenja, ovisno o karakteristikama proizvodnje, obično imaju stalnu potrebu za toplinskom energijom tijekom cijele godine pa su pogodne za njezin plasman. Upotreba toplinske energije iz bioplinskog postrojenja u sustavu centralnog grijanja druga je opcija, ali potražnja nije stalna: tijekom zime potražnja je velika dok je ljeti mala. Toplinsku energiju iz bioplinskih postrojenja je moguće koristiti u sušionicama drvene građe, drvene sječke ili za separaciju digestata. Konačno, može se koristiti i u kombiniranim sustavima grijanja i hlađenja. Ovaj proces koristi se u hladnjacima i rashladnim uređajima. Ulazna energija je toplinska i pretvara se u rashladnu energiju, pri čemu postoji razlika između adsorpcijskog i apsorpcijskog procesa hlađenja. U nekoliko pilot projekata provodi se testiranje iskoristivosti kombiniranih sustava grijanja i hlađenja u bioplinskim postrojenjima.

5.3.1. Plinski-Otto motori

Plinski Otto-motori su specijalno razvijeni motori za korištenje bioplina na Otto principu. Ti motori rade na smjesu s pretičkom zraka (engl.: *lean burn engines*) radi minimizacije emisija ugljikovog monoksida. To rezultira manjom potrošnjom plina, ali i manjom učinkovitošću motora, što se kompenzira korištenjem turbo punjača pogonjenog ispušnim plinovima.

Plinski-Otto motori zahtijevaju minimalan sadržaj metana u bioplinu od 45 posto. Manji motori snage do 100 kW_{el} su obično Otto motori. Ukoliko su zahtjevi za proizvodnjom električne energije veći, koriste se prilagođeni dizel agregati koji su opremljeni svjećicama. Obje vrste motora se nazivaju „plinski Otto-motori“ budući da je njihov rad temeljen na Otto principu. „Plinski Otto-motori“ (slika 5.3.) mogu raditi na bioplin ili druge vrste plinova, kao što je prirodni plin. To je pogodno za startanje bioplinskog postrojenja kada se toplinska energija koristi za zagrijavanje digestora.



Slika 5.3. Plinski-Otto motor

Izvor: Rutz, 2007.

5.3.2. Plinski-dizel motor s pilot paljenjem

Plinski-dizel motor s pilot paljenjem (zvan i motor koji koristi dvojno gorivo “*Dual Fuel Engine*”) radi na principu dizel motora. Ovakve vrste motora uobičajeno se koriste u traktorima i teretnim vozilima. Za njih je bioplin pomiješan u plinovitu smjesu sa smjesom zraka. Ova mješavina prolazi kroz sustav ubrizgavanja u komoru za sagorijevanje gdje se zapaljuje pomoću pilot ubrizganog ulja za potpaljivanje. Obično se ubrizgava do 10 posto ulja za potpaljivanje. Plinski-dizel motor s pilot paljenjem rade s velikim pretičkom zraka.

U slučaju prekida dovoda bioplina motor bez ikakvih problema može raditi na čisto ulje za potpaljivanje ili dizelsko gorivo. Zamjena bioplina uljem ili dizelskim gorivom može biti nužna tijekom startanja bioplinskog postrojenja radi proizvodnje topline. Ulje za potpaljivanje može biti dizelsko gorivo ili loživo ulje, no na isti način se može koristiti i biodizel (metil-ester) ili biljno ulje. Biodizelsko gorivo je nešto pogodnije jer ne sadrži spojeve sumpora i oslobađa manje ugljikovog monoksida, a i biodizel je biorazgradiv u slučaju da se nađe u okolišu. Ukoliko se koriste biljna ulja (biodizel) treba uzeti u obzir brže trošenje filtera, mogućnost začepljivanja brizgaljki i niži viskozitet od fosilnih ulja. Drugi nedostatak biljnih ulja je oslobađanje veće količine dušikovih oksida u odnosu na fosilna ulja. U svakom slučaju neophodno je poštivati upute proizvođača motora o kvaliteti goriva.

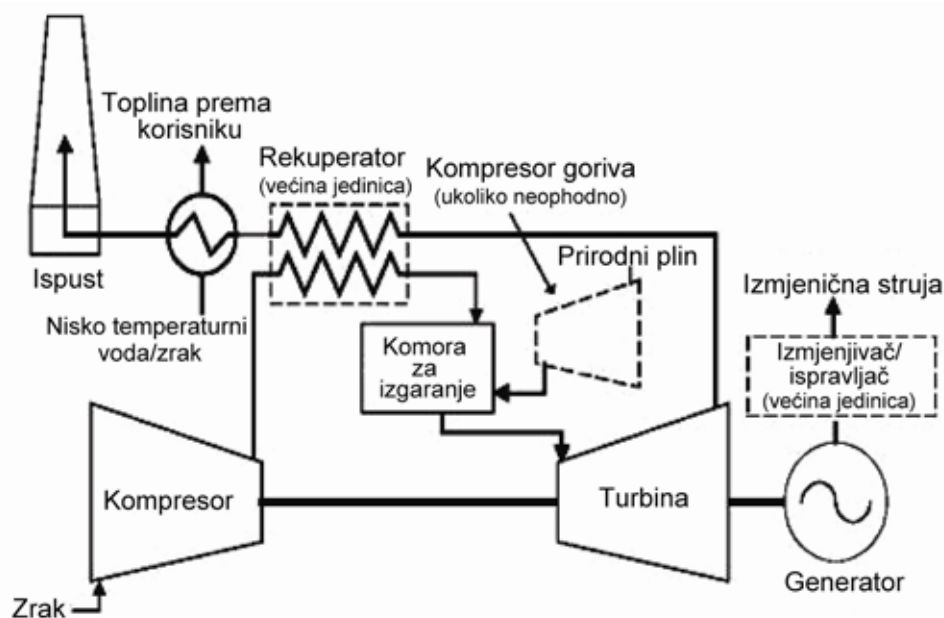
5.3.3. Stirlingov motor

Stirlingov motor radi bez unutarnjeg izgaranja, već na principu promjene temperature plina dovodi do promjene volumena. Klipovi motora pokreću se uslijed ekspanzije plina, koja je uzrokovana ubrizgavanjem topline iz vanjskog izvora. Neophodna toplina može biti osigurana iz različitih izvora, kao što je npr. plinski plamenik pogonjen bioplinom. Za korištenje bioplina kao pogonskog goriva u Stirlingovom motoru neophodne su određene tehničke prilagodbe motora. Budući da se radi o vanjskom izgaranju u njemu se može koristiti i bioplin s manjim sadržajem metana.

Električna učinkovitost ovog motora je između 24 i 28 posto, što je niže od učinkovitosti plinskih Otto motora. Kapacitet Stirlingovih motora je obično niži od 50 kW_{el}, a temperatura ispušnih plinova je između 250 i 300°C. Radi sporog trošenja dijelova motora, realno je za očekivati niske troškove održavanja. Stirlingov motor može se koristiti u BTE (termoelektranama blokovskog tipa).

5.4. Bioplinske mikroturbine

U bioplinskim mikroturbinama se zrak pomiješan s bioplinom utiskuje u komoru za izgaranje pod visokim tlakom. Mješavina zraka i bioplina izgara i radi porasta temperature dolazi do ekspanzije plinske mješavine. Vrući plinovi se propuštaju kroz turbinu, koja je povezana s električnim generatorom. Shema mikroturbine prikazana je na slici 5.4. Karakteristična snaga mikroturbine je ispod 200 kW_{el}. Danas su bioplinske mikroturbine preskupe da bi bile komercijalno kompetitivne, no očekuje se da će s napredovanjem tehnologije u budućnosti doći i do smanjenja troškova.

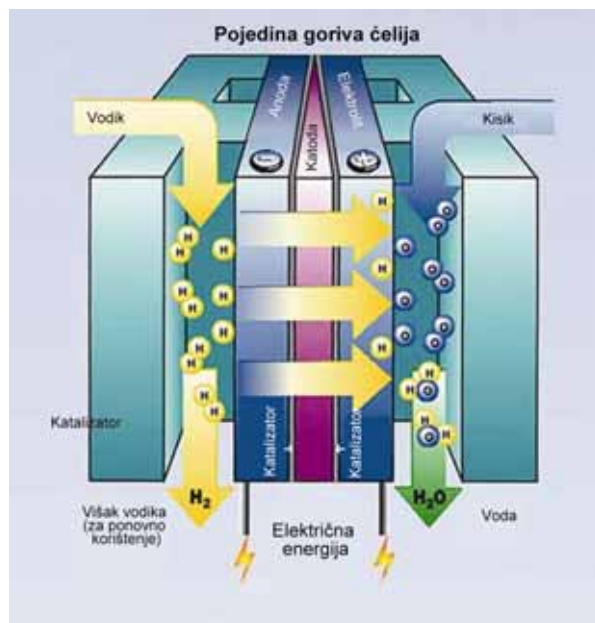


Slika 5.4. Plinska mikroturbina

Izvor: www.energycolutionscenter.org

5.5. Gorivne ćelije

Gorivne ćelije su elektrokemijski uređaji za neposrednu pretvorbu kemijske energije vodika i kisika u istosmjernu električnu energiju. Osnovna fizička struktura („građevni blokovi“) gorivnih ćelija sastoji se od sloja elektrolita koji je u kontaktu s poroznom anodom i katodom sa svake strane. Shematski prikaz gorivne ćelije prikazan je na slici 5.5. U karakterističnoj gorivoj ćeliji, plinsko gorivo (bioplin) se kontinuirano dodaje u anodni dio (negativna elektroda), a oksidant (tj. kisik iz zraka) se kontinuirano dodaje u katodni dio (pozitivna elektroda). Na elektrodama dolazi do elektrokemijske reakcije, pri čemu se stvara električna energija.



Slika 5.5. Pojednostavljeni Shematski prikaz gorivne ćelije

Izvor: Emerging Environmental Issues, 2005.

Različiti tipovi gorivnih ćelija zovu se prema tipu korištenog elektrolita, a postoje nisko (AFC, PEM), srednje (PAFC) i visoko temperaturne gorive ćelije (MCFC, SOFC). Izbor tipa gorivnih ćelija ovisi o plinu koji se koristi i iskorištavanju topline.

Gorivne **ćelije s polimerno-elektrolitnom-membranom (PEM)** mogu koristiti bioplin. Temperatura rada je 80°C i direktno se prenosi u sustav vruće/tople vode. Elektrolit koji se koristi utječe na učinkovitost PEM ćelija, koje su jako osjetljive na nečistoće u plinovitom gorivu, kao i na sadržaj ugljikovog dioksida. Zbog toga je pročišćavanje plina jako važno.

Najrazvijenije gorivne ćelije su **ćelije s fosfornom kiselinom (PAFC)** koje se koriste s prirodnim plinom. U usporedbi s drugim tipovima, ovaj tip gorivnih ćelija ima nisku električnu učinkovitost, manje su osjetljive na prisutnost ugljikovog dioksida i ugljikovog monoksida u plinu.

U gorivnim **ćelijama s otopljenim karbonatom (MCFC)** elektrolit je tekući ugljik. Ove ćelije nisu osjetljive na prisutnost ugljikovog monoksida, a volumna koncentracija ugljikovog dioksida može biti bez utjecaja na rad ćelije i do 40 posto. Radi radne temperature od 600 – 700°C, konverzija metana u vodik (reformacija) može se događati unutar ćelije. Otpadna toplina može se koristiti na niže postavljenoj turbini za proizvodnju električne energije.

Drugi tip visokotemperaturne gorivne ćelije je **SOFC (Solid Oxide Fuel Cell – gorivne ćelije na kruti kisik)**, koje rade na temperaturama između 750 i 1 000°C. SOFC gorivne ćelije imaju visoku električnu učinkovitost, a reformacija metana u vodik događa se unutar ćelija. Upotreba bioplina u ovim ćelijama je moguća jer ćelije nisu osjetljive na prisutnost sumpora.



Slika 5.6. Prva MCFC gorivna ćelija u svijetu, radi u Njemačkoj

Izvor: Rutz, 2007.

Investicijski troškovi svih bioplinskih ćelija su vrlo visoki i iznose oko 12 000 €/kW, što je mnogo više nego troškovi za BTE. Budući da je ova tehnologija još u razvoju i troškovi su vrlo visoki, gorivne ćelije još uvijek nisu dostupne na tržištu.

5.6. Proizvodnja biometana (dorada/pročišćavanje bioplina)

Kada se bioplin plasira u sustav distribucijske plinske mreže ili kada se koristi kao pogonsko gorivo za vozila, potrebno ga je dodatno obraditi i prilagoditi. Prilagodba bioplina podrazumijeva uklanjanje iz njega ugljikovog dioksida i sumpora. Koncentracija metana u bioplinu uobičajeno iznosi između 50-75 posto. Da bi bioplin bio pogodan za plasman u distribucijski sustav plina koncentracija metana mora biti najmanje 95 posto. Ovaj postupak naziva se dorada (pročišćavanje) bioplina u biometan.

Postoji nekoliko tehnologija koje se koriste za izdvajanje nečistoća iz bioplina i povećavanje udjela metana u bioplinu.

Uklanjanje ugljikovog dioksida mora se provesti do razine Wobbeovog indeksa plina. Uklanjanjem ugljikovog dioksida uklanja se i manji dio metana. Budući da je staklenički potencijal metana 25 puta veći od potencijala ugljikovog dioksida, iz ekoloških i ekonomskih razloga je važno smanjiti maksimalno gubitke metana. Za uklanjanje ugljikovog dioksida koristi se nekoliko različitih metoda od kojih su najčešće apsorpcijski proces (otapanje u vodi i otapanje pomoću organskih otapala) i adsorpcijski proces (adsorpcija pod tlakom – PSA *pressure swing adsorption*). Ostale metode, koje nisu tako uobičajene su metoda separacije kroz membranu te kriogena separacija.



Slika 5.7. PSA nadogradnja metana (lijevo) i spoj sa mrežom prirodnog plina (desno) biometanskog postrojenja u Plieningu, Njemačka

Izvor: Rutz, 2007.

Ukupni trošak dorade bioplina sastoji se od troškova ulaganja te troškova rada i održavanja postrojenja. Troškovi ulaganja u postrojenje za doradu bioplina u transportno gorivo ovisi o nekoliko čimbenika, pri čemu je najvažniji veličina postrojenja. Investicijski troškovi rastu s povećanjem kapaciteta postrojenja, no troškovi po jedinici kapaciteta su manji za velika postrojenja u odnosu na mala postrojenja. Postupak dorade bioplina u transportno gorivo vrlo je složen i skup postupak, a najkompleksniji njegov dio je kompletno uklanjanje ugljikovog dioksida.

5.6.1. Bioplin kao transportno gorivo

Korištenje biometana u transportnom sektoru ima veliki potencijal i potencijalno značajne socio-ekonomske koristi. Biometan se kao pogonsko gorivo već koristi u Švedskoj, Njemačkoj i Švicarskoj.

Broj privatnih vozila, vozila u javnom prometu i kamiona koji koriste plinsko gorivo je u značajnom porastu. Biometan se u vozilima može koristiti na isti način kao i prirodni plin. Sve je veći broj europskih gradova koji zamjenjuju gradske autobuse na dizelsko gorivo s onima koji koriste biometan.

Velik broj osobnih automobila pogonjenih plinom su zapravo prerađena vozila, koja su opremljena spremnikom za stlačeni plin u prtljažniku i sustavom za dovod plina, kao dopunom sustavu za fosilna goriva.

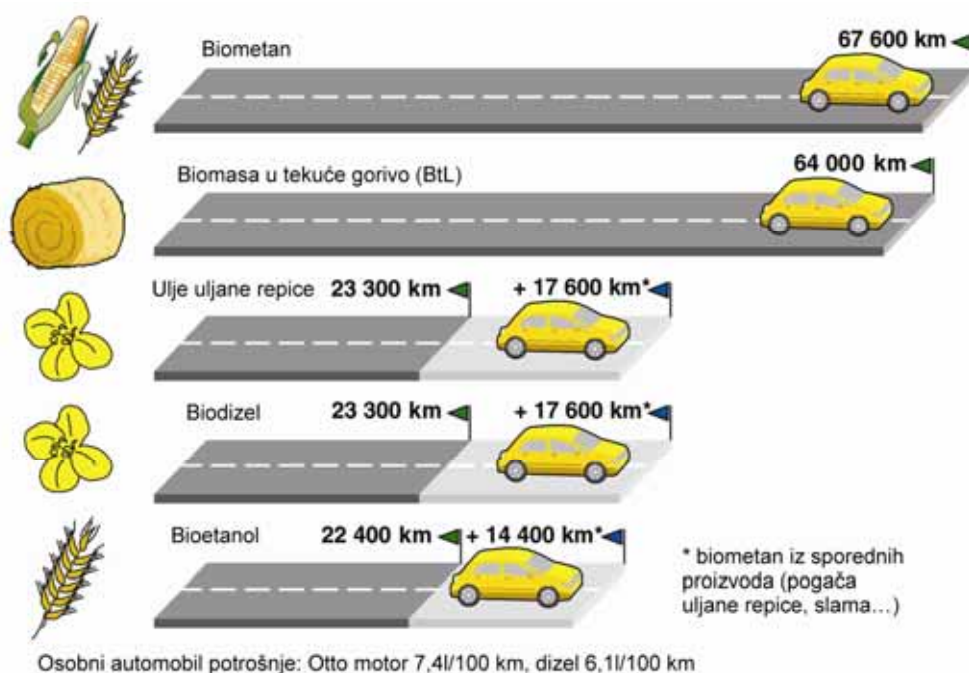
Vozila na plin su optimizirana za učinkovitiju potrošnju goriva i prikladniji smještaj plinskih cilindara kako se ne bi izgubio prostor prtljažnika. Spremnici za gorivo izrađeni su od željeza, ili kompozitnih aluminijskih materijala, a komprimirani metan u njima se nalazi pod tlakom od 200 do 250 bara. Danas na svjetskom tržištu postoji više od 50 proizvođača koji nude više od 250 modela malih, srednjih i velikih vozila pogonjenih plinom.

Kamioni i teški radni strojevi mogu biti prilagođeni samo na plinski pogon, a u nekim slučajevima mogu se koristiti motori na „dvojno gorivo“, tzv. dualni motori. Dualni motori koriste dizelski sustav ubrizgavanja plina, pri čemu se zapaljenje plina postiže ubrizgavanjem male količine dizelskog ulja, tzv. pilot spreja. Ovakva vrsta motora zahtjeva manje promjena, nego što je slučaj kod konverzije na čisti plin, a pri vožnji

zadržava karakteristike dizelskog motora. No, emisija onečišćujućih tvari u zrak iz dualnih motora nije tako povoljna kao kod plinskih motora, a po tehnološkim karakteristikama oni predstavljaju kompromis između Otto i dizelskog motora.

Vozila pogonjena biometanom imaju značajne prednosti u usporedbi s ekvivalentnim vozilima na benzinsko ili dizelsko gorivo. Ukupna emisija ugljikovog dioksida je značajno manja, što ovisi i o sirovini za proizvodnju i načinu proizvodnje električne energije (iz fosilnih goriva ili obnovljivih izvora) koja se koriste za nadogradnju i kompresiju plina. Emisija čestica i čađe je također značajno smanjena, čak i u usporedbi s vrlo naprednim dizelskim motorima opremljenim filtrima za čestice. Emisija dušikovih oksida (NO_x) i nemetanskih ugljikohidrata (NMHC) je, također, značajno manja nego u slučaju motora pogonjenih fosilnim gorivima.

U usporedbi s drugim biogorivima smatra se da doradeni bioplin (biometan) ima najveći potencijal kao buduće prihvatljivo gorivo za vozila, koje je najpovoljnije za okoliš. Na slici 5.8. prikazana je usporedba transportnih biogoriva po mogućoj pređenoj udaljenosti prilikom potrošnje biogoriva proizvedenog na jednom hektaru obradivog zemljišta. Potencijal biometana je veći ukoliko se kao sirovina koristi organski otpad umjesto energetskih usjeva.



Slika 5.8. Usporedni prikaz duljine kretanja u km osobnog automobila koji za pogonsko gorivo koristi različite vrste biogoriva proizvedenog na 1 hektaru obradivog zemljišta

Izvor: FNR, 2008.

5.6.2. Biometan za injektiranje u plinsku distribucijsku mrežu

Doradeni bioplin nakon što je komprimiran na razinu tlaka plinske mreže može se plasirati i distribuirati sustavom plinske mreže. Zakonski propisi većine zemalja EU garantiraju proizvođačima bioplina plasman biometana u plinsku mrežu.

Postoji nekoliko prednosti korištenja plinske mreže za distribuciju biometana. Jedna od njih je činjenica da plinska mreža povezuje mjesto proizvodnje biometana, koje je obično locirano u ruralnom području, s područjem gušće naseljenosti. Na ovaj način je omogućen pristup novim potrošačima, a ostvaruje se i mogućnost povećanja proizvodnje bioplina u udaljenim područjima, koja neće biti opterećena brigom o plasmanu i iskorištavanju otpadne toplinske energije. Injektiranje bioplina u plinsku mrežu znači da bioplinsko postrojenje treba samo malu kogeneracijsku jedinicu za energiju procesa ili gorionik na bioplin.

Švedska, Švicarska, Njemačka i Francuska imaju razvijene standarde (sustav certificiranja) za plasiranje biometana u plinsku mrežu. Standardi propisuju granične vrijednosti pojedinih spojeva u biometanu, kao što je sumpor, kisik, čestice i točka rosišta, kako bi se spriječila kontaminacija plinske mreže nečistoćama i eventualni problemi prilikom korištenja. Kako bi se izbjegao utjecaj na mjerenje potrošnje i korištenje plina uveden je Wobbe indeks. U najvećem broju slučajeva standarde je lako zadovoljiti postojećim procesima dorade bioplina, ali u nekim slučajevima deponijski plin nije moguće dograditi na zadovoljavajuću kvalitetu radi visokog sadržaja dušika.

Postrojenja za proizvodnju bioplina koji se plasira u mrežu postoje u Švedskoj, Austriji, Nizozemskoj, Švicarskoj i Francuskoj. Glavno ograničenje prilikom plasmana biometana u mrežu su visoki troškovi dorade bioplina i povezivanje na mrežu. Plasiranje u plinsku mrežu ograničeno je na lokacije postrojenja koja proizvode biometan zadovoljavajuće kvalitete i na postrojenja za doradu, koja moraju biti smještena u blizini plinske mreže.

5.6.3. Ugljikov dioksid i metan kao kemijski proizvodi

Proizvodnja čistog metana i CO₂ iz bioplina je alternativa proizvodnji ovih spojeva iz fosilnih izvora. Ugljikov dioksid i metan važne su tvari koje se koriste u kemijskoj industriji. Čisti CO₂ se koristi u proizvodnji polikarbonata, suhog leda ili za površinsku obradu (pjeskarenje s ugljikovim dioksidom). CO₂ iz bioplina je moguće koristiti i u poljoprivredi npr. kao gnojivo u stakleničkoj proizvodnji s time da se mora voditi računa o emisijama sumpora.

6. Korištenje digestata

Proizvodnja bioplina iz poljoprivrednih sirovina je integralni dio holističke poljoprivredne proizvodnje, koja osim ekonomskih troškova i koristi uzima u obzir i socio-ekonomske i aspekte okoliša. Koristi od proizvodnje bioplina se reflektiraju na poljoprivredu, gospodarstvo i zaštitu okoliša. Pioniri trećeg vala bioplinske tehnologije u Europi, nakon naftne krize, bili su ekološki poljoprivrednici koji su u procesu AD prepoznali mogućnost poboljšanja kvalitete stajskog gnoja kojeg su koristili.

6.1. AD – tehnologija za upravljanje krutim i tekućim stajskim gnojem

Intenzivna stočarska proizvodnja dovela je do situacije gdje gospodarstva za uzgoj životinja nemaju dovoljno površine za proizvodnju potrebne stočne hrane, a istovremeno nemaju ni dovoljno površine za primjenu proizvedenog gnoja i gnojovke. Takve situacije

su uzrokovale višak hranjivih tvari iz stajskog gnoja i stroge mjere upravljanja krutim i tekućim stajskim gnojem kako bi se izbjegle ozbiljne posljedice poput:

- zagađenja površinskih i podzemnih voda, radi procjeđivanja hranjivih tvari
- oštećivanja strukture i mikrobiologije tla
- oštećivanja specifičnih populacija vegetacije pašnjaka i formiranja tipične „vegetacije gnojovke“
- rizika od porasta emisija metana i amonijaka
- pojave neugodnih mirisa i insekata, od skladištenja gnoja do njegove primjene
- rizika kontaminacije i širenja patogena

AD, kao održiva tehnologija za tretiranje i upravljanje krutim i tekućim stajskim gnojem, nudi rješenja gore navedenih problema povezanih s uzgojem domaćih životinja te omogućuje holističku poljoprivrednu praksu povoljnu po okoliš.

6.2. Od gnojovke do digestata i gnojiva

6.2.1. Biološka razgradnja organske tvari

Tretiranjem krutog i tekućeg stajskog gnoja u bioplinskim postrojenjima dolazi do biološke razgradnje organskih sastojaka na anorganske tvari i metan. U praksi, bioplinska postrojenja koja procesiraju kruti i tekući stajski gnoj imaju stopu razgradnje od oko 40 posto za stajski gnoj goveda i oko 65 posto za svinjsku gnojovku. Stopa razgradnje je usko povezana s vrstom sirovine (tablica 6.1), VHR i temperaturom procesa. Zbog razgradnje organske tvari, digestat je lakše pumpati i primijeniti na tlo kao gnojivo nego nedigestiranu gnojovku, uz manje potrebe za miješanjem.

Table 6.1 Distribucija hranjivih tvari u digestatu u usporedbi s govedom i svinjskom gnojovkom

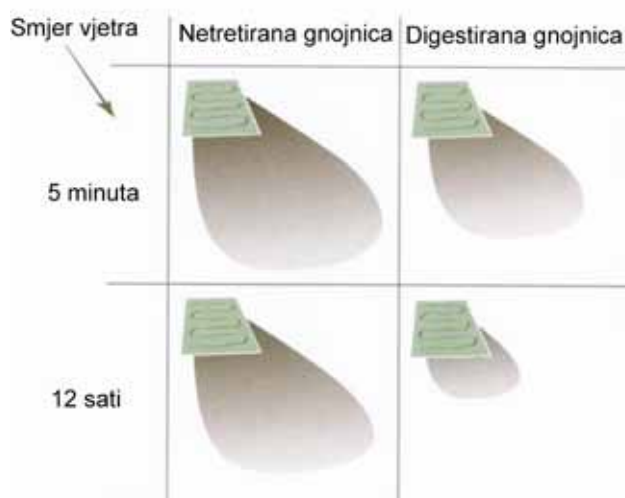
	Suha tvar %	Ukupni N kg/t	NH ⁴ -N kg/t	P kg/t	K kg/t	pH
Goveda gnojovka	6,0	5,0	2,8	0,8	3,5	6,5
Svinjska gnojovka	4,0	5,0	3,8	1,0	2,0	7,0
Digestirana gnojovka	2,8	5,0	4,0	0,9	2,8	7,5

6.2.2. Smanjenje neugodnih mirisa

Jedna od uočljivih pozitivnih promjena koja nastaje tijekom procesa AD stajskog gnoja je značajno smanjenje tvari koje stvaraju neugodne mirise (hlapljive kiseline, fenoli i njegovi derivati).

Iskustvo pokazuje da se čak do 80 posto neugodnih mirisa može smanjiti putem AD. To se ne odnosi samo na smanjenje intenziteta i zadržavanja neugodnih mirisa (slika 6.1.) nego i na pozitivnu promjenu sastava mirisa budući da digestat nema više neugodan miris gnojovke nego miris sličan amonijaku. Čak i ako se skladišti na duže vrijeme, digestat ne

pokazuje povećanje u emisiji mirisa. Na slici 6.1. prikazano je kako neugodni miris gotovo nestaje 12 sati nakon primjene digestata.



Slika 6.1. Područje na polju sa sjeverozapadnim vjetrovom zahvaćeno neugodnim mirisom te njegova ustrajnost nakon primjene digestata i netretirane gnojnice

Izvor: Birkmose, 2002.

6.2.3. Sanitacija

AD proces onesposobljava viruse, bakterije i parazite u tretiranom supstratu. Taj se učinak obično naziva sanitacija. Učinkovitost sanitacije AD ovisi o vremenu retencije sirovine unutar fermentatora, temperaturi procesa, tehnici miješanja i tipu fermentatora. Najbolja sanitacija se postiže pri termofilnoj temperaturi (50-55°C) s produženim reaktorom za čepoliko gibanje (engl. *elongated plug-flow reactor*) uz prikladno vrijeme retencije. Kod ovog tipa fermentatora dolazi do miješanja digestata sa svježim supstratom što omogućava uništenje i do 99 posto patogena.

Kako bi se osigurala veterinarska sigurnost recikliranja digestata kao gnojiva, europsko zakonodavstvo zahtjeva određenu sanitaciju ukoliko je supstrat životinjskog porijekla. Ovisno o vrsti sirovine, propisuje se prethodna sanitacija supstrata ili pasterizacijom ili sterilizacijom pod tlakom prije njegovog odlaganja u fermentator. Za više detalja o sanitaciji pogledajte poglavlje 7.2.

6.2.4. Uništavanje sjemenja korova

AD procesom se postiže značajno smanjenje kapaciteta klijavosti sjemenja korova. Posljedično, proizvodnja bioplina doprinosi smanjenju korova na ekološki način. Kod većine korova klijavost se gubi unutar 10 do 16 dana VHR, iako su uočene razlike kod različitih tipova biljnog sjemenja. Kao i kod sanitacije, učinak AD je veći što je duže vrijeme retencije i viša temperatura.

6.2.5. Izbjegavanje pojave „oprženih“ biljaka

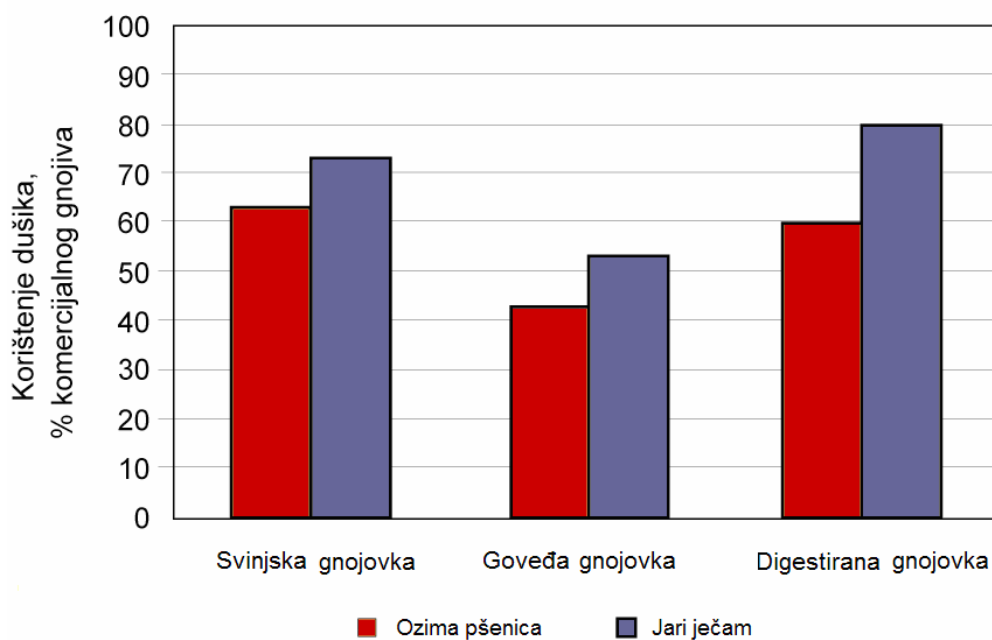
Primjena svježeg stajskog gnoja za gnojenje tla može izazvati „opekline“ na listovima biljaka koje su posljedica masnih kiselina niske gustoće poput octene kiseline. Primjenom

digestata takve se opeklinae mogu izbjeći jer je većina masnih kiselina razgrađena tijekom AD procesa. Digestat lakše sklizne s biljke od nedigestirane gnojovke, što smanjuje vrijeme direktnog kontakta između gnojovke/digestata i arealnih dijelova biljaka, a time i rizik oštećenja lista biljke.

6.2.6. Poboljšanje hranjivih sposobnosti

Tijekom procesa AD većina se organski vezanih hraniva, a naročito dušika, mineralizira te postaju lako dostupne biljkama. Na slici 6.2. prikazana je usporedba korištenja dušika iz digestirane i netretirane gnojovke na ozimu pšenicu i jari ječam. Zbog povećane dostupnosti dušika, digestat se u potpunosti može integrirati u plan gnojidbe poljoprivrednog gospodarstva, a njegovi se učinci mogu izračunati na isti način kao i kod kalkulacije za mineralna gnojiva.

Digestat ima niži C/N odnos od onog u svježem gnoju. Niži C/N odnos znači da je digestat bolji u kratkoročnom učinku dušikove gnojidbe. U slučaju kada je C/N odnos previsok, mikroorganizmi se zadržavaju u tlu jer se uspješno natječu za dušik s korijenjem biljaka.



Slika 6.2. Korištenje dušika iz digestata u usporedbi s netretiranom svinjskom i govedom gnojovkom

Izvor: Birkmose, 2002.

6.3. Primjena digestata kao gnojiva

Digestat je homogena masa s poboljšanim odnosom dušika i fosfora u odnosu na sirovu gnojovku. Ima deklarirani sastav hranjivih tvari za biljke koji omogućava precizno doziranje i integraciju u planove gnojidbe poljoprivrednog gospodarstva. Digestat sadrži više neorganskog dušika od netretirane gnojovke što ga čini pristupačnijim za biljke.

Ukoliko se digestat koristi kao gnojivo prema načelima dobre poljoprivredne prakse, iskoristivost dušika će značajno porasti, dok će gubici radi protjecanja i isparavanja biti

svedeni na minimum. Radi optimalnog korištenja digestata kao gnojiva u obzir se moraju uzeti osnovni aspekti gnojenja kao i kod netretirane gnojovke:

- dovoljan kapacitet skladišta (najmanje za 6 mjeseci)
- ograničena sezona primjene gnojiva (tijekom vegetacije)
- količina gnojiva po hektaru (prema planu gnojidbe)
- tehnika primjene gnojiva (neposredna primjena i minimalni gubitak hranjivih tvari)

Zbog bolje homogenosti i karakteristika protoka, digestat prodire u tlo brže od sirove gnojovke. Ipak, njegova primjena kao gnojiva uključuje rizik gubitka dušika kroz emisije amonijaka i ispiranja dušika. Kako bi se taj rizik sveo na najmanju moguću mjeru, potrebno je primijeniti nekoliko jednostavnih pravila dobre poljoprivredne prakse:

- treba izbjegavati previše miješanja digestata prije primjene
- dozvoljena je primjena jedino ohlađenog digestata iz spremišta nakon skladištenja
- primjena na polju mora biti pomoću cijevi ili crijeva na povlačenje radi što izravnijeg ubrizgavanja u tlo, disk ubrizgavača
- ukoliko se primjenjuje na površini tla, neophodno je neposredno umješavanje (zaoravanje) u tlo
- ovisno o usjevu, digestat bi se trebao primijeniti na početku sezone rasta ili tijekom rasta vegetacije. Iskustvo pokazuje da je u Europi najbolje vrijeme za njegovu primjenu tijekom ubrzanog vegetacijskog rasta
- primjena kod ozimih usjeva trebala bi početi s 1/3 ukupne potrebe za dušikom
- optimalni vremenski uvjeti za primjenu digestata su kišno vrijeme, visoka vlaga i vrijeme bez vjetrova. Suho, sunčano vrijeme i vrijeme s vjetrom značajno smanjuje iskoristivost dušika

Digestat se može koristiti kao dodatno ili vršno gnojivo usjeva tijekom pune vegetacije. Kod ove primjene nije nužno voditi brigu o gubicima dušika kao nitrata u podzemne vode budući da biljka direktno apsorbira glavni dio hraniva. Iskustva iz Danske pokazuju da se kod primjene digestata kao dodatnog gnojiva dio hraniva apsorbira čak i preko lista.

6.4. Učinci primjene digestata na tlo

Razgradnja organske tvari koja se zbiva tijekom procesa AD uključuje i razgradnju ugljikovih veza, organskih kiselina kao i tvari koje uzrokuju neugodne mirise te nagrizajuće tvari. Zato se primjenom digestata stvara prikladnije okruženje s manje stresa po organizme tla u usporedbi s primjenom sirove gnojovke. Direktna mjerenja BPK (biološka potrošnja kisika) digestirane goveđe i svinjske gnojovke pokazala su 10 puta manju potražnju za kisikom nego u slučaju nedigestirane gnojovke. To znači da tla hranjena digestatom ne ulaze u anaerobnu fazu, odnosno koriste manje kisika raspoloživog u tlu. Kako je korištenje kisika iz tla smanjeno, tako je smanjena i tendencija stvaranja dijelova tla bez kisika poput anaerobnih zona koje sadrže dušik (koji nije direktno iskoristiv biljkama). Sposobnost stvaranja novog tla i reprodukcija humusa kroz dostavljenu organsku tvar, također, je veća ukoliko se uspoređuje s gnojidbom netretiranom gnojivkom.

Vodič za dobru poljoprivrednu praksu u cilju svođenja isparavanja amonijaka na minimum tijekom skladištenja i primjene digestata

- Uvijek imati trajni pokrov ili dobro razvijenu koru na površini/plutajući sloj u spremnicima za skladištenje digestata.
- Digestat se uvijek treba pumpati s dna spremišta kako bi se izbjeglo nepotrebno miješanje, odnosno kako bi se digestat promiješao uoči same primjene.
- Stavite spremnik za skladištenje digestata na sjenovito mjesto zaštićeno od vjetra.
- Većina emisija se može izbjeći ukoliko se digestat direktno ubrizga u tlo.
- Kod primjene digestata bolje je odabrati tehnologiju crijeva za povlačenje nego raspršivača. Raspršivači (sprinkleri) povećavaju emisije amonijaka i raspršuju nepoželjne aerosole na šire područje.
- Primjena bi se trebala odvijati pri optimalnim vremenskim uvjetima (hladno, vlažno vrijeme bez vjetra).
- Postoji mogućnost dodavanja kiseline u digestat prije njegove primjene. Time se smanjuje pH vrijednost digestata, a posljedično i mogućnost isparavanja amonijaka.



Slika 6.3. Vozila za direktnu primjenu digestata kao gnojiva

Izvor: Agrinz, 2008.

U usporedbi s primjenom komposta i netretirane gnojovke, digestat opskrbljuje tlo velikom količinom ugljika. Tijekom AD dolazi do razgradnje organskih spojeva poput celuloze i masne kiseline. Lignin, koji je važan za stvaranje humusa, ostaje nerazgrađen. Metanogene bakterije proizvode čitav niz aminokiselina koje postaju dostupne biljkama i drugim organizmima koji žive u tlu. Njemačka istraživanja digestirane svinjske gnojovke pokazuju povećanje u indeksu učinkovitosti proizvodnje humusa s 0,82 na 1,04.

6.5. Praktična iskustva

Iako znanstvenici imaju različita mišljenja o učincima primjene digestata kao gnojiva, naročito u pogledu dušika, postojeće iskustvo i rezultati iz prakse su nedvosmisleni. Značajno je poboljšanje gnojivne kvalitete vlastitog gnoja i gnojovke za poljoprivrednike koji koriste digestat. Konvencionalni poljoprivrednici navode smanjeno

korištenje kemijskih raspršivača i manju potrebu za mineralnim gnojivom zbog upotrebe digestata.

Nakon primjene digestata, na polju se može uočiti divljač, a stoka je voljna pasti travu s livade nedugo nakon što je pognojena. Takva zapažanja upućuju na smanjeni gubitak ukusnosti vegetacije na tlu kod primjene digestata u usporedbi sa sirovim gnojem.

AD proces onemogućuje klijavost sjemenja većine korova iz životinjskog gnoja. Tako se prekida ciklus širenja korova i smanjuje njihova prisutnost na poljima. Mnogi poljoprivrednici koji koriste digestat za gnojidbu, i to kroz duže vrijeme, potvrđuju povećani udjel vrijednih travnatih vrsta na svojim poljima.

Ekološki poljoprivrednici koriste AD proces za tretiranje gnojiva i ostalog organskog otpada koji nastaje na njihovim poljoprivrednim gospodarstvima. Rezultat nije samo smanjenje gubitaka pri opskrbi biljaka s prikladnim hranjivima nego i povećana mikrobiološka aktivnost u tlu i zdrave biljke. Mnogi poljoprivrednici navode povećane prinose pri žetvi slame i sijena kao i bolju kvalitetu usjeva što povezuju s primjenom digestata kao gnojiva. Budući da je ekološka poljoprivreda usmjerena na korištenje što manje vanjskih sredstava (*inputa*), uključujući i energiju, AD proces odgovara tom načelu jer istovremeno opskrbljuje poljoprivredno imanje gnojivom visoke kvalitete i energijom (električnom i toplinskom) proizvedenom iz vlastitih resursa.

6.6. Kondicioniranje digestata

Digestat ima visok postotak vode, a posljedično i veliki volumen. Kondicionira se radi smanjenja volumena i koncentriranja hranjivih tvari. Kondicioniranje je naročito važno u područjima s intenzivnim stočarstvom gdje postoji višak hranjivih tvari iz stajskog gnojiva i nedovoljno zemljišta za njegovu primjenu. U ovakvim se situacijama višak hranjivih tvari mora transportirati u druga područja na ekonomičan i učinkovit način. Kondicioniranje digestata omogućuje smanjenje transportnih troškova te smanjenje emisije onečišćujućih tvari u zrak i neugodnih mirisa.

6.6.1. Strategije za kondicioniranje digestata

Digestat se može djelomično ili potpuno kondicionirati. Učinkovitost digestije bioplinskih postrojenja na poljoprivrednu biomasu je između 50 – 60 posto (Angelidaki, 2004.). Drugim riječima, digestat sadrži 40-50 posto organske suhe tvari s početka procesa i to uglavnom u obliku vlakana.

Djelomično kondicioniranje predstavlja odvajanje krute tvari (vlakana) iz digestata pomoću vijčanih separatora (eng. *screw type separators*) ili dekantora. U početku se ovakvo kondicioniranje odvajanjem vlakana radilo prvenstveno radi proizvodnje komercijalnog komposta. Kasnije su se radili iscrpni pokusi pri čemu se odvojena frakcija vlakana, s udjelom suhe tvari većom od 45 posto, koristila kao zamjensko gorivo u kotlovima na drvenu sječku. Time se ukupna energetska učinkovitost povećala za 15 posto kroz dodatnu proizvodnju topline (Angelidaki, 2004.). Usputnu korist predstavlja odvajanje i izvoz viška fosfora koji je uglavnom povezan na vlaknastu frakciju. Odvajanje fosfora danas može povoljno utjecati na izvodljivost sheme separacijskog sustava. Kako je fosfat vezan na krute čestice, fosfor se djelomično odstrani putem odvajanja vlakana. Iz tog je razloga djelomično kondicioniranje (odvajanje dekantora) prikladna tehnologija u okruženju s viškom fosfora (tablica 6.2 i slika 6.4). Frakcija vlakana s visokim udjelom fosfora može se izvesti dok se preostali tekući dio, u kojem je

sadržana većina dušika, može primijeniti kao gnojivo. Rezultati novijih istraživanja ukazuju da se odvojena frakcija vlakana može ponovo staviti u digestor nakon što se pomiješa s ostalim kosupstratima. Cilj ovog postupka je povećati udio suhe tvari u mješavini sirovina te povećati potencijal supstrata za proizvodnju metana.

Potpuno kondicioniranje odvaja digestat na tri rafinirana proizvoda: vodu, koncentrat hranjivih tvari i organska vlakna. Sve su hranjive tvari (dušik, fosfor i kalij) i organske veze izdvojene iz glavnog toka u visoko koncentriranu formu koja se može izvesti s područja koje ima višak hranjivih tvari. Preostala pročišćena voda može se ispustiti u vodotoke ili se može koristiti kao procesna, odnosno tehnološka voda. Potpuno kondicioniranje obično se primjenjuje u poljoprivrednim područjima s viškom dušika.

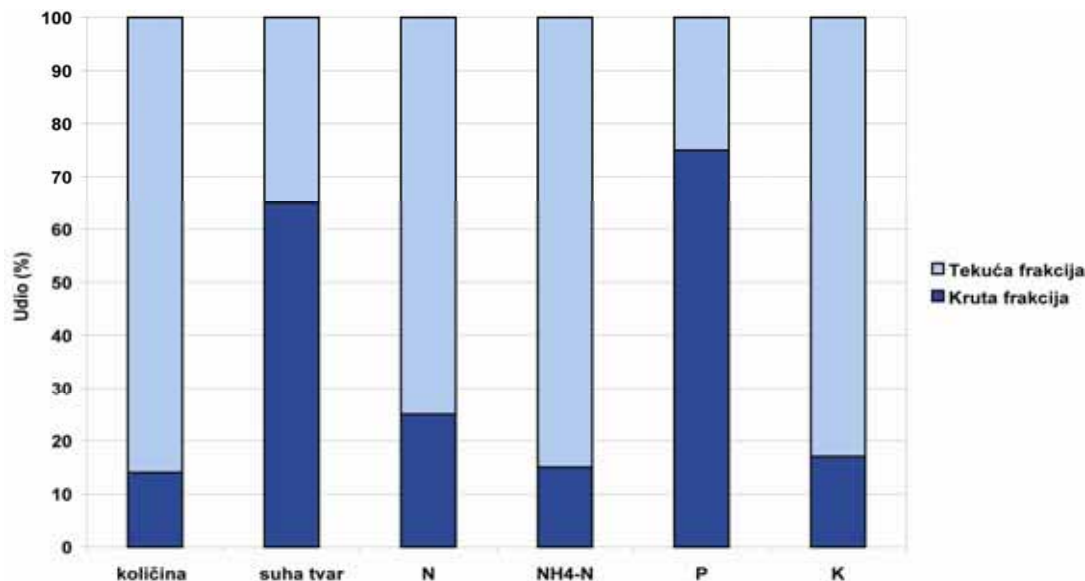
Hranjive tvari (dušik, kalij i fosfor) nalaze se u vrlo koncentriranom obliku. Preostala voda se koristi kao procesna voda u novom ciklusu anaerobne digestije. Potpuna kondenzacija radi se u područjima gdje biljke nije potrebno prihranjivati dušikom.

Tablica 6.2. Odvojene frakcije putem centrifuge u dekantoru

	Količina %	Suha tvar %	N %	NH ₄ -N %	P %	K %
Sirova gnojovka	100	100 (6,4%)	100 (5,7%)	100 (4,2%)	100 (1,6%)	100 (2,6%)
Kruta frakcija	14	65 (30%)	25 (10,1%)	15 (4,5%)	75 (8,7%)	17 (3,1%)
Tekuća frakcija	86	35 (2,6%)	75 (4,9%)	65 (4,2%)	25 (0,5%)	83 (2,5%)

Izvor: Al Seadi i Moeller, 2003.

Prvi korak je jednak i za djelomičnu i za potpunu separaciju, a sastoji se od odvajanja tekućeg dijela od vlakana čime se digestat dijeli na krutu frakciju obogaćenu fosforom s koncentriranim ugljikom i na tekuću frakciju bogatu dušikom. Ovisno o postavkama i vrsti, potpuno kondicioniranje dalje koncentrira ili odvaja NPK hraniva. Većina procesa uključuje tehnologiju odvajanja putem membrane, sorpcije ili uklanjanja amonijaka, evaporaciju ili biološki tretman.



Slika 6.4. Distribucija suhe tvari i hraniva u odvojenim frakcijama iz centrifuge dekantora

Izvor: Al Seadi i Moeller, 2003.

Razdvajanje tekuće i suhe frakcije

Razdvajanje vlakana od tekućeg dijela se vrši pomoću separatora ili spiralnih sita, dekantera i ostalih, manje zastupljenih, tehnologija. Preko spiralnog sita se odvoji 15-20 posto vlakana/krute tvari, a putem centrifuge dekantera više od 60 posto. Većina dušika (do 90%) se izdvoji u tekuću frakciju, dok se fosfor odvoji samo djelomično jer je većim dijelom vezan na frakciju vlakana/čestica krute tvari.

Za procese potpunog kondicioniranja (uključujući izdvajanje vode) se koriste dvije osnovne tehnologije: tehnologija odvajanja membranom i tehnika isparivanja ili evaporacije. Obje tehnologije su vrlo složene i imaju značajnu potrošnju energije. Zato se smatra da su ove tehnologije ekonomski isplative tek kod bioplinskih postrojenja s instaliranom snagom većom od 700 kW.



Slika 6.5. Vagon za prikupljanje vlakana s vijčanom distribucijom

Izvor: Angelidaki, 2004.

Tehnologija odvajanja membranom

Membrana je filter s vrlo sitnim porama koje na molekularnoj razini mogu odvojiti čestice i otopljene tvari iz većine tekućina. Odluka treba li koristiti mikro-, ultra-, nano-filtriranje ili reverzibilnu osmozu ovisi o veličini materije koja se želi odvojiti. Odvajanje suhe tvari ovisi o razlici u tlakovima između dvije strane membrane, primjerice vode i čestica koje prelaze membranu pod pritiskom. Često su koraci kondicioniranja povezani u slijed od nekoliko serija kako bi se postigla željena separacija. Na primjer, velike čestice se uklone iz filtera dekantora u prvom koraku ultra-filtracije, a zatim se otopljene tvari odvoje reverzibilnom osmozom.

Osim pročišćene vode, membrana proizvodi i koncentrat bogat hranivim tvarima koji se može prodati direktno kao tekuće gnojivo ili dodatno preraditi radi smanjenja volumena putem evaporacije.

Evaporacija

Evaporacijom ili isparavanjem se tekućina dalje rafinira i razdvaja u hranjive tvari i pročišćenu vodu. Jedinica za evaporaciju traži visoku potrošnju energije. Za evaporaciju se u većini slučajeva koristi otpadna toplina iz kogeneracije, pri čemu se povećava učinkovitost iskorištavanja energije i doprinosi financijskom dijelu operativnih troškova jedinice za kondicioniranje.

Za odabir tehnologije evaporacije ključne su karakteristike supstrata kojeg treba isparavati. Kod digestata je moguće koristiti evaporator sa zatvorenom cirkulacijom u kojem se odvojeno odvija prijenos topline i stvarni proces isparavanja. Takav pristup osigurava stabilniji proces, naročito, ako supstrat kojeg treba evaporirati ima tendenciju stvaranja slojeva.

6.6.2. Neophodna razmatranja

Tehnologije kondicioniranja, a naročito potpuno kondicioniranje, imaju veliku potražnju za energijom kako bi stvorile neophodni tlak kod tehnologije odvajanja membranom, odnosno toplinu kod procesa evaporiranja. Pri korištenju tehnologije membrane, za potpuno kondicioniranje je potrebno do 50 posto proizvedene električne energije iz bioplina. Djelomično kondicioniranje je energetski manje zahtjevno, jeftinije i, u regijama gdje postoji višak fosfora, predstavlja najekonomičniju tehnologiju kondicioniranja.

U svakom slučaju, tehnologija za kondicioniranje se bira prema kemijskim i fizičkim karakteristikama digestata i njegovoj tendenciji prema stvaranju slojeva. Ako se cilja na potpuno kondicioniranje, važno je da se većina suhe tvari digestata odvoji preko potpune separacije tekućine i vlakana nakon čega slijedi ultra-filtriranje (<0,2 mm), tako da preostala tekuća frakcija ima kvalitetu gotovo čiste vode. Troškovi energije, rada, održavanja i čišćenja sustava bit će značajno veći ukoliko se ne postigne željena razina čistoće odvojene frakcije ili ako odabrane membrane i procesi nisu prilagođeni digestatu koji se kondicionira.

6.7. Upravljanje kvalitetom digestata

6.7.1. Uzorkovanje, analiziranje i deklariranje digestata

Kako bi se digestat koristio u poljoprivredi i šumarstvu kao vrijedno prirodno gnojivo te kako bi se mogao integrirati u plan gnojidbe poljoprivrednog gospodarstva, važno je znati

njegov kemijski sastav i svojstva. Zato se moraju uzeti prosječni uzorci od svakog punjenja digestata radi određivanja sadržaja dušika, fosfora i kalija, suhe tvari, hlapljivih tvari i pH vrijednost. Ukoliko bioplinsko postrojenje u kodigestiji koristi organski otpad, osim navedenog je potrebno odrediti i prisutnost teških metala i otpornih organskih zagađivača u digestatu. Njihova koncentracija ne smije prijeći zakonski propisane granične vrijednosti. Da bi se digestat primijenio kao gnojivo i sredstvo za kondicioniranje tla bez rizika, on mora biti bez patogena, bolesti iz skupine spongiformnih encefalopatija (TSE) i fizičkih nečistoća.

6.7.2. Upravljanje hranjivim tvarima u digestatu

Jedna od briga kod recikliranja digestata je količina hranjivih tvari u tlu. Neprimjerenim rukovanjem, skladištenjem i primjenom digestata kao gnojiva može se dogoditi propuštanje nitrata ili predoziranje fosforom. Nitratna direktiva (91/676/EEC Nitrate) regulira dozvoljenu količinu nitrata u poljoprivrednom tlu radi zaštite okoliša podzemnih i nadzemnih voda od zagađenja nitratom. Direktiva dozvoljava primjenu maksimalno 170 kg dušika po hektaru godišnje. Količina hraniva na poljoprivrednom zemljištu regulirana je zakonom u većini europskih zemalja kako bi se izbjeglo zagađenje vodotoka zbog intenzivne stočarske proizvodnje. U tablici 6.3. navedeni su primjeri zaštite tla od zagađenja u nekim europskim zemljama.

Tablica 6.1. Primjer nacionalnih pravila za količinu hraniva na poljoprivrednom zemljištu

	Maksimalna količina hraniva	Nužno vrijeme skladištenje	Obavezna sezona primjene
Austrija	170 kg N/ha/godišnje	6 mjeseci	28.2.-25.10.
Danska	170 kg N/ha/god. (goveda) 140 kg N/ha/god. (svinje)	9 mjeseci	1.2.-žetva
Italija	170-500 kg N/ha/godišnje	90-180 dana	1.2. - 1.12.
Švedska	Na temelju uvjetnih grla	6-10 mjeseci	1.2. - 1.12.

Izvor: Nordberg, 1999.

Primjena digestata kao gnojiva mora biti temeljena na planu gnojidbe. Plan gnojidbe mora biti određen za svaku poljoprivrednu česticu prema: vrsti usjeva, planiranom prinosu i očekivanom postotku iskorištavanja hranjivih tvari iz digestata, vrsti tla (tekstura, struktura, kvaliteta, pH), postojećim rezervama makro- i mikro-nutrijenata, predusjevima, uvjetima navodnjavanja te ovisno o reljefu područja.

Iskustvo iz Danske pokazuje da, s ekonomskog gledišta, optimalna primjena ostatka digestije kao gnojiva znači zadovoljiti potrebe usjeva za fosforom i nadoknaditi potražnju za dušikom dodavanjem umjetnog gnojiva.

6.7.3. Osnovne mjere za sigurno recikliranje i kvalitetu digestata

Iskustvo sakupljeno iz različitih europskih zemalja navodi nekoliko aspekata koji se uvijek trebaju uzeti u obzir kako bi se osiguralo sigurno recikliranje digestata kao gnojiva:

- Konstantna kontrola AD procesa (temperatura, vrijeme retencije) kako bi se dobio stabilan konačni proizvod (digestat)

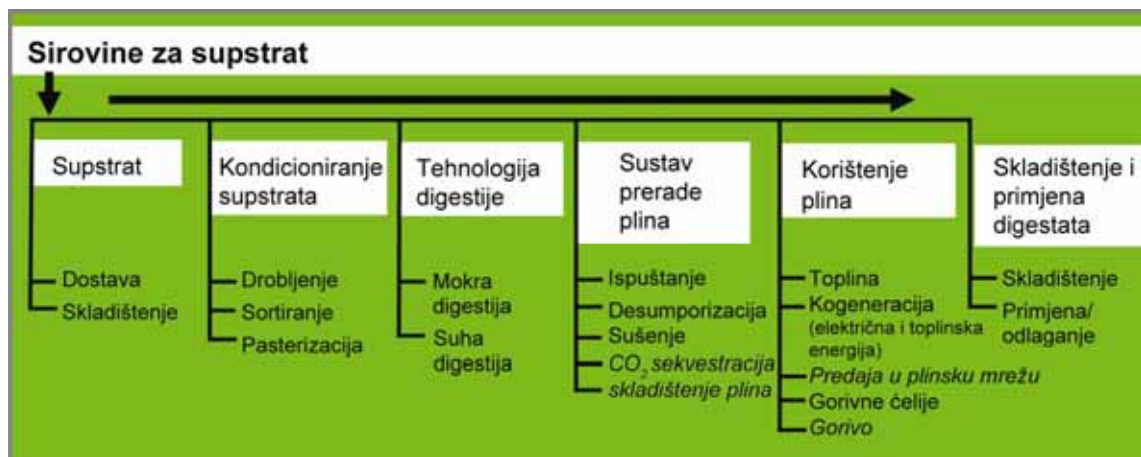
- Sanitacija digestata prema standardima EU propisa radi učinkovitog smanjenja patogena
- Periodično uzorkovanje, analiziranje i deklaracija digestata
- Uključivanje digestata u plan gnojidbe poljoprivrednog gospodarstva i primjena dobre poljoprivredne prakse
- Odabir/isključivanje iz AD neprikladnih vrsta sirovine ili punjenja na temelju potpune deklaracije i opisa svakog punjenja: porijeklo, sastav, sadržaj teških metala i otpornih organskih sastojaka, kontaminacija patogenima i ostale potencijalno opasne tvari

7. Dijelovi bioplinskog postrojenja

Bioplinsko postrojenje je složena instalacija koja se sastoji od širokog spektra glavnih elemenata. Izgled postrojenja jako ovisi o vrsti i količini sirovine koja će se koristiti za proizvodnju bioplina. Budući da sirovina prikladna za digestiju u bioplinskim postrojenjima dolazi u mnoštvu različitih oblika različitog porijekla, samim time postoje različite tehnike i tehnologije za preradu pojedinih vrsta sirovina i različite konstrukcije fermentatora i različiti sustavi radnog procesa, odnosno funkcioniranja sustava. Pored toga, ovisno o tipu, veličini i radnim uvjetima procesa pojedinog bioplinskog postrojenja moguće je implementirati i različite tehnologije za kondicioniranje, skladištenje i korištenje bioplina. Skladištenje i korištenje digestata prvenstveno je orijentirano na korištenje digestata kao gnojiva i neophodne su mjere zaštite okoliša koje se odnose na digestat.

Glavni koraci procesa bioplinskog postrojenja su prikazani na slici 7.1. Oni koraci procesa koji su napisani *kurzivom* ne predstavljaju uobičajenu praksu kod postrojenja za proizvodnju bioplina iz poljoprivredne sirovine.

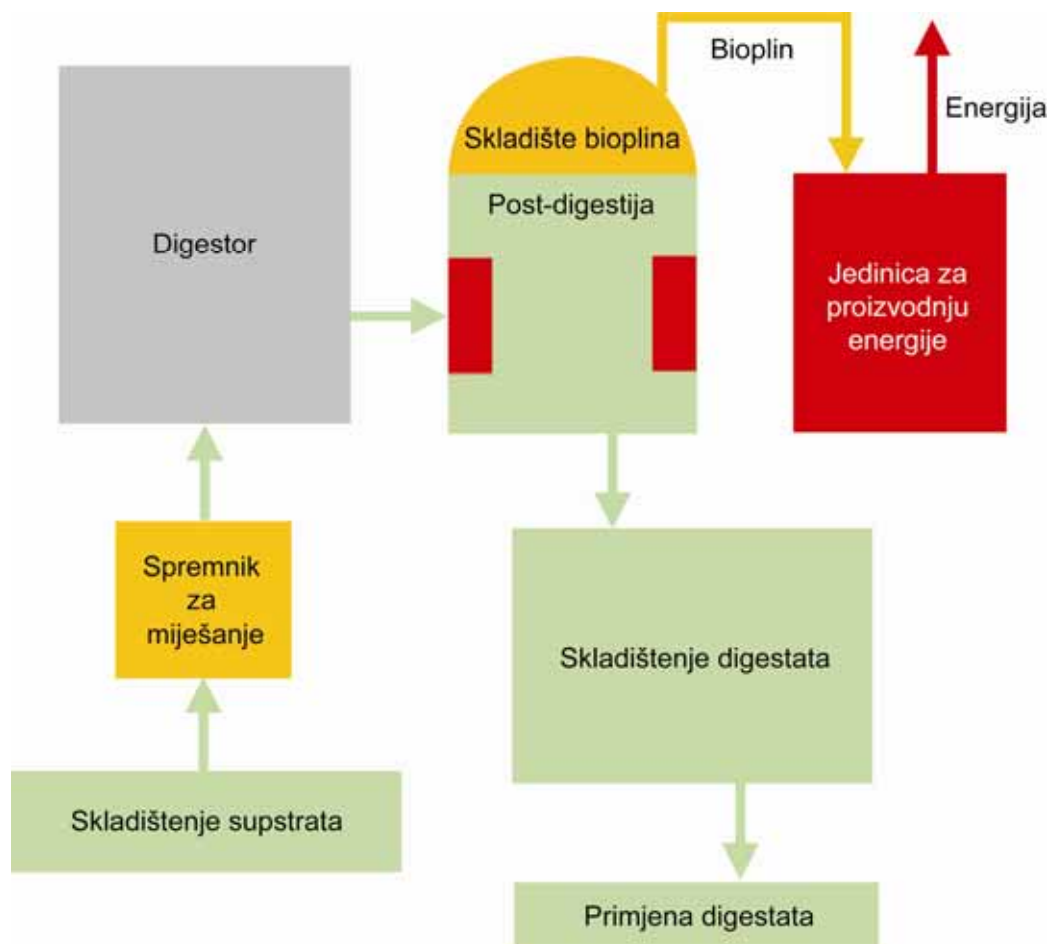
Razlikovanje AD procesa na mokri i suhi vrijedi samo u teoretskom smislu zbog činjenice da se mikrobiološki proces uvijek događa u fluidnom mediju. Granica između mokre i suhe digestije određuje se prema „pogodnosti za pumpanje“ sirovine. Sadržaj suhe tvari (s.t.) iznad 15 posto znači da materijal nije „pogodan za pumpanje“ i u tom se slučaju AD definira kao suha digestija. Direktno dodavanje relativno suhe sirovine (poput kukuruzne silaže) u digester povećava udio suhe tvari u mješavini sirovine.



Slika 7.1. Procesni koraci u tehnologiji proizvodnje bioplina

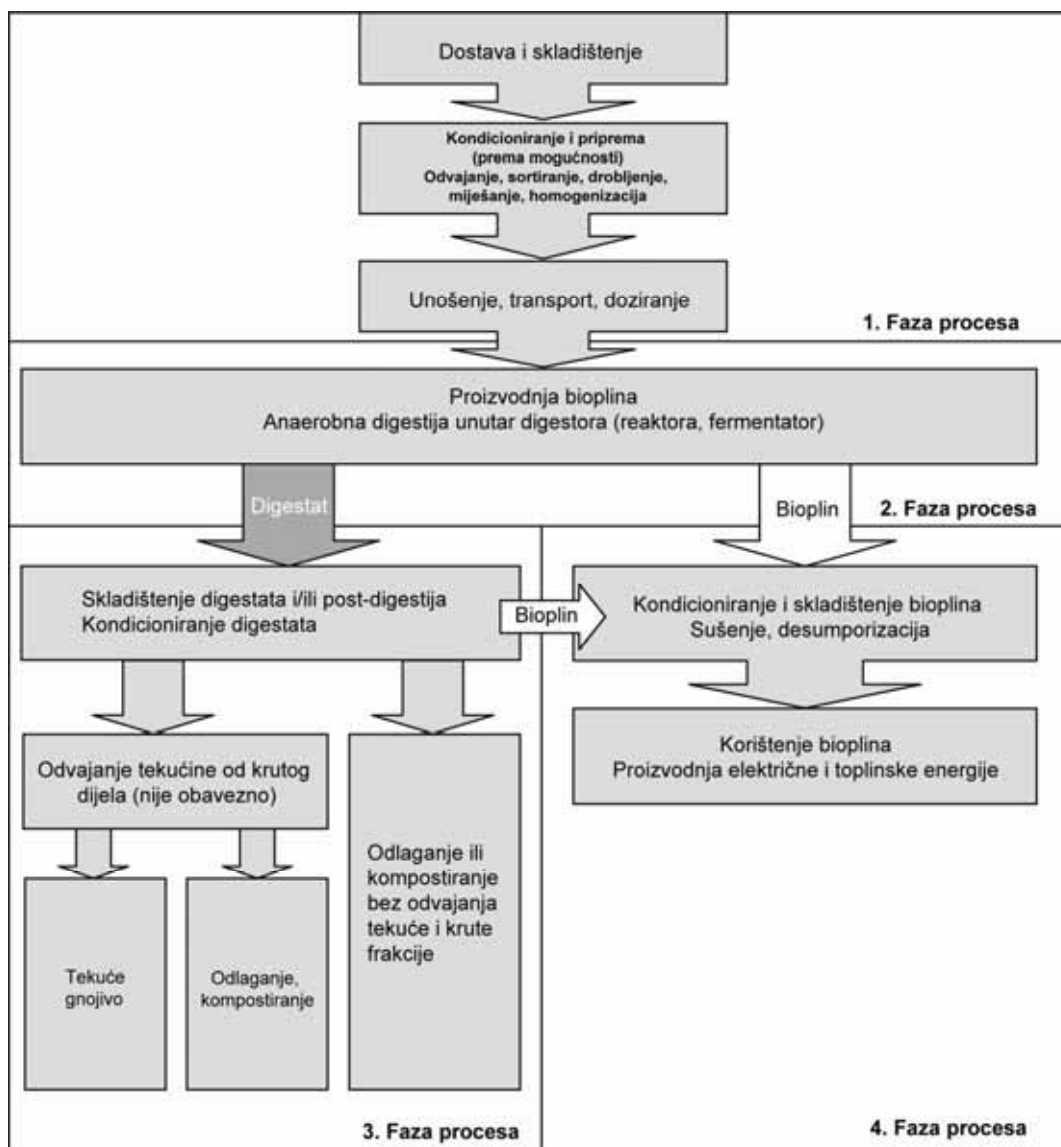
Izvor:LfU, 2007.

Osnovni dio bioplinskog postrojenja je digestor (spremište za reakciju AD) na kojeg se nastavljaju brojne druge komponente (slika 7.2.).



Slika 7.2. Glavni dijelovi postrojenja za proizvodnju bioplina.

Izvor: PraBl, 2008.



Slika 7.3. Procesne faze proizvodnje bioplina iz poljoprivredne biomase

Izvor: Jäkel, 2002.

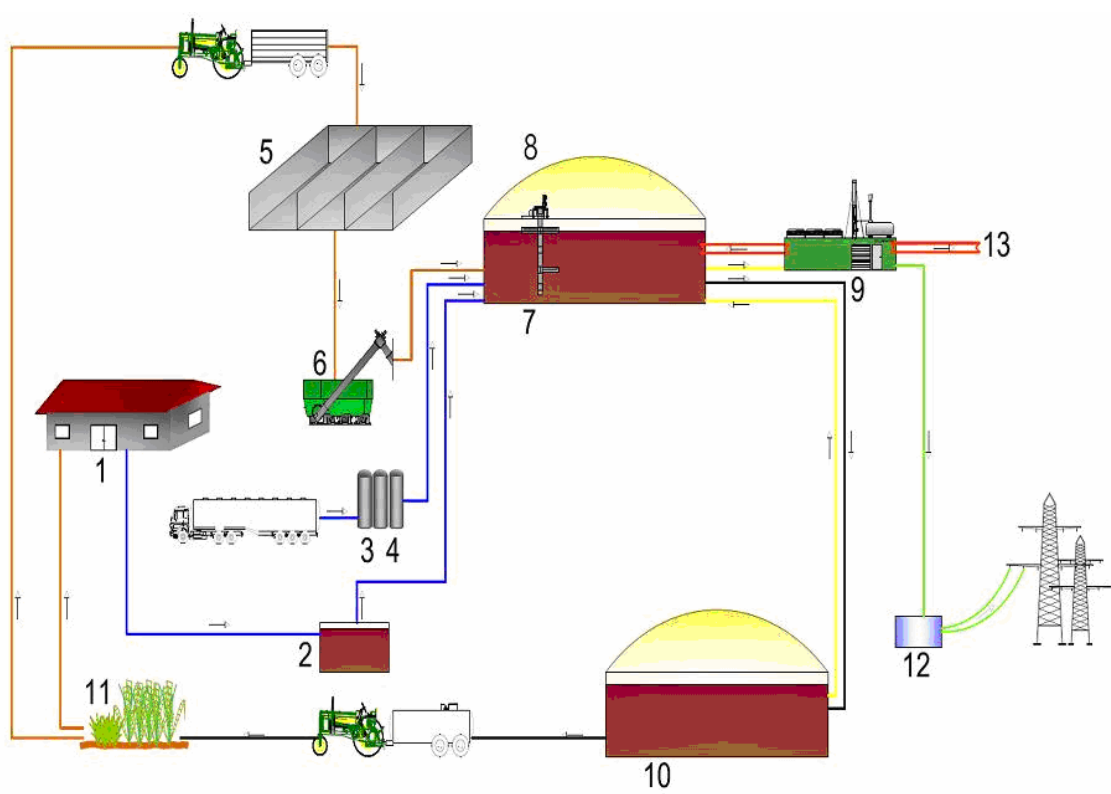
Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima obično se odvija u četiri faze:

1. Transport, isporuka, skladištenje i prethodna obrada sirovine
2. Proizvodnja bioplina (AD)
3. Skladištenje digestata, eventualno kondicioniranje i primjena
4. Skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje

Procesne faze su prikazane na slici 7.3, dok je na slici 7.4. dalje razrađen pojednostavljeni prikaz tipičnog postrojenja za kodigestiju na poljoprivrednom gospodarstvu.

1. Prva faza procesa (skladištenje, kondicioniranje, transport i punjenje sirovinom) uključuje spremnik za skladištenje stajskog gnoja (2), posude za sakupljanje organskog otpada (3), spremnik za sanitaciju (4), prostor za skladištenje uz pomoć vozila tzv. *drive-in* skladište (5), sustav za punjenje digestora krutom sirovinom (6)
2. Druga faza procesa uključuje proizvodnju bioplina u reaktoru za bioplin (fermentatoru ili digestoru) (7)
3. Treća faza procesa sadrži spremnik za skladištenje digestata (10) i primjenu digestata kao gnojiva na polju (11)
4. Četvrta se faza procesa (skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje) odvija u spremniku za skladištenje plina (8) i kogeneracijskoj jedinici (9)

Opisane četiri faze procesa su međusobno čvrsto povezane, a naročito je jaka veza između druge i četvrte faze jer faza četiri daje neophodnu toplinsku energiju za potrebe procesa u fazi dva.



- 1 objekti za uzgoj životinja
- 2 spremišta za tekući gnoj
- 3 kontejneri za sakupljanje biootpada (*kosupstrat*)
- 4 spremnik za sanitaciju
- 5 spremnici za silažu na otvorenom
- 6 sustav za unošenje krute sirovine
- 7 digestor (bioplinski reaktor)

- 8 spremnik za bioplin
- 9 kogeneracijska jedinica
- 10 skladište za digestat
- 11 poljoprivredne površine
- 12 transformacijska stanica/predaja električne energije u mrežu
- 13 korištenje toplinske energije

Slika 7.4. Bioplinsko postrojenje s kodigestijom kukuruzne silaže i stajskog gnoja na poljoprivrednom imanju

Izvor: Lorenz, 2008.

Izbor vrste i rasporeda elemenata bioplinskog postrojenja prvenstveno ovisi o dostupnoj sirovini. Količina sirovine određuje dimenzioniranje veličine fermentatora, kapacitet skladišta i kogeneracijskog postrojenja. Kvaliteta sirovine (udio suhe tvari, struktura, porijeklo...) određuje procesnu tehnologiju.

Ovisno o sastavu sirovine može doći do potrebe za odvajanjem problematičnog materijala iz mješavine, pretvaranja sirovine u smjesu, dodavanjem vode kako bi se mješavina pripremila za pumpanje. Ukoliko je nabavljena sirovina sklona kontaminaciji, neophodno je uključiti korak sanitacije u cjelokupnu strukturu budućeg postrojenja.

U slučaju mokre AD, obično se koriste jednofazna AD postrojenja s protočnim procesom. Kod dvofaznog procesa, ispred fermentatora se stavlja pred-fermentator. U pred-fermentatoru se stvaraju optimalni preduvjeti za prva dva procesna koraka AD procesa (hidroliza i stvaranje kiselina). Nakon pred-fermentatora, sirovina ulazi u glavni fermentator gdje se nastavljaju sljedeći koraci AD (acetogeneza i metanogeneza).

Digestirani supstrat (digestat) se ispušćava iz digestora u spremnike za skladištenje. Ti spremnici moraju biti prekriveni membranama koje ne propuštaju plin kako bi se proizvodnja i skupljanje bioplina nastavilo na sobnoj temperaturi (post-digestija). Druga je mogućnost skladištiti digestat u otvorene kontejnere s prirodnim ili umjetnim plutajućim slojem koji svodi emisije s površine na najmanju moguću mjeru. Standardni način korištenja digestata je u obliku tekućeg gnojiva za poljoprivredno zemljište.

Proizvedeni bioplin se skladišti, kondicionira i koristi za proizvodnju energije. Standardni način korištenja bioplina u procesu kogeneracije je, primjerice u termoelektranama blokovskog tipa (BTE), za istovremenu proizvodnju električne i toplinske energije.

7.1. Prihvatna jedinica

Transport sirovine i njezina dostava ima važnu ulogu u radom procesu bioplinskog postrojenja. Važno je osigurati stabilnu i kontinuiranu opskrbu sirovine odgovarajuće kvalitete i količine. Ukoliko je operator bioplinskog postrojenja ujedno i proizvođač sirovine, tada se lako može osigurati visokokvalitetna sirovina. Vrlo često, bioplinsko postrojenje nabavlja dodatni sirovinski materijal sa susjednih poljoprivrednih imanja, iz prehrambeno-prerađivačke industrije i organskog dijela kućnog otpada. U tim slučajevima je neophodno upravljanje kvalitetom sirovine kako bi se dostavljeni materijal provjerio, obračunao te da bi se potvrdilo da odgovara odgovarajućim parametrima. Kod prvog koraka je apsolutno neophodno napraviti vizualnu kontrolu pri svakoj dostavi sirovine. Dostavljena sirovina se važe i bilježe se svi podaci o njoj (dostavljač, datum, količina, vrsta sirovine, procesi porijekla i kvaliteta).

Posebna pozornost je potrebna kod vrste sirovine koja se klasificira kao otpad jer se kod njega moraju ispuniti zakonski i administrativni uvjeti te propisane obveze (ovisno o kategoriji otpada).

7.2. Skladištenje i kondicioniranje sirovine

7.2.1. Skladištenje sirovine

Sirovina se skladišti prvenstveno radi kompenzacije sezonskih fluktuacija u opskrbi sirovinom. Skladištenje može koristiti i za miješanje različitih sirovina (kosupstrata) radi kontinuirane primjene u digestoru.

Vrsta skladišnih kapaciteta ovisi o sirovini. Skladišta se uglavnom mogu klasificirati kao bunker silosi za čvrstu sirovinu (primjerice kukuruzna silaža) i spremnici ili posude za skladištenje (tankovi) za tekuću sirovinu (primjerice stajnjak). Bunker silosi obično imaju kapacitet za skladištenje sirovine na period duži od godine dana, a u spremnicima se tekuća sirovina skladišti na nekoliko dana. U nekim slučajevima se koriste vertikalni cilindrični silosi za skladištenje zrna ili stajnjaka. Dimenzioniranje kapaciteta za skladištenje temelji se na količinama namijenjenim za skladištenje, intervalima dostave te dnevnim količinama unosa u digestor.

Bunker silosi za energetske usjeve

Bunker silosi su originalno bili namijenjeni skladištenju silaže za potrebe stočarstva i tako se njihova sezonska dostupnost balansirala tijekom godine. Danas se taj koncept koristi sve više za skladištenje sirovine za proizvodnju bioplina ili energetskih usjeva.

Silaža se mora raditi iz biljnog materijala sa stabilnim udjelom vlage (55-70%, ovisno o načinu skladištenja, stupnju kompresije i udjela vode koji će se izgubiti tijekom skladištenja).

Silaža prolazi kroz proces fermentacije gdje fermentacijske bakterije koriste energiju za proizvodnju hlapljivih masnih kiselina (HMK) poput acetata, propionata, laktata i butirata koje konzerviraju silažu. Rezultat toga je da silaža ima manji sadržaj energije od originalnog biljnog materijala, budući da su fermentacijske bakterije koristile nešto ugljikohidrata za proizvodnju hlapivih masnih kiselina.

U zemljama poput Njemačke, silaža se skladišti u bunker silose od betona (slika 7.5.) ili u velike hrpe na zemlji (slika 7.6.). Silaža se izgazi traktorom kako bi se što čvršće sabila i time istisnuo sav zrak. Smanjivanje količine kisika na najmanju moguću mjeru sprječava aerobne procese. Zato se obično silaža i pokriva plastičnim folijama koje se moraju čvrsto pričvrstiti gumama ili vrećama pijeska. Drugi način je iskorištavanje prirodnih pokrivača poput sloja travnate silaže koja također može stegnuti silažu u bunker silosu (slika 7.6.). Na nekim se silosima sije pšenica, a neki uopće nisu pokriveni. To može smanjiti troškove, ali i povećati gubitak energije iz silaže.

Kod bunker silosa se uvijek u obzir mora uzeti činjenica da silaža tijekom procesa fermentacije ispušta tekućinu koja može zagaditi vodotok ukoliko se ne poduzmu mjere predostrožnosti. Visoki udio hranjivih tvari može dovesti do eutrofikacije (povećani rast algi – povećana primarna produkcija), a tekućina iz silaže sadrži nitratnu kiselinu (HNO_3) koja je korozivna.



Slika 7.5. Bunker silos



Slika 7.6. Kukuruzna silaža skladištena u velikoj hrpi na zemlji, pokrivena slojem travnate silaže

Izvor: Rutz, 2007.

Spremnici za skladištenje tekuće sirovine

Tekuća sirovina se može pumpati i obično je skladištena u čvrsto zatvorenim, nepropusnim i armiranobetonskim spremnicima u zemlji. Ova spremišta, slična onima koja se u poljoprivredi koriste za skladištenje tekućeg stajskog gnoja, imaju kapacitet dovoljan za skladištenje sirovine na jedan ili dva dana. Kako bi se spriječile emisije svi spremnici za skladištenje moraju biti pokriveni. Odabrani pokrivač mora osigurati lagano otvaranje i odstranjivanje nastalih sedimenata. Ukoliko je spremnik postavljen na višoj razini od digestora (brdovit reljef), hidraulički nagib eliminira potrebu za transportnom opremom (pumpama) i štedi energiju.

Kosupstrati (tekući i čvrsti) se mogu miješati s glavnim supstratima u spremištu za skladištenje. Tamo se pretvaraju u smjesu sitnjenjem, gnječenjem ili drobljenjem, homogeniziraju se i pretvaraju u mješavinu pogodnu za pumpanje. Mora se izbjeći začepeljivanje, sedimentacija, stvaranje plutajućih slojeva i odvajanje mješavine sirovina. Radi toga su spremnici za skladištenje opremljeni miješalicama u čestoj kombinaciji s alatima za usitnjavanje sirovine kidanjem ili rezanjem. Miješanje u spremnicima za skladištenje se obavlja prema istim tehnikama miješanja koje se koriste kod miješanja u digestoru.

Spremnici traže nešto manje održavanja, a ono uključuje odstranjivanje sedimentnih slojeva pijeska i kamenja koji smanjuju skladišni kapacitet spremnika. Sedimenti se mogu ukloniti pomoću strugalice za pod, kliznih vijaka, pumpama taložnog tanka, sabirnicama ili koničnim sabirnicama.

Sirovine industrijskog porijekla mogu zahtijevati mjere sanitacije i zato se njihovo rukovanje i skladištenje mora strogo odvojiti od prihvatne jedinice za poljoprivrednu sirovinu. Sve to kako bi se spriječilo miješanje kritične sirovine s nekritičnom prije nego što se ona obradi u opremi za sanitaciju.

Dostava, skladištenje i priprema sirovine trebala bi se odvijati u prostorijama s ventilacijom s biofilterima radi smanjenja neugodnih mirisa iz bioplinskog postrojenja. Pri tome oprema ostaje zaštićena, dok se radni procesi kontroliranja kvalitete supstrata mogu odvijati bez obzira na vremenske okolnosti.

7.2.2. Kondicioniranje

Kondicioniranje sirovine utječe na tijek i učinkovitost AD procesa. Sirovina se kondicionira radi ispunjenja preduvjeta sanitacije, ali i radi poboljšanja razgradivosti.

Kondicioniranje sirovine daje mogućnost optimizacije procesa, povećava stopu razgradnje i prinos bioplina. Postoji nekoliko mogućnosti za kondicioniranje sirovine i optimiziranje organskog punjena postrojenja poput mehaničkog usitnjavanja, procesa dezintegracije (primjenjuje se kod tretiranja otpadnih voda), hidrolize...

Sortiranje i razdvajanje

Ovisno o porijeklu i sastavu sirovine, pojaviti će se i potreba za sortiranjem sirovine te odvajanjem nepoželjnih sastojaka i problematičnog materijala. Silaža je jedna od najčišćih sirovina dok, primjerice, stajnjak i kućni otpad mogu sadržavati kamenje i druga fizička onečišćenja. Obično se takva onečišćenja odvajaju sedimentacijom u spremnicima za skladištenje (u slučaju pijeska čak i u digestoru). Sedimentirani talog se prema potrebi uklanja s dna spremišta. Prije upumpavanja sirovine u glavni spremnik može se koristiti i pred-spremnik s posebnim sitima koja će zadržati kamenje i druga fizička onečišćenja.

Kućni otpad i otpad iz ugostiteljstva (kod pripreme i konzumacije hrane) mogu sadržavati različite nečistoće poput ostataka i dijelova plastične, metalne, drvene ili staklene ambalaže ili omota od nekog drugog materijala koji nije podložan razgradnji, a koji može oštetiti pumpe, začepiti cijevi i fermentator (slika 7.7. desno). Ovakve se nečistoće mogu izdvojiti putem sustava odvojenog sakupljanja otpada (npr. kućnog otpada) ili se mogu izdvojiti iz hrpe sakupljenog otpada mehaničkom, magnetskom ili ručnom metodom.



Slika 7.7. Sustav za prihvat čišćenja krutog komunalnog otpada (lijevo) i “problematični materijal” izdvojen iz ugostiteljskog otpada (desno).

Izvor: Rutz, 2007.

Sanitacija

Postupanje s otpadom, njegovo tretiranje i recikliranje mora se obavljati na način da se ne šteti ljudima, životinjama i okolišu. Europsko i nacionalno zakonodavstvo regulira način tretiranja otpada prema riziku od epidemije i higijenskim uvjetima te propisuje odgovarajuće toplinske tretmane za rizičan materijal. Za više detalja pogledajte poglavlje 9.4.4.

U svakom slučaju, sanitacija sirovine mora se napraviti prije njezinog upumpavanja u fermentator kako bi se izbjegla kontaminacija cijelog punjenja digestora, a njezini troškovi držali na minimumu. Sanitacija se obično vrši zagrijavanjem u odvojenim spremnicima od nehrđajućeg čelika koji su povezani sa sustavom punjenja fermentatora. Uobičajeni parametri za njezino praćenje su temperatura, tlak, minimalno jamčeno vrijeme retencije i volumen. Temperatura materijala nakon sanitacije je viša od temperature AD procesa. Zato, prije nego što se stavi u digestor, materijal iz sanitacije prolazi kroz izmjenjivač topline, čime se dio topline prenese na hladnu biomasu koja se stavlja u digestor bez procesa sanitacije.

Usitnjavanje

Usitnjavanje sirovine priprema površinu čestica za proces biološke razgradnje i, nastavno, proizvodnju metana. Proces razgradnje je brži kada je veličina dijelova biomase manja. Ipak, veličina komadića utječe samo na vrijeme digestije i ne mora nužno povećati prinos metana. Usitnjavanje sirovine je obično izravno povezano sa sustavom punjenja. Oba sustava se mogu priključiti na električni motor ili vratilo traktora.

Miješanje i homogenizacija

Kako bi se supstrat mogao pumpom prebaciti u fermentator, sirovina se gnječi i miješa dok se ne dobije supstrat s relativno visokim udjelom vode. Miješanje se odvija u spremnicima za skladištenje ili pred-digestorima, a koristi se dostupna tekućina koja može biti tekući stajnjak, digestat, tehnološka voda ili čak voda iz vodotoka.

Prednost korištenja digestata u procesu miješanja je manja potrošnja čiste vode i cijepljenje supstrata s mikroorganizmima AD iz digestora. Ono može biti važno nakon sanitacije ili u čepolikom (kratkom) procesu. No, digestat u procesu miješanja može

povećati sadržaj hranjivih tvari i soli u supstratu te dovesti do nestabilnosti ili sputavanja procesa. Isto tako treba biti oprezan kod korištenja vode iz procesa čišćenja za proces miješanja jer takva voda, odnosno udio dezinfekcijskih sredstva za čišćenje, može imati negativan utjecaj na mikroorganizme. Upotrebu čiste vode valja izbjegavati radi njene cijene i mogućeg utjecaja na troškove.

Za stabilnost AD procesa je važna jednoličnost ili homogenost supstrata. Tekuća je sirovina homogenizirana miješanjem u spremniku za skladištenje, a kruta se sirovina homogenizira tijekom procesa punjenja. Na mikroorganizme AD nepovoljno utječu velike promjene u vrsti i sastavu korištene sirovine, budući da one zahtijevaju prilagodbu novim supstratima i promijenjenim uvjetima čime se ostvaruje manji prinos bioplina. Iskustvo pokazuje da je važno imati stabilnu i stalnu dobavu sirovine kroz duže razdoblje kako bi se postigao stabilan i „zdravi“ (uravnotežen) AD proces s visokim prinosom metana.

7.3. Sustav punjenja

Nakon skladištenja i pripremnih tretmana, sirovina se puni u fermentator za AD. Tehnika punjenja ili unošenja ovisi o vrsti supstrata i njegovoj pogodnosti za pumpanje. Supstrat koji se može pumpanjem premjestiti iz spremnika za skladištenje u digestor uključuje gnojovke i gnojnice i veliki broj tekućeg organskog otpada (poput plutajućeg mulja), otpada pri preradi mlijeka i mliječnih proizvoda, ribljeg ulja). Krute sirovine koje se ne mogu pumpati (vlaknasti materijali, trava, kukuruzna silaža, gnojivo s visokim udjelom slame) mogu se dodavati u malim količinama putem punilice u sustav punjenja nakon čega se stavljaju u fermentator (primjerice, preko sustava spiralne cijevi). Oba se tipa supstrata (i koji se može i ne može pumpati) mogu istovremeno stavljati u digestor. U tom se slučaju preporuča stavljanje krute sirovine preko obilaznog cjevovoda.

S mikrobiološkog stajališta, idealna situacija za stabilan AD proces je kontinuirani tijek supstrata kroz fermentator. U praksi, supstrat se dodaje pseudo-kontinuirano u digestor, u nekoliko obroka dnevno čime se štedi energija jer agregati punilice nisu u stalnom pogonu. Postoje različiti sustavi punjenja i njihov odabir ovisi o kvaliteti supstrata, mogućnosti za njegovo pumpanje te intervalu punjenja.

Pažnja se mora posvetiti i temperaturi sirovine koja se stavlja u fermentator. U temperaturi novih sirovina i temperaturi procesa fermentatora mogu se pojaviti velike razlike radi sanitacije (do 130°C) ili zimskog razdoblja (ispod 0°C). Temperaturne razlike se moraju izbjegavati jer ometaju biološki proces što će za posljedicu imati gubitak u prinosu plina. Postoji nekoliko tehničkih rješenja ovog problema poput korištenja toplinskih pumpi ili izmjenjivača topline za predgrijavanje supstrata prije njegovog unosa u fermentator.

7.3.1. Transport tekuće sirovine

Transport tekućeg supstrata iz spremnika za skladištenje u fermentator se odvija putem pumpi. Obično se koriste dva osnovna tipa pumpi: centrifugalne i volumetričke pumpe. Centrifugalne (rotirajuće) pumpe su često potopljene, ali mogu biti smještene i na suhoj osovini pored fermentatora. Za posebne primjene postoje i pumpe koje režu, a koje se koriste za materijale s dugim vlaknima (slama, ostaci stočne hrane, otkos trave). Istisninske pumpe (rotirajuće stapne pumpe, ekscentrične vijčane pumpe) su otpornije na tlak od rotirajućih pumpi. One rade na principu samo-uvlačenja jer rade u dva smjera i

postizu relativno visoki tlak pri smanjenom kapacitetu prijenosa. Rotirajuće pumpe se koriste češće nego istisninske pumpe zbog niže cijene.

Centrifugalne pumpe

Centrifugalne pumpe su rotirajuće pumpe koje koriste rotor za povećanje brzine fluida. Fluid ulazi kroz impeler pumpe uzduž ili u blizini rotirajuće osovine i ubrzava se putem rotora tako da teče radijalno prema van u difuzor ili u volutno kućište iz kojeg izlazi u sustav cijevi nagnut prema dolje. Zbog tih karakteristika se centrifugalne pumpe često koriste kod rukovanja tekućim gnojem i gnojnicom.

Istisninske tlačne pumpe

Istisninske pumpe pod tlakom (rotacijska stapna/povratna pumpa i ekscentrična vijčana pumpa) se često koriste za transport gustog tekućeg supstrata s visokim udjelom suhe tvari. Količina prenesene tvari ovisi o brzini rotacije koja omogućava bolju kontrolu pumpe i precizno doziranje supstrata. Istisninske pumpe imaju karakteristiku samouvlačenja i time su stabilnije u pogledu tlaka od centrifugalnih pumpi. Zbog toga je rad cijevi manje ovisan o razlici u visinama. Kako su istisninske pumpe pod tlakom relativno sklone problemima vezano za visoki sadržaj vlakana u pumpanom materijalu, čini se logičnim opremiti ih s rezačima i odvajачima kako bi se zaštitile od većih komada i vlaknastog materijala.

Odabir prikladnih pumpi i tehnologije za pumpanje ovisi o karakteristikama materijala kojeg će se pumpati (vrsta materijala, udio suhe tvari, veličina komada/čestica i stupanj pripremljenosti sirovine). Bioplinska postrojenja obično koriste iste pumpe koje se inače koriste za tekuće gnojivo jer se za njih dokazalo da su prikladne za punjenje fermentatora i upravljanje digestiranim supstratom. Iskustvo pokazuje da se stvaranje začepjenja u ulazu i izlazu može spriječiti odabirom prikladnog promjera cijevi. Cijevi pod tlakom, za punjenje ili miješanje, moraju imati promjer do 150 mm, dok cijevi bez tlaka, poput onih za pretakanje ili izlazne cijevi, moraju imati promjer barem 200 mm za transport gnojiva i 300 mm ukoliko je visoki udio slame u gnojivu.

Svi su pokretni dijelovi pumpi jako izloženi trošenju i stoga se moraju s vremena na vrijeme zamijeniti. Zamjena bi trebala biti izvediva bez prekidanja proizvodnje bioplina. Zato se pumpe moraju opremiti sa zaustavnim ventilima koji omogućavaju punjenje i pražnjenje fermentatora i cijevi. Pumpe i cijevi moraju biti lako dostupne i oko njih se mora osigurati dovoljno radnog prostora za potrebe poslova održavanja.

Transport supstrata koji se može pumpati kontrolira se automatski preko procesnih računala i prekidača (*tajmera*). Jako se često događa da se cijeli transport sirovina unutar bioplinskog postrojenja ostvaruje preko jedne ili dvije pumpe smještene u stanicu za pumpanje.



Slika 7.8. Zaustavni ventili (lijevo) i sustav za pumpanje (desno)

Izvor: Rutz, 2006.



Slika 7.9. Sustavi za pumpanje

Izvor: AGRINZ, 2008.

7.3.2. Transport krute sirovine

Kruta se, i često uskladištena, sirovina poput trave, kukuruzne silaže, stajskog gnoja s visokim udjelom slame, ostataka povrća itd. transportira iz skladišnog prostora (bunker silos) u sustav punjenja fermentatora. Prijevoz se obično vrši putem utovarivača ili traktora (slike 7.10. i 7.11.), a sirovina se puni u fermentator putem, na primjer, pužnog sustava transporta kao što se vidi na slici 7.12.

Općenito, sustav punjenja se sastoji od spremnika (kontejnera) u kojeg se kruta sirovina stavlja pomoću traktora i transportnog sustava, i fermentatora koji se puni iz spremnika. Transportni sustav se kontrolira automatski, a sastoji se od podnih strugača, pomičnih podova, šipki za guranje i pužnih vijaka.

Podni strugači i šipke za guranje s vrha koriste se za prijevoz sirovine do pužnih vijaka. Oni mogu prevesti gotovo svu krutu sirovinu, bilo vodoravno ili s laganim nagibom, i zato se koriste kod vrlo velikih spremnika za privremeno skladištenje, ali nisu prikladni za doziranje.

Pužni vijci mogu transportirati sirovinu u gotovo svim smjerovima. Jedini je preduvjet da u sirovini nema velikog kamenja i drugih fizičkih nepoželjnih materijala. Za optimalno funkcioniranje je potrebno usitniti sirovi supstrat kako bi se mogao zahvatiti spiralom te odgovarati zavojima spirala.



Slika 7.10. Sustav punjenja sa spremnikom za suhu sirovinu – kukuruznu silažu ili kruti izmet peradi (lijevo) i utovarivač s kukuruznom silažom (desno)

Izvor: Rutz, 2008.



Slika 7.11. Utovarivač puni spremnik (kontejner) kukuruznom silažom

Izvor: Rutz, 2008.



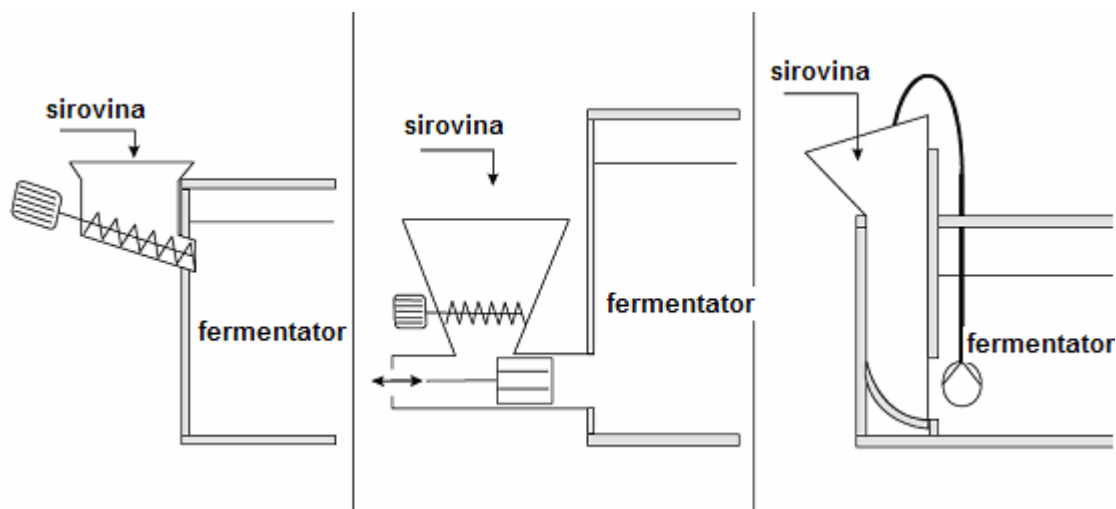
Slika 7.12. Vijčani sustav transporta (lijevo) i vijčani prijenosnici, spremni za instaliranje (desno)

Izvor: Rutz, 2008.

Punjenje sirovine u fermentator mora se odvijati u hermetičnim uvjetima i ne smije se dozvoliti istjecanje bioplina. Zato sustav za punjenje umeće sirovinu ispod površinskog sloja digestata (slika 7.13.). Obično se koriste tri sustava: napojna osovina, napojni stap i napojni vijčani prijenosnici.

Napojna osovina

Stavljanje krute sirovine u fermentator putem napojnih osovina ili zasuna odvija se putem korištenja prednjeg ili rotacionog utovarivača, što omogućava punjenje velikim količinama krute tvari izravno u fermentator u bilo koje vrijeme.



Slika 7.13.7.13 Napojna osovina, napojni stap i napojni vijčani prijenosnici za punjenje sirovine u fermentator

Izvor: Fal, 2006.

Napojni stap

Kada se koriste napojni stapovi, sirovina se unosi direktno u fermentator putem hidrauličnih cilindara kroz koje se utiskuje kroz otvor na zidu fermentatora. Ovakvo unošenje sirovine na

razini tla znači da se sirovina usisa u tekući sadržaj fermentatora čime se smanjuje rizik od stvaranja plutajućeg sloja. Ovaj sustav je opremljen valjcima za miješanje koji se rotiraju u suprotnim smjerovima i transportiraju kosupstrate u niže horizontalne cilindre te istovremeno usitnjavanju materijale s dugačkim vlaknima.

Napojni vijčani prijenosnici

Digester se može puniti kosupstratom putem napojnih vijčanih prijenosnika. U tom slučaju, materijal se potisne ispod razine tekućine u fermentatoru pomoću čepolikih vijaka. Ova metoda ima prednost zbog sprječavanja ispuštanja plina tijekom punjenja. Najjednostavniji način da bi se to postiglo je staviti dozer na fermentator tako da je potreban samo jedan vijak za punjenje. Kod unošenja sirovine se koriste spremnici za privremeno skladištenje s ili bez alata za usitnjavanje.



Slika 7.14. Spremnik za punjenje silažom

Izvor: AGRINZ, 2006.

7.4. Armatura i cjevovodi

Armatura i cjevovodi koji se koriste u sustavu za proizvodnju bioplina moraju biti otporni na koroziju i prikladni za rukovanje s materijalima koji se pojavljuju u toj proizvodnji (bioplin i biomasa). Odabir materijala cijevi ovisi o vrsti materijala kojeg provodi i tlaku, a uključuje PVC, HDPE, čelik ili nehrđajući čelik. Armature poput spojki, zasuna, plosnatih razvodnika, leptirastih ventila, otvora za čišćenje i manometara, moraju biti pristupačne, lake za održavanje i zaštićene od smrzavanja. U nekim je slučajevima neophodna izolacija cijevi (slika 7.15). Radi sigurnosti rada bioplinskog postrojenja, moraju se jamčiti minimalni uvjeti za cjevovode i armature prema kvalitetama materijala, sigurnosnim pitanjima i nepropusnosti.

Cjevovodi za biomasu trebali bi biti promjera od 300 mm. Pravilnim postavljanjem cijevi treba se spriječiti povratni tok supstrata iz fermentatora u spremnike za skladištenje. Kod postavljanja cijevi, potrebno je održavati nagib od 1-2 posto kako bi se postiglo njihovo potpuno pražnjenje. Instalacija se mora prikladno pričvrstiti/zavariti jer dugi i kutni cjevovodi imaju sklonost gubitku pritiska.



Slika 7.15. Izolirane cijevi za plin (lijevo) i cjevovod za digestat (desno)

Izvor: Rutz, 2008.

Plinovod mora imati dobar nagib te biti opremljen ventilima za ispuštanje kondenzata. Čak i vrlo male količine kondenzata mogu dovesti do potpune blokade plinskih cijevi zbog niskog tlaka u sustavu.

7.5. Sustav grijanja – grijanje fermentatora

Postizanje konstantne temperature procesa je jedan od najvažnijih uvjeta za stabilan rad i visoki prinos bioplina. Temperaturne promjene moraju se držati na minimumu bez obzira radi li se o privremenim fluktuacijama radi godišnjeg doba i vremenskih uvjeta ili o lokalnim fluktuacijama u različitim područjima fermentatora. Velike promjene u temperaturama mogu dovesti do neravnoteže AD procesa, a u najgorem slučaju i do potpunog pada cijelog procesa.

Razlozi promjena temperatura mogu biti:

- dodavanje nove sirovine
- stvaranje temperaturnih slojeva ili temperaturnih zona radi nedovoljne izolacije, neučinkovitog ili neprimjerenog dimenzioniranja sustava grijanja ili neučinkovitog miješanja
- nepravilnog smještaja grijaćih elemenata
- ekstremne vanjske temperature tijekom ljeta i zime
- kvar električnih vodova

Fermentatori se moraju toplinski izolirati i grijati pomoću vanjskih izvora topline (slika 7.16) radi postizanja i održavanja stabilne temperature procesa i nadoknade gubitaka topline. U tu se svrhu najčešće koristi otpadna toplina iz kogeneracijske jedinice bioplinskog postrojenja.

Sirovina se može grijati ili tijekom procesa punjenja (predzagrijavanje) preko izmjenjivača topline, ili unutar fermentatora pomoću grijaćih tijela (slika 7.17), vruće pare i sličnog. Radi izbjegavanja promjene temperature unutar fermentatora bolje je primijeniti zagrijavanje sirovine tijekom punjenja. U praksi bioplinskih postrojenja često se koristi kombinacija oba tipa zagrijavanja sirovine.



Slika 7.16. Sustav grijanja bioplinskog postrojenja (lijevo) i toplinska izolacija betonskog fermentatora u izgradnji (desno)

Izvor: Rutz, 2008.



Slika 7.17. Cijevi za grijanje instalirane unutar fermentatora

Izvor: AGRINZ GmbH, 2008.

7.6. Fermentator

Fermentator ili digester je središte bioplinskog postrojenja. Fermentator je zračno nepropusni spremnik u kojemu se odvija AD proces i gdje se proizvodi bioplin. Zajednička osobina svih fermentatora je, osim što su zračno nepropusni, sustav za punjenje sirovine te sustave za izlaz bioplina i digestata. U klimatskim uvjetima Europe anaerobni digestori ili fermentatori moraju biti toplinski izolirani i grijani.

Postoji cijeli niz fermentatora za bioplin koji rade po cijelom svijetu. Napravljeni su od betona, čelika, cigle ili plastike. Oblikovani su poput silosa, rovova, bazena ili laguna, a mogu biti smješteni ispod ili iznad površine tla. Veličina bioplinskog postrojenja je određena veličinom fermentatora, a ona može varirati od nekoliko kubičnih metara u slučaju malih kućnih instalacija do velikih komercijalnih postrojenja s više fermentatora zapremine nekoliko tisuća kubičnih metara.

Izbor konstrukcije i vrste fermentatora prvenstveno se određuje prema udjelu vode, odnosno suhe tvari u digestiranom supstratu. Kao što je navedeno, AD djeluje na temelju

dva osnovna sustava: mokra digestija kada je prosječni udio suhe tvari supstrata manji od 15 posto i suha digestija kada je udio suhe tvari u supstratu iznad ove vrijednosti, obično između 20 i 40 posto. Postoje regionalne varijacije ovih definicija i njihovih graničnih vrijednosti, a u nekim su slučajevima (primjerice u Njemačkoj) propisane zakonom i raznim shemama potpore.

Mokra digestija obično uključuje AD gnojnice i mulja otpadnih voda iz kanalizacije dok se suhom digestijom bioplin proizvodi iz krutog stajskog gnoja s visokim udjelom slame, kućanskog otpada i čvrstog organskog dijela komunalnog otpada, zelene rezidbe i trave nastale pri redovnom održavanju krajobraza ili energetske usjeva (svježih ili siliranih). Fermentatori su za obe vrste digestije opisani u nastavku, s naglaskom na sustave mokre digestije kao najzanimljivijeg rješenja za bioplinna postrojenja u poljoprivredi.

Sa stajališta ulaza i izlaza sirovine, postoje dva osnovna tipa fermentatora: obročni i kontinuirani.

7.6.1. Fermentatori obročnog tipa

Posebnost u radu fermentatora obročnog tipa (eng. *batch type*) je princip gdje se svježa sirovina puni u jednom obroku, ostavi fermentirati i potom u potpunosti ukloni. Slijedi punjenje fermentatora novim obrokom i proces se ponavlja. Ovaj tip fermentatora je najlakše izgraditi, a obično se koristi za suhu digestiju.

Primjer obročnog fermentatora su takozvani „garažni“ fermentatori (slika 7.18) napravljeni od betona za tretiranje odvojeno sakupljenog organskog otpada iz kućanstava, košnje trave, krutog gnojiva i energetske usjeva. Kapacitet za tretman varira od 2 000 do 50 000 tona godišnje. Organska tvar se cijepi (inokulira) digestatom i puni u fermentator. Kontinuirano se cijepljene bakterijama biomase vrši korištenjem ocijeđene tekućine za prskanje supstrata u fermentatoru.

Za razliku od mokre digestije, suha digestija ne zahtijeva miješanje AD supstrata tijekom fermentacije. Temperature procesa i ocijeđene tekućine se reguliraju putem podnih sustava grijanja ugrađenih u fermentator ili preko izmjenjivača topline koji služi kao rezervoar ocijeđene tekućine.

Obročna digestija ima brojne prednosti u usporedbi s drugim sustavima u pogledu nižih troškova procesa i primjene mehaničke tehnologije. S druge strane, upravo mehanička tehnologija nosi negativne posljedice kod potrošnje energije za proces i troškove održavanja.



Slika 7.18. Garažni obročni fermentator koji se puni traktorom

Izvor: BEKON, 2004.

Obećavajuća alternativa potpuno suhoj AD tehnologiji je upotreba plastičnih vreća ili cilindara od folije. Ideja je smanjiti investicijske troškove korištenjem plastičnih pokrivala iz tehnologije siliranja u vreće gdje se AD supstrati (gnojivo, organski kućni otpad, energetski usjevi) skladište u hermetično zatvorene plastične vreće.

Obročni fermentatori koriste se i za kombiniranu suhu i mokru digestiju ukoliko se sirovina može uskladištiti na mjestu gdje se dodatna otpadna voda ili ocijeđena tekućina može u većim količinama koristiti za potapanje ili prskanje.

Mogućnost rukovanja supstratom, ne samo kroz pred-tretman i cijedeње, nego i kroz „aeraciju“ pod visokim tlakom i potapanjem, čini suhu fermentaciju prikladnim procesom postupanja s otpadom kod kontroliranih odlagališta otpada.

7.6.2. Fermentatori kontinuiranog tipa

Kod fermentatora kontinuiranog tipa sirovina se konstantno puni u digestor. Materijal prolazi kroz fermentator ili mehanički ili pritiskom novo stavljenog supstrata koji fermentirani materijal istiskuje van. Za razliku od obročnog tipa, kontinuirani fermentatori proizvode bioplin bez prekida za punjenje novom sirovinom i pražnjenje fermentiranog ostatka. Kontinuirani fermentatori proizvode stalnu i predvidljivu količinu bioplina i digestata.

Postoje tri osnovna sustava kontinuiranih fermentatora: vertikalni, horizontalni i sustav s više spremnika. Ovisno o odabranom rješenju za miješanje AD supstrata, kontinuirani fermentatori mogu biti razvrstani na fermentatore koji se u potpunosti miješaju i fermentatore čepolikog gibanja (eng. *Plug-flow digester*) (tablica 7.1). Fermentatori koji se u potpunosti miješaju uglavnom su vertikalni, dok su čepoliki horizontalni.

Tablica 7.1. Vrste fermentatora

Fermentatori koji se u potpunosti miješaju	Čepoliki fermentatori
Okrugli, jednostavna konstrukcija spremišta, vertikalni	Produženi, vodoravni spremnik
Potpuno miješanje	Okomito miješanje
Prikladno za jednostavnu sirovinu (tekući gnoj)	Prikladni za tešku sirovinu (kruti gnoj)
Dijelovi nefermentirane sirovine mogu doći u izlaz	U normalnim uvjetima nema prečica između ulaza i izlaza, sigurna sanitacija
Temperatura procesa 20° - 37° C	Temperatura procesa 35° - 55° C
Vrijeme retencije 30 - 90 dana	Vrijeme retencije 15 - 30 dana

Vertikalni fermentatori

U praksi većina fermentatora pripada tipu vertikalnih. Oni se obično grade na mjestu, u obliku zaokruženih spremišta od čelika ili armiranog betona i često imaju stožasto dno radi lakšeg miješanja i pražnjenja taloženog pijeska. Vertikalni fermentatori su zračno nepropusni, izolirani, grijani te opremljeni miješalicama ili pumpama. Većinom su pokriveni betonskim ili čeličnim krovom, a proizvedeni bioplin se cijevima provodi do vanjskog skladišta u blizini fermentatora. U drugim slučajevima krovna konstrukcija može biti membrana koja ne propušta plin, a istovremeno služi kao skladište za proizvedeni bioplin. Bioplin ili napuše membranu ili je membrana učvršćena na središnji stup (slika 7.19).



Slika 7.19. Vertikalni fermentatori pokriveni membranom koja ne propušta plin (lijevo: napuhana membrana i desno: membrana pričvršćena za stup)

Izvor: Agrinz GmbH, 2008. lijevo i Rutz, 2006. desno

Fermentatori od armiranog betona su dovoljno nepropusni za plin jer se beton zasiti vodom iz vlage sadržane u sirovini i bioplinu. Betonska spremišta mogu biti postavljena u potpunosti ili djelomično na tlu. Nepravilna izgradnja može dovesti do pucanja, propuštanja i korozije, a u ekstremnim slučajevima i do uništenja fermentatora. Ovi se problemi mogu izbjeći tako da se koristi beton odgovarajuće kvalitete uz profesionalno planiranje i izgradnju fermentatora.



Slika 7.20. Izgradnja vertikalnih fermentatora od betona

Izvor: Rutz, 2007.

Čelični fermentatori se instaliraju na betonsko temelje. Čelične ploče se moraju zavariti ili učvrstiti vijcima, a šavovi moraju biti stegnuti tako da ne propuštaju plin. Čelični fermentatori se uvijek instaliraju iznad razine tla.

Jedna od prednosti vertikalnih fermentatora je mogućnost prenamjene postojećih spremišta za gnojivo na poljoprivrednim gospodarstvima u fermentator za bioplin dodavanjem toplinske izolacije i sustava grijanja. Za naknadnu izolaciju se postavljaju izolacijske vodonepropusne ploče (stiro-pjena) na unutrašnji zid spremišta. Druga opcija za izolaciju bivšeg spremišta za gnojivo je potpuno prekrivanje unutrašnjosti spremišta pjenom kako bi postalo plinonepropusno. Takvu izolaciju obavljaju specijalizirane tvrtke. Na kraju se bivše spremište, a sada fermentator pokrije krovom od plinonepropusne jednostruke ili dvostruke membrane.

Poseban sustav fermentacije koji se koristi u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima za tretiranje životinjskog izmeta je takozvani akumulacijski sustav s kontinuiranim protokom (*accumulation-continuous-flow-system – ACF*). U ovom sustavu cijelo spremište za gnojivo služi istovremeno i kao fermentator i kao skladište za gnojivo. Ovakva postrojenja su instalirana na onim poljoprivrednim gospodarstvima koja su bila obavezna izgraditi kapacitete za skladištenje.

Najmanje punjenje se postiže tijekom ljeta, nakon zadnje primjene digestata kao gnojiva. Fermentator se puni tijekom jeseni i zime. U toj fazi sustav radi s neprekidnim protokom i ima visoko vrijeme retencije kao i dobre prinose bioplina. Digestat prelazi u spremište za skladištenje koje funkcionira i kao post-digestor.

Horizontalni fermentatori

Horizontalni fermentatori (slika 4.3 na stranici 33 te slika 7.21) imaju vodoravnu osovinu i cilindričan oblik. Ovaj se tip fermentatora obično kupi gotov te transportira u jednom dijelu na mjesto predviđeno za izgradnju bioplinskog postrojenja. Time se ograničava veličina i volumen dostupnih horizontalnih fermentatora. Standardni tip malih dimenzija je vodoravni čelični spremnik od 50-150 m³ koji se koristi kao glavni fermentator za manja bioplinska postrojenja ili kao pred-digestor kod većih postrojenja. Drugačiji je tip fermentatora kanalnog tipa napravljen od betona, koji dozvoljava volumene fermentatora i do 1 000 m³.

Horizontalni fermentatori mogu raditi i paralelno radi većeg protoka supstrata. Radi njihova cilindričnog oblika, automatski se primjenjuje tijekom čepolikog gibanja. Sirovina se polako kreće od ulaza prema strani za pražnjenje na način da se stvori “čep” koji prolazi kroz fermentator. Rizik pražnjenja nefermentiranog supstrata je sveden na minimum i postoji garancija specifičnog vremena retencije cijelog supstrata. Horizontalni fermentatori s kontinuiranim tijekom obično se koriste za sirovinu poput pilećeg izmeta, trave, kukuruzne silaže ili gnojiva s visokim udjelom slame.

Izolirani fermentator je opremljen sustavom za grijanje, plinskim tornjem, cijevima za gnojivo i miješalicom. Sustav za grijanje se sastoji od toplinskih cijevi s dotokom-odvodom tople vode i mogućnošću mješanja ili dijagonalno ugrađenim radiatorima. Lopatice miješalice se okreću polako, a postavljene su spiralno po osovini za miješanje kako bi se osigurala jednaka distribucija okretnog momenta. Veliki broj lopatica omogućava transport prosipnog pijeska u odvodne spremnike. Osiguravanjem kontinuiranog ulaznog i izlaznog tijeka sirovine može se osigurati prosječno vrijeme retencije od 15-30 dana. Razina punjenja fermentatora uvijek doseže istu visinu, a tijekom punjenja i miješanja će fluktuirati unutar plinskog tornja. Fermentator je ili prekriven prekrivačem otpornim na vremenske prilike ili je natkriven krovom, koji se može izgraditi na mjestu ili se može preuzeti kao gotov serijski proizvod. Fermentatori od čelika i nehrđajućeg čelika uvijek se rade iznad zemlje i pričvršćuju na betonske temelje, a vijčani spojevi moraju biti zabrtvljeni.

Sustavi s više spremnika

Postrojenja za ko-digestiju na velikim farmama sastoje se od nekoliko sustava s više spremnika. Obično funkcioniraju kao sustav kontinuiranog protoka, uključujući jedan ili nekoliko glavnih fermentatora i post digestora. Fermentatori mogu biti samo vertikalni ili kombinacija između vertikalnih i horizontalnih fermentatora. Spremnici za skladištenje digestata služe i kao post-digestori te bi uvijek trebali biti pokriveni membranom koja ne propušta plin, kako bi se izbjegle emisije metana iz proizvodnje bioplina koja se nastavlja na nižoj temperaturi u post-digestoru.



Slika 7.21. Horizontalni fermentator s čepolikim gibanjem supstrata

Izvor: Rutz, 2008.

7.6.3. Održavanje fermentatora

Odstranjivanje sedimentata u fermentatoru

U fermentatoru kontinuiranog tipa mogu se nakupiti sedimenti teških tvari poput pijeska i ostalih materijala koji se ne mogu fermentirati. Većina takvog materijala može se ukloniti tijekom pred-skladištenja ili tijekom procesa punjenja. No, pijesak može biti jako povezan s organskim tvarima čime se vrlo teško izdvaja prije digestije. Veliki dio pijeska se otpusti tijekom AD procesa u fermentatoru. Životinjski gnoj (svinjska gnojovka, izmet pilića), ali i ostale vrste biomase mogu sadržavati različite količine pijeska. Nakupljanje pijeska u spremištima i fermentatorima smanjuje njihov aktivan volumen. Prisutnost pijeska u protoku biomase jako opterećuje sustave za miješanje, pumpe i izmjenjivače topline jer uzrokuje onečišćavanje, stvaranje prepreka i visoko habanje. Ukoliko se s vremena na vrijeme ne uklone, slojevi sedimentacije mogu otvrdnuti pa ih je moguće odstraniti samo s opremom za teške radove. Kontinuirano odstranjivanje sedimentacijskih slojeva iz fermentatora može se vršiti primjenom podnih strugalica ili podnog odvodnog kanala. Preveliko stvaranje sedimentacije može biti posljedica nefunkcioniranja sustava za odstranjivanje sedimentata. U tom slučaju može biti neophodno prestati s radom fermentatora, otvoriti ga i odstraniti sedimentni sloj ručno ili strojno, ovisno o veličini fermentatora. Statički tlak vrlo visokih fermentatora (viših od 10 m) može biti dovoljan da ukloni pijesak, kamenac i mulj.

Problemi uzrokovani sedimentima se mogu smanjiti primjenom sljedećih mjera:

- redovito pražnjenje pred-skladišnog i skladišnog spremnika
- osiguravanje dovoljno velikog kapaciteta za pred-skladištenje
- prikladna metoda miješanja
- prikladan smještaj pumpnog cijevnog ogranka kako bi se izbjeglo kruženje pijeska
- izbjegavanje sirovina koje imaju visoki udio pijeska
- korištenje posebno razvijenih metoda za evakuaciju pijeska iz fermentatora.

Mjere protiv stvaranja slojeva pjene

Stvaranje pjene i plivajućih slojeva ovisi o vrsti korištene sirovine, a može biti uzrokovano i neravnotežom procesa. Prisutnost pjene na površini biomase u fermentatoru može uzrokovati začepljenje plinskih cijevi. Kako bi se to spriječilo, plinske cijevi bi se trebale instalirati na što više mjesto u fermentatoru. Hvataljke za pjenu mogu spriječiti ulazak pjene u cijevi sa sirovinom do post-fermentatora ili skladišta. Može se instalirati senzor za pjenu u dijelu fermentatora u kojem se nakuplja plin. U slučaju pojave previše pjene na površini biomase, senzor automatski pokreće sustav za prskanje sredstvom za povlačenje pjene. Sredstva za povlačenje pjene ili retardanti pjene se smiju koristiti samo u hitnim slučajevima budući da su najčešće napravljeni iz vezivnih tvari na bazi silikata koji mogu oštetiti kogeneracijsko postrojenje.

7.7. Tehnologije miješanja

Pasivno miješanje je minimalno miješanje biomase u fermentatoru koje se događa dodavanjem svježe sirovine. Ona uzrokuje procese toplinske konvekcije i stvaranje mjehurića plina koji idu prema površini. Za optimalni proces u fermentatoru nije dovoljno

samo pasivno miješanje i zato se ono mora poboljšati korištenjem mehaničke, hidrauličke ili pneumatičke opreme. Do 90 posto bioplinskih postrojenja koristi mehaničku opremu za miješanje.

Radi umješavanja nove sirovine u supstrat fermentatora potrebno je više puta dnevno promiješati smjesu. Time se sprječava stvaranje plutajuće kore i slojeva koji tonu (sedimenti), dovodi bakterije (mikro-organizmi) u kontakt s česticama nove sirovine, pomaže pri ispuštanju mjehurića plina, a ujednačava se raspodjela topline i hranjivih tvari.

Općenito, miješalice mogu raditi stalno ili u intervalima. Iskustvo pokazuje da se miješanje u intervalima može optimirati i prilagoditi posebnostima pojedinog bioplinskog postrojenja (veličina spremišta, kvaliteta sirovine, sklonost stvaranja plutajućih slojeva). Nakon početnog punjenja i početka rada postrojenja, iskustvo i promatranje će odrediti optimalno trajanje i učestalost intervala za miješanje kao i prilagodbe miješalica.

Iskustva iz Danske govore da su električne miješalice srednje brzine, postavljene ispod površine supstrata, relativno skupo rješenje. Uz visoke troškove rada, takvim je miješalicama teško pristupiti kod održavanja i inspekcije. Dobru alternativu pružaju miješalice s kontinuiranom i sporom rotacijom instalirane u središtu, odnosno na vrhu fermentatora. Ipak, njihova upotreba traži pravilno prilagođenu razinu biomase u fermentatoru kako bi se izbjeglo stvaranje plutajućih slojeva.

7.7.1. Mehaničko miješanje

Mehaničko miješanje supstrata postiže se korištenjem miješalica koje se mogu kategorizirati kao intenzivno brze, srednje brze i spore miješalice.



Slika 7.22 Motorna elisasta miješalica koja se može potopiti

Izvor: Agrinz, 2006



Slika 7.23. Viseća miješalica s lopaticama (lijevo) i njezin motor (desno)

Izvor: Agrinz, 2006.



Slika 7.24. Miješalice s lopaticama

Izvor: Agrinz, 2006.

U vertikalnim fermentatorima se često koriste motorne elisaste miješalice (slika 7.23) koje se mogu zaroniti. Upravljaču se električnim motorima bez brzina s vodonepropusnim kućištima i antikorozivnim površinskim slojem, koji se hlade preko medija iz okruženja. Takve miješalice su u potpunosti zaronjene u sirovinu i obično imaju dva ili tri geometrijski optimizirana propelera. Miješalice se mogu prilagoditi po visini, nagibu i smjeru radi njihova sustava za vođenje, koji se sastoji od vješala, vitla za dizanje s kabelom i vodilice.

Miješalice s lopaticama imaju horizontalnu, vertikalnu ili dijagonalnu osovinu (slika 7.22 i 7.23). Motor je smješten izvan fermentatora. Spojišta, gdje osovina prelazi strop fermentatora, krov od membrane ili zid fermentatora, moraju biti zategnuta i nepropusna.

Druga mogućnost mehaničkog miješanja je putem aksijalnih miješalica. One često rade kontinuirano, a obično su postavljene na držalu instaliranom u središtu stropa fermentatora. Motor je smješten van fermentatora, a brzina se preko prijenosa smanjuje na nekoliko okretaja po minuti. Ovakve miješalice bi trebale stvoriti stalan protok u fermentatoru koji ide od dna, prema zidovima, na gore.

Kod horizontalnih fermentatora se obično koriste spore miješalice s lopaticama na bubnju ili navoju koje se mogu postaviti i u vertikalnim fermentatorima. Lopatice su učvršćene na horizontalnu os za miješanje koja miješa i usmjerava AD sirovinu prema naprijed (čepoliko gibanje). Učinak miješanja mora osigurati samo vertikalno miješanje sirovine. Horizontalni čepoliki protok osigurava se unošenjem svježe sirovine u fermentator. U rotirajuću osovinu i lopatice miješalice često su integrirane cijevi za grijanje AD sirovine. Miješalice s lopaticama ili navojem rade nekoliko puta dnevno u kratkim intervalima i s malom brzinom.

7.7.2. Pneumatično miješanje

Pneumatične miješalice ispuhuju bioplin s dna kroz biomasu supstrata. Mjehurići plina se podižu i uzrokuju vertikalno kretanje i miješanje sirovine. Ovaj sustav ima prednost u tome što je potrebna oprema smještena van fermentatora (pumpe i kompresori) te je habanje puno manje. Pneumatično se miješanje AD sirovine rijetko koristi u bioplinskim postrojenjima na poljoprivrednu biomasu. Tehnologija nije prikladna za uništavanje plutajućih slojeva tako da se može koristiti samo za rijetku tekuću sirovinu, s malom sklonosti prema stvaranju plutajućih slojeva.

7.7.3. Hidraulično miješanje

Kod hidrauličnog miješanja sirovina se vodoravno pritišće pumpama ili dodatnim vertikalno vođenim odušnikom u fermentator. Usisavanje i pražnjenje AD sirovine mora biti tako da omogućuje temeljito miješanje sadržaja fermentatora. Hidraulički upravljani sustavi imaju prednost u tome što su mehanički dijelovi miješalica smješteni van fermentatora i time se manje habaju i lakše održavaju. Hidraulično miješanje je samo ponekad prikladno za uništavanje plutajućih slojeva i, kao i kod pneumatskog miješanja, može se koristiti za rijetku tekuću sirovinu s malom sklonosti za stvaranje plutajućeg sloja.

7.8. Spremište za bioplin

Kako bi se optimizirao izlaz, proizvodnja bioplina mora se održavati što stabilnijom i što ravnomjernijom. Unutar fermentatora, bioplin se stvara u fluktuirajućim količinama i ima proizvodne vrhunce. Nadalje, potražnja za bioplinom, primjerice u kogeneracijskom postrojenju isto varira. Kako bi se takve varijacije u proizvodnji, ali i potražnji bioplina kompenzirale, neophodno je privremeno skladištiti proizvedeni bioplin u prikladnim objektima za skladištenje.

Danas su dostupne brojne mogućnosti i rješenja za skladištenje bioplina. Skladište za bioplin može biti postavljeno na vrhu fermentatora korištenjem posebne membrane koja ujedno ima i ulogu pokrivala fermentatora. Za veća bioplinska postrojenja obično se radi odvojeno skladište za bioplin, ili kao samostojeći objekt, ili je uključen u skladišne zgrade. Sadržaji za skladištenje bioplina mogu funkcionirati pri niskom, srednjem ili visokom tlaku.

Točan odabir i dimenzioniranje sustava za skladištenje bioplina značajno doprinosi učinkovitosti i sigurnosti bioplinskog postrojenja. Prikladno skladište za bioplin osigurava neophodnu opskrbu, smanjuje gubitke bioplina i doprinosi sigurnosti i pouzdanosti bioplinskog postrojenja.

Svi sadržaji za skladištenje bioplina moraju biti plinonepropusni i otporni na tlak te, u slučaju da se ne nalaze u sklopu građevinskog objekta, moraju biti i otporni na UV zračenje, temperature i vremenske okolnosti. Prije početka rada postrojenja mora se provjeriti jesu li spremišta za skladištenje plina pričvršćena i nepropusna. Radi sigurnosti spremišta moraju biti opremljena sigurnosnim ventilima (za potlak i pretlak) kako bi se spriječile štete i rizik po sigurnost (slika 7.24), a mora se jamčiti i zaštita od eksplozije. Nadalje, mora imati baklju za spaljivanje u slučaju nužde, a spremište mora imati kapacitet za uskladištenje od barem jedne četvrtine dnevne proizvodnje bioplina. U normalnim okolnostima se preporuča kapacitet skladišta jednak proizvodnji bioplina za jedan ili dva dana.



Slika 7.25. Sigurnosni tlačni objekti i ventili

Izvor: Agrinz, 2006.

7.8.1. Niskotlačni spremnici

Niskotlačni spremnici se sastoje od membrana koje moraju odgovarati sigurnosnim zahtjevima. Membranski rezervoari postavljaju se kao vanjski rezervoari za plin ili plinski tornjevi na fermentatoru. Najčešće se koriste niskotlačna spremišta s rasponom pretlaka od 0,05 do 0,5 mbara.

Vanjski niskotlačni rezervoari mogu biti oblikovani kao jastuci od membrane (slika 7.25). Takvi jastuci stavljaju se u građevinske objekte kako bi se zaštitili od vremenskih prilika ili imaju još jednu membranu koja je otporna na sve vremenske uvjete.

Ako se fermentatori ili post-fermentatori koriste za skladištenje bioplina, trebaju se pokriti tornjevima od plinonepropusne membrane (rezervoari s dvostrukom membranom) koji su učvršćeni po gornjem rubu fermentatora (slika 7.26 lijevo). Na fermentatoru se može instalirati nosiva konstrukcija za držanje prazne membrane. Membrana se širi prema volumenu plina kojeg sadrži. Preko membrane se može prebaciti posebna mreža (slika 7.26 desno) koja sprječava nekontrolirano širenje.



Slika 7.26. Vanjsko niskotlačno spremište za skladištenje plina

Izvor: Rutz, 2007.



Slika 7.27. Plinsko nepropusna membrana kao pokrivač fermentatora, pogled s unutarne strane fermentatora (lijevo) i pogled s vanjske strane gdje se vidi mreža za ograničavanje širenja membrane (desno)

Izvor: Agrinz GmbH, 2006. (lijevo) i Rutz, 2006. (desno)

7.8.2. Srednje i visokotlačni spremnici za bioplin

Bioplin se može skladištiti u srednjim i visokotlačnim rezervoarima (čelične tlačne posude), na tlaku od 5 do 250 bara. Ovakvi spremnici imaju visoke troškove rada i potrošnje energije. Za plinske rezervoare do 10 bara, moraju se uzeti u obzir zahtjevi za energijom do $0,22 \text{ kWh/m}^3$, a za visokotlačne rezervoare od 200 do 300 bara, energetske zahtjevi su oko $0,31 \text{ kWh/m}^3$. Zbog visokih troškova ovakvi se spremnici za bioplin rijetko koriste kod malih bioplinskih postrojenja na poljoprivrednu biomasu.

7.8.3. Plamen (baklja) za bioplin

Ponekad se dogodi da proizvodnja bioplina bude veća od količine koja se može iskoristiti za proizvodnju energije. Razlog može biti ili neuobičajeno visoka proizvodna stopa plina ili kvar/održavanje sustava za proizvodnju energije. U oba slučaja neophodna su pomoćna rješenja poput dodatnog skladišta za bioplin ili dodatnog sustava za proizvodnju energije. Bioplin je moguće skladištiti kroz kraće vrijeme bez stlačivanja, ali ako se radi o periodu

dužem od nekoliko sati volumen proizvedenog plina premašuje skladišne kapacitete. S druge strane, dodatni sustav za proizvodnju energije (na primjer, još jedno kogeneracijsko postrojenje) može biti vrlo skup. Zato je svako bioplinsko postrojenje opremljeno s bakljom za bioplin. Izgaranje na baklji je konačno rješenje u situacijama kada se višak bioplina ne može uskladištiti ili iskoristiti radi uklanjanja bilo kakvog rizika po sigurnost i zaštitu okoliša. U iznimnim situacijama kada iz određenih razloga proizvodnja energije nije moguća, izgaranje bi moglo biti rješenje za sigurno odlaganje bioplina proizvedenog u AD procesu.

Proces izgaranja određuje prednosti određenog tipa baklje. Isto tako, standardi za emisije te radne karakteristike pri regulaciji određuju koji tip baklje koristiti. Konstrukcija baklje trebala bi ciljati na maksimalnu pretvorbu metana kako bi se ispuštanje nesagorenog metana i bilo kojeg proizvoda nepotpune oksidacije poput ugljikovog monoksida, svelo na najmanju moguću mjeru. To nisu jedini neželjeni nusproizvodi izgaranja bioplina. Ostali sastojci se mogu formirati ovisno o udjelu zraka, temperature i kinetike reakcije izgaranja. Kako bi se postiglo što više traženih reakcija i smanjila pojava nepoželjnih, temperatura mora biti između 850 i 1 200°C, a vrijeme zadržavanja najmanje 0,3 sekunde. Ova dva parametra, temperatura i vrijeme zadržavanja, čine specifikaciju radnih karakteristika kod najnaprednijih baklji.

Neovisno o vrsti baklje, njeno sigurno i pouzdano funkcioniranje zahtijeva brojne sadržaje, pored plamenika i ograde. Osnovni sigurnosni sadržaji uključuju obustavljač plamena, sigurnosni ventil i sustav za paljenje uključujući i detektor za plamen. Ispuhivač plina je neophodan za podizanje tlaka plina na 3-15 kPa u plameniku. Neophodnost čišćenja plina ili kondicioniranja ovisi o kvaliteti plina i o tome je li se plin koristio u postrojenju za proizvodnju energije gdje je manja tolerancija za prisutne čestice kao i za brojne kisele plinove koji se formiraju tijekom sagorijevanja.

Postoje dva osnovna tipa baklji za bioplin: otvorene i zaklonjene baklje.

Otvorene baklje su u osnovi plamenici s malim štitnikom plamena od vjetra. Kontrola plina je osnovna – obično samo ručnim ventilom. Bogata plinska smjesa, manjak izolacije i slabo miješanje dovode do nepotpunog sagorijevanja i svjetlucavog plamena koji se često može uočiti iznad štitnika za vjetar. Gubitak topline zračenjem je značajan, a dovodi do hladnih površina na rubovima plamena i smanjuje reakcije sagorijevanja pri čemu nastaje puno neželjenih proizvoda reakcije.

Povijesno gledajući, otvorene baklje su prije bile vrlo popularne radi svoje jednostavnosti i niskih troškova, a i zbog nedorečene ili nepostojeće zakonske obveze i kontrole u pogledu standarda emisija. Današnja stroga regulativa i kontrola emisija ograničila je njihovu upotrebu.

Zaklonjene baklje su obično stabilna postrojenja na razini tla s jednom ili nizom baklji u cilindričnom zaklonu koji je obložen vatrostalnim materijalom.

Zaklon je konstruiran radi sprječavanja smanjene reakcije, čime je sagorijevanje više ujednačeno, dok su emisije niske. Promatranje emisija je relativno jednostavno, a može se uključiti i kao sredstvo kontrole procesa među stalnim promatranjima temperature, ugljikovodika i ugljikovog monoksida.

Poboljšana tehnika i kontrola procesa omogućuju bolju fleksibilnost gašenja (odnos minimalnog i maksimalnog protoka plina pri kojim se održavaju zadovoljavajući uvjeti rada). Proizvođači obično navode gašenje od 4-5:1 za kvalitetu bioplina od 20-60 posto

metana (po volumenu). Brže gašenje može se postići sve do 10:1, ali na štetu kvalitete sagorijevanja budući da oslobađanje topline ne omogućava postizanje prikladnih temperatura.



Slika 7.28. Moderne baklje za bioplin

Izvor: Rutz, 2007.

7.9. Čišćenje bioplina

7.9.1. Kondicioniranje plina

Nakon što bioplin napusti fermentator, on je zasićen vodenim parama i sadrži, pored metana (CH_4) i ugljikovog dioksida (CO_2), različite količine sumporovodika (H_2S). Sumporovodik je otrovan plin s neugodnim mirisom poput trulih jaja, koji u kombinaciji s vodenom parom iz bioplina stvara sumpornu kiselinu. Kako kiselina korozivno djeluje na motore kogeneracije i ostale komponente poput plinovoda i ispušnih cijevi, nužno je napraviti desumporizaciju i sušenje bioplina.

Proizvođači kogeneracijskih jedinica imaju minimalne zahtjeve u pogledu svojstava plina kojeg će sagorijevati (tablica 7.2). Isto vrijedi i kod korištenja bioplina. Radi izbjegavanja šteta na motoru moraju se jamčiti svojstva sagorijevanja.

Ovisno o namjeni, odnosno korištenju bioplina (npr. gorivo za motorna vozila, gorivne ćelije) potrebne su i druge mjere kondicioniranja plina.

Tablica 7.2. Minimalna svojstva plina za sagorijevanje s relativnim udjelom kisika od 5%

Ogrjevna vrijednost (niža ogrjevna vrijednost)	H _u	≥ 4 kWh/m ³
Sadržaj sumpora (ukupno)	S	≤ 2,2 g/m ³ CH ₄
ili sadržaj H ₂ S	H ₂ S	≤ 0,15 Vol.-%
Sadržaj klora (ukupno)	Cl	≤ 100,0 mg/m ³ CH ₄
Sadržaj fluora (ukupno)	F	≤ 50,0 mg/m ³ CH ₄
Zbroj klora i fluora	(Cl + F)	≤ 100,0 mg/m ³ CH ₄
Prašina (3...10 μm)		≤ 10,0 mg/m ³ CH ₄
Relativna vlažnost (pri najnižoj ulaznoj temperaturi zraka, npr. kondenzacija u ulaznoj cijevi i kontrolnom putu plina)	φ	< 90 %
Tlak protoka prije ulaska u kontrolni put plina	p _{Gas}	20 ... 100 mbar
Fluktuacije tlaka plina		< ± 10 % of set value
Temperatura plina	T	10 ... 50 °C
Ugljikovodici (> C ₅)		< 0,4 mg/m ³ CH ₄
Silicij (pri Si > 5mg/m ³ CH ₄ uljne analize udjela metala < 15 mg/kg promatranog ulja)	Si	< 10,0 mg/m ³ CH ₄
Metan count (bioplin MC oko 135)	MZ	> 135

Izvor: Gülzow, 2005.

7.9.2. Desumporizacija

Suhi bioplin iz AD stajskog gnoja ima prosječni udio od 1 000 do 3 000 ppm sumporovodika (H₂S) (Agelidaki, 2003.). Kod korištenja stajskog gnoja u kodigestiji s drugim supstratima, proizvedeni bioplin može biti s manje ili više udjela H₂S. Ako se bioplin koristi u plinskim motorima u kogeneraciji, udio sumporovodika mora biti ispod 700 ppm za većinu konvencionalnih plinskih motora, kako bi se izbjegla visoka korozija i prebrzo i skupo trošenje ulja za podmazivanje.

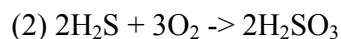
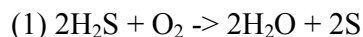
Desumporizacija je odstranjivanje H₂S iz bioplina. Metode za desumporizaciju su brojne, a proces može biti biološki ili kemijski te se može odvijati unutar ili izvan fermentatora.

Desumporizacija ovisi o sadržaju H₂S i brzini toka bioplina kroz opremu za desumporizaciju. Brzina toka može značajno varirati ovisno o procesu. Prilikom stavljanja nove sirovine u fermentator ili tijekom miješanja može se primijetiti veća proizvodnja bioplina čime je i brzina toka veća. U kratkotrajnim intervalima, mogu se pojaviti brzine i do 50 posto veće od normalnih.

Iz tog razloga, ali i zbog osiguranja potpune desumporizacije, neophodno je koristiti predimenzioniranu opremu za desumporizaciju u usporedbi s prosječnom brzinom toka.

Biološka desumporizacija u fermentatoru

Za odstranjivanje H₂S-a iz proizvedenog bioplina najčešće se koristi biološka oksidacija koja se temelji na ubrizgavanju malih količina zraka (2-8%) u sirovi bioplin. Time se sumporovodik biološki oksidira ili u slobodan sumpor (u krutom obliku) ili u sumpornu kiselinu (u tekućem obliku) prema sljedećim jednadžbama:



Biološka desumporizacija se obično odvija izvan fermentatora i predstavlja vrlo jeftinu metodu. Za ovakvu desumporizaciju moraju biti prisutni kisik i *Sulfobacter oxydans* bakterije kako bi pretvorile sumporovodik u elementarni sumpor uz prisustvo kisika. Bakterije *Sulfobacter oxydans* ne treba dodavati jer su prisutne unutar fermentatora budući da AD supstrat sadrži neophodne hranjive tvari za njihove metabolizme. Kisik se dovodi ubrizgavanjem zraka u gornji dio fermentatora. Zrak se ubrizgava vrlo malim kompresorom. Cijevi za ubrizgavanje zraka u fermentator moraju biti smještene na suprotnoj strani od izlaza bioplina kako bi se izbjeglo začepljivanje izlazne cijevi.



Slika 7.29. Elementarni sumpor, rezultat biološke desumporizacije unutar fermentatora

Izvor: Rutz, 2007.

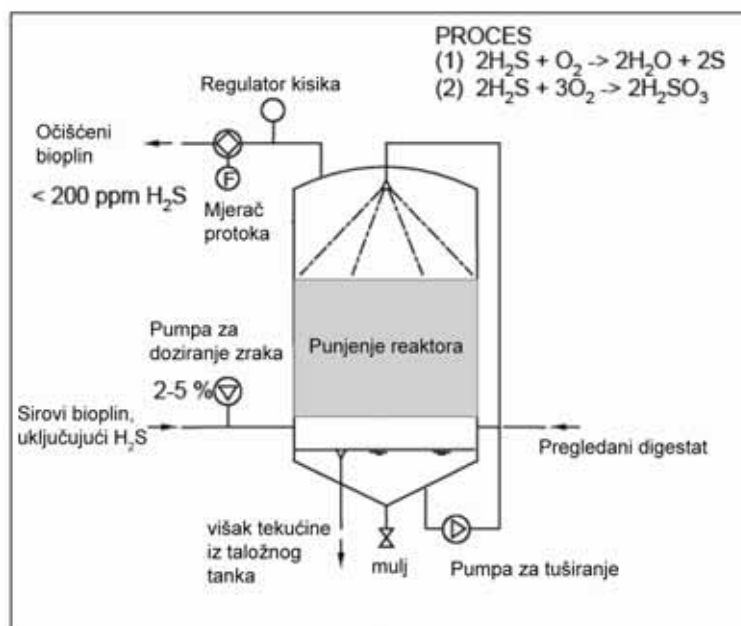
Zrak se ubrizgava direktno u gornji prostor fermentatora i reakcija se odvija u gornjem dijelu reaktora, iznad plutajućeg sloja (ukoliko postoji) i na zidovima. Zbog kisele prirode nastalih proizvoda postoji rizik od korozije. Proces je ovisan i o prisutnosti stabilnog plutajućeg sloja unutar fermentatora.

Iz navedenih razloga, proces se često odvija u odvojenom reaktoru kako je prikazano na slici 7.29.

Biološka desumporizacija izvan fermentatora

Biološka desumporizacija se može odvijati i izvan fermentatora u posudama za desumporizaciju ili desumporizacijskim kolonama. Ova metoda omogućava kontrolu procesa desumporizacije i precizno doziranje kisika.

U praksi, proizvedeni se talog sumpora skuplja i miješa s digestatom u posudama za skladištenje radi poboljšanja gnojidbenog svojstva digestata.

Slika 7.30. Dijagram sustava za biološku oksidaciju H_2S

Izvor: Angelidaki, 2004.

Reaktor (slika 7.30) je sličan četki za pranje poda, a sastoji se od poroznog punjenja (nasumično razmještenim plastičnim elementima ili slično) u kojem, mikroorganizmi mogu rasti, taložnog tanka, pumpe i mlaznice koji su raspoređeni tako da omogućavaju redovito prskanje punjenja. Reaktor prikazan na slici 7.30 ima kapacitet 80 m^3 s 50 m^3 punjenja. Ubrizgavanjem malih količina atmosferskog zraka prema gore izaziva oksidaciju H_2S preko biološkog procesa na kisele proizvode ili slobodni sumpor.



Slika 7.31. Reakcijsko spremište za odvajanje sumporovodika

Izvor: Angelidaki, 2004.

Tuširanje ima funkciju ispiranja kiselih proizvoda i davanja hranjivih tvari mikroorganizmima. U taložnom se tanku zato mora držati tekućina visoke bazičnosti s udjelom esencijalnih hranjivih tvari. Digestirani gnoj, pogotovo ako se pregleda prije upotrebe, predstavlja idealni i lako dostupan izbor lužnate tekućine s hranjivim tvarima.

Obično se reaktor puni s oko 10 m³/h bioplina po m³ poroznog materijala, na procesnoj temperaturi od oko 35°C. Proces je vrlo učinkovit ukoliko se ubrizgava dovoljno zraka (nešto malo više nego što je stehimetrijski potrebno). pH taložnog tanka mora se održavati na šest ili više. Pri procesu pranja, elementi punjenja tuširaju se mješavinom zraka i vode. Pranje se mora odvijati u redovitim intervalima kako bi se spriječilo zatvaranje punjenja reaktora nakupinama slobodnog sumpora.

U nekim slučajevima, kada je bioplin uskladišten ili prolazi digestat nakon skladištenja, H₂S reaktor se preskače i ubrizgava se samo zrak. Čišćenje se onda oslanja na stvaranje plutajućeg sloja u post-skladištu na kojem mikroorganizmi mogu rasti i obaviti oksidaciju. Plutajući sloj se obično može održavati miješanjem niskog intenziteta, što neće uzrokovati previše problema u namjeni skladišta kao privremenog spremnika. Ovo je jeftinije, ali i manje pouzdano rješenje jer su plutajući slojevi prilično nestabilni. Na primjer, mogu neprimjetno potonuti preko noći i ponovo isplivati na površinu poslije nekoliko dana. Zato će se pojaviti periodi s niskom učinkovitosti odstranjivanja H₂S.

Kemijska desumporizacija unutar fermentatora

Desumporizacija se može napraviti i dodavanjem kemijskih tvari u sirovinsku mješavinu unutar digestora. U tom se slučaju sumpor kemijski spaja tijekom procesa AD čime se sprječava oslobađanje sumporovodika u bioplin. Time se ne gubi sumpor nego on ostaje u digestatu.

Kemijska desumporizacija izvan fermentatora

Kemijska desumporizacija bioplina može se odvijati izvan fermentatora korištenjem, primjerice, lužine (obično natrij hidroksid). Ova metoda zahtijeva posebnu opremu.

Druga kemijska metoda za smanjivanje udjela sumporovodika je dodavanje komercijalne željezne otopine u sirovinu. Spojevi željeza vežu sumpor u netopive čestice u tekućoj fazi što sprječava proizvodnju plinovitog sumporovodika. Metoda je prilično skupa jer je dokazano da potrošnja željeznog materijala na stehimetrijskoj osnovi iznosi 2-3 puta traženog smanjenja plinovitog sumporovodika (Angelidaki, 2005.). Jeftinija je alternativa koristiti otpadni materijal koji u sebi sadrži željezo kao kosupstrat te dodavati željezo prema potrebi.

7.9.3. Sušenje

Količina vode koju bioplin može apsorbirati ovisi o temperaturi. Relativna vlaga bioplina unutar fermentatora iznosi 100 posto što znači da je plin zasićen vodenom parom. Kako bi se oprema za konverziju energije zaštitila od habanja i eventualnog oštećenja, mora se iz proizvedenog bioplina ukloniti voda.

Dio vodene pare može se kondenzirati hlađenjem plina. To se redovito događa u plinovodima koji transportiraju plin iz fermentatora u jedinicu za kogeneraciju. Voda se kondenzira na stjenkama nagnutih cijevi i može se sakupiti u kondenzacijskom separatoru (posudi) na najnižoj točki cjevovoda.

Preduvjet za učinkovito hlađenje plina u cjevovodima je dovoljna dužina cijevi. Ukoliko su plinske cijevi smještene ispod zemlje, učinak hlađenja je veći. Za podzemne cijevi je jako važno da budu smještene na stabilnoj podlozi kako bi se osigurao nagib cijevi, koji se može poremetiti ukoliko podloga (zemlja) potone ili se pomakne.

Kondenzacijski separator mora biti otporan na smrzavanje i vrlo pristupačan kako bi se mogao redovito prazniti. Pored odvajanja vodene pare, kondenzacijom se odvajaju i neke nepoželjne tvari poput plinova topivih u vodi i aerosoli.

Druga mogućnost za sušenje bioplina je hlađenje plina u električnim hladnjacima za plin na temperaturama ispod 10°C koje omogućuju odstranjivanje dosta vlage. Kako bi se minimizirala relativna vlažnost, ali ne i apsolutna vlažnost, plin se može zagrijati nakon hlađenja radi sprječavanja kondenzacije zaostale vlage u plinu duž plinovoda.

7.10. Skladištenje digestata

Fermentirani supstrat se u intervalima ispumpa iz fermentatora kao digestat i putem cjevovoda dovodi u spremišta za skladištenje digestata. Spremišta se nalaze u blizini fermentatora, a u njima se digestat privremeno skladišti (nekoliko dana).

Kada se digestat koristi kao gnojivo u poljoprivredi, digestat se transportira iz bioplinskog postrojenja bilo putem cijevi ili posebnih vakuumskih posuda do privremenih skladišta u blizini primjene digestata (npr. u blizini polja). Ukupni kapacitet svih skladišnih spremnika mora biti dovoljan za prihvata proizvodnje digestata od nekoliko mjeseci. Zakonodavstvo u mnogim europskim zemljama zahtjeva da kapacitet skladišta za digestat bude dovoljan za uskladištenje proizvedene količine od šest do devet mjeseci (isto tako i za netretirani kruti i tekući stajski gnoj). Time se osigurava optimalno i učinkovito korištenje digestata kao gnojiva u poljoprivredi te izbjegava njegova primjena tijekom zimskog perioda.

Digestat se može uskladištiti u betonska spremišta koja su pokrivena prirodnim ili umjetnim plutajućim slojevima ili membranama ili u lagune.



Slika 7.32. Spremišta za skladištenje digestata pokrivena prirodnim plutajućim slojem

Izvor: Danska udruga za bioplin, 2008.



Slika 7.33 Spremišta za skladištenje pokrivena membranom

Izvor: Danska udruga za bioplin, 2008.

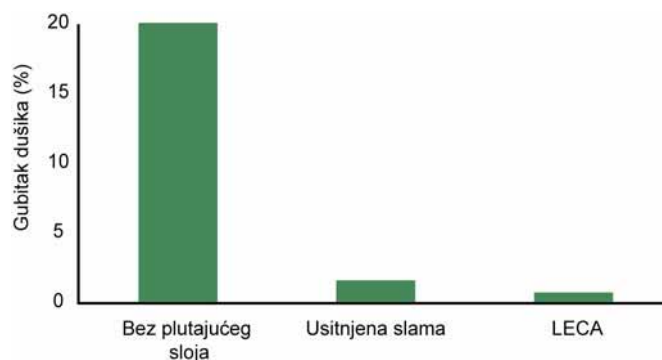


Slika 7.34 Otvorene laguna za skladištenje digestata

Izvor: Agrinz GmbH, 2006.

Kod skladištenja i manipuliranja digestatom je moguće izgubiti dio metana i hranjivih tvari. Iskustvo pokazuje da se do 20 posto ukupne proizvodnje bioplina događa izvan fermentatora, odnosno u spremnicima za skladištenje. Kako bi se spriječile emisije metana i sakupila dodatna proizvodnja plina, spremnici za skladištenje trebali bi uvijek biti pokriveni s plinsko nepropusnom membranom radi sakupljanja plina. Moderna biopliniska postrojenja uvijek imaju spremišta za skladištenje digestata pokrivena plinsko nepropusnom membranom.

Nepokriveni skladišni kapaciteti uvijek bi trebali imati barem plutajući sloj koji pokriva površinu digestata kako bi se stvorila prepreka za emisije amonijaka i metana. Iskustvo pokazuje da postavljanje umjetnog plutajućeg sloja na spremištima za digestat može smanjiti hlapljenje amonijaka s 20 na manje od 2 posto (slika 7.35).



Slika 7.35 Plutajući sloj na spremištima za skladištenje digestata smanjuje hlapljenje amonijaka

Izvor: Birkmose, 2002.

Pri prijevozu u skladišta na poljima, potrebno je digestat pokriti barem s prirodnim plutajućim slojem, kako bi se smanjio rizik hlapljenja amonijaka.

7.11. Kontrolna jedinica

Bioplinsko postrojenje je složena instalacija s velikom međuovisnosti svih dijelova. Zato je centralizirano promatranje i kontroliranje pomoću računalnog sustava ključni dio cjelokupnog rada postrojenja koji bi trebao jamčiti uspjeh i izbjegavanje kvarova (slika 7.36. i 7.37).

Standardizacija i daljnji razvitak tehnologije za proces AD mogući su samo kroz redovito promatranje i dokumentiranje važnih podataka. Promatranje i dokumentiranje je neophodno za stabilne procese, kako bi se prepoznala odstupanja od standardnih vrijednosti i vrlo rano interveniralo primjenom prikladnih korekcijskih mjera.

Proces promatranja (*monitoring*) uključuje sakupljanje i analizu kemijskih i fizičkih parametara. Potrebni su redoviti laboratorijski testovi radi optimiranja AD procesa i izbjegavanja pada procesa proizvodnje bioplina. Minimalno bi trebalo promatrati sljedeće parametre:

- vrsta i količina unesene sirovine (dnevno)
- temperatura procesa (dnevno)
- pH vrijednost (dnevno)
- količina plina i sastav (dnevno)
- sadržaj kraćih lanaca masnih kiselina
- razina punjenja

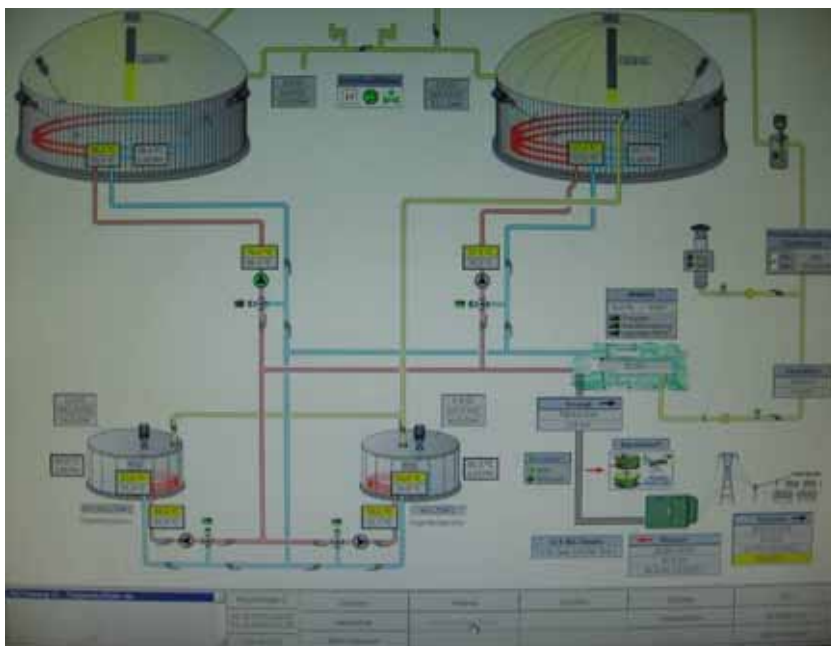
U procesu promatranja obično pomaže proizvođač opreme bioplinskog postrojenja u obliku usluge pružene nakon faze izgradnje.

Kontrola bioplinskih postrojenja je sve više automatizirana i koristi posebne računalne sustave za kontrolu procesa. Moguće je koristiti i bežičnu daljinsku kontrolu. Danas se kontroliraju sljedeće komponente:

- punjenje sirovinom
- sanitacija
- grijanje fermentatora
- intenzitet miješanja i učestalost
- uklanjanje sedimenta

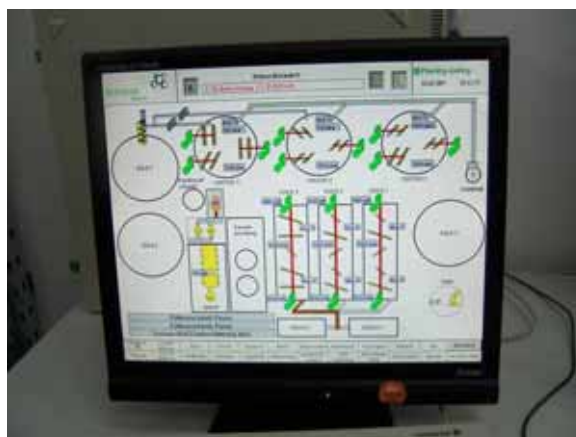
- transport sirovine kroz postrojenje
- odvajanje krutog od tekućeg dijela
- desumporizacija
- izlaz električne energije i topline

Vrsta **opreme za kontrolu i promatranje** varira od jednostavnih *tajmera* do vizualizacije kontrole pomoću računala s daljinskim sustavom za alarm. Ipak je, u praksi, oprema za mjerenje i tehničku kontrolu malih poljoprivrednih bioplinskih postrojenja vrlo jednostavna iz ekonomskih razloga.



Slika 7.366. Slika s monitora plana promatranja na računalu: bioplinsko postrojenje na poljoprivrednu biomasu s dva glavna fermentatora

Izvor: Agrinz, 2006.



Slika 7.377. Sustavi kontrole preko računala

Izvor: Rutz, 2007.

7.11.1. Količina unosa tekuće sirovine

Količina unosa sirovine pumpama može se odrediti korištenjem mjerenja protoka. Mjerači za protok moraju biti robusni i ne bi trebali biti osjetljivi na prljanje. Danas se koriste induktivni i kapacitetni mjerači protoka, ali se sve više koriste i instrumenti koji koriste ultrazvuk i mjerenje termičke vodljivosti. Mjerači protoka s mehaničkim dijelovima su manje prikladni u primjeni kod bioplinskih postrojenja.

7.11.2. Razina punjenja fermentatora

Promatranje razine punjenja u fermentatorima i spremištima za skladištenje obavlja se putem ultrazvučnih ili radarskih tehnika koje mjere hidrostatički tlak na dnu fermentatora ili udaljenost do površine tekućine.

7.11.3. Razina punjenja spremnika za plin

Vrlo je važno je mjeriti razinu punjenja rezervoara za plin (primjerice kod rada kogeneracijskog postrojenja). Ukoliko ima premalo bioplina kogeneracija će se (automatski) isključiti te ponovo uključiti kada razina punjenja prijeđe minimum potreban za rad kogeneracije. Mjerenje razine punjenja obavlja se putem senzora za tlak.

7.11.4. Procesna temperatura

Temperatura unutar fermentatora mora se održavati na stalnoj razini pa se zato stalno promatra. U fermentatoru postoji nekoliko mjernih točaka za promatranje temperature cijelog procesa. Izmjerene vrijednosti se šalju u računalni pohranjivač podataka (eng. *data logger*) i mogu biti vizualno prikazane.

7.11.5. pH vrijednost

pH vrijednost pruža važnu informaciju o tijeku AD procesa. Promatranje pH se obavlja na reprezentativnom uzorku sadržaja fermentatora. Uzorak se uzima u redovitim intervalima, a pH se mjeri ručno – korištenjem normalnih pH mjerača dostupnih na tržištu.

7.11.6. Određivanje masnih kiselina

Promatranje masnih kiselina omogućuje vrednovanje AD procesa. Zato se mjeri spektar i koncentracija kraćih lanaca masnih kiselina. Zbog složenih metoda analize teško je napraviti kontinuirano mjerenje na samom postrojenju. Vrednovanje stvarne biologije procesa je teško čak i kad se uzroci mjere u laboratoriju. Razlog tomu je vrijeme koje je prošlo od trenutka uzimanja uzorka i analize u laboratoriju. Mnogi proizvođači bioplinskih postrojenja i konzultantske kompanije nude analizu masnih kiselina unutar ugovornih obaveza. Kao drugo rješenje, osim mjerenja koncentracije masnih kiselina, može biti i redovito mjerenje kemijske potrošnje kisika (KPK).

7.11.7. Količina plina

Mjerenje količine bioplina je važan alat za određivanje učinkovitosti procesa. Nepravilnosti kod proizvodnje plina mogu uputiti na smetnje u procesu i zahtjevaju poduzimanje odgovarajućih mjera za prilagodbu. Plinomjeri se obično postavljaju direktno na plinske cijevi. Izmjerene količine bioplina trebale bi se zapisivati radi određivanja trendova i sveukupnog rada postrojenja.

7.11.8. Sastav plina

Sastav plina se može redovito promatrati kroz analize plina i upotrebu prikladnih naprava za mjerenje. Rezultati se mogu koristiti za kontroliranje AD procesa i za procese koji slijede, poput čišćenja plina.

Za određivanje sastava plina koriste se senzori temeljeni na toplinskim gradijentima, prijenosu topline, apsorpciji infracrvenog zračenja, kemijskoj sorpciji ili elektrokemijskom mjerenju. Infracrveni senzori su prikladni za određivanje koncentracije metana i ugljikovog dioksida. Elektrokemijski senzori se koriste za određivanje sadržaja vodika, kisika i sumporovodika.

Mjerenje sastava plina obavlja se ručno ili automatski. Ručne naprave za mjerenje pružaju informaciju o trenutnom sastavu plina, ali je podatke kasnije teško integrirati u računalnom sustavu za upravljanje postrojenjem. Iz tog se razloga radije odabiru automatska mjerenja.

Kako početi?

8. Planiranje i gradnja bioplinskog postrojenja

Ovo poglavlje sadrži općenite smjernice o procesu projektiranja, planiranja i gradnje bioplinskog postrojenja. Informacije o ovoj temi za Hrvatsku mogu se naći u nacionalnom dodatku.

8.1. Ostvarivanje projekta izgradnje bioplinskog postrojenja

Motivacije za iniciranje projekta izgradnje bioplinskog postrojenja mogu biti različite, od zaštite okoliša i smanjenja količine otpada, do proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, a mogu uključivati financijske i nefinancijske poticaje. Poljoprivrednici, proizvođači i sakupljači organskog otpada, općine, proizvođači energije i ostali aktivni sudionici u ovom području su najčešće inicijatori bioplinskih projekata. Od same idejne iskre do kraja projekta, proces prolazi kroz sljedeće korake:

1. Projektna ideja
2. Prethodna studija izvodljivosti
3. Studija izvodljivosti
4. Detaljno projektiranje bioplinskog postrojenja
5. Izdavanje dozvola
6. Izgradnja bioplinskog postrojenja
7. Rad i održavanje
8. Obnova i zamjena dijelova
9. Rušenje ili obnavljanje

Kako bi se definirala konkretna ideja bioplinskog projekta najprije treba odgovoriti na sljedećih nekoliko pitanja:

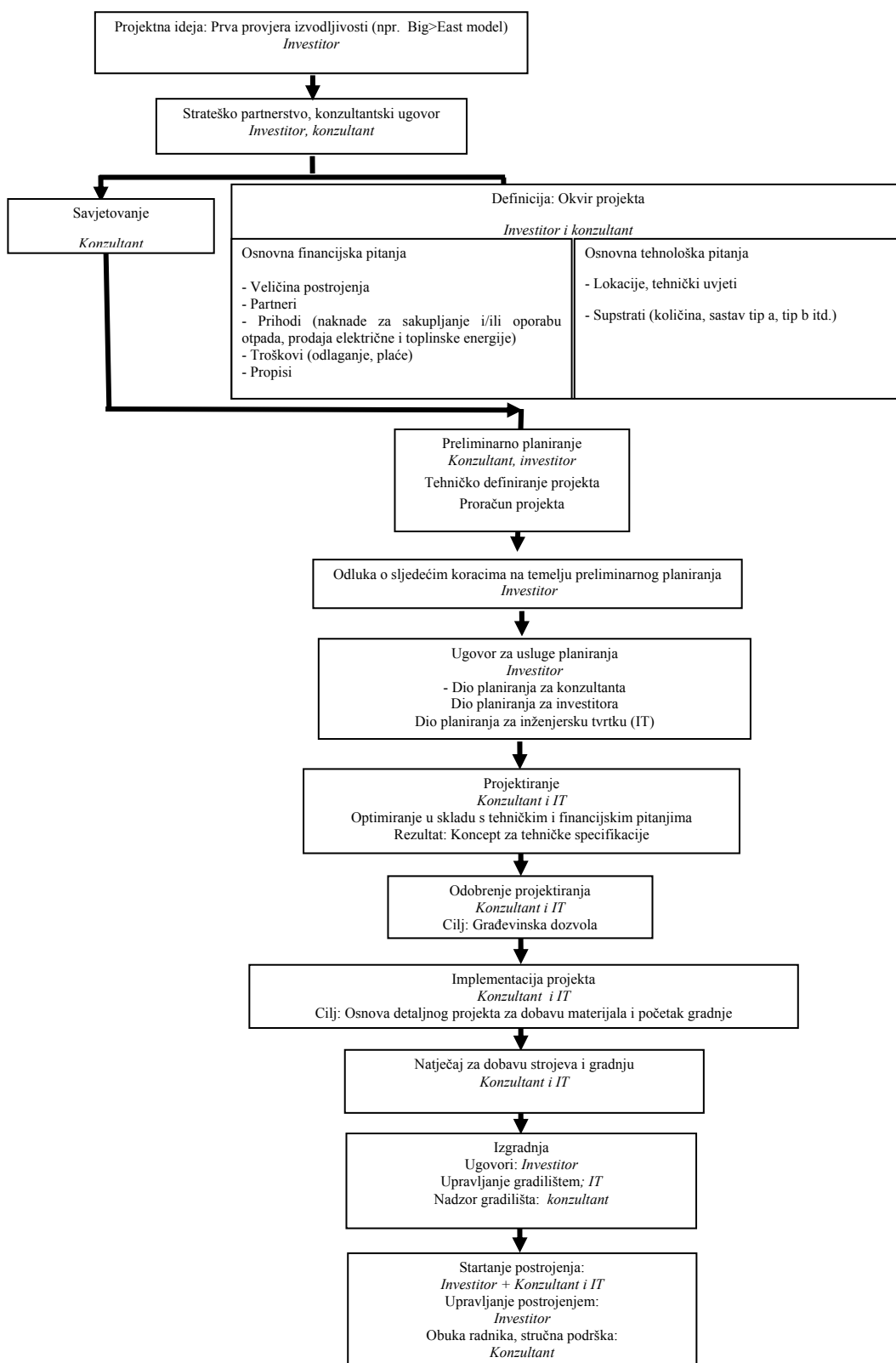
- Što je cilj bioplinskog projekta?
- Kakve su mogućnosti realizacije projekta?
- Kako se može osigurati kontinuirana opskrba sirovinom?
- Gdje se može smjestiti (locirati) bioplinsko postrojenje?

Ključni čimbenici za implementaciju bioplinskog projekta su postojanje i dostupnost sirovine. Nadalje, mogućnost prodaje ili iskorištavanje krajnjih proizvoda bioplinskog postrojenja, tj. bioplina/biometana, električne i toplinske energije i digestata, mora biti

osigurana. Sljedeći korak je procijeniti je li projekt izvediv pod postojećim lokalnim uvjetima. Pri tome treba uzeti u obzir sljedeće parametre:

- definiranje i evaluaciju poslovnog plana i strategije financiranja
- angažiranje/uključivanje kompanije iskusne u projektiranju
- uključivanje ostalih ključnih sudionika, kao što su lokalne vlasti, dobavljači dodatne sirovine, financijske kompanije, investitori i javnost, od samog početka projekta

Postoje različiti uspješni modeli za postavljanje bioplinskog projekta, ovisno o raspoloživosti sirovine (supstrata) i financijskih mogućnosti investitora. Svaki primjer je zaseban pa je neophodan jedinstven pristup svakom od njih. Blok dijagram prikazan na slici 8.1. prikazuje glavne korake bioplinskog projekta.



Slika 8.1. Blok dijagram: glavni koraci bioplinskog projekta

Iako je svaki projekt potrebno razmatrati kao slučaj za sebe jer će konačan oblik bioplinskog postrojenja biti prilagođen okolnostima, postoje neki osnovni koraci slični svim postrojenjima (slika 8.1).

Proces započinje s projektnom idejom i prvim ispitivanjima izvodljivosti. Ukoliko se začetnik projekta i investitor slože da bi krenuli u investiciju, sljedeći korak je angažiratiiskusnu konzultantsku tvrtku na području bioplina. Može se pokazati da je već u ovoj fazi potrebno angažirati i pomoć inženjerske tvrtke (glavnog izvođača radova).

Usporedno s ovim koracima, potrebno je razviti financijsku konstrukciju. Uobičajena praksa je financiranje razvitka projekta iz vlastitih sredstava sve do trenutka kad se napravi preliminarno planiranje pogona. Ukoliko to nije moguće, upitna je cijela realizacija projekta, ali i vjerodostojnost investitora. Prednosti i rizici investicije je stavka koju investitor sam mora dobro proučiti.

Preliminarni plan obuhvaća sve granične uvjete (tehnoške aspekte i investicijski proračun) koji su bitni za vanjskog financijera. Izvješće o preliminarnom planu bi se trebao podijeliti mogućim financijerima projekta poput banaka, institucionalnih investitora, privatnih osoba, interesnim skupinama itd. Preporuča se potpisati ugovor o privatnosti podataka s osobama ili institucijama koje su prihvatile Izvješće na razmatranje.

Izbor financiranja značajno ovisi o lokalnim uvjetima i okolnostima u kojima se nalazi pokretač projekta i time nema univerzalnih pravila što odabrati. No, u daljnjem tekstu Priručnika, a posebno u poglavlju 10 navode se neki općeniti aspekti koje bi trebalo imati na umu.

8.2. Na koji način osigurati kontinuiranu opskrbu sirovinom?

Prvi korak u razvoju projekta izgradnje bioplinskog postrojenja je napraviti „kritičan“ popis tipova i količine dostupne organske sirovine u regiji. Postoje dvije osnovne kategorije biomase koja može biti korištena kao sirovina u bioplinskom postrojenju. Prvu kategoriju čine poljoprivredni proizvodi kao što je stajski gnoj i gnojnica, energetski usjevi (npr. kukuruz, silaža žitarica), ostaci povrća, poljoprivredni nusproizvodi i otpad s farmi. Drugu kategoriju čini širok spektar od pogodnog organskog otpada, kao što je otpad iz ugostiteljstva, čvrsti komunalni otpad, otpad iz prehrambene industrije, proizvodnje stočne hrane i farmaceutske industrije. Pogodnost svih tipova sirovine mora biti procijenjena s obzirom na njihov potencijal proizvodnje metana, podložnosti digestiji, mogućoj kontaminaciji kemijski, biološki ili fizički opasnim tvarima, kao i s ekonomskog aspekta (npr. naknade, troškovi prikupljanja i transporta).

Količina dostupne sirovine tijekom cijele godine i veličina budućeg bioplinskog postrojenja su usko povezane kod razvijanja projekta bioplina. Troškovi opskrbe pojedine sirovine uvijek moraju biti uračunati u procjenu njezine podobnosti za AD. Karakteristike sirovine opisane u dijelovima 8.2.1. i 8.2.2. mogu poslužiti kao smjernice i pomoć tijekom pregovaranja opskrbe budućeg bioplinskog postrojenja sirovinom.

8.2.1. Određivanje veličine postrojenja koje koristi poljoprivrednu sirovinsku osnovu

Stajski gnoj i energetske biljke su najčešće korištena sirovina za poljoprivredna bioplinna postrojenja. Osnovne karakteristike ovih sirovina su prikazane u tablici 8.1.

Tablica 8.1. Karakteristični podaci za sirovine s poljoprivrednih gospodarstava

	Sadržaj ST [%]	Sadržaj oST [%]	Prinos bioplina [m ³ /t oST]	Prinos bioplina [m ³ /t svježeg supstrata]	Sadržaj metana [%]
Goveđi gnoj	10	75	340	25	55
Svinjski gnoj	8	75	400	24	58
Silaža žitarica	40	85.6	656	225	55
Silaža kukuruza	32	95.4	611	187	53

Izvor: Finsterwalder, 2008.

Kako bi se odredila odgovarajuća veličina postrojenja (npr. izražena u proizvedenoj električnoj energiji na pragu) neophodno je uzeti u obzir dostupnost sirovine. Sljedeća dva primjera opisuju kako možemo jednostavno izračunati odgovarajuću instaliranu snagu u kW_{el}.

Primjer određivanja veličine postrojenja / instalirane snage bioplinnog postrojenja na stajski gnoj:

Dnevni volumen stajskog gnoja (m³/dan) mora biti određen

Sadržaj ukupne suhe tvari u stajnjaku/gnojovki (ST%) mora biti specificiran.

Ako je sadržaj ST u stajnjaku/gnojovki 9-10 %, moguća instalirana snaga se računa množenjem dnevnog volumena stajskog gnoja s 2,4 kW_{el} dan/m³.

Poljoprivrednik koji posjeduje 200 muznih krava proizvest će oko 10 m³/dan gnojovke/ stajskog gnoja s 10% ST.

Izračun instalirane snage bit će:

$$10 \text{ m}^3/\text{dan} \times 2,4 \text{ kW}_{\text{el}} \text{ dan}/\text{m}^3 = 24 \text{ kW}_{\text{el}}$$

Primjer određivanja veličine bioplinnog postrojenja u kojem se odvija digestija energetskih usjeva:

Dostupna proizvodna površina (npr. za kukuruz, žito) mora biti određena u hektarima (ha).

Moguća instalirana snaga po hektaru i po godini (kW_{el}/ha/god) procjenjuje se na temelju prosječne kvalitete tla i vremenskih prilika.

Uz pretpostavku da svaki hektar vrijedi 2,5 kW_{el} električne energije godišnje, moguća instalirana snaga se izračunava množenjem dostupne proizvodne površine s 2,5 kW_{el}/ha.

$$200 \text{ ha} \times 2,5 \text{ kW}/\text{ha} = 500 \text{ kW}_{\text{el}}$$

Suma rezultata izračuna za stajnjak i energetske usjeve daje moguću instaliranu snagu budućeg bioplinskog postrojenja. Na temelju instalirane snage moguće je izračunati moguću godišnju proizvodnju električne energije.

Koristi vezane za ekonomiju razmjera primjenjive su i na poljoprivredna bioplinska postrojenja. Postojeća iskustva iz Njemačke pokazuju da, u slučaju korištenja energetske usjeve kao sirovine, bioplinska postrojenja s instaliranom snagom manjom od 250 kW_{el} zahtijevaju posebne napore kako bi se osigurala ekonomska opravdanost.

Ukoliko je nakon prve provjere izračuna veličina bioplinskog postrojenja premala, bilo bi korisno razmisliti o suradnji s drugim poljoprivrednicima, kako bi se postigla veličina koja će biti ekonomski profitabilna. Ovakvi slučajevi su vrlo česti u Njemačkoj gdje postoje postrojenja kojima zajedno upravlja više od 15 poljoprivrednika.

8.2.2. Određivanje veličine postrojenja koje koristi industrijski/komunalni otpad kao sirovinu

Postoje mnoga poljoprivredna bioplinska postrojenja u kojima se kodigestira industrijski organski otpad ili organski otpad izdvojen iz komunalnog otpada. U većini slučajeva, općine i sakupljači otpada trebaju obraditi otpad kojim će raspolagati.

Kada se razmatra korištenje ovih tipova otpada u budućem bioplinskom postrojenju, prvi korak je procijeniti kvalitetu sirovine i potencijal stvaranja metana. Nakon toga se na temelju dobivenih podataka može procijeniti moguća veličina bioplinskog postrojenja. Moguća proizvodnja metana iz nekog supstrata razlikuje se od proizvođača do proizvođača, ovisno o tehnologiji i korištenoj sirovini. No, okvirne vrijednosti moguće je odrediti, kako je prikazano u tablici 8.2.

Table 8.2 Karakteristike nekih tipova otpada, često korištenih kao supstrat za AD

	Sadržaj ST [%]	Sadržaj oST [%]	Prinos bioplina [m ³ /t oST]	Prinos bioplina [m ³ /t svježeg supstrata]	Sadržaj metana [%]
Otpaci od hrane	27	92	720	179	65
Organski otpad (odvojeno prikupljen iz različitih izvora)	40	80	454	145	60
Uljni separatori (prije izdvajanja vode)	36	69	1200	298	61

Izvor: Finsterwalder, 2008.

Kvaliteta organskog otpada razlikuje se od zemlje do zemlje i od regije do regije, što ovisi o navikama potrošača. Teško je da će čak i iskusan stručnjak biti u stanju procijeniti mogućnost nastanka metana iz otpada samo na temelju vizualnog pregleda. Nakon što se provjeri dostupnost nekog tipa otpada, neophodno je provesti eudiometrijsko ispitivanje nastanka i kvalitete plina, kako bi se zatim mogla odrediti adekvatna veličina budućeg bioplinskog postrojenja.

Izračuni za pojedine slučajeve spomenutih postrojenja mogu se provesti pomoću računskih modela koji se nalaze na priloženom CD-u. Računski model se, također, može besplatno preuzeti s internetske stranice <http://www.big-east.eu/>.

8.2.3. Sheme snabdijevanja sirovinom

Uspješno planiranje bioplinskih projekata podrazumijeva razradu sheme snabdijevanja sirovinom. Postoje dva tipa sheme snabdijevanja:

1. Jedan dobavljač (npr. poljoprivredno gospodarstvo, proizvođač organskog otpada) ima dovoljno stajskog gnoja, organskog otpada, obradive zemlje ili sve od navedenog, kako bi osigurao sirovinu neophodnu za funkcioniranje bioplinskog postrojenja.
2. Nekoliko dobavljača (npr. manjih poljoprivrednih gospodarstava, proizvođača organskog otpada) rade zajedno u konzorciju (npr. u obliku društva s ograničenom odgovornošću, udruge, zadruge) kako bi izgradili, upravljali i snabdijevali bioplinsko postrojenje.

U oba slučaja, važno je osigurati kontinuirano i dugoročno snabdijevanje sirovinom za AD. Ovo je prilično jednostavno ukoliko je dobavljač jedno poljoprivredno gospodarstvo s pripadajućim proizvodnim površinama. U slučaju konzorcija vlasnika i dobavljača sirovine, svaki dobavljač mora potpisati dugoročni ugovor koji sadrži barem sljedeće odredbe:

- trajanje ugovora
- garantiranu količinu isporučene sirovine ili proizvodne površine
- garantiranu kvalitetu isporučene biomase
- uvjete plaćanja prema isporučenoj količini i kvaliteti

U slučaju kada je dobavljač sirovine ujedno i investitor ili suvlasnik bioplinskog postrojenja, sa svakim suvlasnikom treba potpisati zaseban ugovor u kojem će biti utvrđene sve obveze i odgovornosti.

8.3. Gdje smjestiti bioplinsko postrojenje?

Drugi korak u razradi ideje bioplinskog projekta je naći pogodnu lokaciju za izgradnju bioplinskog postrojenja. Sljedeći popis ukazuje na neke važne okolnosti koje treba uzeti u obzir prije odabira lokacije za buduće postrojenje:

- Lokacija se treba nalaziti na prikladnoj udaljenosti od naselja kako bi se izbjegle neugodnosti, smetnje i time konflikti vezani za neugodne mirise i povećanu razinu prometa prema i od bioplinskog postrojenja.
- Smjer prevladavajućih vjetrova mora se uzeti u obzir kako bi se izbjeglo širenje neugodnih mirisa do naseljenih područja.
- Na lokaciji mora postojati laki pristup infrastrukturi kao što je elektroenergetska mreža, kako bi se omogućila prodaja električne energije te transportne ceste kako bi se omogućio dovoz sirovine i odvoz digestata.
- Tlo na lokaciji treba istražiti prije početka gradnje.

- Izabrana lokacija ne bi smjela biti smještena na potencijalno poplavnom području.
- Lokacija bi trebala biti smještena relativno blizu (centralno) mjestu proizvodnje poljoprivredne sirovine (stajski gnoj, gnojnica, energetski usjevi) kako bi se minimizirala udaljenost, vrijeme i troškovi transporta sirovine.
- Bioplinsko postrojenje bi radi isplativosti trebalo biti smješteno što je moguće bliže potencijalnim potrošačima proizvedene toplinske energije. Alternativno, potencijalni potrošači kao što je industrija koja treba toplinsku energiju za svoje procese, staklenici itd, mogu biti naknadno izgrađeni u blizini bioplinskog postrojenja.
- Veličina parcele mora biti odgovarajuća za aktivnosti koje se provode kao i za privremeno skladištenje dobavljene količinu biomase.

Prostor potreban za bioplinsko postrojenje ne može biti procijenjen na jednostavan način. Iskustva pokazuju da je npr. za bioplinsko postrojenje od 500 kW_{el} potrebno otprilike 8 000 m². Ova brojka se može uzeti kao okvirna vrijednost, ali stvarne potrebe za prostorom ovise i o izabranoj tehnologiji.

U sljedećim primjerima su ilustrirane grube procijene površine bioplinskog postrojenja u kojem se kao sirovinska osnova koriste energetski usjevi. Prvi izračun prikazuje određivanje površine silosa (bunkerski silos) koji je potreban za skladištenje sirovine.

$$AS = MS / (GS * VS)$$

MS:	Količina sirovine skladištene u silosu	[t]
GS:	Gustoća sirovine u silosu	
VS:	Visina silosa	[m]
AS:	Površina silosa	[m²]

Kalkulacija vrijedi za silose do visine punjenja od 3 metara. Izračun je temeljen na primjeru planiranog bioplinskog postrojenja instalirane snage od 250-750 kW_{el}. Površina parcele potrebne za samo bioplinsko postrojenje uvijek će biti rezultat detaljnih projektantskih izračuna. U prvoj procjeni, bioplinsko postrojenje zahtijeva dvostruko veću površinu od silosa.

$$AB = 2 * AS$$

AB:	Površina bioplinskog postrojenja
AS:	Površina silosa

8.4. Dobivanje dozvola

Procedura, kriteriji i dokumentacija potrebna za dobivanje građevinske dozvole za bioplinsko postrojenje u svakoj zemlji je različita.

Kako bi dobio građevinsku dozvolu, investitor mora dokumentirati usklađenost projekta s nacionalnim zakonskim propisima kojima su regulirana pitanja kao što je rukovanje i uporaba stajskog gnoja i organskog otpada, granične vrijednosti emisija u okoliš, razine buke, neugodnih mirisa, utjecaji na podzemne vode, zaštita krajobraza, zaštita na radu, zaštita građevina i drugo.

Iskustva pokazuju da je vrlo važno uključiti lokalne vlasti u ranom stadiju projekta, kako bi im se pružile informacije iz prve ruke i zatražila njihova pomoć u procesu izdavanja dozvola i implementacije projekta.

Angažiranje iskusne projektantske tvrtke u procesu izdavanja građevinskih dozvola može biti od velike pomoći ili čak nužno, ovisno o lokalnim uvjetima. Neke građevinske tvrtke su voljne obaviti ovaj posao po niskoj cijeni, kako bi kasnije dobile ugovor za izvedbu građenja.

Budući da je tržište energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj još uvijek u nastajanju, postojeći zakonodavni okvir je podložan izmjenama i dopunama što utječe na proceduru stjecanja statusa povlaštenog proizvođača. Iz tog se razloga preporuča kontaktirati resorno ministarstvo za obnovljive izvore energije - Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva – ili posjetiti njegove službene internetske stranice na www.mingorp.hr, odnosno Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (www.mzopu.hr) koje je zaduženo za prostorne planove.

8.5. Pokretanje bioplinskog postrojenja

Izgradnja bioplinskog postrojenja slična je izgradnji u bilo kojem drugom obliku poduzetništva, no pokretanje bioplinskog postrojenja je postupak koji moraju provesti iskusni ljudi koji su upoznati s dizajnom postrojenja i s mikrobiologijom procesa AD.

Pokretanje bioplinskog postrojenja uvijek bi trebala obaviti tvrtka koja je dizajnirala i izgradila postrojenje. Upravitelj i zaposlenici koji su odgovorni za budući rad postrojenja, obrazuju se o vođenju i održavanju bioplinskog postrojenja. Način na koji se ovaj posao provodi razlikuje se od slučaja do slučaja.

Prije pokretanja bioplinskog postrojenja, vlasnik mora provjeriti jesu li ispunjene sve obveze propisane zakonskim aktima radi dobivanja svih neophodnih dozvola (npr. uporabna dozvola).

Sljedeći korak je napuniti digester stajskim gnojem ili digestatom iz bioplinskog postrojenja koje već dobro funkcionira. Cilj korištenja digestata iz postojećeg postrojenja je da se novi digester inokulira populacijama mikroorganizama neophodnim za proces AD. Prije dohranjivanja sustava sirovina treba biti zagrijana do temperature na kojoj se odvija proces.

Za bioplinska postrojenja na jednom poljoprivrednom gospodarstvu, s kapacitetom do 500 kW_{el}, za vođenje i održavanje obično je potrebno oko četiri sata dnevno. U slučaju postrojenja za obradu otpada, vrijeme potrebno za vođenje i održavanje se određuje na temelju dogovora između projektanta postrojenja i investitora.

9. Sigurnost bioplinskog postrojenja

Uz izgradnju i vođenje bioplinskog postrojenja vezan je niz važnih sigurnosnih pitanja koja, ako se ne uzmu u obzir predstavljaju rizik i opasnost za ljude, životinje i okoliš.

Provedba svih mjera opreza i sigurnosti ima za cilj izbjegavanje bilo kakve rizične i opasne situacije, a ujedno doprinosi sigurnosti rada postrojenja.

Dobivanje građevinske i uporabne dozvole ovisi, između ostalog, o ispunjenju važnih sigurnosnih uvjeta i postojanju jasnih mjera prevencije i kontrole mogućih šteta, kao što su:

- prevencija eksplozije
- prevencija požara
- mehaničke opasnosti
- dobra statika izgradnje
- sigurnost električnog sustava
- gromobranska zaštita
- termalna sigurnost (izolacija)
- zaštita od buke
- prevencija gušenja i trovanja
- higijenska i veterinarska sigurnost
- izbjegavanje emisije onečišćujućih tvari u zrak
- zaštita od procjeđivanja u podzemne i površinske vode
- izbjegavanje emisije onečišćujućih tvari tijekom odlaganja otpada
- zaštita od poplava

9.1. Prevencija od eksplozija i požara

Kao što je već spomenuto, pod određenim uvjetima, bioplin u kombinaciji sa zrakom može stvoriti eksplozivnu plinsku mješavinu. Rizik požara i eksplozije je posebno velik u blizini digestora i skladišta bioplina. Prema tome, posebne mjere moraju biti osigurane tijekom izgradnje i rada bioplinskog postrojenja. U tablicama 9.1 i 9.2 bioplin i njegove osnovne komponente uspoređene su s ostalim plinovima, s obzirom na eksplozivnost.

Tablica 9.1. Karakteristike sastava plinova (Prosječni sastav bioplina: metan 60% Vol.-%, ugljik dioksid 38 Vol.-% i ostali plinovi 2 Vol.-%);

	Jedinica	Bioplin	Prirodni plin	Propan	Metan	Vodik
Toplinska vrijednost	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Gustoća	kg/m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Omjer gustoće u odnosu na zrak		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07

Temperatura zapaljenja	°C	700	650	470	600	585
Raspon eksplozivnosti	Vol.-%	6 – 12	4,4 – 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77

Izvor:FNR, 2006.

Tablica 9.2.Karakteristike sastava bioplina (MDV – Maksimalna Dopuštena Vrijednost² u EU)

	Jedinica	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	CO	H
Gustoća	kg/m ³	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Omjer gustoće u odnosu na zrak		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Temperatura zapaljenja	°C	600	-	270	605	585
Raspon eksplozivnosti	Vol.-%	4,4 – 16,5	-	4,3 - 45,5	10,9 - 75,6	4 - 77
MDK vrijednost	ppm	Nema vr.	5,000	10	30	Nema vr.

Izvor:FNR, 2006.

Prema Europskoj Direktivi 1999/92/EC opasni prostori su klasificirani u smislu zona (ex-zone) na temelju učestalosti i trajanja pojave eksplozivne atmosfere. U ovim zonama moraju se provoditi primjerene mjere kako bi se izbjegao akcident. Ove su mjere opisane u Direktivi.

Zona 0

Mjesto na kojem je eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka s zapaljivim supstancama (plin, para ili magla) stalno prisutna tijekom dugih perioda ili je učestalo prisutna. Ovakva zona obično ne postoji na lokaciji bioplinskog postrojenja.

Zona 1

Mjesto na kojem je vjerojatno da će se eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka s zapaljivim supstancama (plin, para ili magla) pojaviti povremeno, tijekom normalnog rada.

Zona 2

Mjesto na kojem je nije vjerojatno da će se eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka s zapaljivim supstancama (plin, para ili magla) pojaviti tijekom normalnog rada, ali ukoliko se pojavi to će biti samo tijekom kratkog vremenskog perioda.

Iako se eksplozije događaju samo pod određenim uvjetima, uvijek postoji rizik od požara u slučaju otvorenog plamena, iskrenja električnih uređaja ili udara groma.

² Eng. Treshold limit value (TLV) – MDV kemijske tvari je razina za koju se smatra prihvatljivom da radnik svakodnevno bude izložen bez negativnih posljedica po zdravlje.

9.2. Rizik od trovanja i gušenja

Ukoliko se bioplin inhalira u dovoljno velikoj koncentraciji može doći do simptoma trovanja i gušenja pa čak i smrti. U prisutnosti sumporovodika (H_2S) u nedesulfuriziranom obliku, bioplin može biti izrazito toksičan, čak i pri niskim koncentracijama.

Tablica 9.3. Toksični učinci sumporovodika (H_2S)

Koncentracija (u zraku)	Učinak
0,03 – 0,15 ppm	Granica osjetljivosti (miris pokvarenih jaja)
15 – 75 ppm	Iritacija očiju i dišnih putova, mučnina, povraćanje, glavobolja, nesvjestica
150 – 300 ppm (0,015 – 0,03 %)	Paraliza olfaktornih živaca
> 375 ppm (0,038 %)	Smrt radi trovanja (nakon nekoliko sati)
> 750 ppm (0,075 %)	Nesvjestica i smrt radi respiratornog aresta u roku od 30 do 60 minuta
od 1000 ppm (0,1 %)	Brza smrt radi respiratorne paralize u svega nekoliko minuta

Izvor: FNR, 2006.

Gušenje može biti izazvano radi zamjene kisika bioplinom, što se može dogoditi u zatvorenim prostorijama na niskim razinama (npr. podrum, podzemne prostorije i sl.). Bioplin je lakši od zraka, relativne gustoće od otprilike 1,2 kg po Nm^3 , ali ima tendenciju razdvajanja na komponente. Ugljikov dioksid koji je lakši ($D = 0,72 \text{ kg/m}^3$), uzdiže se do atmosfere. Zbog toga moraju biti poduzete mjere opreza u zatvorenim prostorima, kako bi se osigurala odgovarajuća ventilacija. Nadalje, osobna sigurnosna oprema mora se nositi tijekom rada u potencijalno opasnim prostorima.

9.3. Zdravlje i rizik od nesreća

Osim rizika od trovanja i gušenja, ostali potencijalni rizici uključuju opasnost od pada s ljestava ili nenatkrivenih prostora (npr. ljevak za dovođenje sirovine, osovine koje se koriste tijekom održavanja) ili od ozljeda od pomičnih dijelova postrojenja (npr. miješalica)

Oprema kao što su miješalice, pumpe, oprema za dovođenje sirovine koristi električnu energiju visokog napona. Nepravilno korištenje ove opreme ili kvarovi na kogeneracijskom postrojenju mogu rezultirati smrtonosnim električnim udarom, radi voltaže od nekoliko stotina volti i visokog intenziteta strujanja koje ih proizvodi.

Postoje rizici opeklina tijekom rada na sustavu grijanja i hlađenja bioplinskog postrojenja (npr. hladnjaci motora, grijanje digestora, grijače pumpe). Ovo se odnosi i na dijelove kogeneracijskog postrojenja i na plamen plina.

Kako bi se izbjegle ovakve nesreće na odgovarajućim dijelovima postrojenja moraju biti postavljena jasna upozorenja, a radnici moraju biti adekvatno obučeni.

9.4. Sanitarne mjere, kontrola patogena i veterinarski aspekti

9.4.1. Higijenski aspekti bioplinskih postrojenja

Otpad životinjskog i ljudskog porijekla, korišten kao sirovina za AD, sadrži različite patogene, parazite i viruse. Patogene vrste koje su redovno prisutne u životinjskom izmetu, gnojnici i komunalnom otpadu su bakterije (npr. *Salmonellae*, *Enterobacter*, *Clostridiae*, *Listeria*), paraziti (npr. *Ascaris*, *Trichostrangylidae*, *Coccidae*), virusi i gljivice. Kodigestija otpada iz klaonica i tvornica obrade ribe, mulja od obrade otpadnih voda i bio-otpada potencijalno povećava raznolikost patogena koji mogu biti rašireni te mogu ući u životinjske i ljudske hranidbene lance.

Tretirani efluent (digestat) iz bioplinskog postrojenja se obično aplicira kao gnojivo na poljoprivrednim površinama čime nastaje rizik širenja patogena s jedne farme na drugu. Rizik od širenja patogena preko primjene digestata mora biti spriječen primjenom standardnih veterinarskih sigurnosnih mjera.

Sanitarne mjere navedene u nastavku pridonose učinkovitoj kontroli patogena i ostalih zaraznih tvari kroz AD:

- Kontrola zdravlja stoke. Stajski gnoj i gnojnica stoke sa zdravstvenim problemima ne smije biti korištena kao sirovina.
- Kontrola ulazne sirovine. Oblici biomase s visokim rizikom kontaminacije patogenima moraju biti isključeni iz AD.
- Odvojena preliminarna sanitarna obrada različitih kategorija sirovine je obvezna, što je propisano Europskom uredbom EC 1774/2002. Ovisno o kategoriji sirovine, Uredba zahtjeva ili pasterizaciju (na 70°C tijekom jednog sata) ili sterilizaciju pod tlakom (na minimum 133°C tijekom barem 20 minuta i pod apsolutnim tlakom para od najmanje 3 bara).
- Kontrolirana sanitarna obrada. U slučaju kategorija sirovina, koje sukladno EC 1774/2002, ne zahtijevaju odvojenu prethodnu sanitarnu obradu, kombinacija temperature procesa AD i minimalnog garantiranog vremena retencije (MGVR) na toj temperaturi unutar digestora bit će dovoljno učinkovita za redukciju/inaktivaciju patogena u digestatu.
- Kontrola učinkovitosti redukcije patogena u digestatu upotrebom indikatorskih vrsta. Učinkovitost redukcije patogena ne smije biti pretpostavljena, već mora biti potvrđena upotrebom nekog od akreditiranih metoda pomoću indikatorskih organizama (npr. log₁₀ FS). Pogledajte poglavlje 9.4.3. radi detaljnijih informacija o indikatorskim vrstama i kontroli učinkovitosti redukcije patogena u procesu AD.

9.4.2. Parametri za higijensku učinkovitost bioplinskog postrojenja

Učinkovita redukcija patogena u digestatu je osigurana implementacijom odvojenog preliminarnog sanitarnog procesa za oblike sirovina koje zahtijevaju specijalne sanitarne mjere (npr. otpadne vode iz klaonica, otpadna hrana, flotacijski mulj i dr.). Za oblike sirovina koje ne zahtijevaju odvojenu sanitarnu obradu (životinjski izmet i gnojnica, energetske usjevi, otpad biljnog porijekla bilo kakve vrste i dr.) obvezna sanitarna obrada i redukcija patogena je osigurana samim procesom AD. Neki procesni parametri, kao što

su temperatura, vrijeme zadržavanja u digestoru, pH i dr, imaju direktan ili indirektan učinak na učinkovitost sanitarne obrade AD procesom.

Temperatura

Temperatura procesa mora imati učinak sanitarne obrade na dodane supstrate. U slučaju preliminarnog tretmana sirovine, učinkovitost redukcije patogena se povećava s porastom temperature.

Vrijeme zadržavanja (retencije)

U slučaju kada se u bioplinskom postrojenju tretira životinjski izmet ili gnojnica, biomasa biljnog porijekla iz poljoprivrednih aktivnosti kao i ostali neproblematični oblici sirovina, sanitarna obrada je rezultat kombinacije temperature i MGVR.

Utjecaj temperature i MGVR na uništavanje patogena je istaknuto u tablici 9.4, koja prikazuje vrijeme uništavanja za neke uobičajene patogene iz životinjskog izmeta i gnojnice. U slučaju vrste *Salmonella typhi murium*, uništenje 90 posto populacije se događa u roku od 0,7 sati u digestoru koji radi na temperaturi od 53°C (termofilna digestija) ili u roku od 2,4 dana u digestoru koji radi na temperaturi od 35°C (mezofilna digestija) Isti stupanj redukcije salmonele u netretiranom otpadu može trajati od dva do šest tjedana na temperaturi okoline,.

pH-vrijednost

Redukcija mikroorganizama (bakterija) se može provesti u kiselom ili alkalnom mediju. Iz ovog razloga, preliminarna hidroliza nekih oblika biomase rezultira značajnim spuštanjem pH-vrijednosti i reduciranjem broja mikroorganizama od 90 posto (što je uzrokovano toksičnim učinkom organskih kiselina).

Tablica 9.4. Vrijeme uništenja (T-90)* nekih patogenih bakterija, usporedba između AD i netretiranog životinjskog otpada

Bakterija	Otpad tretiran AD		Netretiran otpad	
	53°C (temperatura termofilnog procesa) sati	35°C (temperatura mezofilnog procesa) dani	18-21°C tjedni	6-15°C tjedni
<i>Salmonella typhi murium</i>	0,7	2,4	2,0	5,9
<i>Salmonella dublin</i>	0,6	2,1	-	-
<i>Escherichia coli</i>	0,4	1,8	2,0	8,8
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5	0,9	0,9	7,1
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	0,7	6,0	-	-
<i>Coliform bacteria</i>	-	3,1	2,1	9,3
<i>Group of D-Streptococi</i>	-	7,1	5,7	21,4
<i>Streptococcus faecalis</i>	1,0	2,0	-	-

* Vrijeme uništavanja T-90 je vrijeme preživljavanja promatranih mikroorganizama. Vrijeme uništavanja T-90, definirano od Schlundt-a (1984.), je vrijeme potrebno za smanjenje populacije za jednu logaritamsku jedinicu (log10), koja je ekvivalentna 90% uništenja.

Izvor: Bendixen, 1999.

Porijeklo tekućeg stajskog gnoja

Životni vijek patogena ovisi o porijeklu tekućeg stajskog gnoja. Na primjer vrste *Salmonellae* preživljavaju najduže u gnojnici goveda, dok gnojnica svinja, s druge strane sadrži više infektivnih organizama radi veće gustoće životinja na gospodarstvu i prisutnosti patogena u hrani.

Pozitivni / negativni učinci

Zaštitna aglomeracija mikroorganizama (bakterija) može produžiti proces inaktivacije patogena.

Sadržaj suhe tvari

Neke vrste *Salmonellae* karakterizira najveća stopa preživljavanja ukoliko je sadržaj ST veći od 7 posto.

Sadržaj amonijaka

Inaktivacija patogena je učinkovitija u supstratu s visokim sadržajem amonijaka. Što je koncentracija amonijaka u digestatu veća nego u svježem izmetu/gnojnici, to je veća učinkovitost inaktivacije patogena.

Sustav digestora

U digestorima s potpunim miješanjem, svježa sirovina uvijek može kontaminirati već sanitarno obrađen supstrat. Čak i u protočnom reaktoru, gdje se čestice kreću ravnomjerno kroz reaktor, kratki prekidi ne mogu biti spriječeni. Stoga, minimalno vrijeme zadržavanja (retencije) u reaktorima s potpunim miješanjem ne može biti garantirano. Ovo može biti osigurano isključivo u serijskom ili diskontinuiranom sustavu gdje je digestor prvo napunjen, a zatim potpuno ispražnjen nakon digestije (npr. serijska metoda suhog AD sustava).

9.4.3. Indikatorske vrste

Digestat je nemoguće analizirati na sve patogene vrste koje mogu biti prisutne te stoga postoji potreba za identifikacijom indikatorskih vrsta koje bi se mogle pouzdano koristiti za evaluaciju učinkovitosti redukcije patogena u digestatu.

Jedna od najčešće korištenih metoda je log10 od FS, temeljena na mjerenjima fekalnih streptokoka (FS) u digestatu. Nekoliko veterinarskih istraživačkih programa u Danskoj posvećeno je mjerenju preživljavanja bakterija, virusa i jaja parazita u životinjskom izmetu pod različitim uvjetima skladištenja i anaerobnog tretmana. Izabran je indikator *Faecal streptococci* (enterokok) jer ovaj soj streptokoka preživljava termalno tretiranje dugo nakon što ostale patogene bakterije, virusi i jaja parazita bivaju uništeni, odnosno izgube sposobnost preživljavanja.

U Njemačkoj je provedeno higijensko/sanitarno ispitivanje otpadnog mulja od pročišćavanja voda i biootpada koji se koristi za anaerobnu kodigestiju. Kao smjernice su korišteni već postojeći uvjeti koji se odnose na higijenske aspekte aerobne proizvodnje komposta, a mnoge indikatorske vrste koje se koriste u mikrobiologiji javnog zdravlja bile su odbijene radi njihove prisutnosti u tlu i vodi. Za kodigestiju bio-otpada, zaključeno je da je odsustvo salmonele najbolji indeks sanitarne učinkovitosti u postrojenjima AD za kodigestiju. Prisutnost vrsta *Salmonella sp.* ustanovljena je u više od 90 posto uzoraka biootpada. U suprotnosti s metodom log 10 od FS, koja se koristi u Danskoj, procedura

Salmonela testa zahtjeva preliminarno obogaćivanje i obogaćivanje tijekom kultivacijskih stadija u puferiranoj peptonskoj vodi i selektivnim medijima, prije pozitivne identifikacije.

Nužnost osiguranja fito-higijene istraživana je u Njemačkoj. Nasuprot bakterijskom sustavu, za fito-patogene indikatorski organizmi nisu prepoznati. Jedini indikator koji je već široko distribuiran u komunalnom otpadu su sjemenke rajčice. Stoga je u Njemačkoj definiran termin „fito-higijenska sigurnost“ kojim se označava nepostojanje više od dvije sjemenke rajčice sposobne za klijavost i/ili reproduktivnih dijelova biljaka u jednoj litri tretirane otpadne vode ili otpada.

Slične studije ističu učinak temperature na inaktivaciju virusa. Za većinu testiranih virusa, ustanovljeno je da je toplina jedini i najvažniji parametar. To je u skladu sa zaključcima ostalih istraživača, koji ukazuju da faktori kao što su visoka pH vrijednost, amonijak, deterdženti i mikrobiološki metaboliti, mogu pridonijeti inaktivaciji virusa.

Korištenje indikatorskih vrsta za evaluaciju potencijalnog uništavanja patogena oslanja se na aktivaciju, rast i infektivnost test-organizama.

9.4.4. Zahtjevi za sanitarnu obradu

Većina Europskih zemalja ima nacionalnu regulativu kojom su propisani zahtjevi o higijeni/sanitarnim standardima u bioplinskim postrojenjima u kojima se koristi životinjski izmet s različitih poljoprivrednih gospodarstava ili se provodi kodigestija životinjskog izmeta i organskog otpada.

Jedna od najvažnijih europskih uredbi koja se odnosi na AD je Uredba o životinjskim nusproizvodima EC 1774/2002, koja se odnosi na tretman i uporabu otpada životinjskog porijekla. Uredbom su identificirane tri glavne kategorije životinjskih nus-proizvoda i definirani su zahtjevi za tretman i sanitarnu obradu, neophodnu opremu i dr.

Kao što je prikazano u tablici 9.5. tretman životinjskih nusproizvoda **kategorije 1** u bioplinskim postrojenjima nije dozvoljen.

S iznimkom tekućeg stajskog gnoja, sadržaja želuca i crijeva (odvojenih od želuca i crijeva), mlijeka i kolostruma (koji su dozvoljeni bez prethodnog tretiranja, pod uvjetom da ne postoji opasnost od širenja opasnih bolesti) svi životinjski nusproizvodi **kategorije 2** moraju biti sterilizirani u ovlaštenom postrojenju na temperaturi $\geq 133^{\circ}\text{C}$, i pri tlaku ≥ 3 bara, a termalna obrada mora biti provedena barem tijekom 20 minuta nakon postizanja temperature od 133°C , prije korištenja u bioplinskom postrojenju. Veličina čestica tretiranog supstrata mora biti < 50 mm.

Tablica 9.5. Životinjski nus-proizvodi koji nisu namijenjeni ljudskoj prehrani: kategorije i pravila njihovog korištenja, prema EC 1774/2002

Kategorija i opis	Pravila za korištenje
1. Životinje za koje se sumnja na infekciju s TSE, posebno rizičan materijal <ul style="list-style-type: none"> - životinje koje nisu s poljoprivrednog gospodarstva i divlje životinje, posebni ljubimci, zoološke i cirkuske životinje. - otpad iz ugostiteljstva u međunarodnom prometu 	Uvijek uništavanje - spaljivanje

2. Izmet svih vrsta i sadržaj probavnog sustava sisavaca <ul style="list-style-type: none"> - sav životinjski materijal prikupljen nakon obrade otpadnih voda klaonica ili iz kategorije 2 proizvodnih postrojenja, osim kategorije 1 postrojenja za obradu otpadnih voda klaonica. - proizvodi životinjskog porijekla, koji sadrže ostatke veterinarskih lijekova. Mrtve životinje, osim preživača. 	Za AD mora biti steriliziran pod tlakom, tijekom 20 minuta na temperaturi od 133°C i 3 bara. NB: Izmet i sadržaj probavnog sustava može biti korišten u AD bez prethodnog tretmana.
3. Svi dijelovi zaklanih životinja, podobni za ljudsku prehranu, ili koji nemaju simptome neke bolesti <ul style="list-style-type: none"> - koža 	Za AD mora biti sanitarno obrađen u posebnom tanku tijekom jednog sata na 70°C.

Izvor: Al Seadi, 2002.

Na otpad iz kuhinja i otpadnu hranu koja nije bila u kontaktu s netretiranim životinjskim nusproizvodima, primjenjuju se nacionalni propisi. Za tretiranje ostalih životinjskih nusproizvoda **kategorije 3** vrijedi sljedeće: Termalna pasterizacija mora biti provedena na 70°C tijekom 60 minuta. Čestice tretiranog supstrata moraju biti veličine <12 mm.

Uz obavezan termalni tretman, Uredba o životinjskim nus-proizvodima definira i mnoge druge obavezne uvjete procesa bioplinskih postrojenja i higijenske zahtjeve za krajnji proizvod.

Za otpad iz kuhinja i otpadnu hranu **kategorije 3**, odgovorne nacionalne institucije mogu odobriti iznimke od ranije opisanih uvjeta i uvjeta procesiranja, pod uvjetom da se primjenjuju ekvivalentne sanitarne mjere (tablica 9.6.). Glavni propis za odobravanje alternativnih procesnih metoda je dokaz da će uništavanje svih patogenih mikroba biti ekvivalentno onom koji se postiže pasterizacijom.

Tablica 9.6. Primjer iz Danske: Kontrolirana provedba sanitarnih mjera, ekvivalentnih termalnom tretmanu na 70°C tijekom jednog sata

Temperatura	Vrijeme zadržavanja (MGVR) u termofilnom digestoru ^{a)}	Vrijeme zadržavanja (MGRT) tretiranjem u posebnom tanku za sanitarnu obradu ^{b)}	
		Prije ili poslije digestije u termofilnom digestoru ^{a)}	Prije ili poslije digestije u mezofilnom digestoru ^{c)}
52,0°C	10 sati		
53,5°C	8 sati		
55,0°C	6 sati	5,5 sati	7,5 sati
60,0°C		2,5 sati	3,5 sati

Tretiranje treba provesti izvan digestora, na termofilnoj temperaturi ili u tanku za sanitarnu obradu koji je povezan s digestijom u termofilnom ili mezofilnom tanku. Treba poštivati specifičnosti usklađivanja temperature / MGVR.

- a) Termofilna digestija se u ovom slučaju provodi na 52°C. Vrijeme hidrauličnog zadržavanja (VHR) u digestoru mora biti barem 7 dana.
- b) Digestija mora biti provedena ili prije ili poslije pasterizacije
- c) Temperatura mezofilne digestije mora biti od 20°C do 52°C. Vrijeme hidraulične retencije (VHR) u digestoru mora biti barem 14 dana.

Izvor: Bendixen, 1995.

Zahtjevi sanitarnih mjera se razlikuju ovisno o tipu bioplinskog postrojenja (termofilni ili mezofilni proces). Nadalje, za zajednički tretman materijala različitih kategorija primjenjuju se najstroži propisi.

Za otpad iz kuhinja i otpadnu hranu koja nije bila u kontaktu s netretiranim, svježim životinjskim nusproizvodima moraju biti osigurani sljedeći parametri termofilnog procesa AD: temperatura $>55^{\circ}\text{C}$, vrijeme hidraulične retencije od 20 dana s garantiranim minimalnim vremenom retencije od 24 sata, veličina čestica ≤ 12 mm.

U mezofilnim bioplinskim postrojenjima (raspon temperature oko 37°C) termalna sanitarna obrada provodi se samo u određenoj mjeri. U ovom slučaju, sanitarna obrada se postiže kroz temperaturni tretman cijelog materijala koji sadrži komunalni kuhinjski otpad, ili s adekvatnim dokazom o uništenju patogena.

Kako bi se izbjegao rizik od infekcije, Uredba propisuje strogo odvajanje stočarskih gospodarstava od lokacije bioplinskog postrojenja. Strogo je reguliran i transport, privremeno skladištenje, neophodni tretman (miješanje, usitnjavanje) kao i procesiranje u bioplinskom postrojenju. Isto vrijedi i za neophodno čišćenje, alate za čišćenje, prostore dezinfekcije, kontrolu štetnika, obveze prikupljanja i dokumentiranja podataka, kontrolu higijene i pravilno održavanje svih instalacija i kalibraciju mjernih instrumenata. Nadalje, sva bioplinska postrojenja moraju imati ovlaštenu laboratorij ili koristiti usluge vanjskog ovlaštenog laboratorija za analizu uzoraka i provedbu testiranja učinkovitosti redukcije patogena. Prostor bioplinskog postrojenja mora biti podijeljen na čisti i kontaminirani dio. Ova dva dijela moraju se držati strogo odvojenim. Čisti objekti za transportna vozila, vakuumske transportere i za zaposlenike, također, moraju biti izgrađeni. Na slici 9.1. prikazan je primjer standardne procedure čišćenja transportnog vozila za biomasu u bioplinskom postrojenju *Ribe* u Danskoj. Kako bi se izbjegla vožnja bez tereta, vakuumski transporter prenosi svježi izmet od poljoprivrednog gospodarstva do bioplinskog postrojenja, a digestat iz bioplinskog postrojenja do poljoprivrednog gospodarstva. Radi izbjegavanja kontaminacije između svježeg i digestiranog izmeta, transporter mora biti očišćen nakon svakog prijevoza, prema niže opisanoj proceduri. Kontaminacija između poljoprivrednih gospodarstava je izbjegnuta time što se posluži je gospodarstvo po gospodarstvo, izbjegavajući vožnju od jednog do drugog gospodarstva.

Standardni postupak čišćenja vozila za transport životinjskog izmeta:

- Nakon što je sadržaj izvađen iz vakuumske cisterne, cijela unutrašnjost cisterne se ispiru vodom, sve dok ispirna voda nije u potpunosti čista.
- Nakon pražnjenja i pranja cisterne, cijela površina unutrašnjosti se prska s 0,2% natrijevom lužinom (NaOH). Pri tome se koristi barem 200 litara za veliku, odnosno barem 150 litara za malu cisternu.
- Dvije minute nakon prskanja i sušenja, cisterna je spremna za ponovno punjenje.
- Dok traje dezinfekcija, svi vanjski dijelovi cisterne i vozila se ispiru i dezinficiraju, posebno kotači.



Slika 9.1. Primjer standardne procedure čišćenja u bioplinskom postrojenju *Ribe* u Danskoj

10. Ekonomika bioplinskog postrojenja

10.1. Financiranje projekta bioplina

Projekti proizvodnje i korištenja bioplina zahtjevaju visoke investicije. Zato je financiranje jedan od ključnih elemenata za osiguranje izvedbe projekta. Načini financiranja projekta izgradnje bioplinskog postrojenja se razlikuju od države do države, no obično se koriste dugoročni krediti s niskom kamatnom stopom. Rijetko se koriste obični hipotekarni krediti. Krediti s anuitetima (otplatnim ratama) vezanim za indeks su krediti s niskom kamatnom stopom preko kojih se investitor štiti od inflacije jer se neplaćena dugovanja reprogramiraju prema stopi inflacije. Period povrata kredita je veći od 20 godina. Ovaj tip kredita se pokazao najpovoljnijim za bioplinska postrojenja budući da udovoljava zahtjevima dugoročnih ulaganja, niske kamate i niske otplatne rate na početku otplatnog perioda. Nedostatak ovakvih kredita je njihova povezanost s redovnom prodajom obveznica koja se odvija po važećim cijenama tržišta vrijednosnica. Ta povezanost kredita s obveznicama dovodi do rizika od deprecijacije, a posljedično i nesigurnosti pri planiranju.

U zemljama poput Danske projekti bioplina se, primjerice, financiraju putem kredita s anuitetima vezanim za indeks za koje jamče jedinice lokalne (samo)uprave. Većina prijašnjih projekata izgradnje bioplinskih postrojenja je, uz kredit i jamstvo, primila i dodatne vladine poticaje u visini do 30 posto vrijednosti investicijskih troškova projekta.

10.2. Ekonomske projekcije za projekte proizvodnje i korištenja bioplina

Poljoprivrednik, skupina (udruženje, zadruga) poljoprivrednika ili jedinica lokalne (samo) uprave obično su skupine poduzetnika koje će najvjerojatnije izvesti uspješan projekt bioplina. Na uspjeh projekta utječu i čimbenici koji se mogu kontrolirati i na koje se može utjecati kroz strateške odluke vezane za investicijske troškove te troškove poslovanja ili operativne troškove. Vrlo je teško odabrati najbolje tehnologije prema veličini investicijskih i operativnih troškova. Kod odabira bioplinskog postrojenja važno je ispitati kakvi su troškovi poslovanja poput:

- troškovi poslovanja kogeneracije uključujući sve usluge i rezervne dijelove (iznos/kWh)
- ukupni troškovi održavanja bioplinskog postrojenja (postotak investicije/godišnje)
- vlastita potreba za energijom, uključujući potražnju kogeneracije (kWh/godišnje)
- prosječan broj radnih sati/dana osoblja (održavanje i punjenje sustava sirovinom)

Na uspjeh projekta mogu utjecati i neki čimbenici koji su van kontrole investitora:

- uvjeti kamatnih stopa
- pristup elektroenergetskoj mreži i subvencionirana cijena energije iz obnovljivih izvora (tarifa za bioplin unutar tarifnog sustava)
- cijene sirovine za bioplin na globalnom tržištu (npr. energetske biljke)
- natjecanje za sirovinom s drugim sektorima

Sakupljači industrijskog otpada suočavaju se s problemom kako osigurati dugoročnu dostupnost sirovine. Naime, tržište recikliranja otpada je vrlo kompetitivno i rijetko se sklapaju ugovori s proizvođačima otpada na period duži od pet godina.

Vrlo često se dugoročni ekonomski uspjeh projekta mora dokazati kroz studiju/izračun profitabilnosti prije nego što banka odobri financiranje izgradnje bioplinskog postrojenja. Izračun obično izrađuje iskusna tvrtka za planiranje/konzalting (vidite poglavlje 8.1) unutar pripremnih planova. Ako se radi o bioplinskom postrojenju koji se temelji na jednoj farmi, ovaj posao bi mogao napraviti voditelj projekta što za posljedicu ima dvije prednosti: sudionici u razvijanju projekta/partneri moraju vrlo detaljno sagledati različite aspekte projekta, a u slučaju odustajanja od projekta nema vanjskih troškova.

U slučaju bioplinskog postrojenja za tretiranje komunalnog otpada, preporuča se angažirati iskusnu konzultantsku tvrtku. Ovakva postrojenja su puno složenija u rukovanju sa sirovinom, biološkoj stabilnosti sustava i cijelim dizajnom postrojenja u usporedbi s postrojenjem na poljoprivrednom gospodarstvu.

Kalkulacijski model (priložen na CD-u) daje ekonomske projekcije bioplinskih postrojenja kroz preliminarnu procjenu troškova, veličinu postrojenja/dimenzioniranje, tehničko rješenje i slično. Kalkulacijski model i upute za njegovo korištenje je moguće besplatno preuzeti na internetskoj stranici <http://www.big-east.eu>.

10.2.1. Zaključci o ekonomskoj projekciji za projekte proizvodnje i korištenja bioplina

Ukoliko se slijede upute za korištenje BiG>East kalkulacijskog alata kod izračuna osnovnih ekonomskih smjernica projekta, dobiveni rezultat bi trebao predstavljati model ekonomike projekta.

Kako je prije rečeno, strateškim odlukama je moguće utjecati na troškove poslovanja i investicijske troškove. Jedan od primjera takvih odluka može biti odabir najbolje prilagođene tehnologije. Drugim riječima, prema uvjetima okruženja u kojem se događa projekt, treba procijeniti do koje se mjere pogon za proizvodnju bioplina treba automatizirati. Naime, možda izračun pokaže da je isplativije zaposliti više osoba nego u potpunosti automatizirati postrojenje.

Prihodovna strana projekta je manje podložna utjecajima samog operatera bioplinskog postrojenja. Vlada određuje subvencioniranu cijenu (tarifni sustav), a u slučaju postrojenja koja tretiraju otpad cijenu za zbrinjavanje otpada može određivati tržište sirovine. Međutim, postoje i druge mogućnosti kako povećati prihodovnu stranu projekta:

- korištenje/prodaja proizvedene topline
- prodaja digestata kao gnojiva

Ukoliko projekt stekne internu stopu povrata (ISP) nižu od 9 posto, potrebno je provjeriti sve pretpostavke na kojima se projekt temelji te, ako je moguće, neke od njih poboljšati ili ih razraditi da imaju ekonomičnije rješenje. Ukoliko je ISP veći od 9 posto, pretpostavke projekta su dobre i može se nastaviti s njegovim razvijanjem u sljedeću fazu planiranja. Važno je stalno uspoređivati pretpostavke na kojima se temelji projekt sa stvarnim materijalnim stanjem. Drugim riječima, potrebno je imati realan pogled na ideju samog bioplinskog postrojenja, koliko je potrebno prostora za njega, koji je stvaran tijekom sirovine i koliki su stvarni troškovi izgradnje.

Model izračuna je koristan jer daje grubu ekonomsku projekciju projekta proizvodnje i korištenja bioplina koja je nužna u samom početku faze planiranja. Za sljedeće korake projekta nužno je naći neovisnog i pouzdanog partnera za planiranje (vidite korake projekta opisane u poglavlju 8.1.).

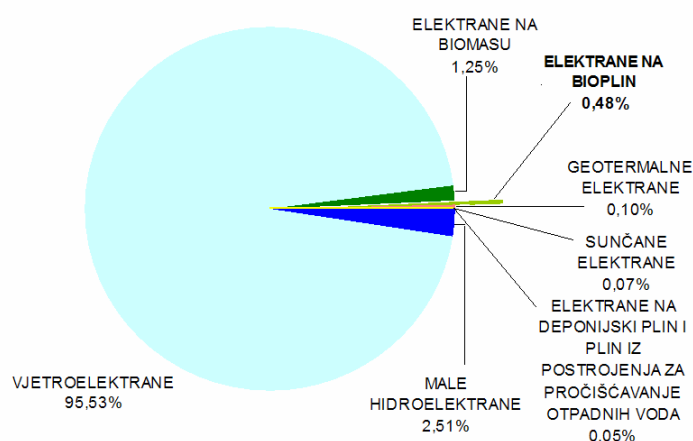
Bioplin u Hrvatskoj

11. Bioplin i ostali obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je sektor proizvodnje i iskorištavanja bioplina jedan od manje razvijenih, ali istovremeno vrlo dinamičan sektor među obnovljivim izvorima energije (OIE). Naime, iako su OIE bili prepoznati u Zakonu o energiji, značajna prekretnica za implementaciju svih projekata obnovljivih izvora energije se dogodila 2007. godine kada je usvojen paket podzakonskih akata koji opisuju proizvodnju električne energije iz OIE zajedno s tarifnim sustavom za povlaštene proizvođače. Do tada se električna energija iz obnovljivih izvora proizvodila u elektrani na deponijski plin (2 MW) na zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševac i vjetroelektrani Ravne na Pagu (5,95 MW) te nizu malih fotonaponskih sustava.

Do sredine 2009. godine je registriran rad svega tri bioplinska postrojenja, s time da je samo jedno od njih koristilo sirovinu koja je porijeklom iz poljoprivrede i sa statusom povlaštenog proizvođača električne energije. Pored spomenute elektrane na deponijski plin na Jakuševcu, to su elektrana na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda (2,5 MW) pri Zagrebačkim otpadnim vodama u Zagrebu te elektrana na bioplin Bioplinsko postrojenje Ivankovo (1 MW). Elektrana na bioplin iz poljoprivredne biomase je u vlasništvu Poljoprivredne zadruge Osatina, a s redovnim pogonom i isporukom električne energije u elektroenergetsku mrežu je krenula u veljači 2009. godine.

Prvi korak prema statusu povlaštenog proizvođača električne energije čime se stječe pravo na poticajnu cijenu je ishođenje prethodnog energetskeg odobrenja za izgradnju postrojenja. Odobrenje omogućuje upis u Registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (Registar OIEiKPP), uređuje pravno-imovinske odnose na zemljištu Republike Hrvatske te se, ovisno o projektu, kreće u ispitivanje potencijala.

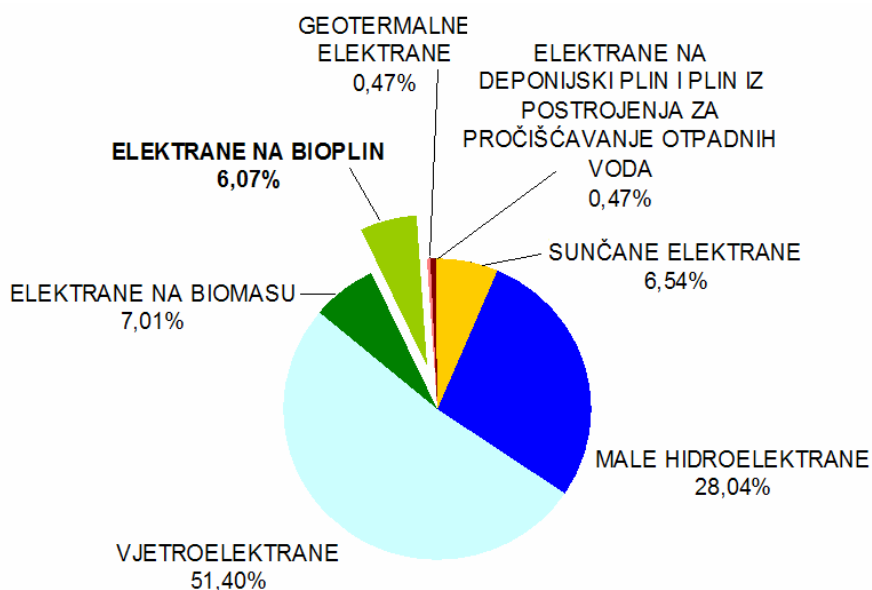


Slika 11.1 Udio pojedinih OIE prema prijavljenoj snazi elektrana u Registar OIEiKK

Izvor: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, srpanj, 2009.

Registar OIEiK vodi Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, a stanje polovicom 2009. godine prema instaliranoj snazi postrojenja te prema broju prijavljenih projekata je prikazano slikama 11.1 i 11.2.

Iz slike 11.1 je vidljivo kako je priprema projekata proizvodnje električne energije iz vjetra najviše uznapredovala jer 4 356,86 MW ili preko 95 posto predviđene instalirane snage projekata prijavljenih u Registar pripada upravo tom obnovljivom izvoru energije. Ukupna snaga svih prijavljenih projekata elektrana na bioplin koje koriste sirovinu iz poljoprivrede iznosi 21,745 MW dok prijavljena snaga za elektrane na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda iznosi 2,5 MW.



Slika 11.2 Udio projekata po pojedinom OIE za proizvodnju električne energije upisanih u Registar OIEiK

Izvor: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, srpanj, 2009.

Kada se sagleda struktura prijavljenih projekata za proizvodnju električne energije iz OIE prema broju projekata, a ne prema instaliranoj snazi, tada je slika drugačija (slika 11.2). Broj prijavljenih projekata za uspostavu vjetroelektrana se smanjuje na polovicu ukupnih prijava, a 13 prijava za elektrane na bioplin čine 6%. Razlog tomu su prosječna veličina i mogućnost iskorištavanja pojedinog OIE, odnosno njegov potencijal.

Korištenje poljoprivredne biomase kao sirovine za elektrane na bioplin je ograničeno postojećom poljoprivrednom proizvodnjom, sezonalnošću i transportnim troškovima od mjesta nastanka biomase do mjesta pretvorbe. Stoga je razumljivo da su elektrane na bioplin puno manje snage u odnosu na ostale elektrane na biomasu (uključujući i otpad i otpadne vode), vjetroelektrane, geotermalne elektrane i male hidroelektrane.

11.1. Zakonodavni okvir

Proizvodnja i korištenje bioplina iz poljoprivredne biomase (žetveni ostaci, stajski gnoj) i cijelog niza različitih vrsta otpada organskog porijekla, donose istovremeno koristi u pogledu obnovljivih izvora energije, smanjenih emisija stakleničkog plina metana u atmosferu, smanjenje organskog otpada i time produžavanje vijeka odlagališta otpada te sprječava zagađanju tla i vodotokova.

Kako koristi od bioplina prelaze granice jednog sektora, najčešće se događa da se bioplin indirektno spominje u nekoliko zakonskih propisa čime je implementiranje projekta proizvodnje i korištenja bioplina složenije u usporedbi s drugim OIE.

U hrvatskom zakonodavstvu, bioplin se eksplicitno spominje u više od 20 zakonodavnih dokumenata za čiju su implementaciju odgovorne različite institucije:

Sektor	Propis	Kontekst bioplina	Na temelju	Odgovorna institucija
Energetika	Zakon o energiji (NN 68/01, 177/04, 76/07 i 152/08)	jedan od OIE; jedan od oblika plina	članka 88. Ustava Republike Hrvatske	MINGORP
	Zakon o tržištu plina (NN 40/07)	ekvivalent plinu ukoliko te vrste plina mogu tehnički i sigurno transportirati kroz plinski sustav.	članka 88. Ustava Republike Hrvatske	
	Zakon o tržištu električne energije (NN 177/04, 76/07 i 152/08)	Indirektno: korištenje otpada ili OIE za proizvodnju električne energije daje mogućnost stjecanja statusa povlaštenog proizvođača električne energije	članka 88. Ustava Republike Hrvatske	
	Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom (NN 42/05)	Indirektno: korištenje otpada, biorazgradivog dijela otpada ili OIE za proizvodnju toplinske energije daje mogućnost stjecanja statusa povlaštenog proizvođača toplinske energije	članka 28. Zakona o energiji NN 68/01 i 177/04 te članka 11. stavka 1. podstavka 1. Zakona o regulaciji energetske djelatnosti NN 177/04	
	Uredba o kakvoći biogoriva (NN 141/05)	Biogorivo	članka 38. stavka 2. Zakona o zaštiti zraka NN 178/2004	
	Zakon o biogorivima za prijevoz (NN 65/09)	Biogorivo	članka 88. Ustava Republike Hrvatske	
	Odluka o visini nadoknade za prostore koje koriste objekti za proizvodnju električne energije (NN 25/95)	Elektrana na bioplin	članka 7. Zakona o elektroprivredi NN 31/90, 47/90, 61/91, 26/93 i 78/94	
	Pravilnik o korištenju OIE i kogeneracije	elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada	članka 14. stavka 2. Zakona o energiji	

	(NN 67/07)	(kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...)	NN 68/01 i 177/04	
	Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 67/07)	U slučaju kogeneracijskog postrojenja s dopunskim izgaranjem otpada, biomase, tekućih biogoriva ili bioplina, pri računanju pokazatelja energetske učinkovitosti kogeneracije uzima se u obzir potrošnja samo fosilnih goriva.	članka 8. stavka 2. Zakona o tržištu električne energije NN 177/04	
	Pravilnik o podacima koje su energetski subjekti dužni dostavljati Ministarstvu (NN 87/07)	Energetski subjekti koji obavljaju djelatnost proizvodnje i/ili uvoza ... biogoriva ...	članka 9. stavka 3. i članka 13. stavka 3. Zakona o tržištu nafte i naftnih derivata NN 57/06	
	Pravilnik o zahtjevima za stupanje djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo (NN 135/05)	Pravilnik se ne odnosi na kotlove namijenjene za loženje gorivima čije se značajke bitno razlikuju od značajki uobičajenih tekućih i plinovitih goriva na tržištu (industrijski otpadni plin, bioplin itd.)	članka 5. Zakona o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjeni sukladnosti NN 158/03	
	Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz OIE i kogeneracije (NN 33/07)	elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...)	članka 28. stavka 3. Zakona o energiji NN 68/01 i 177/04	HROTE
Zaštita okoliša	Strategija gospodarenja otpadom (NN 130/05)	posebna mjera za ostvarivanje Cilja 2 za neopasnih otpad jedna od smjernica za aktivnosti po pojedinim tokovima otpada – komunalni otpad, otpad životinjskog porijekla (dio II. kategorije i cijelu III. kategoriju)	članka 8. Zakona o otpadu NN 178/04	MZOPUG
	Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. – 2015. godine (NN	zone za prikupljanje i obradu bioplina: sastavni dio Centra za gospodarenje otpadom proizvodnja bioplina za proizvodnju topline i/ili	članka 9. stavka 4. Zakona o otpadu NN 178/04 i 111/06	

	85/07)	<i>električne energije</i> : Jedan od tehnoloških postupaka obrade i iskorištavanja komunalnog otpada prije konačnog zbrinjavanja: Mehaničko-biološka obrada (MBO) otpada		
	Pravilnik o registru onečišćavanja okoliša (NN 35/08)	Postrojenja za uporabu otpada Proizvodnja bioplina 09 02 05; Plinovita goriva: donja ogrjevna vrijednost bioplina 20.000 kJ/m ³	članka 129. stavka 3. Zakona o zaštiti okoliša 110/07	
	Plan zaštite i poboljšanja kakvoće zraka u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2008. do 2011. godine (NN 61/08)	8.6. MJERE I AKTIVNOSTI U SEKTORIMA POTROŠNJE ENERGIJE – INDUSTRIJA, KUĆANSTVA I USLUGE: 8.10. MJERE I AKTIVNOSTI U SEKTORU POLJOPRIVREDE	članka 9. stavka 3. Zakona o zaštiti zraka NN 178/04	
	Odluka o objavljivanju pravila o državnim potporama za zaštitu okoliša (NN 154/08)	Potpore vezane za OIE	članka 3. Uredbe o državnim potporama NN 50/06	
	Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (NN 136/04, 85/06, 64/08)	Popis zahvata za koje se provodi ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš, a za koje je nadležno Ministarstvo	članka 71. stavka 3. i članka 74. stavka 3. Zakona o zaštiti okoliša NN 110/2007	
Poljoprivreda	Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN56/08)	jedan od načina zbrinjavanja viška stajskog gnojiva uslijed nedostatka dovoljnih poljoprivrednih površina		MPRIRR
	Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi (NN 56/08)	definira »objekt za proizvodnju bioplina« definira <i>Odobranje objekata za proizvodnju bioplina i komposta</i> Propisuje posebne uvjete za toplinsku preradu nusproizvoda životinjskog podrijetla kategorije 1 i 2 te za objekte za proizvodnju bioplina i komposta	članka 33. stavka 2. Zakona o veterinarstvu NN 70/97, 105/01 i 172/03)	
	Pravilnik o provedbi mjere 3.1 unutar IPARD programa (NN 156/08)	»Toplane« – (toplane) postrojenja na biomasu u kojima se odvija proces pretvorbe biomase u toplinski oblik energije		

Zdravstvo	Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti i sigurnosti deterdženata (NN 77/07)	Metode ispitivanja primarne biološke razgradljivosti za površinski aktivne tvari u deterdžentima: Metoda mjerenja proizvodnje bioplina.	članka 7. stavka 4. Zakona o predmetima opće uporabe NN 85/06	MZSS
Statistika	Metodologija za popis poljoprivrede 2003. (NN 31/03)	Proizvodnja obnovljive energije – opisuje se ako se kućanstvo bavi proizvodnjom i prodajom viška električne energije dobivene upotrebom energije vjetra, paljenjem slame, proizvodnjom bioplina i dr.; ili ako kućanstvo prodaje poljoprivredne proizvode (drvo ili slamu) za proizvodnju energije. Ako kućanstvo tako proizvedenu energiju koristi isključivo za vlastite potrebe ovdje se ne upisuje.	članka 25. i 42. Zakona o Popisu poljoprivrede 2003. NN 87/03	Državni zavod za statistiku, Financijska agencija, Vlada RH
	Nomenklatura industrijskih proizvoda i usluga – NIPU 97 za godišnji izvještaj industrije (IND-21) (NN 82/97)	40.20.10.2309 Bioplinovi 40.20.10.2301 Bioplin iz kanalskog blata 40.20.10.2302 Bioplin iz nataložene zemlje 40.20.10.2303 Bioplin, ostali	Na temelju članka 12. Zakona o državnoj statistici NN 52/94	DZS
MUP	Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o postajama za opskrbu prijevornih sredstava gorivom (NN 141/08)	postaja je građevina koju čine građevinski dio i postrojenje za zapaljive tekućine bioplin... (u daljem tekstu: plinska goriva)	članka 21. stavka 2. Zakona o zapaljivim tekućinama i plinovima NN 108/95 i članka 22. Zakona o prostornom uređenju i gradnji NN 26/07	MUP MZOPUG

*Radi mogućih izmjena i dopuna te donošenja novih propisa, preporuča se informirati na kod sljedećih adresa:

Narodne novine: <http://www.nn.hr>

HERA: Hrvatska energetska regulatorna agencija: <http://www.hera.hr>

HROTE: Hrvatski operator tržišta energije: <http://www.hrote.hr>

MINGORP: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva: <http://www.mingorp.hr>

MZOPUG: Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva: <http://www.mzopu.hr/>

MPRiRR: Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja: <http://www.mps.hr/>

MZSS: Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi: <http://www.mzss.hr/>

MUP: Ministarstvo unutarnjih poslova: <http://www.mup.hr>

DZS: Državni zavod za statistiku: <http://www.dzs.hr>

11.1.1. Zakonodavni okvir bioplina kao jednog od OIE

Zakon o energiji (NN 68/01, 177/04, 76/07, 152/08) propisuje da je korištenje OIE od nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku. Isti zakon definira OIE (članak 3.) i propisuje korištenje i financijske poticaje za korištenje OIE. U izmjenama i dopunama Zakona o energiji iz 2004. godine, članku 10., navodi se:

„(2) Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije, kojega donosi ministar, odredit će se obnovljivi izvori energije koji se koriste za proizvodnju energije, uvjeti i mogućnost njihova korištenja, uključujući planiranje, registar projekata obnovljivih izvora energije i kogeneracije, te druga pitanja od značaja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije.

(3) Financijski poticaji za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneraciju određuju se ovim Zakonom, posebnim zakonom kojim će se urediti djelatnost proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom, Zakonom o Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost i Zakonom o državnim potporama.“

Članak 25. Zakona o energiji navodi da cijene energije mogu biti slobodne ili regulirane. Obje strukture cijena uključuju „naknadu za promociju OIE i kogeneracije“.

Zakon o tržištu električne energije (NN 177/04) propisuje da je operator prijenosnog sustava ili operator distribucijskog sustava dužan osigurati preuzimanje ukupne proizvedene električne energije od povlaštenih proizvođača prema propisanim uvjetima (članak 8.) te da je operator tržišta također odgovoran za vođenje evidencije povlaštenih kupaca na tržištu do potpunog otvaranja tržišta električne energije, sklapanje ugovora sa svim opskrbljivačima radi osiguranja minimalnog udjela električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora električne energije i kogeneracije, prikupljanje naknade za poticanje obnovljivih izvora energije i kogeneracije od opskrbljivača tarifnih i povlaštenih kupaca, sklapanje ugovora s povlaštenim proizvođačima koji imaju pravo na poticajnu cijenu, obračun, prikupljanje i razdiobu sredstava prikupljenih od naknade za poticanje obnovljivih izvora energije i kogeneracije na proizvođače električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije na temelju sklopljenih ugovora (članak 30.).

Proizvodnja i plasman električne energije iz OIE u Hrvatskoj je regulirana Zakonom o tržištu električne energije (NN 177/04) i vezanim paketom od pet podzakonskih akata:

- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (na temelju Zakona o energiji, članak 28.) (NN 33/07);
- Uredba o naknadi za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (na temelju Zakona o energiji, članak 28.) (NN 33/07);
- Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u opskrbi električnom energijom (na temelju Zakona o energiji, članak 26.) (NN 33/07);
- Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (na temelju Zakona o energiji, članak 14.) (NN 67/07);
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača (na temelju Zakona o tržištu električne energije, članak 8.) (NN 67/07).

Nastavno na podzakonske akte koji propisuju uvjete proizvodnje električne energije iz OIE i mehanizme potpore korištenju OIE, Hrvatska je razvila sustav potpore za proizvodnju električne energije iz OIE u kombinaciji poticajne cijene (*feed-in* tarife) i minimalnog udjela (*quota* sustav) koji se potiče. Time je određen minimalni udio od 5,8% električne energije nastale iz OIE u ukupnoj potrošnji električne energije do 2010. godine. Poticajna cijena za proizvodnju električne energije iz OIE se može ostvariti ukoliko se postigne status povlaštenog proizvođača. Nacionalni cilj od 5,8% odgovara 360 MW instalirane snage koje je HEP-ODS odredio kao graničnu vrijednost prihvaćanja električne energije u postojeći elektroenergetski sustav. U slučaju da ukupna proizvodnja električne energije iz OIE bude veća od nacionalnog cilja, proizvođači koji nisu ušli u tu kvotu mogu sklopiti ugovor o prodaji električne energije, ali ne kao povlaštene, već kao običan proizvođač bez prava na poticajnu cijenu proizvedene električne energije.

Za izgradnju postrojenja za proizvodnju električne energije iz OIE, neophodno je ishoditi niz dokumenata kroz pet koraka: prethodno energetske odobrenje, energetske odobrenje, prethodno rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača, ugovor o otkupu električne energije te rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača. Svi detalji i ažurirane informacije o administrativnoj proceduri za izgradnju postrojenja koja koriste OIE i kogeneraciju i za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača se mogu naći na stranicama Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva na web stranici <http://releel.mingorp.hr/>.

Stjecanjem statusa povlaštenog proizvođača stječe se pravo na poticajnu cijenu primjenom tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz OIE i kogeneracije (članak 8. Zakona o tržištu električne energije). Operator prijenosnog sustava (OPS) ili operator distribucijskog sustava (ODS) dužan je osigurati preuzimanje ukupno proizvedene električne energije od povlaštenih proizvođača prema propisanim uvjetima.

Uvjeti o naknadama za priključenje na elektroenergetsku mrežu su opisani u Pravilniku o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage (NN 28/06) te Odluci o iznosu naknade za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage (NN 52/08).

Iz opisa zakonodavnog okvira o OIE može se zaključiti da bioplin nije posebno opisan u pravnim dokumentima, ali se opisuje kao jedan od OIE. U tom smislu se posebno ističe samo u opisu tarifnog sustava poticajne cijene.

11.1.2. Ostali zakonski propisi vezani za bioplin

Pored zakonodavnih akata vezanih za OIE, bioplin se spominje u nekoliko drugih pravnih dokumenata od koji bi se istakli Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi (NN 56/06), Uredba o kakvoći biogoriva (NN 141/05), Zakon o biogorivima za prijevoz (NN 65/09), Zakon o tržištu plina (NN 40/07), Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godine (NN 85/07) te Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/08).

Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi (NN 56/06) propisuje način postupanja te veterinarsko-zdravstvene uvjete za sakupljanje, prijevoz, uskladištenje, postupanje, preradu i uporabu ili uništavanje nusproizvoda životinjskog podrijetla, da bi se spriječilo da ti proizvodi postanu opasni za zdravlje ljudi i životinja te okoliš. Uz to, propisuje uvjete za puštanje u promet, uvoz,

izvoz i provoz nusproizvoda životinjskog podrijetla i njihovih prerađevina navedenih u Dodacima VII. i VIII. ovoga Pravilnika te postupanje ugostiteljskim otpadom ukoliko je namijenjen za proizvodnju bioplina ili komposta. Dodatak VI. Propisuje posebne uvjete za toplinsku preradu nusproizvoda životinjskog podrijetla kategorije 1 i 2 te za objekte za proizvodnju bioplina i komposta.

Uredba o kakvoći biogoriva (NN 141/05) kao i *Zakon o biogorivima za prijevoz* (NN 64/09) prepoznaju bioplin kao jednu od vrsta biogoriva: „bioplin je plinovito gorivo koje se proizvodi od biomase i/ili od biorazgradivoga dijela otpada, koje se može pročistiti do kvalitete prirodnoga plina, da bi se koristilo kao biogorivo za umješavanje s prirodnim plinom ili generatorski plin“ (čl.4. Zakona o biogorivima za prijevoz). Uredba propisuje kvalitetu za stavljanje bioplina na tržište motornih goriva.

Zakon o tržištu plina (NN 40/07) dozvoljava davanje bioplina u plinsku mrežu ukoliko se ta vrsta plina može tehnički i sigurno transportirati kroz plinski sustav. Još uvijek ne postoje provedbeni akti koji bi posebno opisali mogućnosti sudjelovanja bioplina na tržištu i u sustavu prirodnog plina.

Nadalje, *Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godine* (NN 85/07) predviđa razvoj i uspostava regionalnih i županijskih centara za gospodarenje otpadom, s predobradom otpada prije konačnog zbrinjavanja ili odlaganja koji moraju biti smješteni na određenoj udaljenosti od naseljenog područja, a na kojima će se odvijati različite aktivnosti vezane uz obradu otpada prije njegovoga konačnog odlaganja na odlagalištu neopasnog otpada koji je ujedno i sastavni dio centra za gospodarenje otpada. Među tim aktivnostima je navedeno i „energetsko iskorištavanje pojedinih frakcija otpada“, a Zona za prikupljanje i obradu bioplina je navedena kao jedna od glavnih sadržaja centra za gospodarenje otpadom.

Nitratna direktiva je preuzeta u domaće zakonodavstvo kao *Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva* (NN 56/08) i dopušta period prilagodbe od četiri godine s 210 kg dušika po hektaru godišnje nakon čega slijedi uobičajenih 170 kg dušika po hektaru godišnje. U članku 11. se navodi da, ukoliko se gnojidba stajskim gnojem ne može provesti prema Pravilniku zbog nedovoljnih poljoprivrednih površina, poljoprivredno gospodarstvo mora višak stajskog gnoja zbrinut bilo gnojidbom poljoprivrednih površina drugog vlasnika na temelju ugovora, preradom stajskog gnoja u bio-plin, kompost, supstrat ili zbrinjavanjem stajskog gnoja na druge načine.

Pravilnik određuje vrijeme zabrane primjene gnojenja i to:

1. gnojenje gnojnicom i gnojovkom na svim poljoprivrednim površinama bez obzira na pokrov od 1. prosinca do 1. ožujka;
2. gnojenje gnojnicom i gnojovkom raspodjelom po površini bez unošenja u tlo na svim poljoprivrednim površinama od 1. svibnja. do 1. rujna;
3. gnojidba krutim stajskim gnojem na svim poljoprivrednim površinama od 1. svibnja do 1. rujna;
4. gnojidba mineralnim gnojivima s nitratnim dušikom na svim poljoprivrednim površinama od 01. studenog do 01. veljače, a iznimno je dozvoljena primjena urea amonijevog nitrata (UAN) po žetvenim ostacima.

Od žetve do početka trajanja navedenih zabrana, primjenom mineralnih gnojiva, količina dušika na lakim (pjeskovitim) tlima ne smije prelaziti 40 kg/ha, a na teškim (glinovitim) tlima 80 kg/ha.

Primjena stajskog gnoja je zabranjena u II. Zoni sanitarne zaštite izvorišta, ako nije drugačije određeno propisima koji uređuju upravljanje vodama, na tlima zasićenim vodom, na tlima koja su prekrivena snježnim prekrivačem, na zamrznutim tlima te na plavnim zemljištima, u proizvodnji povrća, jagodastog voća i ljekovitog bilja, unutar 30 dana prije zriobe i berbe, pomiješanog s otpadnim muljem ili kompostom od otpadnog mulja, s poljoprivrednih gospodarstava na kojima su utvrđene bolesti s uzročnicima otpornim na uvjete u gnojnoj jami, na ne-poljoprivrednim zemljištima.

Primjena gnojnice i gnojovke je zabranjena u II. Zoni sanitarne zaštite izvorišta, ako nije drugačije određeno propisima koji uređuju upravljanje vodama, na 25 m udaljenosti od bunara, na 20 m udaljenosti od jezera, na 5 m udaljenosti od ostalih vodenih tokova na nagnutim terenima gdje se slijevaju s površine na nagnutim terenima uz vodotokove, s nagibom većim od 10 % na udaljenosti manjoj od 10 m od vodenih tokova.

11.2. Instrumenti potpore i financiranja

Budući da je tržište bioplina još u razvitku, moguće je očekivati niz promjena i novih oblika potpora tako da navedeni instrumenti potpore daju samo pregled postojećih te se preporuča informiranje o novostima kod instrumenata potpore kod nadležnih tijela.

Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz OIE i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/07) navodi, u članku 4., „do 31. prosinca 2010. godine minimalni udio električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije čija se proizvodnja potiče, iznosit će 5,8% u ukupnoj potrošnji električne energije“. Proizvodnja električne energije iz OIE se može poticati ukoliko proizvođač stekne status povlaštenog proizvođača. Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz OIE i kogeneracije (NN 33/07) određuje 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, sukladno članku 26. stavku 5. Zakona o energiji te određuje 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 način i uvjeti primjene tih elemenata. Pravo na poticajnu cijenu stječe proizvođač električne energije koji koristi obnovljive izvore energije, odnosno kogeneraciju za proizvodnju električne energije pod uvjetom da je ishodio rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije sukladno članku 8. stavku 2. Zakona o tržištu električne energije te sklopio s operatorom tržišta ugovor o otkupu električne energije sukladno članku 30. stavku 1. podstavku 9. Zakona o tržištu električne energije.

Tablica 11.1 Tarifne stavke i visine tarifnih stavki za isporučenu električnu energiju iz postrojenja koja koriste OIE (kn/kWh)

Tip postrojenja	≥ 1 MW	< 1 MW
Male hidroelektrane	0,69	0,42-0,69 (ovisno o proizvedenoj električnoj energiji)
Vjetroelektrane	0,64	0,65
Elektrane na biomasu	0,95-1,20 (ovisi o vrsti biomase)	0,83-1,04 (ovisi o vrsti biomase)
Geotermalne elektrane	1,26	1,26
Elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...)	1,20	1,04
Elektrane na tekuća biogoriva	0,36	0,36
Elektrane na deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda	0,36	0,36
Elektrane na ostale obnovljive izvore (morski valovi, plima i oseka...)	0,60	0,50
Sunčane elektrane		
<10 kW	3,40	
10-30 kW	3,00	
>30 kW	2,10	

Izvor: Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07)

Visina tarifnih stavki iz Tablice 11.1 se množi s korekcijskim faktorom koji ovisi o udjelu domaće komponente u projektu. Korekcijski faktor može poprimiti vrijednosti od 1 do 0,93. Udio domaće komponente u projektu određuje Ministarstvo.

Visina poticajne cijene električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, za vrijeme važenja ugovora o otkupu električne energije, godišnje se korigira za indeks cijena na malo, na način da se poticajna cijena iz prethodne kalendarske godine pomnoži s godišnjim indeksom cijena na malo za prethodnu kalendarsku godinu. Tako je, primjerice, poticajna cijena za elektrane na bioplin u 2009. godini iznosila 1,3064 kn/kWh (za elektrane manje i jednake 1 MW instalirane snage) odnosno 1,1322 kn/kWh (za elektrane veće od 1 MW instalirane snage). Promjene u visini poticajne cijene objavljuje HROTE na svojim internetskim stranicama. Postrojenja na biomasu su izuzeta od plaćanja naknade jedinicama lokalne samouprave u iznosu od 0,01 kn/kWh isporučene električne energije.

Ugovor o otkupu električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja sklapa se na određeno vrijeme od 12 godina.

Zakon o biogorivima za prijevozu (NN 65/09) uvodi naknadu za poticanje proizvodnje biogoriva koju prikuplja Operator tržišta (HROTE) za isplatu novčanih poticaja korisniku poticaja. Visinu naknade za poticanje proizvodnje biogoriva propisuje Vlada odlukom, koju donosi do kraja studenog tekuće godine za iduću godinu, prema ukupnim planiranim troškovima sustava za poticanje proizvodnje biogoriva, na prijedlog Ministarstva. Proizvodnja biogoriva potiče se isplatom novčanih sredstava korisniku poticaja po količini proizvedenog, prodanog i isporučenog biogoriva na tržište Republike Hrvatske, a članak 19. opisuje metodologiju određivanja poticaja.

Drugi financijski mehanizmi su koncentrirani u dva izvora: Hrvatska banka za obnovu i razvitak (HBOR) i Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU).

Za financiranje projekata s područja zaštite okoliša HBOR odobrava kredite putem Programa za pripremu projekata obnovljivih izvora energije i Programa kreditiranja projekata zaštite okoliša, energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije. Svi detalji se mogu naći na stranicama HBOR-a www.hbor.hr.

FZOEU raspisuje natječaje za financiranje projekata OIE. Detalji se mogu naći na službenim stranicama Fonda www.fzoeu.hr.

Novost u ovom trenutku predstavlja akreditacija 3.2 Diversifikacija gospodarskih aktivnosti, unutar prioriteta 3. Razvoj ruralne ekonomije čime će se sredstva za investiranje u biopliniska postrojenja na poljoprivrednu sirovinu postati raspoloživa hrvatskim korisnicima. IPARD je peta komponenta cjelovitog pretpripravnog programa Europske unije za razdoblje 2007. – 2013. poznatog pod skraćenicom IPA (Instrument pretpripravnosti pomoći, eng. *Instrument for Preaccession Assistance*). Sukladno Uredbi o opsegu i sadržaju odgovornosti te ovlastima tijela nadležnih za upravljanje IPA-om tijelo nadležno za upravljanje petom komponentom IPA programa je Uprava za ruralni razvoj - Upravna direkcija SAPARD/IPARD programa pri Ministarstvu poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, dok je tijelo nadležno za provedbu Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja - Ravnateljstvo za tržišnu i strukturnu potporu u poljoprivredi. Za tijek akreditacije i o raspoloživosti i uvjetima dobivanja sredstava, posjetite stranice nadležnog Ministarstva: www.mps.hr ili za više o IPARD programu na internetskoj stranici <http://www.strategija.hr/Default.aspx?art=759>.

11.3. Korištenje otpada za proizvodnju bioplina u Hrvatskoj

Hrvatska je u tijeku harmoniziranja svojeg zakonodavstva s onim EU-a vezano za otpad i upravljanje otpadom. Osnovni dokument Strategija gospodarenje otpadom za Republiku Hrvatsku je donesen 2005. godine. Slijedilo je niz novih pravnih akata u 2007. godini. Cijeli sustav je u svom tranzicijskom razdoblju i teško je predvidjeti kada će se koji od navedenih ciljeva implementirati - u kojem periodu i do koje razine. Cilj je organizirati gospodarenje otpadom iz 187 „službenih“ u regionalne centre za gospodarenje otpadom (1-2 do 2010. i 2-3 do 2015.) te županijske centre za gospodarenje otpadom (3-7 do 2010. i 7-10 do 2015.). Ova reforma je sa 50 posto financirana od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, a ostatak se planira financirati iz inozemnih fondova. Stoga će se ovaj pregled fokusirati na postojeće sustave s budućim očekivanjima tamo gdje je to moguće.

Komunalna društva sakupe oko 1,2 milijuna tona komunalnog otpada u Hrvatskoj. Komunalni otpad se uglavnom ne odvaja po kategorijama ili se odvaja na dobrovoljnoj

bazi (papir, staklo, limenke, PVC, baterije, lijekovi kojima je isteklo trajanje, elektronički otpad, gume). Glomazni otpad iz kućanstava se sakuplja dva puta godišnje. Većina vozila za sakupljanje komunalnog otpada su opremljena prešama. Otpadno jestivo ulje sakuplja se odvojeno kod velikih potrošača (restorani, vrtići, bolnice, hoteli, škole...).

Zelene tržnice, trgovine i reciklažna dvorišta imaju velike kontejnere od 10 to 20 m³ s prešama. Važno je napomenuti da se otpad sakuplja češće nego u zemljama koje imaju odvojeni sustav prikupljanja.

Supermarketi zbrinjavaju robu kojoj je istekao rok trajanja u Agroproteinki d.d. – jedinoj kafileriji otvorenog tipa, kapaciteta 75 000 t/godišnje. Agroproteinka d.d. sakuplja i klaonički otpad i ostali otpad životinjskog porijekla diljem Hrvatske. Količina otpada iz prehrambeno–prerađivačke industrije se teško može procijeniti, ali je moguće dobiti uvid kod Agencije za zaštitu okoliša (www.azo.hr).

Procijenjeni udjeli organskog dijela komunalnog otpada iznose 43,1 i 41 posto za kontinentalnu i obalnu regiju.

Uz turizam se povezuje oko 97 700 t/godišnje otpada (Strategija gospodarenje otpadom, NN 130/05). Komunalni otpad koji nastaje u obalnom području i na otocima postaje sve veći problem, a naročito tijekom ljeta kada najviše turista posjećuje to područje. Osim velikog natjecanja za prostor na obali, sama obala je krševita i izrazito vodopropusna i zato bogata podzemnim vodama, što nalaženje odgovarajuće lokacije za odlagalište otpada čini još težim. U tom smislu bi svaki ušteđeni kubični metar oporabljene organskog dijela komunalnog otpada predstavljao dodanu vrijednost. Posebno pitanje predstavlja kapacitet – tijekom trećine godine, odnos turista i domicilnog stanovništva iznosi 8:1 što implicira zahtjevnije investicije u infrastrukturu u obalnom području nego na kontinentu.

Može se zaključiti da Hrvatska proizvodi relativno velike količine otpada po glavi stanovnika iako se bilježi 10 posto povrata kroz recikliranje i odlaganje na odlagališta. Hrvatska ima tarifni sustav za zbrinjavanje određene kategorije otpada, ali su tzv. „*tipping fees*“ za sakupljanje organskog dijela komunalnog otpada premale (u slučaju pravnih subjekta) ili ne postoje (u slučaju kućanstava) da bi učinile proizvodnju bioplina iz tog supstrata ekonomski opravdanim, odnosno tehnički izvedivim.

11.4. Dostupnost sirovine u Hrvatskoj

Procjena dostupnosti sirovine za proizvodnju bioplina je vrlo rijetko raspoloživa na korisničkoj razini. Naime, moguće je izračunati teoretsku dostupnost poljoprivredne sirovine (bez energetske usjeva) na nacionalnoj razini, ali je ta vrijednost daleko od stvarnog potencijala bioplina. Za izračun realnog tehničkog potencijala potrebno je ozbiljno istraživanje s prikladnim sredstvima kako bi se smanjila razlika između izračunatog nacionalnog teoretskog potencijala bioplina na tehnički i, prema mogućnosti, ekonomski potencijal. Neka istraživanja (Kulišić i Par, 2008.) navode da ukoliko se pretpostavi da je sirovina za bioplin dostupna u dovoljnim količinama samo na poslovnim subjektima (komercijalnim farmama), tada se nacionalna teoretska dostupnost supstrata smanji na 20 posto (od 3,2 – 11,3 PJ/godišnje na 0,7 – 2,1 PJ/godišnje). Ipak, i ovu vrijednost treba uzeti sa zadržkom jer ne uzima u obzir prostornu rasprostranjenost stočarske proizvodnje. Drugim riječima, čak i kad se pretpostavi da je osnova za supstrat proizvodnje bioplina stočarska proizvodnja na komercijalnim osnovama, tvrtke koje

upravljaju tim farmama registrirane su u nekom urbanom centru dok se stvarna proizvodnja događa negdje drugdje, a često na više od jedne farme. Prostorna određenost pojedine farme ili gustoća skupine više manjih farmi omogućava proširenje procjene potencijala na kombinaciju životinjskih ekskremenata s drugim sirovinama veće energetske vrijednosti, a samim time se može povećati i tehnički potencijal bioplina.

Ostale vrste sirovine poput: energetskih usjeva, prehrambenih namirnica isteklog roka trajanja, ostatak pri pripremi i konzumaciji hrane, organski dio komunalnog otpada, otpad iz prehrambeno prerađivačke industrije, klaonički otpad i slično imaju različite prepreke kako za procjenu potencijala, tako i za stvarno korištenje kao sirovine za proizvodnju bioplina. Naime, energetski usjevi (primjerice kukuruzna silaža) se obično uzgajaju za stoku s prosječnim prinosom i do 45 t/ha. No, kukuruzna silaža, kao i stajsko gnojivo za sada ne predstavlja tržišnu robu u Hrvatskoj. U 2006. godini je u pogonima Agroproteinke d.d. termički obrađeno oko 65 000 tona namirnica isteklog roka trajanja zajedno s klaoničkim otpadom. Uz to, oko 9 500 tona otpada iz prerade pilića je termički obrađeno u KOKA d.d., Varaždin (AZO, 2008.). Komunalni otpad se ne razdvaja, što organsku frakciju komunalnog otpada čini neprikladnom za korištenje kao sirovine za proizvodnju bioplina, osim u slučaju deponijskog plina.

11.5. Poljoprivredna struktura u Hrvatskoj

Hrvatska poljoprivreda još uvijek nastoji uhvatiti korak s tržišnom ekonomijom i posljedicama Domovinskog rata. Hrvatska je 1994. godine postala neto uvoznica poljoprivrednih proizvoda. Godine 2003. Hrvatska je bila samodostatna u svega pet poljoprivrednih proizvoda: pšenica, šećer, kukuruz, vino i jaja. U postojećoj vlasničkoj strukturi se još uvijek uvelike ogledava pola stoljeća socijalističkog načina upravljanja poljoprivredom (dualni sustav velikih agrokombinata i marginalizirana obiteljska poljoprivredna gospodarstva) te primjena nasljednog prava. Prema Popisu poljoprivrede 2003. godine, 448 532 obiteljskih gospodarstava koristi 853 196 ha oraničnih površina u vrtovima čime prosječna obiteljska farma čini svega 2 ha. Neki podaci navode da dvije trećine svih obiteljskih gospodarstava ima manje od 3 ha, ali istovremeno se kultivira samo 21 posto ukupnog poljoprivrednog zemljišta u privatnom vlasništvu. Poslovni subjekti koriste puno veće površine poljoprivrednog zemljišta, prosječno 159,2 ha. Trendovi u prirodim glavni usjeva navode na zaključak o nedostatnom poznavanju agrotehnoških mjera i jaku povezanost poljoprivrednog priroda s vremenskim uvjetima (nedostatak irigacije, sustava protiv tuče...).

Prema Hrvatskom stočarskom centru, u Hrvatskoj ima 44 560 proizvođača mlijeka od kojih 96 posto ima manje od 15 krava. Većina obiteljskih gospodarstava (90%) drži manje od 10 goveda, a samo njih 10 posto više od 10. Kako bi se ova nepovoljna struktura promijenila, Operativni program za razvitak stočarske proizvodnje osigurava uvjete za osnivanje novih modernih farmi s kapacitetom do 100 krava. Važno je naglasiti da će neki poljoprivrednici nastaviti s držanjem malog broja životinja na farmama. Specijalizirane stočarske farme još uvijek nisu razvijene na veliko. Jedna trećina (32%) poslovnih subjekata drži do 20 goveda, a dvije trećine ili 339 proizvođača ima više od 20, unutar kojih svega njih 86 drži više od 100 grla goveda.

U 2003. godini, prosječni broj svinja po obiteljskom gospodarstvu je iznosio 8 svinja, dok su poslovni subjekti u prosjeku držali 464 svinja. U strukturi proizvođača svinja najveću

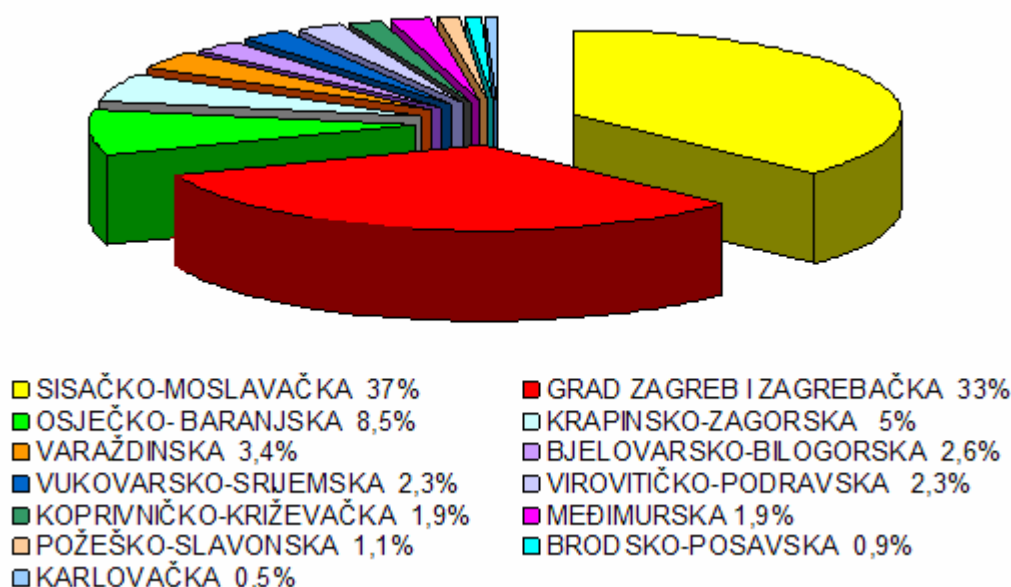
prepreku čini činjenica da je 90 posto proizvodnje u rukama oko 200 000 malih proizvođača. Oko 3 300 (1,5%) proizvođača ima više od 50 svinja. Oko 12 500 proizvođača drži 20-50 svinja i od njih se može očekivati da bi mogli narasti do prave veličine komercijalnog uzgoja. Iz kategorije obiteljskih farmi s 11 do 20 svinja se mogu izdvojiti farme koje su spremne sudjelovati u komercijalnoj proizvodnji, dok je većina njih ili više od 170 000 obiteljskih farmi s manje od 10 svinja isključeno iz komercijalne proizvodnje

11.6. Mogućnosti ubrizgavanja biometana u hrvatski sustav prirodnog plina

Bioplin je prepoznat u Zakonu o tržištu plina (NN 40/07) u članku 1, paragraf 2:

„(2) Pravila utvrđena ovim Zakonom i propisima donesenim na temelju njega primjenjuju se i na bioplin, plin iz biomase i druge vrste plina ako se te vrste plina mogu tehnički i sigurno transportirati kroz plinski sustav.“

Do trenutka pisanja (srpanj 2009.), nisu postojali provedbeni akti koji bi opisali implementaciju bioplina u plinsko tržište jer su transport, distribucija, skladištenje, opskrba, opskrba tarifnih kupaca, upravljanje LNG terminalom regulirane energetske djelatnosti, a tržišne su djelatnosti proizvodnja plina, opskrba i prodaja prirodnog plina iz vlastite proizvodnje, opskrba povlaštenih potrošača, medijacija na plinskom tržištu i zastupanje na tržištu plina. Citirani paragraf može se interpretirati i na način da ako biometan postiže iste karakteristike kao i prirodni plin, tada se svi propisi koji se odnose na prirodni plin mogu primijeniti i na biometan.



Slika 11.3 Struktura transportiranih količina prirodnog plina po županijama (razina NUTS 3) u Hrvatskoj

Izvor: Energija u Hrvatskoj, 2006.

U Hrvatskoj razlikujemo dvije razine plinske mreže: transportna (visokotlačna 50-70 bara) i distribucijska (srednjeg tlaka 1-4 te niskotlačna <1 bar). Transportni sustav obuhvaća 2 034 km plinovoda, 142 mjerno-redukcijske stanice s 210 mjernih linija te 19 mjesta ulaza u sustav. Transportni sustav omogućuje isporuku plina na području 14 županija, uključujući i Grad Zagreb.

11.7. Utjecaji proizvodnje bioplina u Hrvatskoj

Do sada nije napravljeno sveobuhvatno istraživanje o bioplinu i njegovom konkretnom međudjelovanju kroz poljoprivredu, zaštitu okoliša, gospodarstvo, energetiku i ruralni razvitak, ali i ostvarenim koristima za navedene sektore jer koristi od proizvodnje i korištenja bioplina prelaze okvire jednog resora.

Razvitak tržišta bioplina u Hrvatskoj mogla bi se odvijati u nekoliko različitih smjerova poput:

- Proizvodnje obnovljive energije
- Zaštite okoliša
- Gospodarenja otpadom
- Razvitak ruralne zajednice

Hrvatska si je postavila cilj da **minimalni udio električne energije proizvedene iz OIE** u ukupnoj potrošnji električne energije bude 5,8 posto ili 360 MW do 2010.godine. Realno je očekivati da će ciljevi navedeni u EU Zelenoj knjizi „20-20 do 2020.“ također biti prihvaćeni u nacionalne ciljeve za OIE. Posljednji službeni podaci o potencijalu bioplina napravljeni su u sklopu Nacionalnog energetskeg programa BIOEN – Energija iz biomase i otpada, 1998. godine. Taj dokument navodi da je potencijal bioplina jednak 2 PJ/godišnje što ugrubo odgovara rezultatima preliminarnog istraživanja potencijala bioplina iz poljoprivrede (bez energetske usjeve) iz 2008. o kojem se više govorilo u prethodnim poglavljima (od 3,2 -11,3 do 0,7 – 2,1 PJ/godišnje). Proizvodnja i korištenje bioplina imat će skromni doprinos (do 1% u ukupnoj bruto potražnji za električnom energijom) ukoliko se sirovina ne proširi na energetske usjeve i ostale izvore poput prehrambeno-prerađivačke industrije, ostatke pri pripremi i konzumaciji hrane, prehrambene proizvode isteklog roka trajanja, klaonički otpad i slično. Do sada nije zabilježeno istraživanje o potencijalu bioplina u Hrvatskoj koji razmatra sirovine šire od poljoprivrede, odnosno životinjskih ekskremenata.

No, usprkos svojoj skromnoj energetskej ulozi na nacionalnoj razini, bioplin bi mogao biti najbolja opcija u onim regijama koje su bogate poljoprivrednom sirovinom. Te bi regije imale lokalno proizvedenu energiju, i do određene mjere, energetske neovisnost uz istovremene sporedne koristi iz proizvodnje bioplina, odnosno eksternalija koje povoljno djeluju na zaštitu okoliša i razvitak ruralne zajednice.

Zakon o biogorivima za prijevoz (NN 65/09) prepoznaju bioplin kao vrstu motornog biogoriva, a Uredba o kakvoći **biogoriva** (NN 141/05) propisuje određena svojstva koja mora imati ako se želi prodavati na tržištu goriva. Nacionalni udio biogoriva u ukupnoj potrošnji motornih goriva iznosi 5,75 posto ili 5,095 PJ do 2010. godine. Očekuje se da će se u 2009. godini svega polovica ciljane količine ostvariti u postojećim i planiranim

proizvodnim kapacitetima. Svi postojeći i planirani proizvodni kapaciteti biogoriva fokusirani su na biodizel.

Doprinos zaštiti okoliša proizvodnje bioplina u Hrvatskoj se očituje u **pozitivnom utjecaju na kvalitetu tla, vode i zraka kao i uštede na emisijama stakleničkih plinova**. U nekim hrvatskim propisima bioplin se jasno navodi kao jedno od rješenja za ublažavanje negativnog utjecaja. Takvi dokumenti uglavnom transponiraju pravnu stečevinu EU-a, a najčešće su spominjani Nitrarna direktiva, regulativa EC no. 1774/2002 (s pripadajućim amandmanima) o postavljanju zdravstvenih standarda glede životinjskih nus proizvoda koji nisu namijenjeni ljudskoj prehrani, Protokol iz Kyota i MPME protokol.

Transponiranje EU **Nitrarne direktive** u nacionalno zakonodavstvo kroz Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/08) svratilo je pozornost stočara na stajski gnoj i način njegova zbrinjavanja. Direktiva daje četiri godine prilagodbe pri čemu je dozvoljeno 210 kg dušika godišnje po hektaru nakon čega slijedi uobičajenih 170 kg dušika po hektaru godišnje. Pravilnik također propisuje kada je primjena određenih vrsta gnojiva zabranjena te opisuje potpunu zabranu primjene krutog stajskog gnoja i gnojovke na određenim tlima i u određenim prilikama. Hrvatska inačica Nitrarne direktive završava preporukama da se, ukoliko poljoprivredno gospodarstvo nema dovoljno poljoprivrednih površina za primjenu gnoja i gnojovke, proizvedeni gnoj i gnojavka moraju zbrinuti na neki od sljedećih načina:

- gnoj i gnojovka se primjene za gnojidbu poljoprivrednog zemljišta koje nije u vlastitom vlasništvu, a takva primjena se mora temeljiti na ugovoru
- gnoj i gnojovka se prerade u bioplin, kompost ili supstrat
- zbrinjavanje gnoja na druge načine (nije specificirano što su „drugi načini“)

Teško je predvidjeti dinamiku primjene ovog pravilnika, ali se može zaključiti da vrijeme „improvizacije kod zbrinjavanja životinjskih ekskremenata“ postepeno prolazi. Pored toga, hrvatsko je stočarstvo koncentrirano u geografskom smislu. Sjeverozapadne županije (Varaždinska i Međimurska) su poznate po peradarskoj proizvodnji, županije na sjeveru (Koprivničko–križevačka i Bjelovarsko–bilogorska) su poznate po govedarstvu dok se istočni dijelovi Hrvatske (Slavonija) više orijentirani na svinjogojstvo. Dok Slavonija, kao dominantno poljoprivredna regija ima mogućnost nalaženja dovoljno poljoprivrednog zemljišta za primjenu gnoja, ostali dijelovi Hrvatske u kojima se odvija stočarska proizvodnja nisu tako bogate prostorom i poljoprivrednim zemljištem, odnosno nemaju dovoljno primjerenih površina za primjenu stajskog gnoja i gnojnice.

Uredba Europske komisije 1774/2002 je transponirana u nacionalno zakonodavstvo kao Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi (NN 56/06). U njegovom su Prilogu VI. opisani **posebni uvjeti koje objekt za proizvodnju bioplina i komposta mora ispuniti**.

Iako Hrvatska pripada zemljama iz Priloga B **Protokola iz Kyota**, njegova se ratifikacija dogodila tek u travnju 2007. godine. Prema Protokolu, Hrvatska mora smanjiti stakleničke plinove iz antropogenih izvora za 5 posto u razdoblju 2008. – 2012. u usporedbi s emisijama u baznoj 1990. godini.

Hrvatska je završila proces ratifikacije CRLTAP protokola u svibnju 2008. godine, ratifikacijom Protokola o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona, poznatijim pod skraćenicom MPME³. Glavni cilj ovog Protokola je promatranje i smanjenje godišnjih emisija sumpor dioksida, dušikovih oksida, nemetanskim hlapivim organskim česticama i amonijaka iz antropogenih izvora. Hrvatska se obvezala smanjiti emisije SO₂ za 61, NMVOC za 14 i NH₃ za 19 posto do 2010. u usporedbi s emisijama 1990. godine dok bi emisije NO_x 2010. godine trebale biti manje od onih iz 1990. Nacionalni ciljevi za emisije koji su definirani **MPME protokolom** istovremeno su i nacionalni ciljevi strategije zaštite okoliša.

Korištenje organske frakcije komunalnog otpada u svrhu proizvodnje bioplina može se smatrati kao jedan od načina gospodarenja otpadom radi **produženja vijeka trajanja odlagališta otpada**, budući da se manje količine otpada odlažu. Na taj se način istovremeno sprječava rizik zagađenja podzemnih voda. Bioplin se smatra jednom od metoda recikliranja u Strategiji gospodarenja otpadom. Kako bi se iskoristila organska frakcija komunalnog otpada potrebno je implementirati cijeli sustav odvojenog sakupljanja i odlaganja komunalnog otpada.

Kako se stočarstvo uglavnom događa u ruralnim regijama, proizvodnja bioplina se može predstaviti kao **nova ekonomska aktivnost u zajednici**. Tijek ulaznog i izlaznog materijala može biti vrlo blizak održivom konceptu gdje se od lokalno proizvedene sirovine dobiva lokalno korišteni proizvod. Iako je najveća vjerojatnost da će se proizvedena električna energija iz kogeneracijskog postrojenja prodati u elektroenergetsku mrežu kako bi se prihodovalo iz tarifnog sustava, toplinska energija i digestat kao gnojivo ostaju za lokalnu upotrebu.

11.8. Zaključci i preporuke za implementiranje bioplinskih postrojenja u Hrvatskoj

Tržište bioplina u Hrvatskoj je vrlo dinamično, ali je proizvodnja i korištenje bioplina još uvijek u svom početnom stadiju razvitka. Svakodnevno se pojavljuju novi projekti, a zakonodavni i institucionalni okvir se još uvijek prilagođava i nadograđuje s iskustvom iz prakse. Ipak, moguće je dati nekoliko preporuka za buduće (su)vlasnike bioplinskih postrojenja u Hrvatskoj.

Iako na nacionalnoj razini pokazuje mali potencijal za ostvarenje ciljeva energije proizvedene iz OIE, bioplin može pomoći u ostvarenju drugih izazova poput onih iz Protokola iz Kyota i Nitratne direktive. Ipak, na regionalnoj i/ili lokalnoj razini, bioplin može imati značajniji utjecaj na lokalnu energetska bilancu u krajevima s razvijenom stočarskom proizvodnjom.

Hrvatske farme su vrlo male i samo njih nekoliko, uvjetno rečeno, moglo bi imati dovoljno sirovine za više od 1 MW instalirane snage. Postojeći tarifni sustav čini veličinu postrojenja od 1 MW najpovoljnijom za investitora jer su koristi od ekonomije razmjera ograničene padom tarifne stavke nakon te veličine. Problem malih farmi i nedostatka sirovine se može izbjeći podizanjem centraliziranih bioplinskih postrojenja gdje bi se

³ *Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone*, so called multi-pollutant/multi-effect protocol ili MPME protokol

sirovina s više farmi digestirala u jednom postrojenju. Time se smanjuje investicijski trošak i raspodjeljuje rizik poslovanja u usporedbi s investiranjem u više malih postrojenja čiji zbroj snaga odgovara 1 MW. Važno je napomenuti da je u EU prosječna veličina poljoprivrednog bioplinskog postrojenja (ko-digestija) jednaka 300 kW, a investicija varira od 2 960 do 5 790 €₂₀₀₅/kW, ovisno o složenosti postrojenja. Trošak proizvedene električne energije isto tako varira prema složenosti sirovine, a time i postrojenja – od 55 do 215 €₂₀₀₅/MWh.

Prema postojećem zakonodavnom okviru, najjednostavnije je imati kogeneracijsko postrojenje koje će prodavati električnu energiju prema tarifnom sustavu, a iskoristiti toplinsku energiju u sklopu svoje proizvodnje ili naći kupca za nju. Kod malih pogona je pročišćavanje bioplina i njegovo ubrizgavanje u plinsku mrežu rijetko ekonomski opravdano tako da bi se za proizvodnju bioplina u većim kapacitetima trebalo ili osloniti na energetske usjeva ili tražiti sirovinu za proizvodnju bioplina u nekim drugim sektorima (prehrambeno prerađivačka industrija, ugostiteljstvo, supermarketi...) ili graditi centralizirana bioplinska postrojenja za supstrat s više farmi.

Hrvatska se nalazi u blizini razvijenih tržišta bioplina što je prednost u dostupnosti raznih tehnologija za proizvodnju bioplina dok se ne razvije domaća proizvodnja opreme koja je za sada vrlo skromna. Predstavnici tvrtki za proizvodnju i prodaju opreme za proizvodnju bioplina često nude rješenja tipa „ključ u ruke“ i daju jamstvo na očekivane rezultate. Kod odabira opreme je potrebno dobro razmisliti o ponuđenoj opciji proizvođača opreme ili konzultanta. Broj izgrađenih bioplinskih postrojenja i iskustva vlasnika su najbolja preporuka za proizvođača. Kao i kod svake druge velike investicije, raspitivanje o alternativnim rješenjima uvijek pomogne u procesu odlučivanja. Potrebno je imati na umu da je osnova svakog bioplinskog postrojenja – spremnik za miješanje sirovine, fermentator, skladište za bioplin i energetska jedinica – sve ostalo ovisi o vrsti sirovine i njezinoj pripremi za digestiju (sjeckanje, mljevenje, drobljenje, pasterizacija, sanitacija, skladištenje, grijanje, hlađenje...) odnosno o mogućnostima korištenja ostatka digestije (gnojivo, konfekcionirano gnojivo za urbane vrtove, amonij-sulfat... ili odlaganje na odlagalištima otpada).

Iako se često u praksi događa da planer bioplinskog postrojenja ili proizvođač opreme uključi u prodajnu cijenu i izradu studije izvodljivosti, preporuča se ugovoriti neovisnog konzultanta koji će istovremeno izraditi i ostalu dokumentaciju, te zastupati interese investitora neovisno o odabranom rješenju za bioplinsko postrojenje. U načelu, ukoliko studiju (prethodne) izvodljivosti nije napravio neovisni konzultant (stručnjak za bioplin), studija teško može biti primjenjiva za tražnje financiranja od treće strane (tzv. bankabilnost projekta).

Kod investiranja u bioplinsko postrojenje je najvažnije ugovoriti dobavu sirovine. Naime, iskustva iz razvijenih tržišta bioplina ukazuju da je, s porastom potražnje za sirovinom, sirovina (koja je do tada bila otpad) dobila cijenu. Postrojenja koja nisu imala uređene dugoročne ugovore za dobavu sirovine, a ostvarivala su dobit na temelju besplatne sirovine morale su zatvoriti ili naći druge izvore supstrata.

Jednako je važno imati i dugoročan ugovor o korištenju digestata jer, iako može činiti korisnu i kvalitetnu zamjenu za stajski gnoj, gnojovku i umjetna gnojiva, ipak je potrebno ugovoriti poljoprivredne površine na kojima će se digestat primjenjivati. Ili, ako se radi o daljnjem kondicioniranju digestata u gnojivo za šire tržište (pakirano i deklarirano) ili izdvajanje i prodaja pojedinačnih hranjivih tvari iz digestata (sumpor, kalij, fosfor, amonij-sulfat), potrebno je ispitati tržište plasmana i ugovoriti kupca. Iskorištavanje i

prodaja sporednih proizvoda iz proizvodnje bioplina vezanih za digestat mogu povoljno utjecati na ukupnu ekonomsku bilancu rada bioplinskog postrojenja. Opravdanost ulaganja u dodatnu opremu potrebnu za kondicioniranje digestata i izdvajanje nutrijenata će, naravno, ovisiti o potražnji i cijeni pojedinog dodatnog proizvoda, ali i proizvedenoj količini koja će odgovarati dodatnoj investiciji u dodatnu opremu (separatori, sušilice, preše...).

Potrebno je istaknuti da se ne može svaki ostatak AD primijeniti kao gnojivo u poljoprivredi i da njegova primjena ili zbrinjavanje ovise o ulaznoj sirovini. Primjena digestata kao gnojiva je regulirana zakonskim propisima te je, prije investiranja u bioplinsko postrojenje potrebno provjeriti način na koji se digestat može iskoristiti. Obično vrijedi pravilo da, ukoliko je i jedan mali dio sirovine u ukupnoj mješavini supstrata neprikladan za primjenu digestata kao gnojiva, on kontaminira ostali „čisti“ dio supstrata i dovodi do, primjerice, potrebe zbrinjavanja digestata na odlagalištu otpada (uz naknadu) umjesto primjene kao gnojiva (izgubljena dobit).

Kod davanja preporuka za daljnja istraživanja nemoguće je izbjeći onu da se istraži potencijal bioplina i kod ostalih sektora osim poljoprivrede. Što se tiče bioplinskih postrojenja na poljoprivrednu biomasu i njihov razvitak, potrebno je proširiti istraživanje na valoriziranje mogućeg doprinosa bioplina kao mjeri za smanjenje emisija stakleničkih plinova, ostvarivanje ciljeva Nitratne direktive i ostalih koristi bioplina na društvo kao cjelinu, čime bi se lokalne i regionalne vlasti još više aktivirale u razvitku tržišta bioplina.

Sretno!

Prilozi – Korisne informacije

Prilog 1: Pojmovnik, pretvorbene jedinice i kratice

Amonijak:	Plinoviti spoj vodika i dušika, NH_3 s intenzivnim mirisom i okusom.
Anaerobne bakterije:	Mikroorganizmi koji žive i reproduciraju se u okolišu u kojem nema „slobodnog“ ili otopljenog kisika. Koriste se za anaerobnu digestiju.
Anaerobna digestija -AD (Sinonim: razlaganje, fermentacija):	Mikrobiološki proces razgradnje organske tvari pomoću različitih mikroorganizama u potpunoj odsutnosti kisika. Dva osnovna proizvoda anaerobne digestije (AD) su: <i>bioplin</i> (plin koji se sastoji od mješavine metana, ugljikovog dioksida, ostalih plinova i elemenata u tragovima) i <i>digestat</i> (digestirani substrat). AD proces je karakterističan u mnogim prirodnim uvjetima, a danas se primjenjuje u proizvodnji bioplina u rektorima nepropusnim za zrak, zvanim digestori.
Barel ekvivalentne nafte (Barrel of oil equivalent) (boe):	Količina energije sadržana u barelu sirove nafte, tj. 6,1 GJ, što je ekvivalentno 1700 kWh. Barel benzina (<i>petroleum barrel</i>) je mjera za tekućinu koja iznosi 42 galona u SAD sustavu (35 <i>imperial gallons</i> ili 159 litara), oko 7,2 barela su ekvivalentni jednoj toni nafte (u metričkom sustavu).
Baza (lužina):	Podrazumijeva bilo koji kemijski spoj koji otopljen u vodi stvara otopinu s pH vrijednosti višom od 7,0.
Biokemijska konverzija:	Uporaba biokemijskog procesa za proizvodnju goriva i kemikalija iz organskih sirovina.
Biološka potrošnja kisika (BPK):	Kemijska procedura za utvrđivanje vremena u kojem organizmi iskoriste kisik sadržan u nekoj otopini.
Bioplin:	Gorivi plin proizveden razgradnjom biološkog otpada pri anaerobnim uvjetima. Bioplin obično sadrži 50-60% metana.
Bioreaktor (Sinonim: digestor, fermentator):	Uređaj za optimizaciju anaerobne digestije biomase i/ili stajskog gnoja, s mogućnošću odvajanja bioplina za proizvodnju energije.
Centralizirana anaerobna digestija:	Dobava stajnjaka i gnojnice s nekoliko poljoprivrednih gospodarstava u centralno postrojenje za proizvodnju bioplina, kako bi se kodigestirali s ostalom prikladnom sirovinom.

CO₂ –ekvivalent:	CO ₂ je standardizirana mjerna jedinica, koja se koristi za prikaz globalnog potencijala zagrijavanja svih šest stakleničkih plinova. Na primjer, učinak jedne tone metana na efekt staklenika, 21 puta je veći od jedne tone ugljikovog dioksida.
Digestat: (Sinonim: AD ostatak, digestirana biomasa, digestirana gnojica)	Tretirani/digestirani ostatak procesa AD.
Digestija:	vidi Anaerobna digestija
Džul (J):	Mjerna jedinica SI za rad, energiju i toplinu. Definira se kao rad obavljen (utrošena energija) djelovanjem sile od jednog njutna na putu duljine jednog metra (= 1 kg m ² /s ²). Jedan džul (J) = 0,239 kalorija (1 kalorija = 4,187 J).
Efluent:	Tekući ili plinoviti ostatak nekog procesa ili kemijske reakcije, koji obično sadrži digestat tog procesa.
Ekvivalent nafte:	Tona ekvivalente nafte (toe) je jedinica energije. Količina energije oslobođena prilikom izgaranja jedne tone sirove nafte, približno 42 GJ.
Emisije:	Pare ili plinovi koji izlaze iz dimnjaka ili ispušnih cijevi, ili se procjeđuju iz tvornice ili dolaze u atmosferu direktno prilikom izgaranja goriva, ispuštanja s odlagališta otpada, prilikom truljenja vegetacije ili drveća ili iz nekog drugog izvora. Oni sadrže ugljikov dioksid, metan i didušikov oksid, koji su glavni uzročnici učinka staklenika na Zemlji.
Energetska bilanca:	Kvantificira korištenu i proizvedenu energiju unutar nekog procesa.
Energetski usjevi:	Usjevi koji se uzgajaju radi njihove energetske vrijednosti. Energetski usjevi obično uključuju vrste kao što su kukuruz i šećerna repa, i nestivi usjevi kao što su različite sorte topole i vrsta <i>Panicum virgatum</i> (eng. <i>Switchgrass</i>). Trenutno su u razvoju dva sustava uzgoja energetske usjeva: brzo-rotirajući drvenasti usjevi, u kojima se uzgajaju brzo rastuće drvenaste biljke čija sječa se obavlja svakih 5 do 8 godina, i zeljasti energetski usjevi, gdje se koriste višegodišnje biljke, žetva kojih se obavlja svake godine, pri čemu je prva žetva 2 do 3 godine nakon sadnje.
Fermentacija:	vidi Anaerobna digestija.

Fosilno gorivo:	Čvrsto, tekuće ili plinovito gorivo koje je nastalo u Zemljinoj unutrašnjosti, prilikom kemijskih i fizikalnih promjena biljnih i životinjskih ostataka pod visokom temperaturom i pritiskom. Sirova nafta, prirodni plin i ugljen su fosilna goriva.
Fotosinteza:	Proces kojim biljne stanice koje sadrže klorofil pomoću energije svjetla iz ugljikovog dioksida i hranjivih tvari stvaraju ugljikohidrate.
Gasifikacija:	Proces u kojem se čvrsto gorivo pretvara u plin, proces se naziva i pirolitička destilacija ili piroliza.
Generator:	Uređaj za pretvaranje mehaničke energije u električnu energiju.
Globalno zatopljenje:	Postepeno povećanje prosječne temperature Zemljine atmosfere. Emisije onečišćujućih tvari u zrak (stakleničkih plinova), do kojih dolazi izgaranjem fosilnih goriva pridonose globalnom zatopljenju.
Gorivna ćelija:	Uređaj koji energiju nekog goriva elektrokemijskom reakcijom pretvara direktno, bez izgaranja, u električnu energiju i toplinu.
Hlapljive čvrste tvari (HČT):	One čvrste tvari u vodi ili drugim tekućinama, koje se gube prilikom izgaranja suhe tvari na 550°C.
Hlapljive masne kiseline (HMK):	Kiseline proizvedene iz šećera i drugih ugljikohidrata u silaži pomoću mikroorganizama. Po definiciji one su hlapljive, što znači da ovisno o temperaturi mogu islapiti na zraku. One su prvi degradacijki proizvod anaerobne digestije, prije stvaranja metana.
Instalirana snaga:	Ukupna snaga uređaja za proizvodnju električne energije u elektrani.
Izmjenjivač topline:	Uređaj za učinkoviti prijenos topline s jedne tekućine na drugu, bilo da su tekućine međusobno odvojene čvrstim materijalom, kako se nikada ne bi miješale, ili su u direktnom kontaktu.
Kiselina:	Podrazumijeva bilo koji kemijski spoj koji otopljen u vodi stvara otopinu pH vrijednosti nižom od 7,0
Kogeneracija: Kombinirana proizvodnja topline i električne energije	Sekvencijalna proizvodnja električne energije i korisne topline iz istog energetskog izvora. Otpadna toplina iz industrije može se koristiti za pokretanje električnog generatora (eng. <i>bottoming cycle</i>). Obrnuto, suvišak topline koji nastaje prilikom proizvodnje električne energije može se koristiti za industrijske procese, za zagrijavanje prostora i proizvodnju tople vode (eng. <i>topping cycle</i>).

Kruti komunalni otpad:	Sve vrste čvrstog otpada nastalog u nekoj zajednici (u kućanstvima i uslužnom sektoru). Obično ga prikupljaju tvrtke ovlaštene za gospodarenjem otpadom (komunalne tvrtke).
Lebdeće čestice:	Sitne čestice pepela nošene u suspenziji efluenata izgaranja.
Metan (CH₄):	Plin koji je zapaljiv, eksplozivan, bezbojan i bez okusa. Nije topiv u vodi ali je topiv u alkoholu i eteru; temperatura vrenja mu je $-161,6^{\circ}\text{C}$ a smrzavanja $-182,5^{\circ}\text{C}$. Prirodno nastaje u močvarama i barama prilikom razlaganja organske tvari a njegova prisutnost u podzemlju predstavlja rizik od eksplozije. Metan je glavni sastavni dio prirodnog plina (do 97 posto), koristi se kao sirovina u petrokemijskoj industriji i kao gorivo.
Mezofilna digestija:	Digestija koja se odvija pri optimalnim temperaturama 37° do 41°C ili temperaturama zraka između 20° i 45°C i uz prisutnost mezofilnih mikroorganizama.
Mikroturbina:	Male turbine s izlaznom snagom od 25 do 500 kW. Mikroturbine su sastavljene od kompresora, ložišta, rekuperatora i generatora. U usporedbi s drugim malim uređajima za proizvodnju električne energije, mikroturbine imaju niz prednosti, koje uključuju: malen broj pomičnih dijelova, kompaktnu veličinu, lagani su, imaju visoku učinkovitost, emisije su manje nego kod ostalih tehnologija, manji su proizvodni troškovi, postoji potencijal za veliku proizvodnju s malim troškovima i mogućnosti iskorištavanja otpadnog goriva.
Mini-mreža:	Integrirana proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije za niz potrošača.
Mreža:	Sustav pomoću kojeg proizvođači prenose energiju od mjesta proizvodnje (elektrane) do potrošača. Elektroenergetska mreža: visoko naponskom prijenosnom mrežom (110 kilovoltna [kV] do 765 kV) električna energija se prenosi do industrijskih postrojenja i koristi se za gradski autobusni i željeznički transport; sredjenaponskom mrežom električna energija se prenosi do korisnika u uslužnom i industrijskom sektoru (23 kV-138 kV); a distribucijskom ili niskonaponskom mrežom do potrošača u sektoru usluga i kućanstava (120 V do 480 V). Mreža se odnosi i na sustav cijevi za distribuciju plina (plinska mreža). Plinska mreža obično prolazi uz ceste.
Mrežni sustav:	Sustav elektroenergetske i plinske mreže koja povezuje elektrane i potrošače na velikom prostoru.
Neto proizvodnja:	Ukupna proizvodnja umanjena za energiju koju koristi postrojenje za proizvodnju energije.

Obnovljivi izvori energije:	Energetski izvori koji su prirodno obnovljivi, no s ograničenim kruženjem. Izvori koji su neiscrpni, ali je njihova korisna energija u jedinici vremena ograničena. Neki izvori (kao što su geotermalna energija i biomasa) mogu biti ograničeni postojećim zalihama budući da se njihove zalihe smanjuju iskorištavanjem, no u razdoblju od nekoliko desetaka ili pak stotina godina, oni mogu biti obnovljeni. Obnovljivi izvori energije su: biomasa, hidroenergija, geotermalna, Sunčeva energija i energija vjetra. U budućnosti vjerojatno će se iskorištavati i toplina oceana, energija valova i plime i oseke. Iskorištavanje obnovljivih izvora energije uključuje proizvodnju električne energije i topline.
Održivost:	Uvjeti ekosustava u kojima bioraznolikost, obnovljivost i produktivnost izvora ostaju sačuvani tijekom vremena.
Operativni tlak:	Tlak plinskog sustava ili digestora pri normalom radom.
Otpadni mulj:	Dio čvrstih tvari koje su odvojene od tekućina tijekom procesa. Mogu sadržavati do 97 posto (vol.) vode.
pH:	Vrijednost kojom se iskazuje intenzitet kiselosti odnosno bazičnosti neke otopine. pH vrijednost je određena koncentracijom vodikovih iona u nekoj otopini. pH vrijednost može biti od 0 do 14, gdje 0 predstavlja najkiseliju vrijednost, a 14 najveću bazičnosti, dok je otopina s pH 7 neutralna.
Pilotna veličina:	Veličina nekog sustava veća od veličine sustava za laboratorijsko testiranje, a manja od veličine pravog sustava.
Plinska turbina (Sinonim: turbina za izgaranje):	Turbina koja pretvara energiju vrućeg komprimiranog plina (proizvedenog prilikom izgaranja goriva pod pritiskom) u mehaničku energiju. Kao gorivo obično se koristi prirodni plin ili nafta.
Procesna toplina:	Toplina koja se koristi u industrijskom procesu.
Punjenje u šaržama:	Proces u kojem se reaktor puni određenim količinama sirovine, a ne kontinuirano.
Sirovina biomase:	Organska tvar dostupna po principu obnovljivosti. Biomasa uključuje šumarske ostatke i otpad iz pilana, poljoprivredne usjeve i otpad, drvo i drveni otpad, životinjski otpad, ostatke uzgoja stoke, vodenih biljaka i brzo rastućeg drveća i zelenih biljaka, te organski dio komunalnog i industrijskog otpada.
Sirovina:	Bilo koji materijal koji se nekim procesom pretvara u proizvod nekog drugog oblika.

Snaga:	Izvršeni rad u jedinici vremena ili promjena energije u jedinici vremena.
Snaga stroja/sustava:	Maksimalna snaga koju stroj ili sustav, može proizvoditi i sa sigurnošću održavati. Najveća dobivena snaga pri određenim uvjetima. Instalirana snaga generatora se iskazuje u kilowatima ili megawatima.
Staklenički plin (eng. <i>Greenhouse gas</i> - <i>GHG</i>):	Plinovi koji uzrokuju zadržavanje topline Sunca u Zemljinoj atmosferi, te na taj način uzrokuju učinak staklenika. Dva najvažnija staklenička plina su vodena para i ugljikov dioksid. Ostali staklenički plinovi su metan, prizemni ozon, klorofluorokarbonati i dušikovi oksidi.
Supstrat:	vidi Sirovine biomase
Termofilna digestija:	Anaerobna digestija koja se odvija pri optimalnim temperaturama od oko 50 do 52°C, no temperatura može biti i do 70°C, i uz prisutnost termofilnih mikroorganizama.
Toplinska vrijednost:	Najveća količina energije koja može biti dobivena izgaranjem neke tvari.
Turbina:	Uređaj za konverziju toplinske energije vodene pare ili plina u mehaničku energiju. U turbini vodena para ili plin protječe velikom brzinom kroz sljed radialnih lopatica montiranih na glavnu osovinu.
Učinak staklenika:	Zadržavanje topline Sunca u Zemljinoj atmosferi - dolazi do neravnoteže između energije koja u Zemljinu atmosferu dolazi sa Sunca i topline izračene u svemir.
Učinkovitost prijenosa topline:	Omjer oslobođene korisne topline i ukupne proizvedene topline.
Ukupna čvrsta tvar (Sinonim: Suha tvar):	Ostatak nakon evaporacije vode i sušenja.
Volt:	Mjerna jedinica SI sustava za električku razliku potencijala. Broj volti je mjera jakosti električnog izvora u smislu koliko je snage potrebno proizvesti za željenu jakost električne energije.
Zeleni certifikati (RECs):	Pismeni dokaz da je neka električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora energije, koji ima monetarnu vrijednost. Obično jedan certifikat predstavlja proizvodnju 1 megawat-sata (MWh) električne energije.

Pretvorbene jedinice

Kilowatt (kW)	= 1000 Watts
Megawatt (MW)	= 1000 kW
Gigawatt (GW)	= 1 milijun kW
Terawatt (TW)	= tisuću milijuna kW
1 džul (J)	= 1 Watt sekunda = 278×10^{-6} Wh
1Wh	= 3600 J
1 cal	= 4,18 J
1 British Thermal Unit (BTU)	= 1055 J
1 cubic meter (m ³)	= 1000 litara (L)
1 bar	= 100000 pascal (Pa)
1 millibar	= 100 Pa
1 psi	= 6894,76 Pa
1 torr	= 133,32 Pa
1 millimeter mercury (0°C)	= 133,32 Pa
1 hekto Pascal (hPa)	= 100 Pa

Popis kratica

AD	– Anaerobna digestija
BPK	– Biološka potrošnja kisika
CHP	– Kogeneracija (eng. <i>Combined Heat and Power</i>)
C:N	– Odnos ugljika i dušika
KPK	– Kemijska potrošnja kisika
ENUS	– Energetski usjevi
ST	– Suha tvar
SS	– Svježa sirovina
GHG	– Staklenički plinovi (eng. <i>Greenhouse Gases</i>)
VHR	– Vrijeme hidraulične retencije
MGVR	– Minimalno garantirano vrijeme retencije
kWh	– Kilowat sat
kWh _{el}	– Kilowat sat električne energije
OST	– Organski dio suhe tvari
ppm	– <i>Parts per million</i> (1ppm = 0,0001%)
RD&D	– Istraživanje, razvoj i demonstracija (eng. <i>Research development and demonstration</i>)
MDV	– Maksimalna dopuštena vrijednost
UČT	– Ukupne čvrste tvari
HMK	– Hlapljive masne kiseline
HKT	– Hlapljive krute tvari
N-P	– Dušik - fosfor
NPK	– Dušik, fosfor, kalij

Prilog 2: Literatura

Agapitidis I. and Zafiridis C. (2006). 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.

Al Seadi, T.: Good practice in quality management of AD residues from biogas production. Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom, 2001.

Amon, T.; et al.: Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergieerzeugungssystem Published by Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Austria, 2006.

Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Moitzi, G.; Buga, S.; Lyson, D. F.; Hackl, E.; Jeremic, D.; Zollitsch, W.; Pötsch, E.: Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Published by Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien, Austria, 2003

Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Schreiner, M.: Untersuchungen zur Wirkung von Rohglycerin aus der Biodieselerzeugung als leistungssteigerndes Zusatzmittel zur Biogaserzeugung aus Silomais, Körnermais, Rapspresskuchen und Schweinegülle. Published by Südsteirische Energie- und Eiweißerzeugung Reg.Gen.m.b.H., Mureck, Austria, 2004

Amon, T.; Machmüller, A.; Kryvoruchko, V.; Milovanovic, D.; Hrbek, R.; Eder, M. W.; Stürmer, B.: Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglycerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Published by Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in collaboration with Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Wien, Graz, Austria, 2007

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen. Published by Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Wien, Austria, 2007

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (STMUGV) (2004) Biogashandbuch Bayern. - www.ustmugv.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2007) Biogashandbuch Bayern - Materialband. - <http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) Handreichung Biogasgewinnung und – Nutzung. – 3. überarbeitete Auflage; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe edt.; ISBN 3-00-014333-5

Rutz D., Janssen R., Epp C., Helm P., Grmek M., Agrinz G., Prassl H., Sioulas K., Dzene I., Ivanov I., Dimitrova D., Georgiev K., Kulisic B., Finsterwalder T., Köttner M., Volk S., Kolev N., Garvanska S., Ofiteru A., Adamescu M., Bodescu F., Al Seadi T. (2008) The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; Valencia, Spain; ISBN 978-88-89407-58-1

Hornbachner, D.; Hutter, G.; Moor, D.: Biogas-Netzeinspeisung – Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen in Österreich. Published by Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Austria, 2005

Kirchmeyr, F.; Kraus, J.: Mit Biogas in das Erdgasnetz – Erste ö. Biogasaufbereitungs- und Einspeisungsanlage in Pucking. Published by ARGE Kompost & Biogas Österreich in collaboration with erdgas OÖ, Linz, Austria, 2005

Krachler, M. M.; Dissemmond, H.; Walla, C.: BIOGAS - eine ökologische, volks- und betriebswirtschaftliche Analyse. Published by NÖ Landesakademie Bereich Umwelt und Energie, St. Pölten, Austria, 2003

LandesEnergieVerein Steiermark: Bauherrnmappe Biogas. Published by LandesEnergieVerein Steiermark, Graz, Austria, 2003

Metcalf and Eddy, Inc.: Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal, McGraw-Hill, New York, 1979.

Padinger, R.; Stiglbrunner, R.; Berghold, H.; Roschitz, C.; Kleinhappl, M.; Stutterecker, W.; Kirchmayr, R.: Biogas Pilotanlage - Teilprojekt 1 - Stoffstromanalyse im Rahmen großtechnischer Versuche sowie quantitative und qualitative Bewertung der Einsatzstoffe. Published by Joanneum Research - Institut für Energieforschung, Graz, Austria, 2006

Petz, W.: Auswirkungen von Biogasgülledüngung auf Bodenfauna und einige Bodeneigenschaften. Published by Amt der Oberösterreichischen Landesregierung Landesrat für Wasserwirtschaft Dr. Achatz, Hallwang, Austria, 2000

Wolfsgruber, S.; Löffler, G.; Gross, R.: ENERGIE AUS BIOGAS - Leitfaden für landwirtschaftliche Biogasanlagen. Published by Umwelt.Service.Salzburg in collaboration with Land Salzburg, Salzburg, Austria, 2005

Stoyanov, M., B. Baykov, A. Danev: “*Development of Technological regimes for Producing Biogas from Buffalo Dung*”, Bulgarian Journal of Agricultural Sciences, 2, 1996, 121 – 123;

Ivan Simeonov, Dencho Denchev and Bayko Baykov: “*Development of new technologies for production of heat and electric power from organic wastes for increasing the economic efficiency of the final products*”, Advances in Bulgarian Science, № 1, 15-24, 2006;

Jönsson, O. et al.: Adding gas from biomass to the gas grid. Swedish Gas Center Report SGC 118.ISSN 1102-7371.2001.

Meynell, P.J.: Methane, Planning a Digester. Prism Press, Dorset, England. 1976.

Moller, H. et al.: Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass & Bioenergy 26, pp 485-495. 2004.

Persson, M.: Biogas-a renewable fuel for the transport sector for the present and the future. SGC, 2007. www.sgc.se

Preißler, D. et al.: Anaerobic digestion of energy crops without manure addition. 35. Symposium “Actual Tasks of Agricultural Engineering”, Opatija, Croatia, S. 363-370. 2007a.

Boukis I., K. Sioulas, A. Chatziathanassiou, A. Kakaniaris and D. Mavrogiorgos (2002). Development of networking and synergies for Anaerobic Digestion energy schemes based on agro-industrial wastes in Southern Europe. The citrus-processing industries case

study. "Energy Efficiency and Agricultural Engineering" Proceedings of the Union of Scientists, Rousse-Bulgaria 2002, Volume I, 255-263. In English.

Chatziathanassiou A., K. Sioulas, D. Mavrogiorgos, A. Veneti and I. Boukis (2002). Stakeholders' perceptions for Anaerobic Digestion Energy Schemes in Greece. 12th European Conference and Technology Exhibition on biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. In English.

K. Sioulas, D. Mavrogiorgos and A. Chatziathanassiou (2003). An assessment of social and environmental impacts and benefits associated with the development of the AnDigNet project in the 2nd International Conference on Ecological Protection of the Planet Earth, 5-8 June 2003, Sofia, Bulgaria.

K. Sioulas, I. Boukis et.al. "Establishment of a network of competent partners for the treatment and energy valorisation, by means of Anaerobic Digestion of the residues generated by the citrus-processing industries (AnDigNet)" IPS-1999-00042, Final Report.

Prilog 3: Literatura nacionalnog dodatka

Državni zavod za statistiku: Statistički ljetopisi 2002., 2003., 2004., 2005., 2006. i 2007.

Državni zavod za statistiku: Popis poljoprivrede 2003.

Hrvatski stočarski centar: Govedarstvo, 2007.

Hrvatski stočarski centar: Svinjogojstvo, 2007.

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva: Energija u Hrvatskoj 2006., Energetski institut Hrvoje Požar, 2007.

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva i UNDP: Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskog razvitka – Zelena knjiga, 2008.

Kulisic, B. i Par, V.: Agricultural Potentials for Biogas Production in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 2009; 74 (3)

Domac, J. et al.: Nacionalni energetski program - BIOEN *Program korištenja biomase i otpada, prethodni rezultati i buduće aktivnosti*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 1998.

Europska komisija: Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologie for Power Generation, Heating and Transport {COM(2008) 781 final}, 2008.

Prilog 4: Adrese

- 1. University of Southern Denmark
Centre for Bioenergy**
Niels Bohrs Vej 9-10
DK-6700 Esbjerg
Denmark
Tel.: (+45) 6550 4165
Faks: (+45) 6550 1091
Web: www.sdu.dk/bio
Osoba za kontakt: Teodorita Al Seadi
e-mail: tas@bio.sdu.dk

- 2. WIP Renewable Energies**
Sylvensteinstr. 2
D-81369 Munich
Germany
Tel.: +49 89 720 12739
Faks: +49 89 720 12791
Osoba za kontakt: Dipl.-Ing. Dominik Rutz M.Sc. and Dr. Rainer Janssen
e-mail: dominik.rutz@wip-munich.de
Web: www.wip-munich.de

- 3. Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG**
Mailinger Weg 5
83233 Bernau / Hittenkirchen
Germany
Tel.: +49 (0) 8051-65390
Faks: +49 /0) 8051-65396
e-mail: info@fitec.com
Web: www.fitec.com
Osoba za kontakt: Dipl.-Ing. Tobias Finsterwalder

- 4. German Society for Sustainable Biogas and Bioenergy Utilisation
(GERBIO)**
FnBB e.V. - Geschäftsstelle
Am Feuersee 8D - 74592 Kirchberg/Jagst
Germany
Tel.: + 49 (0) 7954 921 969
Faks: +49 (0) 7954 926 204
Web: www.fnbb.org
e-mail: [office\(at\)fnbb.org](mailto:office(at)fnbb.org)
Osoba za kontakt: Michael Köttner and Silke Volk

- 5. Ing. Gerhard Agrinz GmbH**
Emmerich-Assmann-Gasse 6
A-8430 Leibnitz
Austrija
Tel: +43 3452/73997-0
Faks: +43 3452/73997-9
e-mail: office@agrinz.at
Web: www.agrinz.at
Osoba za kontakt: Mag. Heinz Ptraßl
e-mail: prassl@agrinz.at

6. Center for Renewable Energy Sources

Marathonos Ave, 19009,
Pikermi Attiki
Greece

Tel.: +30210 6603300

Faks: +30210 6603301/302

e-mail: cres@cres.gr

Osoba za kontakt: Konstantinos Sioulas

7. Energetski institut Hrvoje Požar

Savska 163
10000 Zagreb
Hrvatska

Tel.: +385 1 6326 169

Faks: +385 1 6040 599

e-mail: eihp@eihp.hr

Osoba za kontakt: Biljana Kulišić



CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice
u Zagrebu pod brojem 711800.

ISBN 978-87-992962-2-4

ISBN 978-953-6474-59-2