

# PRIROČNIK o bioplinu

Downloaded from <http://lemvigbiogas.com/>

Ljubljana, januar 2010

**Avtorji**

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

**Pregled**

Dominik Rutz, Teodorita Al Seadi, Konstantinos Sioulas, Biljana Kulišić, Matjaž Grmek

**Urejanje**

Teodorita Al Seadi

**Lektoriranje, postavitve in prevod**

Catrineda Al Seadi, Iwona Cybulska, Dane Nemas, Suzana Domjan, Matjaž Grmek

**Naslovnica**

Catrineda Al Seadi

ISBN \*\*\*

Vse pravice pridržane. Nobenega dela tega gradiva ni dovoljeno v kakršni koli obliki ali na kakršen koli način ponatisniti, reproducirati ali posredovati s kakršnimi koli sredstvi brez pisnega dovoljenja avtorjev in založnika.

Urednik ne prevzema odgovornosti za pravilnost in/ali celovitost informacij ter podatkov vključenih ali opisanih v priročniku.

Priročnik je bil pripravljen s skupnim delom

Januar 2010

Intelligent Energy  Europe

CIP

## Vsebina

<b>Predgovor</b>	<b>7</b>
<b>Namen in uporaba priročnika</b>	<b>9</b>
<b>Kaj je bioplin in zakaj ga potrebujemo?</b>	<b>10</b>
<b>1. Prednosti bioplina</b>	<b>10</b>
1.1. Koristi za družbo	10
1.1.1. <i>Obnovljiv vir energije</i>	10
1.1.2. <i>Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in ublažitev globalnega segrevanja</i>	10
1.1.3. <i>Zmanjšana odvisnost od uvoza fosilnih goriv</i>	11
1.1.4. <i>Prispevek k energetskim in okoljskim ciljem EU</i>	11
1.1.5. <i>Zmanjševanje količine odpadkov</i>	11
1.1.6. <i>Ustvarjanje novih delovnih mest</i>	11
1.1.7. <i>Prilagodljiva in učinkovita končna raba bioplina</i>	12
1.1.8. <i>Majhen delež vode</i>	12
1.2. Koristi za kmete	12
1.2.1. <i>Dodaten dohodek za kmete</i>	12
1.2.2. <i>Presnovljen substrat je odlično gnojilo</i>	13
1.2.3. <i>Sklenjen tokokrog hranil</i>	13
1.2.4. <i>Možnost uporabe različnih surovin</i>	13
1.2.5. <i>Manj neprijetnih vonjav in mrčesa</i>	14
1.2.6. <i>Varnost živali in ljudi</i>	14
<b>2. Potencial bioplina</b>	<b>15</b>
2.1. Bioplin v Evropi in po svetu	15
2.2. Potencial bioplina v Evropi in po svetu	16
<b>3. Več o anaerobni digestiji</b>	<b>18</b>
3.1. Substrati za anaerobno presnovo	18
3.2. Biokemični proces	24
3.2.1. <i>Hidroliza</i>	25
3.2.2. <i>Kislinska geneza</i>	26
3.2.3. <i>Acetogeneza</i>	26
3.2.4. <i>Metanogeneza</i>	26
3.3. Parametri anaerobne digestije	27
3.3.1. <i>Temperatura</i>	27
3.3.2. <i>Vrednost pH</i>	29
3.3.3. <i>Hlapne maščobne kisline</i>	30
3.3.4. <i>Amoniak</i>	30
3.3.5. <i>Elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi</i>	31
3.4. Parametri delovanja	31
3.4.1. <i>Organska obremenitev</i>	31
3.4.2. <i>Hidravlični zadrževalni čas</i>	32
3.4.3. <i>Seznam parametrov</i>	32

<b>4. Uporaba bioplina</b>	<b>34</b>
4.1. Kmetijske bioplinske naprave	34
4.1.1. Družinske bioplinske naprave	34
4.1.2. Kmetijske bioplinske naprave	35
4.1.3. Centralizirane (združene) naprave s kofermentacijo	38
4.2. Naprave za obdelavo odplak	40
4.3. Naprave za obdelavo komunalnih trdnih odpadkov	41
4.4. Industrijske bioplinske naprave	42
4.5. Proizvodnja deponijskega plina	42
<b>5. Uporaba bioplina</b>	<b>44</b>
5.1. Lastnosti bioplina	44
5.2. Neposredno izgorevanje in uporaba toplote	45
5.3. Soproizvodnja toplote in električne energije	45
5.3.1. Plinski Ottovi motorji	47
5.3.2. Plinski motor s pilotnim vbrizgom	47
5.3.3. Stirlingov motor	48
5.3.4. Bioplinske mikroturbine	48
5.3.5. Gorivna celica	49
5.4. Proizvodnja biometana (izboljšava bioplina)	50
5.4.1. Bioplin kot gorivo za vozila	51
5.4.2. Biometan za dovajanje v plinovod	52
5.5. Proizvodnja ogljikovega dioksida in metana kot kemičnih proizvodov	53
<b>6. Uporaba presnovljenega substrata</b>	<b>53</b>
6.1. Uporaba anaerobne digestije pri intenzivni živinoreji	54
6.2. Od surovega gnoja do presnovljenega substrata za gnojilo	54
6.2.1. Biološko razkrajanje organskih snovi	54
6.2.2. Zmanjšanje neprijetnih vonjav	54
6.2.3. Higienizacija	55
6.2.4. Uničenje semen plevela	55
6.2.5. Izogibanje poškodb rastlin	56
6.2.6. Izboljšava gnojila	56
6.3. Uporaba presnovljenega substrata za gnojilo	56
6.4. Vpliv nanosa presnovljenega substrata na tla	57
6.5. Izkušnje iz prakse	58
6.6. Kondicioniranje presnovljenega substrata	59
6.6.1. Strategije zgoščevanja/ kondicioniranja presnovljenega substrata	59
6.6.2. Potreben razmislek	61
6.7. Upravljanje kakovosti presnovljenega substrata	62
6.7.1. Izbira presnovljenega substrata, analiza in deklaracija proizvoda	62
6.7.2. Nadzorovanje hranil v presnovljenem substratu	62
6.7.3. Glavni ukrepi nadzora kakovosti in varnega recikliranja presnovljenega substrata	63
<b>7. Komponente bioplinske naprave</b>	<b>63</b>
7.1. Enota za sprejem substrata	66
7.2. Skladiščenje in kondicioniranje vhodnega substrata	67

7.2.1. Skladiščenje	67
7.2.2. Kondicioniranje substrata	69
7.3. Dozirni sistem	71
7.3.1. Črpalke za transport tekočega substrata	71
7.3.2. Transport trdnega substrata	73
7.4. Armature in cevovodi	75
7.5. Ogrevalni sistem – ogrevanje digestorja	76
7.6. Digestorji	77
7.6.1. Saržni digestorji	78
7.6.2. Kontinuirni digestorji	79
7.6.3. Vzdrževanje digestorjev	82
7.7. Tehnologije mešanja	82
7.7.1. Mehansko mešanje	83
7.7.2. Pnevmatško mešanje	85
7.7.3. Hidravlično mešanje	85
7.8. Skladiščenje bioplina	85
7.8.1. Nizkotlačni rezervoarji	86
7.8.2. Skladiščenje bioplina pod srednjim in visokim tlakom	87
7.8.3. Bioplinske bakle	87
7.9. Čiščenje bioplina	89
7.9.1. Kondicioniranje plina	89
7.9.2. Razžvepljanje	90
7.9.3. Sušenje	93
7.10. Skladiščenje presnovljenega substrata (digestata)	93
7.11. Nadzorna enota	95
7.11.1. Količina vnesenega tekočega substrata	96
7.11.2. Nivo polnjenja digestorja	97
7.11.3. Nivo polnjenja plinohrama	97
7.11.4. Procesna temperatura	97
7.11.5. Vrednost pH	97
7.11.6. Določanje hlapnih maščobnih kislin (HMK)	97
7.11.7. Količina bioplina	97
7.11.8. Sestava bioplina	98
<b>Kako začeti?</b>	<b>98</b>
<b>8. Načrtovanje in gradnja bioplinske naprave</b>	<b>98</b>
8.1. Izvedba projekta bioplinske naprave	98
8.2. Kako zagotoviti neprekinjeno dostavo vhodnega substrata	101
8.2.1. Določanje velikosti naprave, ki uporablja kmetijske substrate	102
8.2.2. Določanje velikosti naprave za industrijske/mestne odpadke	103
8.2.3. Načrt dovajanja substrata	103
8.3. Kje postaviti bioplinsko napravo	104
8.4. Pridobivanje dovoljenj	105
8.5. Zagon bioplinske naprave	106
<b>9. Varnost bioplinskih naprav</b>	<b>106</b>
9.1. Preprečitev požarov in eksplozij	107

9.2. Nevarnost zastrupitve in zadužitve	108
9.3. Druge nevarnosti	108
9.4. Higienizacija, kontrola patogenov in veterinarski vidiki	109
9.4.1. <i>Higienski vidiki bioplinskih naprav</i>	109
9.4.2. <i>Parametri za higiensko delovanje bioplinske naprave</i>	110
9.4.3. <i>Organizmi indikatorji</i>	111
9.4.4. <i>Higienizacijske zahteve</i>	112
<b>10. Ekonomika bioplinarn</b>	<b>115</b>
10.1. Financiranje bioplinskih projektov	115
10.2. Ekonomska projekcija bioplinskih projektov	115
10.2.1. <i>Zaključki ekonomske projekcije</i>	116
<b>Bioplin v Sloveniji</b>	<b>118</b>
<b>Priloge</b>	<b>120</b>
<b>Priloga 1: Slovar, pretvorbene enote in okrajšave</b>	<b>120</b>
<b>Priloga 2: Literatura</b>	<b>126</b>
<b>Priloga 3: Naslovi avtorjev in recenzentov</b>	<b>129</b>

## Predgovor

Eden glavnih okoljevarstvenih problemov današnje družbe je nenehno naraščajoča proizvodnja odpadkov. V številnih državah postaja izraba, preprečevanje nastajanja in zmanjševanje količine odpadkov politična prioriteta in pomemben del občega truda za zmanjšanje onesnaževanja okolja, toplogrednih emisij in ublažitev globalnih klimatskih sprememb.

Nekoč običajno, nenadzorovano, odlaganje odpadkov ni več sprejemljivo. Tudi nadzorovano odlaganje, na temu namenjenih zemljiščih, ali sežiganje organskih odpadkov nista najustreznejši rešitvi, saj so današnji standardi mnogo strožji in si prizadevajo za rekuperacijo energije ter recikliranje hranilnih in organskih snovi. Zato je proizvodnja bioplina z anaerobno digestijo (AD) zelo primerna za ravnanje s celo vrsto organskih odpadkov, s pretvorbo le-teh v obnovljiv vir energije in organsko gnojilo. Odstranitev organske mokre frakcije iz toka odpadkov obenem povečuje tudi kalorično vrednost ostanka odpadkov za sežig in izboljšuje stabilnost odlagališč.

Anaerobna digestija je mikrobiološki proces razkroja organskih snovi brez prisotnosti kisika. V anaerobni proces je vključenih veliko mikroorganizmov, ima pa dva glavna končna proizvoda: bioplin in digestat. Bioplin je vnetljiv plin, ki vsebuje 60-65 % metana, 30-35 % ogljikovega dioksida ter manjše količine drugih plinov in elemente v sledih. Digestat je presnovljen substrat, bogat z makro in mikro hranili, in tako uporaben kot rastlinsko gnojilo. Anaerobna digestija (AD) je proces, skupen mnogim naravnim okoljem. Uporabljamo ga za proizvodnjo plina v hermetično zaprtih rezervoarjih, imenovanih digestorji ali popularneje (iz nemščine) fermentorji, uporablja pa se tudi izraz bioreaktorji.

Proizvodnja in zajem bioplina iz biološkega procesa sta bila prvič dokumentirana v Veliki Britaniji leta 1895 (Metcalf in Eddy, 1979). Od tedaj se postopek razvija in se na splošno uporablja za ravnanje z odpadnimi vodami ter stabilizacijo blata. Energetska kriza v zgodnjih 70. letih je prinesla zavedanje o uporabi obnovljivih goriv, vključujoč bioplin iz procesa anaerobne digestije. Zanimanje za bioplin se danes še povečuje. Tako zaradi globalnega prizadevanja nadomeščanja fosilnih goriv z obnovljivimi viri pri proizvodnji energije kot tudi zaradi nuje po okoljsko sprejemljivih rešitvah pri ravnanju in recikliranju živinskega gnoja ter organskih odpadkov iz kmetijstva, prehranske industrije in družbe na sploh.

Bioplinarne, ki predelujejo kmetijske substrate, kot so živinska gnojevka in blato, ostanki zelenjave, energetski posevki, organski odpadki kmetijske in prehranske industrije, predstavljajo danes nekaj najpomembnejših oblik uporabe anaerobne digestije. Po podatkih Mednarodne agencije za energijo (IEA) v Evropi in Severni Ameriki deluje nekaj tisoč kmetijskih bioplinarn; med njimi kar nekaj velikih in visokotehnoloških naprav. Njihovo število se je v zadnjih letih znatno povečalo. Tako jih je samo v Nemčiji v letu 2007 delovalo več kot 3700. Poleg tega na Kitajskem, v Indiji, Nepalu, Vietnamu in drugih državah v razvoju deluje nekaj milijonov zelo preprostih, majhnih bioplinarskih digestorjev, ki proizvajajo bioplin za kuhanje in osvetljevanje.

Bioplin, ki nastane z anaerobno digestijo, je sorazmerno poceni in CO<sub>2</sub> nevtralen vir obnovljive energije, ki ponuja možnost obdelave in recikliranja številnih kmetijskih ostankov in stranskih proizvodov, različnih bioloških odpadkov, organskih odpadnih voda iz industrije ter kanalizacijskih odplak na trajen in okolju prijazen način. Hkrati pa prinaša številne koristi za celotno družbo kot tudi za upravljalce bioplinskih naprav (kmete).

Proizvodnja in uporaba bioplina je v mnogih evropskih državah že tehnološko in ekonomsko dozorela. Razvoj različnih nacionalnih pristopov na tem področju je prinesel nekaj izvirnih zamisli in tehnologij, kot je na primer koncept t.i. kofermentacije na Danskem, kmetijske bioplinarne v Nemčiji, bioplin iz energetskih rastlin v Avstriji ter nadgradnja in uporaba bioplina kot pogonskega goriva na Švedskem.

Ocenjujemo, da v Evropi obstaja znaten potencial za povečanje proizvodnje bioplina, ki temelji na različnih vrstah kmetijskih substratov. To seveda velja tudi za nove države članice EU. Razvoj tehnologij anaerobne digestije v teh državah prispeva k reševanju pomembnih okoljevarstvenih problemov, ki jih povzročata proizvodnja fosilnih goriv in ravnanje z odpadki, ter podpira razvoj podeželja in trajnostno naravnost kmetijstva. Bioplin je zato pomemben in je v evropski strategiji obnovljivih virov energije in biogoriv deležen velike pozornosti.

Teodorita Al Seadi in Dominik Rutz

## Namen in uporaba priročnika

Eden večjih problemov s katerimi se srečuje nekdo, ki ga zanima tehnologija bioplina, je pomanjkanje enotnega vira informacij o tehničnih in drugih vidikih načrtovanja, gradnje in upravljanja bioplinske naprave ter o uporabi bioplina in presnovljenega substrata. Informacije so razpršene. Moč jih je dobiti v literaturi, pri proizvajalcih opreme in v specializiranih svetovalnih podjetjih. Pogosto pa je do njih težko priti.

Skupina strokovnjakov iz Danske, Nemčije in Avstrije je pripravila ta priročnik prav z namenom to stanje izboljšati. Pripravo in izdajo je v okviru projekta BiG>East vodila Univerza Južne Danske. BiG>East je mednarodni projekt v okviru programa Inteligentna energija Evrope, pod vodstvom podjetja WIP iz Bavarske. Namen projekta je prenos in razširjanje obstoječega znanja o bioplinu, izkušenj in strokovnih informacij iz omenjenih držav do kmetov, upravljalcev bioplinskih naprav ter oblasti v Bolgariji, Hrvaški, Grčiji, Latviji, Romuniji in Sloveniji.

Izvirno je priročnik napisan v angleščini in kasneje preveden v šest jezikov: bolgarski, hrvaški, grški, latvijski, romunski in slovenski. Nacionalne različice vsebujejo tudi informacije, lastne posamezni državi in so oblikovane tako, da spodbujajo izobraževanje v okviru projekta BiG>East.

Priročnik je sestavljen iz treh glavnih delov. Prvi del »Kaj je bioplin in zakaj ga potrebujemo«, podaja osnovne informacije o bioplinski tehnologiji, opisuje mikrobiološke procese anaerobne digestije in uporabnost za družbo, trajnostno uporabo bioplina in digestata ter glavne tehnične elemente bioplinskih naprav. Drugi del priročnika »Kako začeti«, govori o tem, kako pristopiti k načrtovanju in izgradnji bioplinske naprave, katere varnostne zahteve je potrebno upoštevati pri tem, ponuja pa tudi finančno analizo takšne naprave, podprto z excelovim računskim orodjem. Tretji del »Bioplin v Sloveniji« prinaša informacije o bioplinskem potencialu in stanju in letu 2008. Poleg tega zajema še relevantno nacionalno zakonodajo, poglavitne spodbude in ovire v razvoju bioplina pri nas, dodani pa so še koristni naslovi, internetne povezave ipd. Četrty del »Priloge«, vključuje razlago pojmov, kratic in pretvorbo enot, priporočeno literaturo ter uporabne naslove.

Priročnik o bioplinu je zamišljen kot vodnik »Kako začeti« in ponuja osnovne informacije o proizvodnji bioplina s pomočjo anaerobne digestije, s poudarkom na kmetijskih bioplinskih napravah. Namen priročnika je zagotoviti enoten vir informacij o tehničnih in ostalih vidikih kmetijske proizvodnje bioplina. Priročnik je prvenstveno namenjen kmetovalcem in prihodnjim upravljalcem naprav, seveda pa tudi vsem ostalim, ki jih to področje zanima.

## Kaj je bioplin in zakaj ga potrebujemo?

### 1 Prednosti bioplina

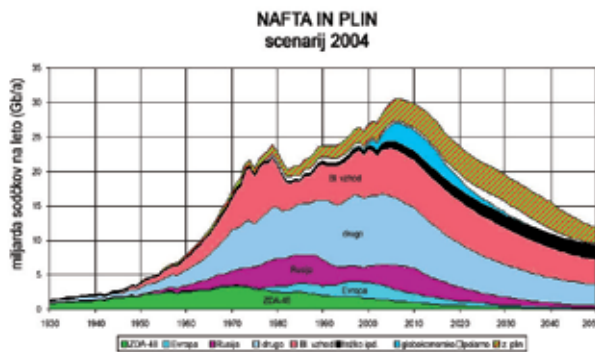
Proizvodnja in uporaba bioplina prinaša mnoge okoljske, ekonomske in družbeno-ekonomske koristi, tako vključenim kmetovalcem kot družbi na sploh. Proizvodnja bioplina iz irzabo notranje verige vrednosti povečuje lokalne ekonomske potenciale, na podeželju zagotavlja delovna mesta in zvišuje regionalno kupno moč. Prispeva torej k izboljšanju življenjskega standarda ter k ekonomskemu in družbenemu razvoju.

#### 1.1 Koristi za družbo

##### 1.1.1 Obnovljiv vir energije

Trenutna svetovna preskrba z energijo temelji, in v veliki meri zavisi, od fosilnih virov (nafta, lignit, premog, zemeljski plin). To so fosilni ostanki odmrlih rastlin in živali, ki so bili na stotine milijonov let izpostavljeni toploti in velikim tlakom v zemeljski skorji. Zato so fosilna goriva neobnovljiv vir energije, saj se zaloge porabljajo veliko hitreje kot nastajajo nove.

Vrhunec proizvodnje nafte (časovna točka največje proizvodnje nafte) pričakujemo v bližnji prihodnosti, po nekaterih virih pa smo jo celo že dosegli. Zamenjava fosilnih z obnovljivimi gorivi, vključno z bioplinom, pomeni zmanjševanje rabe fosilnih goriv na področju energetike in transporta ter povečuje trajnost nacionalne oskrbe z energijo. Bioplin iz procesa anaerobne digestije lahko pomembno prispeva k varstvu in izboljšanju naravnih virov ter okolja.



Slika 1.1. Svetovna proizvodnja nafte in vrh proizvodnje. Vir: Novice ASPO

##### 1.1.2 Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in ublažitev globalnega segrevanja

Z uporabo fosilnih goriv, kot so lignit, premog, nafta in zemeljski plin, preoblikujemo ogljik, ki je bil milijone let shranjen v zemeljski skorji, in ga izpustimo v ozračje kot

ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ).  $\text{CO}_2$  v atmosferi povzroča globalno segrevanje, saj je ogljikov dioksid t.i. toplogredni plin (TGP). Pri izogrevanju bioplina se prav tako sprošča  $\text{CO}_2$ , vendar je bil, v nasprotju s fosilnimi gorivi, ogljik v bioplinu nedavno odvzet iz atmosfere s fotosintezo rastlin. Kroženje ogljika iz bioplina je tako zelo kratko (od enega do nekaj let). S proizvodnjo bioplina zmanjšujemo tudi emisije metana ( $\text{CH}_4$ ) in didušikovega oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) iz hrambe ter uporabe živinskega gnoja. Količnik segrevanja ozračja metana je 21-krat, didušikovega oksida pa 310-krat večji od ogljikovega dioksida. Z uporabo bioplina nadomeščamo fosilna goriva iz proizvodnje energije in goriva za transport ter tako zmanjšujemo emisije  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  in  $\text{N}_2\text{O}$ , s tem pa prispevamo k ublažitvi globalnega segrevanja.

### 1.1.3 Zmanjšana odvisnost od uvoza fosilnih goriv

Večina evropskih držav je močno odvisna od uvoza fosilne energije, na primer iz Rusije ali Bližnjega vzhoda. Ker se bioplin proizvaja lokalno in znotraj državnih meja, lahko uporaba bioplina drastično zmanjša odvisnost od uvoženih goriv in povečuje zanesljivost energetske oskrbe.

### 1.1.4 Prispevek k energetskim in okoljskim ciljem EU

Zmanjševanje učinkov globalnega segrevanja je ena glavnih prioritet energetske in okoljske politike EU. Evropski cilji za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, zmanjšanje emisij TGP in trajnostno obdelavo odpadkov, temeljijo na obvezi članic EU, da sprejmejo ustrezne ukrepe za doseg te ciljev. Proizvodnja in uporaba bioplina iz anaerobne digestije lahko prispeva k izpolnitvi ciljev na vseh treh področjih.

### 1.1.5 Zmanjševanje količine odpadkov

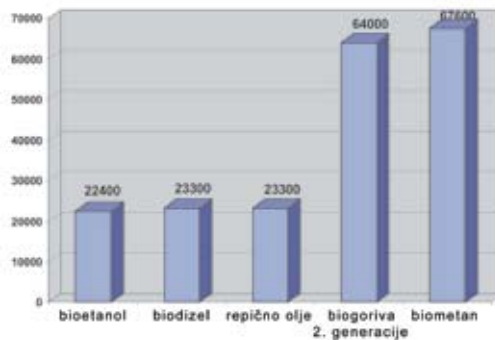
Ena glavnih prednosti proizvodnje bioplina je možnost pretvorbe odpadnih snovi v koristen vir, tako, da jih uporabimo kot surovino za anaerobno digestijo. Mnogo evropskih držav se sooča z velikimi problemi zaradi prevelike proizvodnje organskih odpadkov iz kmetijstva, industrije, gospodinjstev in čistilnih naprav. Proizvodnja bioplina je odličen način za izpolnitev čedalje bolj omejujočih državnih in evropskih predpisov na tem področju, ter za uporabo organskih odpadkov za proizvodnjo energije, ki ji sledi recikliranje v gnojilo. Bioplinske tehnologije pripomorejo k zmanjševanju količine odpadkov in stroškov za njihovo odstranitev.

### 1.1.6 Ustvarjanje novih delovnih mest

Razvoj proizvodnje bioplina spodbuja ustanovitev novih podjetij s pomembnim ekonomskim potencialom, ki lahko poveča dohodek na podeželju in prispeva k ustvarjanju novih delovnih mest. V primerjavi z uporabo uvoženih fosilnih goriv zahteva proizvodnja bioplina veliko več zaposlenih za zbiranje in transport surovin, izdelavo opreme, izgradnjo, upravljanje in vzdrževanje bioplinskih naprav itn.

### 1.1.7 Prilagodljiva in učinkovita končna raba bioplina

Bioplin je prilagodljiv energent, primeren za različne namene. V državah v razvoju je ena izmed najbolj enostavnih uporab bioplina za kuhanje in razsvetljavo. V Srednji in Zahodni Evropi se bioplin uporablja predvsem za sproizvodnjo toplote in električne energije (SPE). Bioplin lahko tudi prečistimo in dovajamo v plinovod ali pa uporabljamo kot gorivo za vozila. Slika 1.2 prikazuje primerjavo med učinkovitostjo izrabe kmetijskih površin za proizvodnjo bioplina in ostalih biogoriv proizvedenih iz energetskih rastlin. Vidimo, da hektar kmetijske površine, ki ga izkoristimo za pridelovanje energetskih rastlin za proizvodnjo bioplina, zagotovi dovolj goriva za 67.600 km poti za običajen osebni avtomobil, kar presega razdalje, ki jih lahko dosežemo z ostalimi biogorivi pridelanimi na enaki površini.



Slika 1.2. Primerjava biogoriv: Razdalja v km, ki jo lahko naredimo z različnimi biogorivi iz energetskih rastlin, pridelanimi na površini 1 ha (poraba goriva: bencinski motor 7,4 l/100km; dizel 6,1 l/100km)

### 1.1.8 Majhen delež vode

V primerjavi z ostalimi biogorivi potrebuje bioplin najmanjšo količino vode v postopku pridobivanja. Zaradi pričakovanega pomanjkanja vode marsikje po svetu, je to nedvomno pomemben vidik učinkovitosti bioplina.

## 1.2 Koristi za kmete

### 1.2.1 Dodaten dohodek za kmete

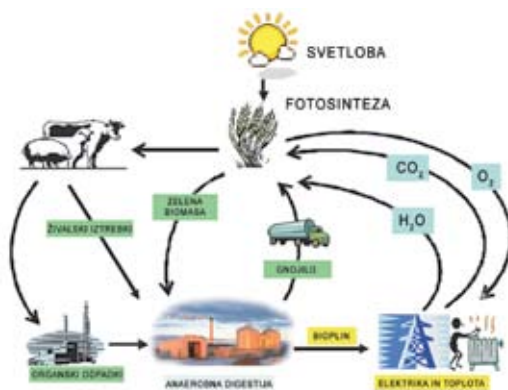
Proizvodnja surovin, v kombinaciji z upravljanjem bioplinske naprave, naredi proizvodnjo bioplina za kmete ekonomsko privlačno in prispeva k povečanju njihovega dohodka. Poleg tega kmetje pridobijo pomembno novo socialno funkcijo kot proizvajalci energije in upravljalci odpadkov.

### 1.2.2 Presnovljen substrat je odlično gnojilo

Bioplinska naprava ne pomeni samo proizvodnje energije. Presnovljena biomasa, imenovana presnovljen substrat oz. pregnito blato je dobro gnojilo bogato s fosforjem, kalijem in mikrohranili ter nekoliko manj z dušikom. Po zemlji ga lahko raztrosimo z običajno opremo za gnoj in gnojevko. V primerjavi s svežim živinskim gnojem, je presnovljen substrat učinkovitejši. Je namreč homogenejši, ima višjo vsebnost hranil, boljše razmerje C/N in je skoraj brez vonja.

### 1.2.3 Sklenjen tokokrog hranil

Tokokrog hranil v proizvodnji bioplina, od biomase do uporabe presnovljenega substrata za gnojilo, je sklenjen. V procesu digestije se vsebnost ogljikovih zmesi (C) zmanjša, saj se metan ( $\text{CH}_4$ ) uporabi za proizvodnjo energije, ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) pa se sprosti v atmosfero in ga rastline porabijo za fotosintezo. Nekatere ogljikove zmesi ostanejo v presnovljenem substratu, ki tako izboljšuje vsebnost ogljika v zemlji, ko presnovljen substrat uporabimo kot gnojilo. Proizvodnja bioplina je lahko popolnoma integrirana v običajno in organsko kmetovanje, kjer presnovljeni material nadomesti mineralna gnojila, ki za izdelavo rabijo veliko fosilne energije. Slika 1.3 prikazuje trajnostni, sklenjen tokokrog bioplina.



Slika 1.3. Trajnostni krog bioplina pri anaerobni digestiji. Vir: T. Al Seadi, 2002.

### 1.2.4 Možnost uporabe različnih surovin

Za proizvodnjo bioplina lahko uporabimo veliko različnih surovin: živinski gnoj in gnojevko, ostanke pridelkov, organske odpadke iz mlekarn, prehranske in kmetijske industrije, goščo iz odpadnih vod, organski del komunalnih trdnih odpadkov, organske odpadke iz gospodinjstev in gostinstva, energetske rastline itn. Bioplin lahko zajemamo tudi na deponijah. V tem primeru običajno govorimo o deponijskem plinu.

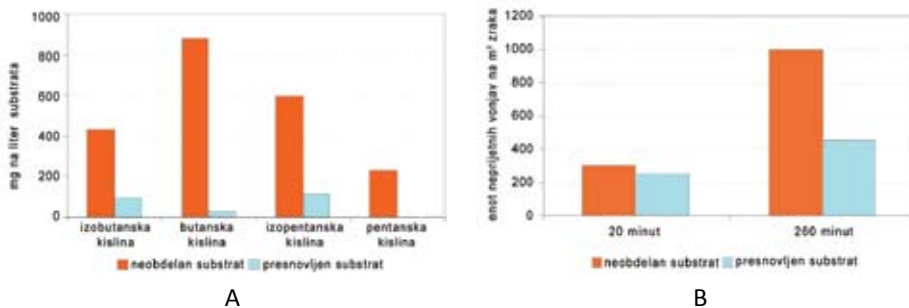
Ena glavnih prednosti proizvodnje bioplina je možnost uporabe t.i. »mokre biomase«. Primeri mokre biomase so kanalizacijska gošča, gošča iz kmetij z mlečno proizvodnjo,

iz prašičjih farm ali plavajoče gošče, nastale pri pridelovanju hrane; v vseh naštetih primerih je vlažnost biomase od 60 do 70 %.

V zadnjih letih se za proizvodnjo bioplina vse bolj uporabljajo številni pridelki (žita, koruza, repica itn.), posebej pridelani za proizvodnjo energije. Poleg tega, lahko za proizvodnjo bioplina in za gnojilo uporabimo še različne kmetijske ostanke, pokvarjene pridelke, neprimerne za uživanje, na primer zaradi slabe letine ali vremenskih razmer. V bioplinski napravi lahko prav tako uporabimo številne stranske živalske proizvode, neprimerne za ljudi. Natančen opis substratov za anaerobno presnovo je podan v poglavju 3.1.

### 1.2.5 Manj neprijetnih vonjav in mrčesa

Skladiščenje in uporaba gnojevke, živalskih izločkov in mnogih organskih odpadkov, je vir trajnih, neprijetnih vonjav in privablja mrčes. Anaerobna digestija te vonjave zmanjša do 80 %. Presnovljen substrat je skoraj brez vonja, ostanek vonja po amoniaku pa po uporabi izgine hitreje. Slika 1.4 prikazuje zmanjšanje vonjav z anaerobno presnovo.



Slika 1.4. A. Koncentracija hlapnih maščobnih kislin neprijetnega vonja v neobdelanem in v presnovljenem substratu. B. Koncentracija vonjav v vzorcih zraka, zbranih nad polji, po uporabi neobdelanega in presnovljenega substrata. Vir: Hansen idr., 2004.

### 1.2.6 Varnost živali in ljudi

V primerjavi z neobdelanim gnojem in gnojevko pomeni uporaba presnovljenega substrata kot gnojilo večjo varnost za živali in ljudi. Pogoj za uporabo presnovljenega substrata kot gnojila je uporaba nadzorovanih higienskih standardov pri proizvodnji bioplina. Higienske standarde lahko dosežemo z vzdrževanjem ustrezno visoke temperature pri procesu digestije, pasterizacije ali sterilizacije pod tlakom, odvisno od surovine, ki jo uporabimo. S tem onesposobimo patogene organizme, semena plevla in druga biološka tveganja ter prekinemo verigo prenašanja obolenj.

## 2 Potencial bioplina

### 2.1 Bioplin v Evropi in po svetu

V zadnjem času je trg proizvodnje bioplina rasel z letno stopnjo 20 do 30 %. V Evropi imajo na področju bioplina največ izkušenj v Avstriji, Nemčiji, Danski in na Švedskem. Za proizvodnjo bioplina jim je uspelo vzpostaviti konkurenčna tržišča. Razvoj tržišča je sledil intenzivnim raziskavam in razvoju. Proizvodnja bioplina pa je bila deležna znatne vladne denarne pomoči in javne podpore. Poleg tega so udeleženi kmetje, upravljavci bioplinskih naprav in vlagatelji lahko pridobili potrebno znanje, izkušnje in strokovnost na področju bioplinskih tehnologij.

Poleg tradicionalnih surovin za anaerobno presnovo, so v nekaterih državah, na primer v Nemčiji in Avstriji, vpeljali gojenje t.i. energetskih rastlin za proizvodnjo bioplina. Opravljene in v teku so številne raziskave z namenom povečati donos in raznolikost energetskih pridelkov ter določiti potencial različnih rastlin za proizvodnjo bioplina. Razviti so bili novi kmetijski postopki, novi sistemi kolobarjenja, mešani posevki dveh ali več rastlinskih vrst («intercropping») in kombinirano gojenje pridelkov pa so predmet intenzivnih raziskav in razvoja.

V zadnjih letih je bilo veliko raziskav o tehnologijah za pretvorbo surovin v bioplin. Razvijajo se novi digestorji, sistemi doziranja, skladičenja in druga oprema. Stalno se razvijajo tako suhi kot mokri postopki anaerobne digestije, raziskave stabilnosti delovanja in procesa ter zmogljivosti kakor tudi nove kombinacije substratov.

Za standardni način izrabe bioplina za večji del sodobnih bioplinskih naprav v Evropi velja soproizvodnja toplote in električne energije (SPTE). Na Švedskem, v Švici in Nemčiji uporabljajo izboljšan bioplin tudi kot gorivo za transport in gradijo omrežja črpalk s tovrstnim gorivom. Relativno nova oblika rabe je dovajanje izboljšanega bioplina v plinovod. Prve takšne sisteme najdemo v Nemčiji in Avstriji, kjer biometan dovajajo v plinovod z zemeljskim plinom. Najnovejšo možnost pa predstavlja uporaba bioplina v gorivnih celicah. V Nemčiji je na ta način proizvedena energija že dosegla tržni nivo.

Eno izmed pomembnih področij raziskav je tudi t. i. integrirana proizvodnja biogoriv (bioplin, bioetanol in biodizel), hrane ter surovin za industrijo kot del koncepta biorafinerij. V integriranih sistemih se bioplin uporablja za oskrbo postopka proizvodnje tekočih biogoriv z energijo; odpadni material pa se uporablja kot surovina za anaerobno presnovo. Koncept integrirane biorafinerije naj bi ponujal številne prednosti, povezane z učinkovito rabo energije, ekonomskimi zmogljivostmi in zmanjšanjem emisij TGP. V ta namen v Evropi in po svetu potekajo številni pilotni projekti.

### 2.2 Potencial bioplina v Evropi in po svetu

Globalna oskrba z energijo je močno odvisna od fosilnih virov energije (surova nafta, lignit, premog, zemeljski plin). Ti viri so fosilni ostanki mrtvih rastlin in živali, ki so bili

stotine milijonov let izpostavljeni vročini in pritisku v zemeljski skorji. Fosilna goriva so zato neobnovljiv vir energije in zaloge se praznijo veliko hitreje kot nastajajo nove.

Kritična točka v uporabi fosilne energije je pogosto omenjan »vrhunec porabe«. Ta je določen kot časovna točka, ko proizvodnja surove nafte doseže svoj vrhunec in po katerem proizvodnja dokončno samo še upada. Če globalne porabe ne zmanjšamo pred tem vrhuncem, bo razpoložljivost nafte padla in cene bodo dramatično narasle. Nekateri avtorji trdijo, da smo vrhunec že dosegli leta 2006 oz. že prej, medtem, ko drugi predvidevajo, da ga bomo dosegli v naslednjih 10 do 20 letih.

V nasprotju s fosilnimi gorivi je energija iz biomase obnovljiva. Globalni potencial biomase, ki jo lahko uporabimo za energijo, je ocenjen kot zelo visok. Ocena, ki temelji na različnih scenarijih in predpostavkah, kaže, da je danes izkoriščen le majhen delež tega potenciala in bi bilo torej možno proizvodnjo energije iz biomase znatno povečati.

Evropsko združenje za biomaso (AEBIOM) ocenjuje, da se lahko evropska proizvodnja energije iz biomase, poveča iz 72 Mtoe v letu 2004 na 220 Mtoe v letu 2020. Največji potencial za rast je v biomasi, ki izvira iz poljedelstva. Po podatkih AEBIOM lahko v EU27 za proizvodnjo energije uporabimo 20 do 40 Mha (milijonov hektarjev) zemlje, ne da bi pri tem prizadeli evropsko oskrbo s hrano. Bioplin je tako pomemben adut z velikim razvojnim potencialom. Za pretvorbo v bioplin z anaerobno digestijo so primerne različne vrste ostankov biomase, odpadki in stranski proizvodi iz kmetijstva, kmetijske in prehranske industrije ter gospodinjstev.

Ocena bioplinskega potenciala v Evropi je, zaradi mnogih različnih faktorjev in predpostavk, ki morajo biti vključeni v izračune, precej zahtevna. Potencial bioplina je na primer odvisen od razpoložljivosti kmetijskih zemljišč, ki ne vpliva na pridelavo hrane, rodnosti energetskega pridelka, donosa metana iz substratov, energetske učinkovitosti končne rabe bioplina itn. Nemški inštitut za energetiko in okolje trdi, da je potencial bioplina v Evropi tako visok, da bi bilo mogoče z dovajanjem izboljšane bioplina (biometana) v plinovode (slika 2.1) nadomestiti celotno porabo zemeljskega plina.



Slika 2.1. Evropski plinovod z zemeljskim plinom in potencialni koridorji (rumena), primerni za proizvodnjo bioplina in dovod biometana. Vir: Thrän D., Seiffert M., Müller-Langer F., Plättner A., Vogel A. (2007)

### 3 Več o anaerobni digestiji

Anaerobna digestija je biokemični proces, med katerim različne vrste mikroorganizmov ob odsotnosti kisika, razkrajajo kompleksne organske substrate (zelena biomasa in odpadki, živalska gnojevka in blato, organski odpadki in odplake, kanalizacijska gošča) v bioplin in presnovljeni material. Proces anaerobne presnove je skupen mnogim naravnim okoljem, kot so usedline v morski vodi, želodec prežvekovalcev ali šotišča.

Kadar je substrat homogena mešanica dveh ali več vrst surovin (na primer živalsko blato in organski odpadki iz prehranske industrije), dobimo t.i. sopersnovo (kofermentacijo). To je obenem tudi najpogostejši način proizvodnje bioplina v sodobnih bioplinarnah.

#### 3.1 Substrati za anaerobno presnovo

Kot vhodni substrat za proizvodnjo bioplina z anaerobno presnovo lahko uporabimo veliko različnih vrst biomase (surovino). Najpogostejše so:

- živalska gnojevka in blato,
- kmetijski ostanki in stranski proizvodi,
- organski odpadki iz prehranske in kmetijske industrije:
  - ♦ odpadki rastlinskega izvora,
  - ♦ odpadki živalskega izvora,
- organski del komunalnih in gostinskih odpadkov:
  - ♦ odpadki rastlinskega izvora,

- ♦ odpadki živalskega izvora,
- kanalizacijska gošča,
- namensko pridelane energetske rastline (na primer koruza, trstikovec, sirek, detelja)

Seznam odpadnih snovi, primernih za proizvodnjo bioplina, je prikazan v preglednici 3.1.

Preglednica 3.1. Bioodpadki, primerni za biološko obdelavo. Vir: Evropski katalog odpadkov (EWC)

Koda odpadkov <sup>1</sup>	Opis odpadkov	
02 00 00	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture (vzreje vodnih organizmov), gozdarski, lovski in ribiški odpadki, odpadki od priprave in predelave hrane	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture (vzreje vodnih organizmov), gozdarski, lovski in ribiški odpadki
		odpadki od priprave in predelave mesa, rib in druge hrane živalskega izvora
		odpadki od priprave in predelave sadja, zelenjave, žit, jedilnih olj, kakava, čaja in tobaka, konzerviranja, kvasa in pridelovanja kvasovega ekstrakta, priprave in fermentacije sladkornega sirupa
		odpadki od predelovanja sladkorja
		odpadki iz mlekarn
		odpadki iz pekarn in slaščičarn
		odpadki od pridelave alkoholnih in brezalkoholnih pijač (razen kave, čaja in kakava)
03 00 00	odpadki od obdelave lesa in izdelave opažev ter pohištva, papirne kaše, papirja in kartona	odpadki od obdelave lesa in izdelave opažev ter pohištva
		odpadki od proizvodnje in predelave papirne kaše, papirja in kartona
04 00 00	odpadki iz tovarn usnja, krzna in tekstila	odpadki iz tovarn usnja in krzna
		odpadki iz tekstilne industrije
15 00 00	odpadki, ki vsebujejo absorbente, čistilne krpe, filtrirna sredstva in zaščitne obleke	paketiciranje (vključno z ločeno zbrano embalažo iz komunalnih odpadkov)
19 00 00	odpadki iz prostorov za obdelavo odpadkov, stranski odpadki, naprav za obdelavo odplak ter pripravo pitne vode in vode za industrijsko rabo	odpadki od anaerobne obdelave odpadkov
		odpadki iz čistilnih naprav, ki niso drugače opredeljeni
		odpadki od priprave pitne vode ali vode za industrijsko rabo
20 00 00	komunalni odpadki (gospodinski odpadki ter podobni komercialni, industrijski in drugi odpadki), vključno z ločeno zbranimi deli	ločeno zbrani odpadni deli (razen 15 01)
		odpadki z vrtov in parkov (vključno z odpadki iz pokopališč)
		drugi komunalni odpadki

<sup>1</sup> Šestmestna koda se nanaša na ustrezen vpis v Evropski katalog odpadkov (EWC), ki ga je sprejela Evropska komisija.



Slika 3.1. Trdni komunalni odpadki, pripeljani v bioplinsko napravo v Nemčiji. Vir: D. Rutz



Slika 3.2. Gostinski odpadki iz restavracij v bioplinski napravi v Nemčiji. Vir: D. Rutz

Uporaba živinske gnojevke in gnoja za anaerobno digestijo ima zaradi njunih lastnosti nekatere prednosti:

- Naravno vsebujeta anaerobne bakterije.
- Imata visoko vsebnost vode (4-8 % suhe snovi v gnojevki), delujeta kot topilo za ostale sosubstrate in zagotavljata ustrezno mešanje in tekočnost biomase.
- Sta poceni in lahko dostopna, saj ju zbiramo kot odpadka pri živinoreji.

V zadnjem času se za anaerobno digestijo vse bolj uveljavlja nova vrsta surovin: temu posebej namenjene energetske rastline (angleško: dedicated energy crops - DEC) - to so pridelki, gojeni posebej za proizvodnjo energije. Energetske rastline so lahko rastlinski (trava, koruza, repica itn.) in lesni pridelki (vrba, topol, hrast), slednje je treba pred uporabo v anaerobnem procesu obdelati, da iz njih odstranimo lignin.



a)



b)

Slika 3.3. Koruzna silaža a) in gnoj na kmečkem dvorišču b). Vir: D. Rutz, 2007

Poleg tega, lahko substrate za anaerobno digestijo razvrstimo glede na njihov izvor, vsebnost suhe snovi, donos metana in druge kriterije. V preglednici 3.2 je podan pregled karakteristik nekaterih surovin.

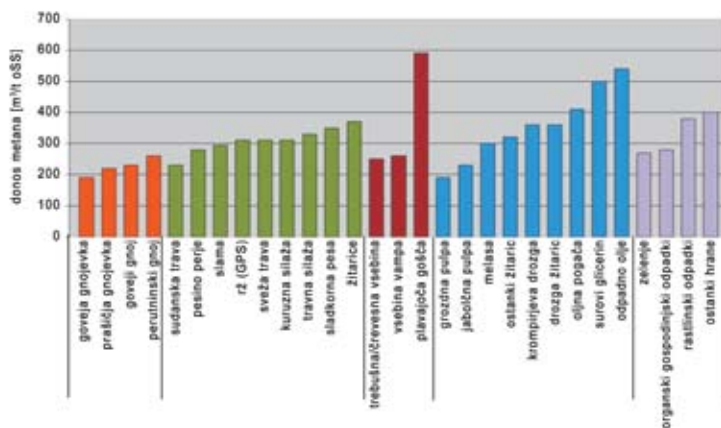
Preglednica 3.2. Značilnosti nekaterih substratov. Vir: T. Al Seadi, 2003.

Substrat	Organska vsebina	Razmerje C/N	% suhe snovi (SS)	% org. snovi (OS) v SS	Donos bioplina m <sup>3</sup> /kg OS	Nezaželeni fizične nečistoče	Druge nezaželeni snovi
prašičja gnojevka	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	žagovina, ščetine, voda, pesek, tkanina, slama	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
goveja gnojevka	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	6-20	5-12	80	0,20-0,30	ščetine, prst, voda, slama, les	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
perutninski gnoj	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3-10	10-30	80	0,35-0,60	prod, pesek, perje	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
trebušna/črevesna vsebina	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3-5	15	80	0,40-0,68	živalsko tkivo	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
sirootka	75-80 % laktoza 20-25 % proteini	ni podatka	8-12	90	0,35-0,80	nečistoča od prevoza	
koncentrirana sirotka	75-80 % laktoza 20-25 % proteini	ni podatka	20-25	90	0,80-0,95	nečistoča od prevoza	
plavajoča gošča	65-70 % proteini 30-35 % lipidi					živalsko tkivo	težke kovine, sredstva za dezinfekcijo, organski onesnaževalci
tekočina kvasa	ogljikovi hidrati	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78	ostanki sadja, ki ne razpadejo	
slama	ogljikovi hidrati, lipidi	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	pesek, prod	
vrtni odpadki		100-150	60-70	90	0,20-0,50	prst, sestavine s celulozo	pesticidi
trava		12-25	20-25	90	0,55	prod	pesticidi
travna silaža		10-25	15-25	90	0,56	prod	
sadni odpadki		35	15-20	75	0,25-0,50		

ribje olje	30-50 % lipidi	ni podatka					
sojino olje/ margarina	90 % rastlinsko olje	ni podatka					
alkohol	40 % alkohol	ni podatka					
ostanki hrane			10	80	0,50-0,60	kosti, plastika	sredstva za dezinfekcijo
organski gospodinjiski odpadki						plastika, kovine, kamenje, les, steklo	težke kovine, organski onesnaževalci
kanalizacijska gošča							težke kovine, organski onesnaževalci

Substrate lahko razvrstimo tudi glede na vsebnost suhe snovi (SS). Substrati z deležem suhe snovi manjšim od 20 % se uporabljajo za t.i. mokro digestijo (mokra fermentacija). V to kategorijo spadata živinska gnoj in gnojevka, kot tudi različni mokri organski odpadki iz prehranske industrije. Kadar vsebnost suhe snovi doseže 35 %, gre za suho presnovo (suho digestijo), tipično za energetske pridelke in silažo. Izbira vrste in količine surovin za anaerobno presnovo mešanice substratov je odvisna od vsebnosti suhe snovi, kot tudi od vsebnosti sladkorjev, lipidov in proteinov. Za digestijo lahko uporabimo tudi substrate z visoko vsebnostjo lignina, celuloze in hemiceluloze, vendar jih moramo navadno pred tem obdelati in tako povečati njihovo zmožnost za anaerobno razgradnjo.

Eden izmed pomembnih kriterijev ocenjevanja različnih substratov je potencialni donos metana. Slika 3.4 prikazuje donos metana različnih substratov. Očitno je, da ima živinska gnojevka precej nizek donos metana. Zato je v praksi ne uporabljamo izključno, kot edini substrat, ampak jo mešamo z ostalimi sosubstrati z visokim donosom metana, in tako proizvodnjo bioplina povečamo. Najpogosteje dodajamo mastne ostanke iz prehranske industrije, ribarnic in industrije s krmo, alkoholne odpadke iz pivovarn in tovarn sladkorja, energetske pridelke itn.



Slika 3.4. Donosi metana za različne substrate; Vir: H. Pražl, 2007

Surovina za anaerobno digestijo lahko vsebuje kemične, biološke in fizične okužbe. Živalska gnojevka, blato in zelenjavni odpadki, na primer, so lahko okuženi z rastlinskimi ali živalskimi povzročitelji bolezni. Organski odpadki iz prehranske industrije, odpadki iz gospodinjstev in kanalizacijska gošča lahko vsebujejo kemične, biološke in fizične okužbe. Da bi zagotovili varno recikliranje presnovljenega materiala v obliki gnojila, je nujen nadzor kakovosti. Preglednica 3.3 prikazuje potencialno stopnjo nevarnosti problematičnih snovi, okužb in patogene mikroorganizme za nekatere običajne vrste substratov.

Še posebno pozornost potrebujejo odpadki živalskega izvora, če jih želimo uporabiti kot surovino za proizvodnjo bioplina. Direktiva evropskega parlamenta 1774/2002 postavlja zdravstvene zahteve glede uporabe in ravnanja z živalskimi stranskimi proizvodi, ki niso namenjeni človeški rabi. Direktiva določa minimalne zahteve in meritve, ki jih je treba izvesti, ter navaja, katere tipe živalskih stranskih proizvodov se lahko uporablja v bioplinskih napravah. Celotno besedilo je na voljo na spletni strani <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/f81001.htm>.

Preglednica 3.3. Razvrstitev nekaterih substratov za anaerobno presnovo glede na stopnjo tveganja, okužbe in patogene mikroorganizme. Vir: H. Pražl, 2008

		Tveganje			
		varno	higiensko tveganje	vsebuje problematične snovi	tveganje okužb
Substrat	komunalni ostanki	zelenje, košnja		biološki odpadki, zelenje ob cesti	
	industrijski ostanki	zelenjavni odpadki, drozga, ribji odpadki, itn.	hrana s pretečenim rokom, hrana poškodovana pri prevozu		ostanki iz proizvodnje rastlinskih olj
	kmetijski ostanki	gnojevka, gnoj			Cu in Zn
		listi pese, slama			
	obnovljivi surovi materiali	pšenična silaža, travna silaža			
	odpadki iz klavnic		vamp, vsebina želodca-črevesa, ločene maščobe, krvna moka, itn.		ločene maščobe
	mešani odpadki		industrijski kuhinjski odpadki, gospodinjski odpadki		

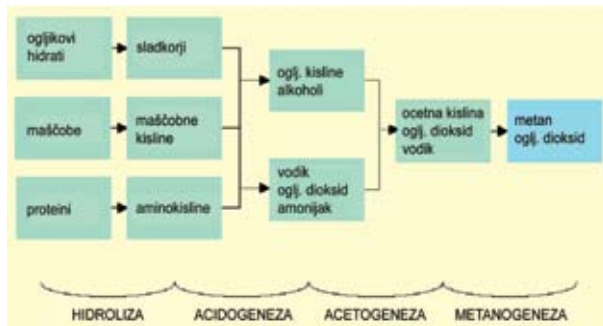
### 3.2 Biokemični proces

Proces anaerobne digestije predstavlja mikrobiološki razkroj organskih snovi ob odsotnosti kisika. Glavna proizvoda tega procesa sta bioplin in presnovljen substrat. Bioplin je vnetljiv plin, ki je primarno sestavljen iz metana in ogljikovega dioksida. Navadno ga uporabljamo za proizvodnjo električne energije in toplote, vendar ga lahko dovajamo tudi v plinovod ali uporabljamo kot gorivo za vozila, v gorivnih celicah ali za druge načine proizvodnje energije.

Po proizvodnji bioplina presnovljen substrat recikliramo nazaj v zemljo, kot koristno gnojilo za rastline.

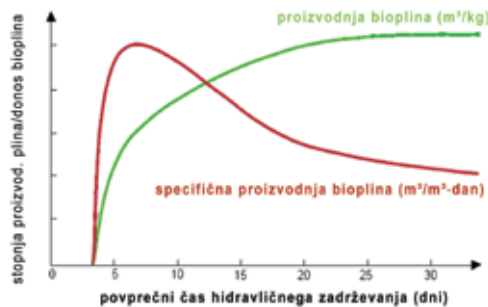
Med anaerobno presnovo se sprosti zelo malo toplote v primerjavi z aerobno presnovo (prisoten kisik), kot je na primer nastajanje komposta. Energija, ki je kemično vezana v substratu, večinoma ostane v proizvedenem bioplinu v obliki metana.

Proces nastajanja bioplina je posledica povezanih procesnih korakov, pri katerih se prvotna snov stalno deli na manjše enote. V vsak individualen korak so vključene specifične skupine mikroorganizmov. Ti organizmi zaporedno razkrajajo proizvode prejšnjih korakov. Poenostavljen diagram procesa anaerobne digestije je prikazan na sliki 3.5; poudarjeni so štirje glavni koraki v procesu: hidroliza, kislinska geneza, acetogeneza in metanogeneza.



Slika 3.5. Glavni koraki v procesu anaerobne digestije. Vir: T. Al Seadi, 2003.

Med hidrolizo se proizvaja relativno malo bioplina. Proizvodnja bioplina doseže vrhunec med metanogenezo. Povezava med donosom bioplina in časom hidravličnega zadrževanja je prikazana na sliki 3.6.



Slika 3.6. Proizvodnja bioplina po dodanem substratu. (Batch-Test); Vir: Biogashandbuch Bayern, 2004)

### 3.2.1 Hidroliza

Teoretično je hidroliza prvi korak anaerobne digestije, med katero se kompleksna organska snov (polimeri) razkroji v manjše enote, imenovane mono- in oligomeri. Polimeri, kot so ogljikovi hidrati, lipidi, nukleinske kisline in proteini, se pretvorijo v glukozo, glicerol, purine, piridine itn. Hidrolitična bakterija izloča hidrolitične encime, ki pretvarjajo biopolimere v enostavnejše in topljive zmesi, kot je prikazano spodaj:

lipidi  $\xrightarrow{\text{lipaze}}$  maščobne kisline, glicerol

polisaharidi  $\xrightarrow{\text{celulaze, celobiaz, ksilanaze, amilaze}}$  monosaharidi

proteini  $\xrightarrow{\text{proteaze}}$  aminokisline

Verige tega procesa potekajo v digestorju istočasno. Hitrost celotnega procesa razkroja določa najpočasnejša reakcija v verigi. V primeru bioplinskih naprav, v katerih

se presnavljajo zelenjavni substrati, ki vsebujejo celulozo, hemicelulozo in lignin, hitrost procesa določa hidroliza. V hidrolizo je vključena vrsta bakterij in je izvedena z eksoencimi, ki jih proizvajajo te bakterije. Encimi nato napadajo nerazkrojene delce snovi. Proizvodi, dobljeni s hidrolizo se nato še naprej razkrajajo/presnavljajo z bakterijo, ki je vključena in uporabljena za njihov lasten proces digestije.

### 3.2.2 Kislinska geneza

Med postopkom kislinske geneze acidogena (kvasna) bakterija pretvarja proizvode hidrolize v metanogene substrate. Enostavni sladkorji, aminokisliline in maščobne kisline razpadajo v acetat, ogljikov dioksid in vodik (70 %), kot tudi v hlapne maščobne kisline in alkohole (30 %).

### 3.2.3 Acetogeneza

Med acetogenezo se proizvodi kislinske geneze, ki jih metanogena bakterija ne more direktno pretvoriti v metan, pretvarjajo v metanogene substrate. Hlapne maščobne kisline in alkoholi oksidirajo v metanogene substrate: acetat, vodik in ogljikov dioksid. Hlapne maščobne kisline z ogljikovimi verigami, daljšimi od dveh enot in alkoholi z ogljikovimi verigami, daljšimi od ene enote, oksidirajo v acetat in vodik. Proizvodnja vodika poveča vodikov parcialni tlak. Temu lahko rečemo »odpadni proizvod« acetogeneze, ki ovira metabolizem acetogene bakterije. Med metanogenezo se vodik pretvarja v metan. Acetogeneza in metanogeneza navadno potekata vzporedno, kot simbioza dveh skupin organizmov.

### 3.2.4 Metanogeneza

Proizvodnjo metana in ogljikovega dioksida iz vmesnih proizvodov omogoča metanogena bakterija (arheja). 70 % nastalega metana izvira iz acetata, ostalih 30 % pa nastane iz pretvorbe vodika in CO<sub>2</sub>, glede na sledečo reakcijo:

očetna kislina arheja → metan + ogljikov dioksid

vodik + ogljikov dioksid arheja → metan + voda

Metanogeneza je ključni korak v procesu digestije, saj je najpočasnejša biokemična reakcija v procesu. Na metanogenezo močno vplivajo sestava substrata, hitrost dovajanja, temperatura in vrednost pH. Preobremenitev digestorja, temperaturne spremembe ali večji vdor kisika običajno vplivajo na končno proizvodnjo metana.

### 3.3 Parametri anaerobne digestije

Učinkovitost anaerobne digestije je odvisna od nekaterih ključnih parametrov. Zato je bistvenega pomena, da ustvarimo primerne pogoje za anaerobne mikroorganizme. Na njihovo rast in dejavnost znatno vplivajo izločitev kisika, temperatura, vrednost pH, oskrba s hranili, intenzivnost spodbujanja dejavnosti, prav tako pa tudi prisotnost in količina inhibitorjev (zaviralcev). Bakterije so zelo občutljive, zato je treba zagotoviti strogo odsotnost kisika iz procesa digestije.

#### 3.3.1 Temperatura

Določitev in nadzor temperature je ključnega pomena za anaerobno presnovo. Temperaturo, potrebno za proces, omogočimo s talnim ali stenskim sistemom ogrevanja znotraj digestorja. V praksi delovno temperaturo določimo na podlagi uporabljene surovine.

Proces anaerobne digestije se lahko odvija pri različnih temperaturah, ki jih delimo v tri temperaturna območja: psihofilno (pod 25 °C), mezofilno (25–45 °C), in termofilno (45–70 °C). Med temperaturo procesa in časom hidrofилnega zadrževanja obstaja neposredna povezava (preglednica 3.4).

Preglednica 3.4. Toplotna območja in čas zadrževanja; Vir: H. Pražl

Toplotno območje	Procesne temperature	Mminimalen čas zadrževanja
psihofilno	< 20 °C	70 do 80 dni
mezofilno	30 do 42 °C	30 do 40 dni
termofilno	43 do 55 °C	15 do 20 dni

Mnoge sodobne bioplinske naprave v Evropi delujejo pri termofilnih procesnih temperaturah, zaradi večje stopnje rasti metanogenih bakterij pri višjih temperaturah. Slika 3.8 prikazuje stopnje relativnih donosov bioplina odvisno od temperature in časa zadrževanja. Termofilni proces anaerobne digestije, v primerjavi z mezofilnim in psihofilnim prinaša tudi mnoge druge prednosti:

- učinkovito uničenje patogenov,
- skrajšan zadrževalni čas, zaradi česar je proces hitrejši in bolj učinkovit,
- boljša digestija in razpoložljivost substratov,
- boljša degradacija trdih substratov in boljše izkoriščanje substratov,
- boljša zmožnost ločevanja tekočega in trdnega dela.

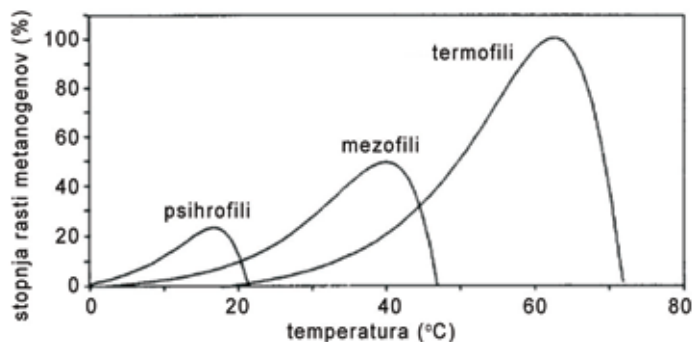
Glavne slabosti termofilnega procesa so:

- visoka stopnja neuravnoteženosti,
- visoke zahteve po energiji zaradi visokih temperatur,
- višje tveganje zadrževanja amoniaka.

Delovna temperatura vpliva na toksičnost amoniaka. Toksičnost amoniaka se zvišuje skupaj s temperaturo in z znižanjem temperature procesa jo je mogoče zmanjšati.

Vendar pa bo stopnja rasti termofilnih mikroorganizmov ob zmanjšanju temperature na 50 °C ali manj drastično padla in lahko se pojavi tveganje propada populacije mikroorganizmov zaradi manjše stopnje rasti od dejanskega časa hidravličnega zadrževanja (Angelidaki, 2002).

Dobro delujoč termofilni digestor lahko bolj napolnimo ali pa deluje pri krajšem času hidravličnega zadrževanja kot mezofilni. To je zaradi stopnje rasti termofilnih organizmov, ki je višja, kot pri primerljivih mezofilnih vrstah (slika 3.7).



Slika 3.7. Relativna stopnja rasti psihrofilnih, mezofilnih in termofilnih metanogenov. Vir: I. Angelidaki, 2002

Izkušnje kažejo, da ima digestor, upravljan pod termofilnimi pogoji, ko je bolj napolnjen, ali pa pri nizkem času hidravličnega zadrževanja, večjo proizvodnjo plina in višjo stopnjo pretvorbe, kot mezofilni digestor.

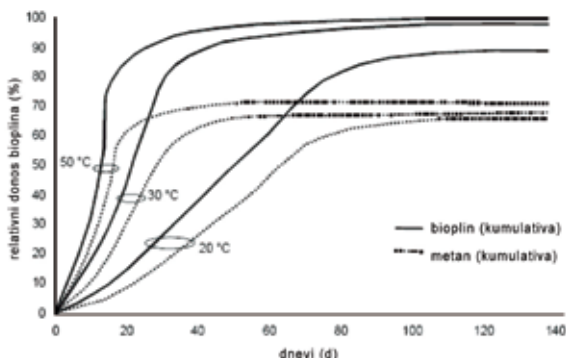
Židkost (viskoznost) zmesi, ki se presnavlja, je proporcionalno obratna temperaturi. Substrat je pri višjih temperaturah bolj tekoč in tako je olajšana difuzija razkrojenega materiala.

Topnost različnih sestavin ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , HMK) je prav tako odvisna od temperature. To je lahko zelo pomembno za snov, ki proces zavira.

Preglednica 3.5. Povezava med temperaturo in topnostjo nekaterih plinov v vodi. Vir: I. Angelidaki, 2002.

Plin	Temperatura (°C)	Topnost (mmol/l vode)	Spremenjena topnost 50 °C-35 °C
$\text{H}_2$	35	0,749	3,3 %
	50	0,725	
$\text{CO}_2$	35	26,6	36 %
	50	19,6	
$\text{H}_2\text{S}$	35	82,2	31 %
	50	62,8	
$\text{CH}_4$	35	1,14	19 %
	50	0,962	

Termofilna delovna temperatura prinaša hitrejše kemične reakcije in tako večjo učinkovitost proizvodnje metana, boljše topnost ter manjšo židkost. Večjo potrebo po energiji pri termofilnem procesu upraviči večji donos bioplina. Pomembno je, da med procesom digestije vzdržujemo stalno temperaturo, saj temperaturne spremembe in nihanja negativno vplivajo na proizvodnjo bioplina.



Slika 3.8. Relativni donosi bioplina glede na temperaturo in čas zadrževanja. Vir: *Biogashandbuch Bayern, 2004*

Termofilne bakterije so bolj občutljive na temperaturna nihanja  $\pm 1$  °C in potrebujejo daljši čas za prilagoditev na novo temperaturo, da bi dosegle maksimalno proizvodnjo metana. Mezofilne bakterije so manj občutljive. Temperaturna nihanja  $\pm 3$  °C prenašajo brez znatnega upada proizvodnje metana.

### 3.3.2 Vrednost pH

Vrednost pH (stopnja kislosti oz. bazičnosti snovi) vpliva na rast metanogenih mikroorganizmov in na razkroj nekaterih zmesi, pomembnih za proces anaerobne digestije (amoniak, sulfid, organske kisline). Nastajanje metana se odvija znotraj relativno ozkega območja pH, približno od 5,5 do 8,5, pri čemer je optimalni interval za večino metanogenov med 7 in 8, medtem, ko imajo acidogene bakterije v mnogih primerih nižjo vrednost optimalnega pH.

Optimalni pH za mezofilno presnovo je med 6,5 in 8. Proces je močno oviran, če pH vrednost pade pod 6 ali se dvigne nad 8,3. Topnost ogljikovega dioksida v vodi se pri povišani temperaturi zmanjša. Vrednost pH v termofilnih digestorjih je zaradi tega višja, kot v mezofilnih, saj razpadli ogljikov dioksid ob reakciji z vodo tvori ogljikovo kislino.

Vrednost pH lahko poviša amoniak, nastal med degradacijo proteinov, ali prisotnost amoniaka v dotoku materiala, medtem ko akumulacija hlapnih maščobnih kislin (HMK) zmanjšuje vrednost pH.

Vrednost pH v anaerobnih reaktorjih večinoma nadziramo s sistemom bikarbonatnega blažilca. Zato je vrednost pH v bioplinskih digestorjih odvisna od delnega tlaka CO<sub>2</sub> ter koncentracije alkalnih in kislinskih komponent v tekoči fazi. Če pride do akumulacije baze ali kisline, blažilec do določene stopnje preprečuje spremembe pH. Ko so zmognosti blažilca presežene, pride do drastičnih sprememb v vrednostih pH, kar popolnoma onemogoči proces. Zato vrednosti pH ne moremo upoštevati kot edinega parametra pri nadzorovanju procesa.

### 3.3.3 Hlapne maščobne kisline

Hlapne maščobne kisline (HMK) so vmesne zmesi, ki nastajajo med kislinsko genezo, z ogljikovo verigo s šest ali manj atomi (na primer acetat, propionat, maslena kislina in laktat). Ti umetni proizvodi imajo lahko negativen vpliv na proces, če je njihova koncentracija previsoka.

Nestabilnost procesa vodi do akumulacije hlapnih maščobnih kislin znotraj digestorja, kar lahko prinese padec vrednosti pH. Akumulacija hlapnih maščobnih kislin pa vseeno ne povzroči vedno padca vrednosti pH zaradi sposobnosti blaženja nekaterih vrst biomase. Živalska gnojevka ima na primer presežek alkalnosti, kar pomeni, da bi morala akumulacija hlapljivih maščobnih kislin preseči določeno raven, preden bi to zaznali na podlagi zmanjšane vrednosti pH. Na tej točki bi bila koncentracija kislin v digestorju že tako visoka, da bi bil proces anaerobne digestije resno ogrožen.

Blažilna sposobnost substrata za anaerobno presnovo se lahko spreminja. Danske izkušnje kažejo, da se blažilna sposobnost govejega gnoja spreminja z letnim časom, na kar verjetno vpliva sestava krme za govedo. pH vrednost gnoja domačih živali je torej spremenljiva, zato jo težko uporabljamo za določanje uravnoveženosti procesa, saj se spreminja le malo in počasi. Vseeno je pomembno upoštevati, da je lahko vrednost pH hiter, dokaj zanesljiv in poceni način zaznavanja neuravnoveženosti sistema v šibkeje blaženih sistemih, kot je na primer anaerobna digestija različnih odpadnih voda.

Na potek procesa anaerobne digestije koncentracije hlapnih maščobnih kislin vplivajo različno; ista koncentracija hlapnih maščobnih kislin je lahko optimalna za nek digestor in hkrati ovirajoča za drugega. Ena izmed možnih razlag za to je, da se sestava populacij bakterij razlikuje od enega do drugega digestorja.

Tako kot vrednosti pH tudi koncentracije hlapnih maščobnih kislin ne moremo priporočiti kot edinega parametra za nadzorovanje procesa.

### 3.3.4 Amoniak

Glavni vir amoniaka v procesu anaerobne digestije so proteini. Amoniak je pomembno hranilo in igra pomembno vlogo pri procesu anaerobne digestije. Previsoka koncentracija amoniaka, še posebej v neionizirani obliki, je vzrok oviranja procesa. Koncentracijo amoniaka bi morali zato zadržati pod 80 mg/l.

Zaviranje anaerobne digestije zaradi amoniaka ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ) je dobro poznan pojav. Zaradi relativno visoke koncentracije  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ , ki izvira iz urinskega dela gnoja, je običajno pri anaerobni presnovi živalskega gnoja. Metanogene bakterije so še posebej občutljive na inhibicijo zaradi amoniaka. Koncentracija prostega amoniaka je v neposrednem razmerju s temperaturo, tako da obstaja povečano tveganje zaviranja procesa anaerobne digestije, ki poteka pri termofilnih temperaturah, v primerjavi z mezofilnimi, zaradi amoniaka. Razlog za to je, da je aktivna komponenta, odgovorna za zaviranje, neionizirana oblika amoniaka. Prosti amoniak  $\text{NH}_3$  naj bi bil del amoniaka, ki dejansko povzroča zaviranje procesa. Koncentracijo prostega amoniaka izračunamo iz ravnotežnega razmerja:

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

kjer sta  $[\text{NH}_3]$  in  $[\text{T-NH}_3]$  prosta in skupna koncentracija amoniaka ter je » $K_a$ « disociacijska konstanta, katere vrednosti se višajo skupaj s temperaturo. To pomeni, da bosta povišana vrednost pH in temperatura vodili do povečanega zaviranja, saj ti faktorji povečujejo frakcijo prostega amoniaka. Kadar proces zavira amoniak, zvišanje koncentracije hlapnih maščobnih kislin vodi do zmanjšanja vrednosti pH. To, zaradi padca koncentracije prostega amoniaka, delno prepreči vpliv amoniaka na proces.

### 3.3.5 Elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi

Elementi v sledih, kot so železo, nikelj, kobalt, selen, molibden in volfram, so enako pomembni za rast in preživetje bakterij anaerobne digestije kot makrohranila. Optimalno razmerje makrohranil: ogljik, dušik, fosfor in žveplo (C:N:P:S) je 600:15:5:1. Nezadostna preskrba s hranilnimi snovmi in elementi v sledih, kot tudi prevelika presnovljivost, lahko povzročijo zaviranje in motnje v procesu anaerobne digestije.

Dodaten dejavnik, ki vpliva na anaerobne bakterije, je prisotnost toksičnih zmesi. V sistem anaerobne digestije jih lahko vnesemo skupaj s surovinami, vendar pa lahko nastanejo tudi med samim procesom. Uporaba mejnih vrednosti je težavna, saj lahko toksične materiale omejimo s kemičnimi procesi, anaerobni mikroorganizmi pa so, do določene mere, zmožni prilagoditve na okoliščine.

## 3.4 Parametri delovanja

### 3.4.1 Organska obremenitev

Pri izgradnji bioplinke naprave je treba upoštevati kombinacijo ekonomskih in tehničnih vidikov. Maksimalen donos bioplina, dosežen s popolno presnovo substrata, bi zahteval dolgotrajno hidravlično zadrževanje in temu ustrezno velik digestor. V praksi izbira modela (na primer velikost in tip digestorja) temelji na kompromisu med maksimalnim donosom bioplina in opravičljivo ekonomičnostjo. V tem pogledu

je pomemben parameter delovanja organska obremenitev, ki nakazuje, koliko suhe organske snovi lahko naložimo v digestor na prostorninsko in časovno enoto, glede na spodnjo enačbo:

$$B_R = m \times c / V_R$$

$B_R$	organska obremenitev [kg/dan·m <sup>3</sup> ]
$m$	masa substrata, naložena v časovni enoti [kg/dan]
$c$	koncentracija organske snovi [%]
$V_R$	prostornina digestorja [m <sup>3</sup> ]

### 3.4.2 Hidravlični zadrževalni čas

Pomemben dejavnik za določanje dimenzij digestorja je hidravlični zadrževalni čas. Hidravlični zadrževalni čas je povprečen časovni interval, ko se substrat nahaja v digestorju. Hidravlični zadrževalni čas izračunamo glede na prostornino digestorja in volumen substrata naloženega v časovni enoti s sledečo enačbo:

$$HRT = V_R / V$$

HRT	hidravlični zadrževalni čas [dni]
$V_R$	prostornina digestorja [m <sup>3</sup> ]
$V$	prostornina substrata, naloženega v časovni enoti [m <sup>3</sup> /dan]

Glede na zgornjo enačbo, pomeni povečanje organske obremenitve skrajšan hidravlični zadrževalni čas. Čas zadrževanja mora biti dovolj dolg, če hočemo zagotoviti, da količina bakterij, odstranjenih skupaj s presnovljenim substratom, ni večja od količine novo nastalih bakterij (na primer: število anaerobnih bakterij se podvoji v najmanj 10 dneh). Kratek hidravlični zadrževalni čas omogoči dober pretok substrata, vendar je pri tem donos manjši. Zato je hidravlični zadrževalni čas pomembno prilagoditi določeni stopnji razkroja uporabljenih substratov. Če poznamo hidravlični zadrževalni čas, dnevni vnos surovin in stopnjo razkroja substrata, je mogoče izračunati potrebno prostornino digestorja.

### 3.4.3 Seznam parametrov

Za ocenjevanje bioplinških naprav in za primerjavo med različnimi sistemi lahko uporabimo različne parametre. V literaturi najdemo dve glavni kategoriji parametrov:

- podatki o delovanju, ki jih lahko določimo z meritvami,
- parametri, ki jih lahko izračunamo iz izmerjenih podatkov.

Da bi lahko ocenili delovne zmožnosti bioplinške naprave, je treba izvesti analizo s številnimi kriteriji. Ocena, ki temelji na enem samem parametru, za tak proces ni primerna. Da bi določili, ali lahko bioplinška naprava povrne investicijo v sprejemljivem časovnem obdobju, morajo biti vedno vključeni tudi ekonomski parametri.

Preglednica 3.6. Parametri delovanja bioplinskih naprav; Vir: Schnell, Fachverband Biogas e.V.

Parameter	Simbol	Enota	Določeno z/s:
temperatura	T	°C	meritve med delovanjem
delovni tlak	P	mbar	meritve med delovanjem
kapaciteta, proizvodnja	V	m <sup>3</sup> /d; t/d	
prostornina reaktorja	VR	m <sup>3</sup>	določeno s konstrukcijo
količina plina	volumen na dan	m <sup>3</sup> /d; m <sup>3</sup> /a	meritve med delovanjem in pretvorba v nm <sup>3</sup>
čas zadrževanja	t	D	izračunano iz podatkov o delovanju
organska obremenitev		kg oTS / (m <sup>3</sup> × d)	izračunano iz podatkov o delovanju
konzentracija metana v bioplinu	CH <sub>4</sub>	%	meritve med delovanjem
specifičen donos bioplina		%	izračunano iz podatkov o delovanju
specifična proizvodnja bioplina		m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>	izračunano iz podatkov o delovanju
energija (bruto)		kWh	določeno iz količine bioplina in koncentracije metana
proizvodnja električne energije		kWh	meritve v SPTE
dovod v omrežje		kWh	meritve v SPTE
učinkovitost SPTE	η	%	izračunano iz podatkov o delovanju
oskrba postaje s toplotno/električno energijo		kWh	osnovno načrtovanje, sledijo meritve med delovanjem
specifična oskrba postaje s toplotno/el. energijo		vnos kWh/m <sup>3</sup> kWh/GV	izračunano iz podatkov o delovanju
proizvodnja energije		kWh	vsota energije, ki jo je smiselno izkoriščati; izračunana iz podatkov o delovanju
izkoristek naprave	η	%	energija v omrežju, izpeljana iz bruto energije
razpoložljivost		%	odstotek ur v letu, v katerih je naprava v polnem delovanju
uporaba		%	razmerje med realnim vnosom in predvidenimi kapacitetami
celotna naložba		€	vsi stroški bioplinske naprave
subvencija		€	
odstotek subvencije		%	odstotek vseh subvencij glede na celotno naložbo
specifična naložba		€/m <sup>3</sup> reaktor	
		€/GVŽ	smiselno samo v primeru uporabe gnoja pri živinoreji
specifični stroški postopka		vnos €/m <sup>3</sup> ; €/GVŽ	

## 4 Uporaba bioplina

Proizvodnjo bioplina z anaerobno digestijo danes v veliki meri uporabljamo za predelavo živinskih odpadkov (gnoj in gnojevka) za proizvodnjo obnovljive energije ter izboljšanja kakovosti gnojila.

Vedno strožje ureditve, ki se nanašajo na shranjevanje in recikliranje gnojil in zelenjavnih odpadkov, v državah z močno kmetijsko proizvodnjo povečujejo zanimanje za anaerobno digestijo. Zadnje čase se je med kmeti zvišalo tudi zanimanje za pridelovanje energetskih pridelkov, ki so kot surovina namenjeni za proizvodnjo bioplina. Tehnologije anaerobne digestije so prav tako standardne tehnologije za stabilizacijo primarne in sekundarne kanalizacijske gošče, ravnanje z industrijskimi odpadnimi vodami iz biomase, predelavo hrane in fermentacijsko industrijo, kot tudi za obdelavo organskega dela komunalnih trdnih odpadkov. Posebno izrabo predstavlja zajem bioplina iz odlagališč odpadkov.

### 4.1 Kmetijske bioplinske naprave

Kmetijske bioplinske naprave večinoma obdelujejo substrate, ki izvirajo iz kmetijstva (na primer živinska gnojevka in blato, ostanki zelenjavnih pridelkov, stranski proizvodi ter energetski pridelki).

Prašičji in goveji gnoj ter gnojevka sta osnovni surovini za večino kmetijskih bioplinskih naprav. V zadnjih letih pa se zvišuje število naprav, ki delujejo na energetske pridelke. Surovi gnoj in gnojevka sta pogosto uporabljena kot organsko gnojilo, vendar anaerobna digestija izboljša njuno koristnost za gnojenje:

- Gnoj in gnojevka različnih živali (na primer goveda, prašičev, perutnine) sta zmešana v istem digestorju, kar omogoča bolj uravnoteženo vsebnost hranil.
- Anaerobna digestija razgradi kompleksne organske materiale (vključno z organskim dušikom) in poveča količino hranil, ugodnih za rastline.
- Sočasna digestija gnoja z drugimi substrati (na primer odpadki iz klavnic, ostanki maščob in olja, gospodinjski odpadki, zelenjavni odpadki itn.) prinaša precejšnje dodatne količine hranil v mešanico.

Glede na relativno velikost, funkcijo in lokacijo, obstajajo tri glavne kategorije kmetijskih naprav za anaerobno digestijo:

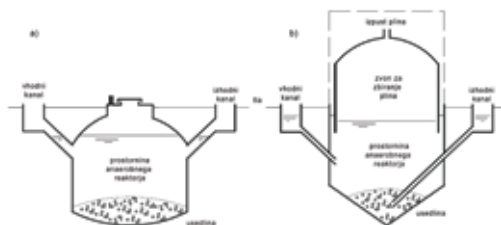
- družinske bioplinske naprave (majhne),
- bioplinske naprave na ravni kmetije,
- centralizirane (bioplinske naprave) združena sočasna digestija (kofermentacija).

#### 4.1.1 Družinske bioplinske naprave

Majhne bioplinske naprave (enodružinske) postavljajo v ruralnih okoljih, v mnogih državah v razvoju kot so Nepal, Kitajska in Indija. Surovine za take bioplinske naprave so odpadki iz gospodinjstva in majhnih kmetij. Bioplin iz teh naprav se običajno uporablja za potrebe kuhanja in razsvetljave posameznega gospodinjstva. Digestorji so preprosti,

poceni, robustni, enostavni za uporabo ter vzdrževanje in jih je mogoče sestaviti iz lokalno izdelanih materialov. Navadno nimajo nobenih instrumentov za nadzor in so brez ogrevanja med obdelavo (psihrofilno ali mezofilno delovanje), saj jih veliko deluje v toplem podnebnju, z dolgim časom hidravličnega zadrževanja.

- a.) Kitajski tip (slika 4.1a) je podzemni reaktor z običajno prostornino 6 do 8 m<sup>3</sup>. Oskrbujejo ga s hišnimi odplakami, živinskim gnojem in organskimi gospodinjskimi odpadki. Reaktor deluje na deloma neprekinjen način; enkrat dnevno dodajo substrat in odstranijo podobno količino odcejene tekočine. Reaktorja ne premešajo, zato je treba usedline v obliki trdih delcev dva do trikrat letno odstraniti. Ob tem velik del substrata odstranijo, manjši del (približno petino vsebine reaktorja), pa pustijo kot cepivo. Prvi kitajski reaktor je bil zgrajen leta 1958 (Angelidaki and Ellegard).
- b.) Indijski tip (slika 4.1b) je podoben kitajskemu, saj gre za preprost podzemni reaktor za domače odpadke in odpadke majhne kmetije. Razlika je v tem, da se odpadna voda zbira na dnu reaktorja in da gibljiv zvon služi kot rezervoar za bioplin.
- c.) Tretja vrsta majhne bioplinske naprave je premična naprava, ki je sestavljena iz horizontalnega cilindričnega reaktorja. Na enem koncu dovajajo vhodni substrat, na drugem pa zbirajo presnovljeni material. Substrat se premika skozi reaktor, kot čep, iztok pa se ponovno uporabi za redčenje novega substrata in za zagotovitev cepljenja.



Slika 4.1. Delovni princip ruralnih bioplinskih reaktorjev: a) kitajski tip; b) indijski tip.  
Vir: Angelidaki and Ellegard.

#### 4.1.2 Kmetijske bioplinske naprave

Zanimanje kmetov za anaerobno digestijo se zvišuje. Proizvodnja bioplina ustvarja nove poslovne priložnosti, zmanjšuje količino odpadkov in proizvaja gnojila visoke kakovosti. V Evropi in po svetu obstaja veliko različnih vrst in konceptov bioplinskih kmetijskih naprav; vodilne v proizvodnji bioplina na ravni kmetij so Nemčija, Avstrija in Danska.

Bioplinska naprava na ravni kmetije je povezana z eno samo kmetijo in za digestijo uporablja surovine, pridelane na tej kmetiji. Mnoge bioplinske naprave sočasno presnavljajo tudi manjše količine substratov, bogatih z metanom (na primer oljnati odpadki od predelave rib in ostanki rastlinskih olj), z namenom povečanja donosa

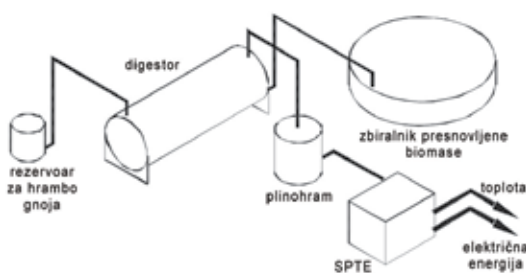
bioplina. Možno je tudi, da kmetijska bioplinska naprava prejema in obdeluje živinsko gnojevko iz ene ali dveh sosednjih kmetij (na primer po cevovodu, ki povezuje te kmetije z enoto za anaerobno digestijo).

Kmetijske bioplinske naprave se razlikujejo po velikosti, obliki in tehnologiji. Nekatere so zelo majhne in tehnološko preproste, medtem, ko so druge zelo velike in kompleksne, podobne centraliziranim napravam s kofermentacijo (glej poglavje 4.1.3). Vsem pa je skupen princip ureditve: gnoj zbirajo v rezervoarju blizu digestorja in ga črpajo v digestor, ki je zrakotesen zbiralnik, narejen iz jekla ali betona, ter izoliran, da ohranja konstantno procesno temperaturo (pri mezofilnem procesu pri približno 35 °C in termofilnem pri približno 55 °C).

Digestorji so lahko horizontalni ali vertikalni in navadno vključujejo mešalni sistem, ki skrbi za mešanje in homogeniziranje substrata ter zmanjšanje tveganj za nastajanje plavajočih plasti in usedlin. Mešanje zagotovi tudi oskrbo mikroorganizmov z vsemi potrebnimi hranili. Povprečen hidravlični zadrževalni čas običajno traja od 20 do 40 dni, odvisno od vrste substrata in temperature pri presnovi.

Presnovljeni substrat uporabijo kot gnojilo, presežek pa prodajo okoliškim poljedelskim kmetijam. Proizvedeni bioplin se porablja v plinskem motorju za proizvodnjo električne energije in toplote. Približno 10 do 30 % proizvedene toplote in električne energije se porabi za domače potrebe kmetije in delovanje bioplinske naprave, presežek pa se proda podjetjem za distribucijo električne energije in okoliškim porabnikom toplote.

Na sliki 4.2 je prikazan osnovni model tipične kmetijske bioplinske naprave s horizontalnim digestorjem iz nerjavečega jekla. Poleg digestorja s prostornino 150-200 m<sup>3</sup>, opremljenega s počasi vrtečim sistemom za mešanje, napravo sestavljajo še rezervoar za hrambo gnoja, zbiralnik presnovljene biomase, prostor za shranjevanje bioplina in enota za soproizvodnjo toplote in električne energije. Proces anaerobne digestije je mezofilni do deloma termofilni (35-48 °C), hidravlični zadrževalni čas pa znaša 15-25 dni. Donos bioplina se giblje med 40 in 50 m<sup>3</sup> bioplina na m<sup>3</sup> presnovljene biomase.

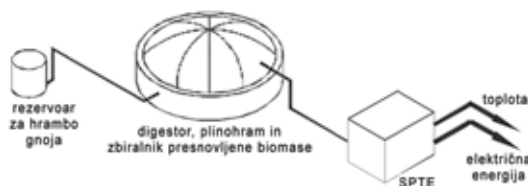


Slika 4.2. Shematična predstavitev bioplinske naprave na ravni kmetije s horizontalnim digestorjem. Vir: Hjort-Gregersen, K. (1998).



Slika 4.3. Horizontalen digestor izdelan na Danskem. Vir: Nordisk Folkecenter, 2001

Digestor je lahko tudi vertikalni valj s stožčastim dnom (sliki 4.4 in 4.5) - skladišče presnovljenega substrata in digestor, tj. »dvoje v enem«. Digestor je postavljen znotraj zbiralnika presnovljenega substrata in se dotika njegove stene. Pokrit je z zrakotesno membrano, ki jo napihuje proizvedeni plin. Vsebinsko v digestorju meša električen propeler. Nadalje napravo sestavljata še rezervoar za skladiščenje kosustrata in enota SPTE. Temperatura procesa se giblje med 22-25 °C, hidravlični zadrževalni čas pa znaša več kot 50 dni.



Slika 4.4. Shematični prikaz kmetijske naprave »dvoje v enem« z mehkim membranskim pokrovom. Vir: Hjort-Gregersen, K. (1998).



Slika 4.5. Slika kmetijske naprave na Danskem, ki hkrati presnavlja živalsko gnojevko in energetske pridelke. Vir: Groengas A/S.



Slika 4.6. Vertikalni digestor v Nemčiji, ki obdeluje prašičji in perutninski gnoj ter silažo. Vir: Krieg and Fisher, 2008.

Nedavni razvoj kmetijskih bioplinskih naprav je privedel do koncepta bioplinske naprave, ki temelji na energetskem pridelku. Prednost tovrstne naprave je, da energetski pridelki vsebujejo dosti več energije, kot večina organskih odpadkov. Vendar se pojavljajo omejitve in skrbi glede obratovalnih stroškov, uporabe zemljišč in razpoložljivosti. Ta način še naprej razvijajo v Nemčiji in Avstriji.



Slika 4.7. Vertikalni digestor za energetske pridelke v Nemčiji, zgrajen leta 2005. Vir: Krieg and Fisher, 2008

#### 4.1.3 Centralizirane (združene) naprave s kofermentacijo

Sočasna digestija (kofermentacija) v centralizirani napravi je koncept, ki temelji na digestiji z več kmetij zbranega živalskega gnoja in gnojevke v bioplinski napravi, ki je postavljena v središču področja zbiranja. Bioplinska naprava je locirana v središču zaradi zmanjšanja stroškov, časa in potrebne delovne sile za transport gnoja do bioplinske naprave in iz nje. Živinska gnojevka se presnavlja skupaj z ostalimi primernimi substrati (na primer ostanki, ugodni za presnovo, iz kmetijstva, prehranske in kmetijske industrije, iz ribarnic; organski odpadki, ločeni glede na vir, kanalizacijska gošča itn.). Centralizirane naprave s kofermentacijo v veliki meri uporabljajo in razvijajo na Danskem (slika 4.8), pa tudi v ostalih delih sveta z razširjeno živinorejo.

Živinsko gnojevko in gnoj (na primer od goveda in prašičev ter perutnine) zbirajo na kmetijah v rezervoarjih za skladiščenje ter v lagunah za gnojevko. Do bioplinske naprave jih prevažajo v posebnih tovornjakih z vakuumskim rezervoarjem. V bioplinski napravi se zmešajo z ostalimi kosubstrati, homogenizirajo in prečrpajo v digestor. Bioplinarna je odgovorna za zbiranje in prevoz svežega gnoja in gnojevke od kmetov do bioplinske naprave in za prevoz presnovljenega substrata nazaj do kmetov. Presnovljeni substrat se pripelje do polj, kjer ga uporabijo kot gnojilo in kjer so kmetje postavili in si delijo skladiščne prostore za presnovljeni substrat.

Proces digestije se odvija pri mezofilnih ali termofilnih temperaturnih pogojih, hidravlični zadrževalni čas pa traja 12-25 dni. Pred presnovo se izvede nadzorovan proces vzpostavljanja ustreznih higienskih pogojev, z namenom, da bi zagotovili učinkovito iztrebljanje patogenov in semen plevla ter varno recikliranje presnovljenega substrata kot gnojila.



Slika 4.8. Slika centralizirane naprave s kofermentacijo na Danskem. Vir: Lemvig Biogas a.m.b.a

Sistem dovajanja je nepretrgan - mešanico biomase črpajo v digestor in iz njega v enakih količinah ter natančnih zaporedjih. Presnovljeni substrat, prečrpan iz digestorja, po cevovodu prenesejo do skladiščnih rezervoarjev. V mnogih primerih so ti pokriti z zrakotesno membrano, kjer se odvija dodatna proizvodnja bioplina (do 15 % celotne proizvodnje) pri nižjih temperaturah. Ta bioplin zberejo skupaj s tistim, proizvedenim znotraj digestorja in ga uporabijo za soproizvodnjo toplote in električne energije ali pa ga izboljšajo in uporabijo kot pogonsko gorivo, kot na primer na Švedskem.

Proizveden presnovljeni material se analizira, določi se hranilne vrednosti (suha snov, hlapne snovi, dušik, fosfor, kalij, vrednost pH) in transportira nazaj do kmetov, do njihovih zbiralnikov na poljih. Kmetje prejmejo le toliko presnovljenega substrata, kot jim ga zakon dovoljuje uporabiti na njihovih poljih. Presežek se proda kmetom v okolici. V vseh primerih se presnovljeni substrat vključi v načrt gnojenja vsake kmetije, kjer zamenja mineralna gnojila. Na ta način je proizvodnja bioplina del zaprtega kroga recikliranja hranil iz gnoja in organskih odpadkov (slika 4.9). Mnoge centralizirane naprave so opremljene z instalacijami za ločevanje presnovljenega materiala na tekoči in trdni del.



Slika 4.9. Shematični prikaz zaprtega kroga centralizirane anaerobne digestije (AD). Vir: T. Al Seadi, 2003.

Sočasna digestija (kofermentacija) v centralizirani napravi predstavlja integriran sistem proizvodnje obnovljive energije, ravnanja z odpadki in recikliranja hranil. Prinaša mnoge kmetijske, okoljske in ekonomske koristi za kmete in za družbo, kot so:

- poceni in okolju prijazno recikliranje gnoja in organskih odpadkov,
- proizvodnja obnovljive energije,

- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov,
- izboljšana veterinarska varnost z izpolnjevanjem fitosanitarnih zahtev za presnovljeni substrat,
- izboljšana učinkovitost gnojenja,
- manj neprijetnosti z vonjavami in muhami,
- ekonomske koristi za kmete.



Slika 4.10. Glavne usmeritve integriranih konceptov centraliziranih naprav s sočasno presnovo.  
 Vir: S. Tafdrup, 1994 and T. Al Seadi 2003.

Večina centraliziranih naprav s kofermentacijo je organiziranih kot zadružna podjetja, s kmeti, ki v bioplinarno dostavljajo gnoj in nastopajo hkrati v vlogi delnih lastnikov oz. lastnikov. Navadno imajo ta podjetja upravo, ki je odgovorna za vodenje bioplinarne in zaposlovanje potrebnega osebja ter za vse dogovore, vezane na ekonomiko in zakonodajo glede izgradnje naprave, dobave surovin, prodaje/razdelitve nastalega gnojila, prodaje energije ter financiranja. Na Danskem so se zadružna podjetja izkazala, kot izvedljiva in funkcionalna organizacijska struktura.

## 4.2 Naprave za obdelavo odplak

Anaerobna digestija se veliko uporablja za ravnanje s primarno in sekundarno brozgo, ki je rezultat aerobne obdelave komunalnih odplak. Sistem se v mnogih razvitih državah uporablja v kombinaciji z naprednimi sistemi za ravnanje s komunalnimi odplakami. Anaerobna digestija se uporablja za stabilizacijo in zmanjševanje količine gošče.

Tehnologija za obdelavo kanalizacijske gošče z anaerobno digestijo je dobro uveljavljena. Večina projektantskih podjetij, ki se ukvarja s pripravo konceptov za ravnanje s komunalnimi odplakami, obvladuje tudi anaerobno digestijo. V evropskih državah z anaerobno digestijo običajno obdelajo med 30 in 70 % kanalizacijske gošče; odvisno od državne zakonodaje in prioritete.

Iztok se uporablja kot gnojilo na poljedelskih površinah ali pa se ga posuši in sežge. V nekaterih državah ga odložijo tudi na deponije, čeprav je tako odlaganje organskih ostankov v evropski zakonodaji prepovedano. Obnovljeni bioplin se uporablja za pridobivanje toplote in električne energije, delno za potrebe naprave in delno za prodajo.



Slika 4.11. Naprava za ravnanje z odpadno vodo skupaj z anaerobno presnovo kot njenim integriranim delom. Vir: <http://ian.umces.edu/> 2007.

### 4.3 Naprave za obdelavo komunalnih trdnih odpadkov

V mnogih državah komunalne trdne odpadke zbirajo in jih takoj sežgejo v velikih obratih ali pa jih odložijo na deponijah. Ta praksa prinaša izgubo energije in hranil, saj je mogoče organski del ločiti od ostalega in ga uporabiti kot surovino za anaerobno digestijo, za pridobivanje energije in recikliranje hranil ter organskih snovi. Tudi odpadke, ki niso ločeni, ampak so zbrani skupaj, lahko nadalje predelamo in uporabimo za proizvodnjo bioplina.

Tako ločevanje kot recikliranje odpadkov sta v zadnjem času deležna čedalje večje pozornosti. Posledično sestavine komunalnih trdnih odpadkov postajajo bolj razpoložljive za naprednejšo obdelavo, tj. recikliranje namesto odlaganja. Izvor organskih odpadkov je pomemben pri določanju najprimernejše metode. Gospodinjski odpadki so ponavadi preveč mokri in primanjkuje jim strukture za aerobno pridobivanje komposta, vendar pa so odlična surovina za anaerobno digestijo. Po drugi strani lesni odpadki vsebujejo visok delež lignoceluloznih snovi in so, razen s predhodno obdelavo, bolj primerni za pridobivanje komposta.

Izkoriščanje ločenih organskih sestavin iz gospodinjskih odpadkov za proizvodnjo bioplina, ima velik potencial in po svetu obratuje nekaj sto tovrstnih naprav za anaerobno digestijo, ki obdelujejo organski del mestnih komunalnih odpadkov. Cilj je zmanjšanje toka organskih odpadkov v druge sisteme za obdelavo, na primer odlagališča ali sežigalnice, ter jih preusmeriti v recikliranje hranil in nazaj do kmetijskega sektorja. Organske gospodinjske odpadke lahko kot sosubstrat dodajamo tudi v napravah s kofermentacijo, ki po večini uporabljajo gnoj.

#### 4.4 Industrijske bioplinske naprave

Anaerobne procese se uporablja za ravnanje z industrijskimi odpadki in odpadno vodo že več kot stoletje. Anaerobna digestija industrijskih odpadkov in odplak je danes standardna tehnologija za obdelavo različnih industrijskih odpadnih vod iz prehrabene, kmetijske in farmacevtske industrije. Lahko jo uporabimo tudi za predhodno obdelavo obremenjenih industrijskih odplak pred njihovim končnim izpustom. Zaradi zadnjih izboljšav v obdelovalnih tehnologijah, lahko presnovimo tudi razredčene industrijske odplake. Evropa je v svetu vodeča v tovrstni uporabi anaerobne digestije. V zadnjih letih sta energetska premišljenost in okoljska skrb dodatno povečali zanimanje za neposredno anaerobno obdelavo organskih industrijskih odpadkov.

Upravljanje z organskimi trdnimi odpadki iz industrije poostreno nadzoruje okoljska zakonodaja. Med industrijo, ki uporablja anaerobno digestijo za obdelavo odplak spada:

- predelava hrane: na primer konzerviranje zelenjave, pridelovanje mleka in sira, odpadki iz klavnic, predelovalna industrija krompirja;
- industrija pijač: na primer pivovarne, brezalkoholne pijače, žganjarne, kava, sadni sokovi;
- industrijski proizvodi: na primer papir in karton, guma, kemikalije, škrob, farmacevtski izdelki.

Industrijske bioplinske naprave prinašajo številne prednosti za družbo in vključeno industrijo:

- dodana vrednost z recikliranjem hranil in zmanjšanje stroškov za odstranjevanje odpadkov;
- bioplin se uporablja za pridobivanje procesne toplote;
- občutljiva obdelava odpadkov izboljša okoljski imidž vključene industrije.

Pričakovati je, da bodo okoljske in družbene koristi ter visoke cene drugih alternativ odstranjevanja odpadkov v prihodnosti povečale uporabo industrijskih bioplinskih naprav.

#### 4.5 Proizvodnja deponijskega plina

Odlagališča odpadkov lahko obravnavamo kot ogromne anaerobne obrate, s tem, da je proces razkroja v primerjavi z bioplinarno manj kontinuiran in je odvisen od starosti odlagališča.

Zajem plina na odlagališčih je iz okoljskih stališč nujen predvsem zato, ker zmanjšuje emisije metana in drugih plinov, ki se tvorijo na odlagališčih. Deponijski plin je poceni vir energije, s podobno sestavo kot bioplin, proizveden v napravah za presnovo (50-70 % metana, 30-50 % ogljikovega dioksida). Deponijski plin lahko vsebuje toksične pline, ki izvirajo iz razkranja odpadnih snovi na odlagališču.

Rekuperacijo plina z odlagališč lahko optimiziramo z upravljanjem odlagališča, z razkosanjem odpadkov, s kroženjem organskega dela in z ravnanjem z odlagališčem kot bioreaktorjem.

Odlagališče v obliki bioreaktorja je nadzorovano odlagališče, zasnovano tako, da pospešuje pretvarjanje trdnih odpadkov v metan. Odlagališče v obliki bioreaktorja je običajno razdeljeno v več celic in ima sistem za zbiranje izcednih vod, ki pronicajo iz osnovne celice. Zbrano tekočino prečrpajo nazaj na površino in porazdelijo po celicah z odpadki. To odlagališče pravzaprav spremeni v velik digestor trdnih snovi.

Rekuperacija plina z odlagališč prinaša koristi s hitrejšo stabilizacijo odlagališč in se obrestuje z izkoriščanjem plina.

Zaradi odmaknjenosti odlagališč, se ta plin običajno uporablja za pridobivanje elektrike, vendar ga je prav tako možno izkoriščati v vse ostale namene - od ogrevanja do izboljšanja v gorivo itn.



Slika 4.12. Sistem za rekuperacijo plina na odlagališču. Vir: NST Engineers, 2007.



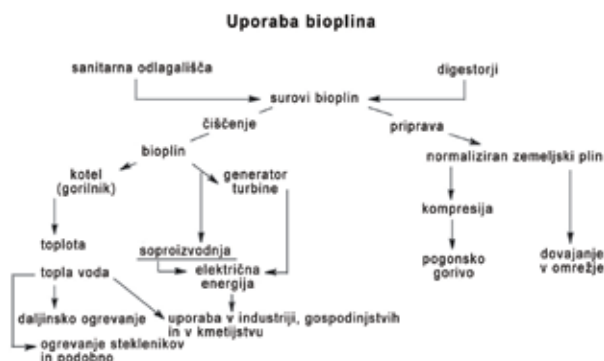
Slika 4.13. Plinaste emisije in izcedne vode, ki pronicajo v podtalnico resno ogrožajo okolje. Vir: Anonimen



Slika 4.14. Ano Liosia Landfill gas exploitation project, Athens, Greece

## 5 Uporaba bioplina

Energetska uporabnost bioplina je velika in je odvisna od narave vira in lokalnih potreb po določeni obliki energije. Navadno se bioplin uporablja za proizvodnjo toplote z neposrednim izgorevanjem, proizvodnjo električne energije z gorivnimi celicami ali mikroturbinami, kombinirano pridobivanje toplote in električne energije ali kot gorivo (slika 5.1.).



Slika 5.1. Pregled izrabe bioplina

### 5.1 Lastnosti bioplina

Lastnosti in sestava bioplina so različne glede na vrsto in sestavo surovine, sistem naprave, temperaturo, zadrževalni čas, prostornino tovora ter druge dejavnike. Vsebnost energije v bioplinu je kemično omejena v metanu. Povprečna kurilnost bioplina je okoli 21 MJ/Nm<sup>3</sup>, povprečna gostota 1,22 kg/Nm<sup>3</sup>, masa pa je podobna kot pri zraku (1,29 kg/Nm<sup>3</sup>). Povprečna sestava bioplina je prikazana v preglednici 5.1.

Preglednica 5.1. Sestava bioplina

Zmes	Kemijski simbol	Vsebnost (vol.-%)
metan	CH <sub>4</sub>	50-75
ogljikov dioksid	CO <sub>2</sub>	25-45
vodna para	H <sub>2</sub> O	2 (20 °C) -7 (40 °C)
kisik	O <sub>2</sub>	<2
dušik	N <sub>2</sub>	<2
amoniak	NH <sub>3</sub>	<1
vodik	H <sub>2</sub>	<1
vodikov sulfid	H <sub>2</sub> S	<1

Donos metana iz substratov je odvisen od vsebnosti proteinov, maščob in ogljikovih hidratov; prikazano v preglednici 5.2.

Preglednica 5.2. Teoretični donosi plina; Vir: H. Prašl, 2004

Substrat	Liter plina / kg SS	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
surovi proteini	700	70 - 71	29 - 30
surova maščoba	1.200 - 1.250	67 - 68	32 - 33
ogljikovi hidrati	790 - 800	50	50

Biokemična sestava različnih surovin je odločilna za njihov teoretičen donos metana. (preglednica 5.3).

Preglednica 5.3. Donos metana iz različnih surovin

Surovina	Donos metana [%]	Donos bioplina [m <sup>3</sup> /t svežega substrata]
goveja gnojevka	60	25
prašičja gnojevka	65	28
žitni ostanki iz destilacije z raztopljenimi delci	61	40
goveji gnoj	60	45
prašičji gnoj	60	60
perutninski gnoj	60	80
pesa	53	88
organski odpadki	61	100
sladkorni trs	54	108
krmna pesa	51	111
travna silaža	54	172
pšenična silaža	52	202

## 5.2 Neposredno izgorevanje in uporaba toplote

Najpreprostejši način izrabe bioplina je neposredno izgorevanje v kotlih ali gorilnikih. Tovrstna uporaba je razširjena v državah v razvoju za bioplin, proizveden v majhnih družinskih zbiralnikih.

Prav tako se neposredno izgorevanje uporablja tudi v razvitih območjih v gorilnikih na zemeljski plin. Bioplin lahko izgoreva na mestu proizvodnje toplote ali pa ga po plinovodu transportiramo do končnih uporabnikov. Za namene ogrevanja bioplin ne potrebuje nobene izboljšave, onesnaženost pa izrabe plina ne omejuje toliko, kot pri drugih vrstah uporabe. Kljub temu mora plin pred tem skozi proces kondenzacije, odstranitve delcev, stiskanja, ohlajanja ter dehidracije.

## 5.3 Soproizvodnja toplote in električne energije

Kombinirano pridobivanje toplote in električne energije z bioplinom velja za zelo učinkovito izrabo bioplina za proizvodnjo energije. Pred pretvorbo za kombinirano pridobivanje toplote in električne energije, bioplin osušimo. Za večino plinskih

motorjev veljajo omejitve največje dovoljene količine vodikovega sulfida, halogeniranih ogljikovodikov in siloksanov v bioplinu. Naprava za sproizvodnjo toplote in električne energije ima izkoristek do 90 % in proizvede približno 35 % električne energije ter 65 % toplote.

Najbolj običajna različica naprave za sproizvodnjo toplote in električne energije je motor z notranjim izgorevanjem, ki poganja generator. Generatorji imajo ponavadi konstantno vrtilno hitrost (1.500 rpm), da se ujemajo s frekvenco omrežja. Motorji so lahko plinski Ottovi, plinski dizelski ali plinski motorji s pilotnim vžigom. Oboji, plinski-dizelski in plinski Ottovi motorji, delujejo brez goriva za vžig. Razlika med navedenimi motorji je samo v tlaku. Zato bomo v nadaljevanju vse navedene motorje obravnavali kot plinske Ottove motorje. Drugi možni pogonski stroji so plinske mikroturbine, Stirlingov motor in gorivne celice, vendar so te tehnologije še vedno v razvoju ali na nivoju prototipov. Vse različice sproizvodnje toplote in električne energije so podrobneje opisane v naslednjih poglavjih.

Električno energijo, proizvedeno z bioplinom, lahko uporabimo kot pogonsko energijo za električne naprave kot so črpalke, nadzorni sistemi in mešalniki. V mnogih državah z visokimi tarifami za obnovljivo električno energijo, prodajo vso električno energijo v omrežje, nato pa električno energijo za svoje potrebe kupujejo iz istih državnih omrežij.

Pomembno pri energetski in ekonomski učinkovitosti bioplinske naprave je izkoriščanje proizvedene energije. Običajno se del toplote porabi za ogrevanje digestorjev (procesna toplota), približno dve tretjini vse proizvedene energije pa lahko uporabimo za zunanje potrebe. Mnoge bioplinske naprave, na primer v Nemčiji, so bile postavljene izključno za zadovoljevanje potreb po električni energiji, brez izkoriščanja toplote. Dandanes je za dobro ekonomičnost izkoriščanje toplote obvezno. Cene surovin (na primer pšenice) so narasle in za mnoge naprave samo prodaja električne energije za ekonomsko uspešnost ni dovolj. Novo postavljene bioplinske naprave morajo zato v načrtovanje vedno vključiti izkoriščanje toplote.

Toplota iz proizvodnje bioplina se lahko uporabi za industrijske procese, kmetijske dejavnosti ali ogrevanje zgradb. Najbolj ustrezen porabnik toplote je industrija, saj jo potrebuje stalno, čez celo leto. Pomemben dejavnik za industrijsko uporabo je kakovost toplote (temperatura). Še ena možnost uporabe toplote bioplina je ogrevanje zgradb in stanovanj (mikro omrežje ali sistem daljinskega ogrevanja). Vendar je tukaj potreba po energiji pozimi precej večja kot v poletnem času. Toploto iz proizvodnje bioplina lahko uporabimo tudi za sušenje pridelkov in žagovine ali za ločevanje presnovljenega substrata. Nenazadnje pa lahko toploto uporabimo tudi za kombinirane sisteme ogrevanja in hlajenja. Ta proces, znan iz domačega hladilnika, se uporablja za ohlajanje skladišč s hrano in klimatizacijo. Toplota je vložena energija, ki se pretvarja v hlad skozi proces absorpcije, pri čemer razlikujemo med adsorpcijskim in absorpcijskim hladilnim procesom. Prednost hlajenja z absorpcijo je majhna obraba zaradi majhnega števila mehanskih delov in majhna poraba energije v primerjavi s kompresijskimi napravami

za hlajenje. Uporabo sistema s kombinacijo ogrevanja in hlajenja v bioplinskih napravah trenutno še preizkušajo s številnimi pilotnimi projekti.

### 5.3.1 Plinski Ottovi motorji

Plinski Ottovi motorji so razviti posebej za uporabo bioplina po Ottovem principu. Da bi zmanjšali emisije ogljikovega monoksida, motorji delujejo s presežkom zraka oz. z revno gorivno zmesjo (ang. lean burn engines). To pripelje do manjše porabe plina in zmanjšane zmogljivosti motorja, kar pa se izravna z uporabo turbinskega polnilnika. Plinski Ottovi motorji zahtevajo minimalno vsebnost metana v bioplinu in ne delujejo, če vsebnost ne dosega 45 %. Manjši motorji, do 100 kW<sub>el</sub>, so navadno Ottovi motorji. Za višjo električno moč se uporabljajo prilagojeni dizelski agregati. Ti so opremljeni z vžigalnimi svečkami. Obe vrsti pa pa imenujemo »plinski Ottovi motorji«, saj njihovo osnovno delovanje temelji na Ottovem principu. Plinski Ottovi motorji (slika 5.2) delujejo na bioplin ali druge vrste plina, kot je na primer zemeljski plin. To je uporabno pri zagonu bioplinske naprave, ko toploto uporabljamo za ogrevanje digestorjev.



Slika 5.2. Plinska Ottova motorja. Vir: D. Rutz, 2007

### 5.3.2 Plinski motor s pilotnim vbrizgom

Motor s pilotnim vbrizgom (imenovan tudi motor na zemeljski plin s pilotnim vbrizgom, ang. PING ali motor na dvojno gorivo) temelji na principu dizelskega motorja. Ti motorji se pogosto uporabljajo pri traktorjih in visoko zmogljivih strojih. Bioplin se, skupaj kisikom za izogrevanje, zmeša v plinsko mešanico. Ta mešanica gre skozi sistem za vbrizg v zgorevalno komoro, kjer jo vžge vbrizgano vžigalno olje. Navadno delež avtomatsko vbrizganega in izgorelega vžigalnega olja znaša do 10 %. Motorji s pilotnim vbrizgom delujejo z visokim presežkom zraka.

V primeru prekinjene oskrbe z bioplinom lahko motorji s pilotnim vbrizgom brez težav delujejo tudi na čisto vžigalno olje ali dizelsko gorivo. Menjava bioplina z oljem ali dizelskim gorivom je lahko nujna med zagonom bioplinske naprave za proizvodnjo procesne toplote. Vžigalno olje je lahko fosilno dizelsko gorivo ali kurilno olje, vendar lahko uporabimo tudi obnovljiv metilester iz semen oljne repice (biodizel) ali rastlinsko olje. Prednost obnovljivih vžigalnih olj je, da ne vsebujejo žvepla in oddajajo manj ogljikovega monoksida. Poleg tega se biološko razgradijo, kar je pomembno v primeru puščanja in razlitja. Vendar pa moramo pri uporabi biogoriv upoštevati večjo obrabo

filtra, mašenja injektorjev in manjšo židkost rastlinskih olj. Še ena slabost je izpust dušikovega oksida. V vsakem primeru je pomembno upoštevati navodila proizvajalcev motorjev o predpisani kakovosti goriva.

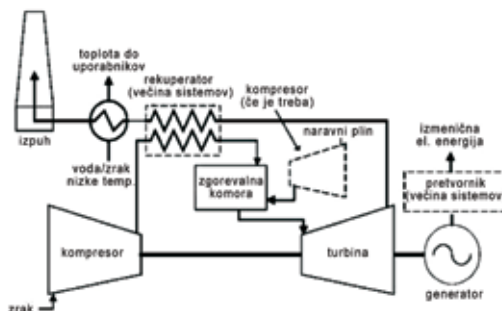
### 5.3.3 Stirlingov motor

Stirlingov motor deluje brez notranjega izgorevanja na principu spremembe prostornine plinov zaradi temperaturne spremembe. Ekspanzija ujetega plina premika bate motorja, do katere pride zaradi dovoda toplote iz zunanjega vira energije. Potrebno toploto lahko pridobivamo iz različnih virov energije. Na primer s pomočjo plinskega gorilnika, ki deluje na bioplin. Za pogon Stirlingovega motorja z bioplinom so potrebne manjše tehnične prilagoditve motorja. Zaradi zunanjega zgorevanja lahko uporabimo tudi bioplin z manjšo vsebnostjo metana.

Električni izkoristek znaša med 24 in 28 %, kar je nižje od učinkovitosti plinskih Ottovih motorjev. Moč Stirlingovega motorja je ponavadi nižja od 50 kW<sub>el</sub>. Temperature izpuha so med 250 in 300 °C. Zaradi majhne obrabe komponent Stirlingovega motorja, lahko pričakujemo nizke stroške vzdrževanja. Stirlingov motor je mogoče uporabiti v napravah SPT. Zaenkrat je uporaba bioplina za Stirlingov motor še v preizkusni fazi, raziskave pa potekajo predvsem v Avstriji in Nemčiji.

### 5.3.4 Bioplinske mikroturbine

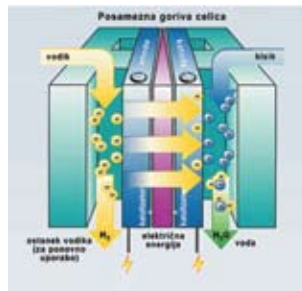
V bioplinskih mikroturbinah se zrak, zmešan s bioplinom, pod visokim tlakom potiska v zgorevalno komoro. Mešanica zraka in bioplina izgoreva in se zaradi visokih temperatur razširi. Vroče pline vodimo skozi turbino, ki je povezana z električnim generatorjem. Shema delovanja sistema z mikroturbino je prikazana na sliki 5.3. Običajne moči mikroturbin so manjše od 200 kW. Zaenkrat bioplinske mikroturbine še predrage, da bi bile ekonomsko konkurenčne, vendar se izvajajo poizkusi z bioplinom, in dolgoročno je pričakovati znižanje cen.



Slika 5.3. Sestava mikroturbine. Vir: [www.energysolutionscenter.org](http://www.energysolutionscenter.org)

### 5.3.5 Gorivne celice

Gorivne celice so elektrokemične naprave, ki pretvarjajo kemično energijo reakcije neposredno v električno energijo. Osnovno fizično strukturo gorivne celice sestavlja plast elektrolitov, v stiku s porozno anodo in katodo na vsaki strani. Shematična predstavitev gorivne celice je prikazana na sliki 5.4. V tipični gorivni celici se plinasta goriva (bioplin) konstantno dovajajo anodi (pozitivna elektroda), oksidant (na primer kisik iz zraka) pa katodi (negativna elektroda). Na elektrodah se odvije elektrokemična reakcija, ki proizvaja električni tok.



Slika 5.4. Poenostavljena shema gorivne celice. Vir: *Emerging Environmental Issues*, 2005

Različne tipe gorivnih celic poimenujemo glede na vrsto uporabljenega elektrolita in so lahko nizko (AFC, polimerska elektrolitna membrana), srednje (gorivna celica fosforne kisline) ali visoko temperaturne (gorivna celica stopljenega karbonata, gorivna celica trdnega oksida). Izbira gorivne celice je odvisna od plina, ki ga uporabimo in od izrabe toplote. Gorivno celico s polimersko elektrolitno membrano lahko uporabimo za bioplin. Zaradi delovne temperature 80 °C, lahko toploto dovajamo neposredno v omrežje s toplo vodo. Tip uporabljenega elektrolita vpliva na življenjsko dobo polimerske elektrolitne membrane, ki je zelo občutljiva na nečistoče v plinu, vključno z ogljikovim dioksidom. Iz tega razloga je v čiščenje plina vložena veliko truda.

Najbolj izpopolnjena gorivna celica je gorivna celica fosforne kisline, ki se z zemeljskim plinom pogosto uporablja po vsem svetu. V nasprotju z drugimi gorivnimi celicami je njena električna učinkovitost nizka. Vendar je gorivna celica fosforne kisline manj občutljiva na prisotnost ogljikovega oksida in ogljikovega monoksida v plinu.

Gorivna celica stopljenega karbonata se upravlja kot elektrolit, s tokom tekočega ogljika, je neobčutljiva na ogljikov monoksid in dopušča koncentracije ogljikovega dioksida do 40 % vsebnosti glede na prostornino. Zaradi delovne temperature od 600 do 700 °C, se lahko pretvorba metana v vodik odvija znotraj celice. Njeno razpršeno toploto lahko na primer uporabimo v niže postavljeni turbini za proizvodnjo električne energije.



Slika 5.5. Prva gorivna celica stopljenega karbonata za bioplin na svetu deluje v Nemčiji. Vir: D. Rutz, 2007

Še ena visokotemperaturna gorivna celica je gorivna celica trdnega oksida. Deluje pri temperaturah med 750 in 1000 °C. Gorivna celica trdnega oksida ima visoko električno učinkovitost, zato se preoblikovanje metana v vodik lahko odvija znotraj celice. Zaradi nizke občutljivosti na žveplo je primerna za uporabo bioplina.

Stroški investicije za vse bioplinske gorivne celice so zelo visoki (12.000 €/kW), kar je mnogo več kot za motor v SPTE. Gorivne celice zato na tržišču še niso dostopne.

#### 5.4 Proizvodnja biometana (izboljšava bioplina)

Kadar bioplin uporabljamo za dovajanje v plinovod z zemeljskim plinom ali kot pogonsko gorivo za vozila, moramo odstraniti tako vse nečistoče kot tudi ogljikov oksid ter zvišati vsebnost metana. Proces imenujemo izboljšava bioplina do kakovosti biometana. Koncentracija metana v bioplinu, ki navadno znaša med 50 in 70 %, se z izboljševanjem poveča na več kot 95 %.

Na voljo je več tehnologij za odstranjevanje nečistoč iz bioplina in izboljševanje le-tega v pogonsko gorivo za vozila ali do kakovosti zemeljskega plina.

Da bi dosegli zahtevan Wobbejev indeks plina, je treba odstraniti ogljikov dioksid. Pri odstranjevanju ogljikovega dioksida iz bioplina izgubimo tudi manjše količine metana. Tako iz ekonomskih kot tudi okoljevarstvenih razlogov je pomembno, da so te izgube čim manjše, saj je metan toplogredni plin, 21-krat močnejši od CO<sub>2</sub>. Obstajajo različne komercialne metode zmanjševanje vsebnosti ogljikovega dioksida. Najbolj običajni sta proces absorpcije (topljenje v vodi ali z organskim topilom) in adsorpcija pod tlakom (ang. pressure swing adsorption, PSA). Druge, manj pogoste tehnike, so ločevanje in kriogeno ločevanje. Dokaj nova metoda, trenutno še v razvoju, je tudi interno procesno izboljševanje.



Slika 5.6. Izboljšava bioplina v biometan po metodi PSA (levo) in povezava s plinovodom z zemeljskim plinom (desno) v biometanski napravi v Plieningu, v Nemčiji. Vir: D. Rutz, 2007

Skupna cena za čiščenje in izboljšavo bioplina zajema tako investicijo kot tudi delovanje naprave in vzdrževanja opreme. Pri proizvodnji bioplina s kakovostjo pogonskega goriva za vozila ali za dovajanje v plinovod, predstavlja odstranjevanje ogljikovega dioksida najdražji del obdelave.

Stroški investicije za napravo za izboljšanje v pogonsko gorivo so odvisni od več dejavnikov. Pomembna je velikost naprave (stroški investicije se povečajo z velikostjo naprave), vendar je investicija na enoto inštalirane zmogljivosti pri velikih napravah nižja v primerjavi z manjšimi. Običajna investicija v napravo, ki je zmožna obdelati 300 Nm<sup>3</sup> bioplina na uro, znaša okoli milijon evrov.

Glavni stroški delovanja take naprave so: električna energija, stroški osebja ter porabe vode ali kemikalij in vzdrževanja, ki pa so odvisni od izbrane tehnike. Običajno stroški delovanja naprave, ki obdela 200 Nm<sup>3</sup> bioplina/uro, znašajo 1,5 evro centa na kWh.

#### 5.4.1 Bioplin kot gorivo za vozila

Izkoriščanje biometana za prevoz predstavlja tehnologijo z velikim potencialom in pomembnimi družbenoekonomskimi koristmi. Bioplin se v nekaterih državah že uporablja kot gorivo. Na primer na Švedskem, v Nemčiji in Švici.

Število osebnih vozil, javnih prevoznih sredstev in tovornjakov, ki jih poganja plin, se znatno povečuje. Biometan se lahko uporablja kot gorivo na enak način in za enaka vozila kot zemeljski plin. Vedno več evropskih mest zamenjuje dizelske avtobuse s takimi, ki jih poganja biometan.

Večina osebnih vozil na plin je prirejenih vozil, ki jim, poleg sistema za fosilno gorivo, naknadno vgradijo rezervoar (običajno v prtljažnik) za stisnjen plin z dozirnim sistemom.

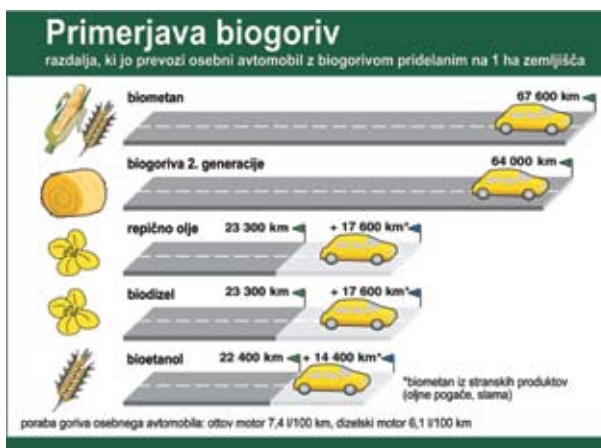
Vozila, posebej namenjena rabi plina, so optimirana za večjo učinkovitost in imajo bolj prikladen razporeditev plinskih cilindrov, brez izgube prtljažnega prostora. Plin je shranjen pri 200 do 250 barih, v posodah narejenih iz jekla ali aluminijeve zlitine. Več

kot 50 proizvajalcev po vsem svetu ponuja okoli 250 modelov vozil za osebno rabo in javni prevoz ter tovornih vozil.

Tovorna in strojna vozila lahko priredimo, da delujejo samo na metan, v nekaterih primerih pa lahko uporabimo tudi motorje, ki delujejo na dve različni gorivi. Motor na dvojno gorivo uporablja dizelski sistem za vbrizg in plin, ki se vžge z vbrizgom majhne količine dizelskega goriva. Motorji na dvojno gorivo potrebujejo manj razvoja in ponujajo enako voznost kot dizelska vozila, vendar vrednosti emisij niso tako ugodne kot pri primerljivih vozilih na plin, tehnologija motorja pa ostaja kompromis med vžigom z iskro in dizelskim motorjem.

Vozila na biometan imajo kar nekaj prednosti pred vozili z bencinskimi ali dizelskimi motorji. Celotne emisije ogljikovega dioksida se drastično zmanjšajo – odvisno, seveda, od uporabljenega substrata in tega, kako je proizvedena elektrika uporabljena za izboljšavo ter stiskanje plina. Močno se zmanjšajo tudi emisije delcev in saj in to tudi v primerjavi z modernimi dizelskimi motorji, opremljenimi s filtri za delce. Prav tako se bistveno zmanjšajo emisije NO<sub>x</sub> in nemetanskih ogljikovodikov.

Slika 5.7 prikazuje primerjavo različnih biogoriv za prevoz in razdaljo, ki jo osebni avtomobil opravi z biogorivom, pridelanim iz surovin na enem hektarju rodovitne zemlje v Nemčiji. Ogromen potencial biometana v sektorju prevoza, ki ga poudarja ta slika, je še večji, če kot surovino, namesto energetskih pridelkov, uporabimo odpadke.



Slika 5.7. Primerjava biogoriv: razdalja, ki jo osebni avtomobil opravi z biogorivom, pridelanim iz surovine, pridelane na površini enega hektarja. Vir: FNR, Germany

#### 5.4.2 Biometan za dovajanje v plinovod

Izboljšan bioplin (biometan) lahko dovajamo in distribuiramo prek omrežja za zemeljski plin, potem, ko je bil pod pritiskom stisnjen in pripravljen za dovajanje v plinovod. Po pravilih EU je dostop do plinovoda zagotovljen vsem oskrbovalcem z bioplinom

(Smernice za odprtje plinovoda za bioplin in plin iz biomase: Evropski parlament; 13. 03. 2001).

Obstaja več prednosti uporabe plinovoda za distribucijo biometana. Pomembna prednost je ta, da plinovod povezuje mesto proizvodnje biometana, ki je navadno na podeželju, z gosteje poseljenimi področji, kar omogoča dobavo plina novim strankam. Tako je proizvodnjo bioplina na oddaljeni lokaciji mogoče povečati, brez skrbi glede koriščenja presežka toplote.

Švedska, Švica, Nemčija in Francija, imajo standarde (sistemi overitev) za dovajanje bioplina v plinovod z zemeljskim plinom. Standardi, ki določajo omejitve za sestavine kot so žveplo, kisik, delci in rosišče, imajo nalogo preprečevanja onesnaženja plinovoda in končne uporabe. Wobbejev indeks je bil postavljen, da bi se izognili vplivu na meritve plina in končne uporabe. V nekaterih primerih je deponijski plin težko izboljšati do sprejemljive kakovosti zaradi njegove visoke vsebnosti dušika.

Izboljšan bioplin se lahko uporablja v napravah SPTE, postavljenih ločeno od same bioplinске naprave in blizu porabnikov toplote. To poveča izkoristek energije, saj ni izgub toplote.

Za dovajanje v plinovod potrebuje bioplinška naprava le majhno enoto SPTE za potrebno procesno energijo ali bioplinški gorilnik.

Bioplinške naprave za dovod v plinovod z zemeljskim plinom delujejo na Švedskem, v Nemčiji, Avstriji, Nizozemski, Švici in Franciji. Glavne ovire za dovajanje biometana so visoki stroški za izboljšavo in povezavo s plinovodom. Dovajanje v plinovod je omejeno z lokacijo proizvodnje primerne biometana in naprav za izboljšavo, ki morajo biti blizu plinovoda z zemeljskim plinom.

## 5.5 Proizvodnja ogljikovega dioksida in metana kot kemičnih proizvodov

Proizvodnja čistega metana in ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) iz bioplina je lahko uspešna alternativa proizvodnji metana in ogljikovega dioksida iz fosilnih virov. Obe sestavini sta pomembni za kemično industrijo. Čisti CO<sub>2</sub> se uporablja za proizvodnjo polikarbonatov, suhega ledu ali za obdelovanje površin (peskanje s CO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> iz bioplina se lahko uporablja tudi v kmetijstvu, kot gnojilo v toplih gredah.

## 6 Uporaba presnovljenega substrata

Kmetijska proizvodnja bioplina je sestavni del sodobnega, celostnega kmetijstva, ki poleg ekonomskih koristi upošteva tudi socioekonomske in okoljske koristi kmetijskih dejavnosti. Kmetijska proizvodnja bioplina prinaša vrsto kmetijskih, ekonomskih in okoljskih prednosti. Ekološki kmetovalci, ki jih je anaerobna digestija zanimala, ne samo zaradi proizvodnje obnovljive energije, ampak tudi kot način za izboljšanje naravnih gnojil, so zato po naftni krizi postali gonilna sila razvoja na področju bioplina v Evropi.

## 6.1 Uporaba anaerobne digestije pri intenzivni živinoreji

Posledica živinoreje je proizvodnja velikih količin gnoja in gnojevke. Živinorejske kmetije pogosto nimajo na voljo dovolj poljedelskih površin, da bi vse izločke optimalno izrabili kot gnojilo. Odvečne količine živinskega gnoja zahtevajo ustrezne ukrepe, da bi preprečili resne posledice prekomerne pognojitve z živinskim gnojem. Pri tem mislimo na:

- onesnaževanje podtalnice ter površinskih voda z izcejanjem,
- poškodovanje sestave in mikrobioloških lastnosti tal,
- poškodovanje določenega travniškega rastlinja in razrast tipičnega "gnojenega rastlinja",
- povečano tveganje emisij metana in amoniaka,
- neprijetne vonjave in mrčes, zaradi zbiranja in uporabe gnoja,
- povečano tveganje okužb in širjenja patogenov.

Anaerobna razgradnja živinskega gnoja in gnojevke lahko predstavlja rešitev za našete primere, saj omogoča okolju prijazno kmetovanje.

## 6.2 Od surovega gnoja do presnovljenega substrata za gnojilo

### 6.2.1 Biološko razkrajanje organskih snovi

Rezultat obdelave živinskega gnoja v bioplinskih napravah je biološko razkrajanje organskih snovi v anorganske zmesi in metan. V praksi znaša odstotek anaerobnega razkroja organskih snovi okoli 40 % pri govejem gnoju in 65 % pri prašičjem. Odstotek razkroja je močno odvisen od vrste uporabljenega vhodnega substrata (preglednica 6.1), zadrževalnega časa in obdelovalne temperature. Zaradi razkroja organskih snovi, je presnovljeni substrat enostavneje črpati in uporabiti kot gnojilo, zmanjšana pa je tudi potreba po mešanju v primerjavi z neobdelanim hlevskim gnojem.

*Preglednica 6.1. Vsebnost hranil presnovljenega substrata v primerjavi govejim in prašičjim gnojem*

	Suha snov (%)	Skupaj N (kg/ton)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)	pH
goveja gnojevka	6,0	5,0	2,8	0,8	3,5	6,5
prašičja gnojevka	4,0	5,0	3,8	1,0	2,0	7,0
presnovljen substrat	2,8	5,0	4,0	0,9	2,8	7,5

### 6.2.2 Zmanjšanje neprijetnih vonjav

Ena izmed opaznih pozitivnih sprememb, ki jih prinaša anaerobna digestija gnoja, je znatno zmanjšanje sestavin, ki oddajajo neprijetne vonjave (hlapne kisline, fenol in derivati fenola).

Izkušnje kažejo, da lahko z AD neprijetne vonjave zmanjšamo do 80 %. Ne gre samo za zmanjšanje intenzivnosti in trajnosti neprijetnih vonjav (slika 6.1), ampak se pozitivno spremeni tudi njihova sestava, saj presnovljeni substrat ne ohrani vonja po gnoju, temveč je njegov vonj bolj podoben amoniaku. Tudi, če je presnovljeni material shranjen dlje časa, ne pride do povečanja emisij neprijetnih vonjav. Slika 6.1 prikazuje, kako 12 ur po uporabi presnovljenega substrata vonj že skoraj popolnoma izgine.



Slika 6.1. Območje vpliva in trajnost onesnaženja z neprijetnimi vonjavami po uporabi presnovljenega substrata in neobdelanega gnoja na polju čez katerega piha severozahodnik.

Vir: Birkmose, 2002

### 6.2.3 Higienizacija

S procesom anaerobne razgradnje lahko onesposobimo viruse, bakterije in parazite v uporabljenih substratih. Temu navadno pravimo higienizacija. Učinkovitost le-te pri anaerobni razgradnji je odvisna od trajanja presnove substrata, obdelovalne temperature, tehnike mešanja in vrste digestorja. Najboljši učinek dosežemo pri termofilnih temperaturah (50–55 °C), na primer v saržnem reaktorju ob primernem trajanju procesa. V takem digestorju ne prihaja do mešanja presnovljenega materiala s svežim substratom, kar omogoča uničenje do 99 % patogenov.

Da bi z veterinarskega stališča zagotovili varno recikliranje presnovljenega substrata v gnojilo, evropska zakonodaja pri uporabi snovi živinskega izvora zahteva določene higienizacijske ukrepe. Preden substrat naložimo v digestor je, odvisno od vrste substrata, potrebna higienizacija s pasterizacijo ali sterilizacija pod tlakom. Bolj podrobno je higienizacija opisana v poglavju 7.2.

### 6.2.4 Uničenje semen plevela

Med procesom anaerobne digestije pride do znatnega zmanjšanja zmožnosti kalitve semen plevela. Na ta način proizvodnja bioplina pripomore k ekološkemu zmanjševanju plevela. Izkušnje kažejo, da se pri večini semen plevela zmanjša zmožnost kalitve po 10-16 dneh zadrževalnega časa, pri tem so razlike med različnimi vrstami semen. Podobno kot pri higienizaciji, se učinek poveča z daljšim zadrževalnim časom in povišanjem temperature.

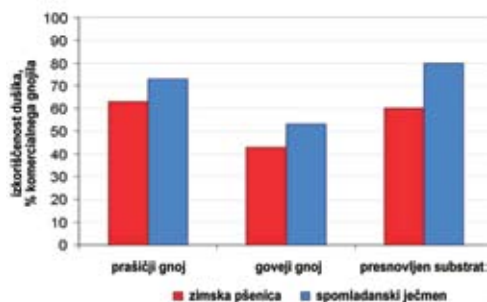
### 6.2.5 Izogibanje poškodb rastlin

Uporaba svežega gnoja za pognojitev lahko povzroči poškodbe na listih rastlin, kar je posledica maščobnih kislin z majhno gostoto, kot je očetna kislina. Kadar za gnojilo uporabimo presnovljen substrat, se tem poškodbam izognemo, saj se v procesu AD večina maščobnih kislin razgradi. Presnovljen substrat lažje odteče z rastlin v primerjavi s svežim gnojem, kar skrajša čas neposrednega stika med presnovljenim substratom in površinskim delom rastlin, s tem pa je tveganje za poškodbe listov manjše.

### 6.2.6 Izboljšava gnojila

Skozi proces anaerobne razgradnje se večina organsko vezanih hranil, še posebej dušik, mineralizira in postane rastlinam lahko dostopna. Slika 6.2 prikazuje izkoriščenost dušika iz presnovljenega substrata uporabljenega za zimsko pšenico in spomladanski ječmen, v primerjavi z izkoriščenostjo dušika iz neobdelanega gnoja. Zaradi povečane razpoložljivosti dušika, lahko presnovljeni substrat vključimo v gnojilni načrt kmetije, saj je mogoče njegove učinke izračunati enako kot za mineralna gnojila.

Presnovljeni substrat ima nižje razmerje C/N v primerjavi s svežim gnojem. To pomeni, da ima presnovljeni substrat boljši kratkoročni dušikov hranilni učinek. Kadar je vrednost razmerja C/N previsoka, se mikroorganizmi zadržijo v zemlji, saj se s koreninami rastlin uspešno borijo za razpoložljiv dušik.



Slika 6.2. Izkoriščenost dušika iz presnovljenega gnoja v primerjavi z neobdelanim gnojem prašičev in goveda. Vir: Birkmose, 2002

## 6.3 Uporaba presnovljenega substrata za gnojilo

Presnovljeni substrat je v primerjavi s svežim gnojem homogenejši in ima izboljšano razmerje N/P. Vsebnost rastlinskih hranil v njem je poznana, kar omogoča njegovo natančno odmerjanje in vključevanje v gnojilni načrt. Presnovljeni substrat vsebuje več anorganskega dušika, ki je rastlinam lažje dostopen, kot neobdelan hlevski gnoj. Če za gnojenje uporabimo presnovljeni substrat v skladu z načeli dobrega kmetovanja, se učinek dušika znatno poveča, zmanjša pa se izguba hranil z izcejanjem in izhlapevanjem.

Za optimalno izrabo presnovljenega substrata kot gnojila, veljajo praktično vse zahteve, kot pri uporabi neobdelanega hlevskega gnoja:

- zadostna kapaciteta skladiščenja (minimalno 6 mesecev),
- omejena sezona uporabe gnojila (med rastjo),
- količina gnojila na hektar zemlje (glede na gnojilni načrt),
- tehnika uporabe (takojšnja vključitev in minimalne izgube hranil).

Zaradi večje homogenosti in boljše tekočnosti se presnovljeni substrat hitreje vpije v tla kot svež hlevski gnoj. Vendar pa se pri uporabi presnovljenega substrata za gnojilo pojavlja tveganje za izgube dušika z emisijami amoniaka in izpiranjem nitratov. Da bi tveganje zmanjšali, je potrebno upoštevati nekaj preprostih pravil dobrega kmetovanja:

- Izogibati se je potrebno odvečnemu mešanju presnovljenega substrata pred uporabo.
- Presnovljen substrat iz končnega zalogovnika se mora pred nanosom ohladiti.
- Nanos s pomočjo vlečnih cevi, neposreden vbrizg v tla ali uporaba razpršilne plošče/disk injektorjev.
- Takojšen vnos v tla pri površinskem nanosu.
- Nanos na začetku sezone rasti ali med sezono rasti.
- Nanos za zimski pridelek je potrebno pričeti pri 1/3 končnih potreb po dušiku.
- Optimalne vremenske razmere za nanos presnovljenega substrata so: dež, visoka vlaga in brez vetra. Suho, sončno in vetrovno vreme znatno zmanjšuje učinkovitost dušika.

Izkušnje kažejo, da je v Evropi najboljši čas za nanos presnovljenega substrata v času hitre rasti. Nanos površinskega gnojila prinaša manj skrbi za odtekanje dušika v obliki nitratov v podtalnico, saj večji delež takoj absorbirajo rastline. Danske izkušnje kažejo, da se z nanosom presnovljenega substrata v obliki površinskega gnojila, delež gnojila absorbira celo skozi liste.

## 6.4 Vpliv nanosa presnovljenega substrata na tla

Razgradnja organske snovi med procesom AD vključuje tudi razpad ogljikovih vezi organskih kislin, prav tako pa tudi jedkih substanc in substanc z neprijetnim vonjem. Zato presnovljeni substrat povzroči manjši stres in ustvari bolj primerno okolje za organizme v tleh v primerjavi s hlevskim gnojem. Neposredne meritve biološke potrebe po kisiku presnovljenega govejega in prašičjega gnoja (BPK), so pokazale, da so te potrebe desetkrat nižje kot pri neobdelanem gnoju. Z manjšo porabo kisika se zmanjša tudi težnja oblikovanja anoksičnih con v tleh, to so področja brez kisika bogata z dušikom. Sposobnost obnavljanja prsti in reprodukcije humusa je z dovajanjem organske snovi večja kot pri gnojenju s svežim gnojem.

## Smernice dobre prakse

### za zmanjšanje izhlapevanja amoniaka med skladiščenjem in nanosom presnovljenega substrata

- V končnih zalogovnikih presnovljenega substrata uporabljajte stalen pokrov ali dobro osnovano skorjasto plavajočo plast.
- Presnovljeni substrat je vedno potrebno črpati z dna zalogovnika, da se izognemo odvečnemu mešanju; vsebino zalogovnikov je potrebno premešati samo neposredno pred nanosom presnovljenega substrata.
- Zalogovniki naj bodo v senci in zaščiteni pred vetrom.
- Večini emisij se lahko izognemo, če presnovljeni substrat vbrizgamo neposredno v tla.
- Za nanos presnovljenega substrata so bolj primerne vlečne cevi kot trosilniki; ti povečajo emisije amoniaka in razširijo neželene aerosole čez širša področja.
- Optimalne vremenske razmere za nanos presnovljenega substrata so: hladno, vlažno in brezvetrje.
- Dodajanje kislin presnovljenemu substratu pred nanosom znižuje njegovo vrednost pH in s tem težnjo po izhlapevanju amoniaka



Slika 6.3. Vozila za nanos presnovljenega substrata kot gnojilo, ki uporabljajo vlečne dragging cevi. Vir: Agrinz, 2008

V primerjavi s kompostom in neobdelanim gnojem presnovljeni substrat zagotavlja več ogljika, ki je na voljo za reprodukcijo organskih substanc v tleh. Med anaerobno razgradnjo razpadejo organske vezi, kot so celuloza in maščobne kisline; vezi lignina, ki so pomembne za nastajanje humusa, pa ostanejo. Bakterije v metanu same proizvajajo številne aminokisline, ki so na voljo rastlinam in ostalim živim organizmom v tleh. Nemške študije o uporabi presnovljenega prašičjega gnoja, kažejo na povečanje indeksa proizvodnje humusa z 0,82 na 1,04.

## 6.5 Izkušnje iz prakse

Čeprav med znanstveniki obstajajo različna mnenja o učinkih uporabe presnovljenega substrata za gnojenje, še posebej glede dušika, so izkušnje in rezultati v praksi nedvoumni. Za kmete, ki uporabljajo presnovljeni substrat iz svojega gnoja, pomeni to znatno izboljšavo kakovosti gnojila. Konvencionalni kmetje, z vključevanjem presnovljenega substrata v gnojilni načrt, opažajo manjšo uporabo kemičnih pripravkov in zmanjšano nabavo kemičnih gnojil.

Na poljih že kmalu po nanosu presnovljenega substrata opažajo srnjad in zajce, prav tako so se na teh poljih kmalu po nanosu pripravljene pasti krave, kar nakazuje manjšo izgubo okusnosti rastlin v primerjavi z nanosom hlevskega gnoja.

S tem ko proces AD uniči večino semen plevla v živinskem gnoju, se krog širjenja plevla prekine in tako se zmanjša količina plevla na poljih pogojenih s predelanim gnojem. Kmetje, ki so dlje časa uporabljali presnovljeni substrat, so na svojih poljih opazili rast večjega števila koristnih travniških rastlin.

Organski kmetovalci, ki AD uporabljajo za obdelavo gnoja in organskih odpadkov, poročajo o povečani mikrobiološki aktivnosti v zemlji, bolj zdravih rastlinah, o povečani žetvi slame in sena kot tudi o višji kakovosti pridelka. Cilj organskega kmetovanja je zmanjšanje kakršnihkoli zunanjih dodatkov. Z anaerobno razgradnjo pa na kmetiji ne dobimo samo kakovostnejšega gnojila, pač tudi lastno proizvodnjo obnovljive energije v obliki toplote in električne energije.

## 6.6 Kondicioniranje presnovljenega substrata

Presnovljeni substrat ima visoko vsebnost vode in posledično veliko prostornino. Namen kondicioniranja presnovljenega substrata je zmanjšanje volumna in koncentriranje hranil. To je še posebej pomembno v primeru, ko je presnovljeni substrat potrebno prepeljati z območja s presežkom hranil iz živinskega gnoja in pomanjkanjem zemljišč za njegovo uporabo. Presežek hranil je do drugih območij potrebno prepeljati na ekonomičen ter učinkovit način. S kondicioniranjem presnovljenega substrata želimo znižati stroške prevoza, pa tudi zmanjšanje emisij in vonjav.

### 6.6.1 Strategije zgoščevanja/ kondicioniranja presnovljenega substrata

Presnovljeni substrat je mogoče delno ali v celoti kondicionirati. Učinkovitost presnavljanja poljedelskih rastlin za bioplin je 50-60 % (Angelidaki, 2004). To pomeni, da presnovljeni substrat vsebuje 40-50 % prvotne organske suhe snovi, predvsem v obliki vlaken.

Delno kondicioniranje pomeni ločitev trde snovi (vlakn) iz presnovljenega substrata, z uporabo vijačnih ločevalnikov ali dekantatorjev. Prvotno je bilo delno kondicioniranje z ločevanjem vlaken uporabljano za pridobivanje komercialnega komposta. Sledili so obsežnejši poskusi, kjer so ločeni del z vlakni z vsebnostjo suhe snovi nad 45 %, uporabili kot nadomestno gorivo za kotle na lesne sekance in tako z dodatno proizvodnjo toplote do 15 % izboljšali skupno energetsko učinkovitost (Angelidaki, 2004). Stranska korist, ki pa danes očitno pripomore k izvedljivosti celotnega postopka ločevanja, je odstranitev in izvoz odvečnega fosforja, ki se drži predvsem vlakninske frakcije. Delno kondicioniranje z ločevanjem s pomočjo dekantatorja (preglednica 6.2 in slika 6.4) je zato primerno v situacijah, ko dobimo presežek fosforja. Del z vlakni lahko izločimo, preostali tekoči del, ki vsebuje glavni delež dušika, pa uporabimo kot gnojilo. Rezultati raziskav kažejo, da se

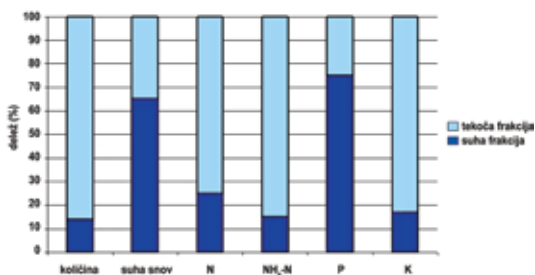
vsebnost suhe snovi in metanski potencial substrata izboljšata, če ločeni vlakninski del zmešamo z ostalimi stranskimi substrati in ga ponovno damo v digestor.

*Preglednica 6.2. Deli ločeni s pomočjo dekantacijske centrifuge. Vir: Al Seadi and Moeller, 2003*

	Količine (%)	SS (%)	N (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	P (%)	K (%)
surov hlevski gnoj	100	100 (6,4 %)	100 (5,7 %)	100 (4,2 %)	100 (1,6 %)	100 (2,6 %)
trdni del	14	100 (30 %)	100 (10,1 %)	100 (4,5 %)	100 (8,7 %)	100 (3,1 %)
tekoči del	86	100 (2,6 %)	100 (4,9 %)	100 (4,2 %)	100 (0,5 %)	100 (2,5 %)

S popolnim kondicioniranjem presnovljeni substrat ločimo na tri prečiščene končne proizvode: čisto vodo, koncentrirana hranila in organska vlakna. Vsa hranila (dušik, fosfor in kalij) ter organske zmesi so v majhnih količinah in koncentrirani obliki ločeni od glavnega toka. Preostalo prečiščeno vodo lahko odvedemo v vodotoke ali pa jo uporabimo kot procesno oziroma tehnološko vodo. Popolno kondicioniranje je še posebej primerno za kmetijska področja s presežkom dušika.

V obeh primerih (delnem ali popolnem kondicioniranju) prvi korak pomeni ločevanje tekočih in vlakninskih frakcij, s katerim razdelimo presnovljeni substrat na koncentrirani trdni del, obogaten z ogljikom in fosforjem, ter na z dušikom bogati tekoči del. Odvisno od oblike naprave in vrste kondicioniranja popolno kondicioniranje nadalje skoncentrira ali loči hranila NPK. Večina procesov zajema tehnologije ločevanja z membrano, absorpcijo ali desorpcijo (striping) amoniaka ter izhlapevanje ali biološko obdelavo.



*Slika 6.4. Porazdelitev suhe snovi in hranil v ločenih delih iz dekantacijske centrifuge. Vir: AL SEADI in MOELLER 2003*

Za ločevanje vlaken od tekoče frakcije uporabljamo ločevalnike ali spiralna sita, dekantatorje in občasno preše s tračnimi siti (slika 6.5). 15-20 % trdih delcev ločijo spiralna sita ter več kot 60 % dekantacijske centrifuge. Večino dušika (do 90 %) se izloči s tekočo frakcijo, medtem ko se fosfor odstrani le delno, saj je vezan na vlaknasti del/delčke trde snovi.

V postopku popolnega kondicioniranja (vključno z izločevanjem vode) se uporabljata dve glavni tehnologiji: tehnologija ločevanja z membrano ali tehnika izhlapevanja. Obe sta tehnološko kompleksni in zahtevata znatno porabo energije. Zato so ekonomične le za bioplinске naprave z zmogljivostjo nad 700 kW.



Slika 6.5. Zabojsnik za zbiranje vlaken z vijačnim transporterjem. Vir: Angelidaki, 2004

### **Tehnologija ločevanja z membrano**

Membrana je filter z zelo drobnimi luknjicami, ki lahko iz večine tekočin loči delce in raztopine na nivoju molekul. Izbira med mikro-, ultra-, nanofiltracijo ali obratno osmozo je odvisna od velikosti delcev, ki jih želimo ločiti. Postopek temelji na tlačni razliki na obeh straneh membrane, na primer vode, kot tudi zelo majhnih delcev, ki pod pritiskom prehajajo skozi membrano. Da dosežemo želeno separacijo pogosto več korakov kondicioniranja povežemo v zaporedja. Na primer, večje delce odstranimo iz dekantacijskega filtrata z ultrafiltracijo, nato, v drugem koraku, z obratno osmozo odstranimo topne delce. Z ločevanjem z membrano pridobimo, poleg prečiščene vode, tudi koncentrat bogat s hranili, ki ga lahko prodamo neposredno kot tekoče gnojilo, ali pa ga, z namenom zmanjšanja volumna, dodatno obdelamo s postopkom izhlapevanja.

### **Izhlapevanje**

Z izhlapevanjem se tekočina dodatno prečisti in loči na hranila ter prečiščeno vodo. Postopek izhlapevanja zahteva veliko porabo energije. Večinoma se v enotah za izhlapevanje porabi presežek toplote iz SPTE, s čimer izboljšamo učinkovitost rabe energije ter prispevamo k financiranju dela obratovalnih stroškov enote za kondicioniranje.

Ključne pri izbiri tehnologije izhlapevanja so lastnosti obdelanega substrata. V primeru presnovljenega substrata je možno uporabiti napravo za izhlapevanje z zaprto cirkulacijo, kjer se prenos toplote in proces izhlapevanja odvijata ločeno. To zagotavlja stabilnejši proces, še posebej v primeru, ko substrat teži k tvorjenju plasti.

### **6.6.2 Potreben razmislek**

Da bi lahko pri tehnologijah z membrano ali za proizvodnjo toplote, ki je nujna pri procesu izhlapevanja, ustvarili potreben tlak, tehnologije kondicioniranja (posebno popolnega kondicioniranja) zahtevajo veliko porabo energije. Pri uporabi tehnologije z membrano je za popolno kondicioniranje presnovljenega substrata potrebne do 50

% električne energije proizvedene z bioplinom. Delno kondicioniranje zahteva manj energije, je cenejše in je v področjih s presežkom fosforja najbolj ekonomična izbira kondicioniranja.

V vsakem primeru je izbor tehnologije kondicioniranja odvisen od kemičnih in fizikalnih lastnosti presnovljenega substrata, torej od težnje po nastajanju plasti. Če želimo doseči popolno kondicioniranje, je pomembno, da se z dokončnim ločevanjem tekočine in vlaken odstrani večina presnovljene suhe snovi, slediti mora ultrafiltracija (< 0,2 mm), tako da preostali tekoči delež dosega skoraj kakovost pitne vode. Če ločeni deleži ne dosegajo potrebnega nivoja čistosti, ali, če izbrane membrane ter postopki niso primerni za presnovljeni substrat, se lahko stroški za energijo, delo, vzdrževanje in čiščenje sistema znatno povišajo.

## **6.7 Upravljanje kakovosti presnovljenega substrata**

### **6.7.1 Izbira presnovljenega substrata, analiza in deklaracija proizvoda**

Presnovljeni substrat, ki ga recikliramo in uporabimo kot gnojilo v poljedelstvu, je potrebno vključiti v gnojilni načrt, kar zahteva natančno odmerjanje. To omogoča kemična analiza substrata, ki ga izvedemo preden presnovljen substrat odpeljemo iz bioplinarne. V ta namen vzamemo povprečni vzorec presnovljenega substrata in določimo vsebnost dušika, fosforja, kalija, suhe snovi, hlapnih snovi in vrednostn pH. Če se v bioplinski napravi presnavljajo tudi organski odpadki, je potrebno določiti tudi morebitno onesnaženost s težkimi kovinami in trajnimi organskimi zmesmi, saj njihova koncentracija ne sme preseči zakonsko določenih vrednosti. Varno recikliranje presnovljenega substrata kot gnojila poleg tega zahteva, da je ta higieniziran in brez prionskih prenosljivih bolezni ter fizičnih nečistoč.

### **6.7.2 Nadzorovanje hranil v presnovljenem substratu**

Eden izmed pomembnih vidikov recikliranja presnovljenega substrata je količina hranil potrebnih za obdelovalno površino. Do luženja dušika ali preobremenitve s fosforjem lahko pride zaradi neprimernega ravnanja, skladiščenja in nanosa presnovljenega substrata.

V Evropi vnos dušika v tla na obdelovalnih površinah omejuje t.i. nitratna direktiva (91/676/EEC). Njen namen je zaščita podtalnice in površinske vode pred onesnaženjem z nitrati, in sicer dovoljuje 170 kg N/ha/leto. Količina vnosa hranil na obdelovalne površine je v večini evropskih držav omejena z državno zakonodajo (preglednica 6.3).

Preglednica 6.3. Predpisane dovoljene količine vnosa hranil v izbranih državah. Vir: Nordberg, 1999

	Največja količina vnosa hranil	Zahtevana kapaciteta skladiščenja	Sezona določena za gnojenje
Avstrija	170 kg N/ha/leto	6 mesecev	28/2-25/10
Danska	170 kg N/ha /leto (goveda) 140 kg N/ha/leto ( prašičev)	9 mesecev	1/2-žetev
Italija	170-500 kg N/ha /leto	90-180 dni	1/2- 1/12
Švedska	Glede na število živine	6-10 mesecev	1/2- 1/12

Vnos presnovljenega substrata kot gnojila je potrebno opraviti v okviru gnojilnega načrta. Gnojilni načrt je za vsako njivo posebej izdelan glede na vrsto pridelka, načrtovan donos, pričakovan odstotek izkoriščenih hranil iz presnovljenega substrata, vrsto tal (tekstura, sestava, kakovost, pH), obstoječo rezervo makro in mikrohranil v zemlji, predpsevkom in namakalnih pogojev ter geografskega položaja.

Kot kažejo danske izkušnje, je najbolj ekonomična in okolju prijazna strategija rabe presnovljenega substrata kot gnojila, zadostitev potrebam po fosforju s fosforjem iz substrata. Na ta način delno zadostimo tudi potrebam po dušiku. Preostale potrebe po dušiku lahko zapolnimo z uporabo mineralnega gnojila.

### 6.7.3 Glavni ukrepi nadzora kakovosti in varnega recikliranja presnovljenega substrata

Evropske izkušnje s področja varnega recikliranja presnovljenega substrata kot gnojila kažejo, da je potrebno vedno upoštevati spodaj navedene vidike:

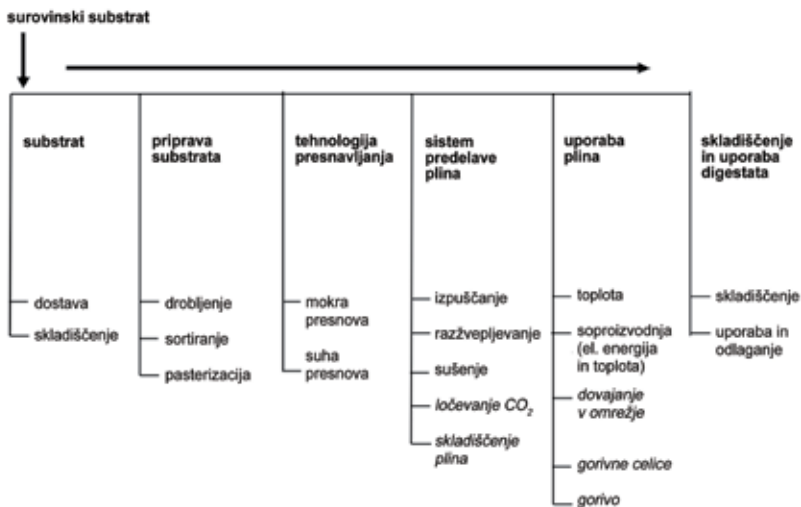
- Stalni nadzor stabilnosti procesa AD (temperatura, zadrževalni čas) zagotavlja stabilen končni proizvod (presnovljen substrat).
- Higienizacijski ukrepi v skladu z evropskimi določili, za učinkovito redukcijo patogenov
- Periodično jemanje vzorcev, analiza in deklaracija presnovljenega substrata.
- Recikliranje presnovljenega substrata z njegovim vključevanjem v gnojilni načrt in uporaba »dobrih kmetijskih praks« pri nanosu na kmetijske površine.
- Skrbna izbira vrste in količine vhodnih substratov v proces digestije, ki temelji na popolni deklaraciji in opisu vsakega uporabljenega substrata vsaj s sledečimi podatki: izvor, sestava, pH, SS, vsebnost težkih kovin in trajnih organskih zmesi, okuženost s patogeni ter ostala potencialna tveganja.

## 7 Komponente bioplinke naprave

Bioplinarna je kompleksna naprava sestavljena iz številnih elementov. Njena zasnova je v veliki meri odvisna od vrste in količine uporabljenega vhodnega substrata. Glede na to, da obstaja veliko vrst vhodnih substratov, primernih za presnovo v bioplini napravi, obstaja tudi veliko različnih tehnik in metod za obdelavo teh substratov ter različne vrste digestorjev in sistemov delovanja. Poleg tega, ter glede na vrsto, velikost

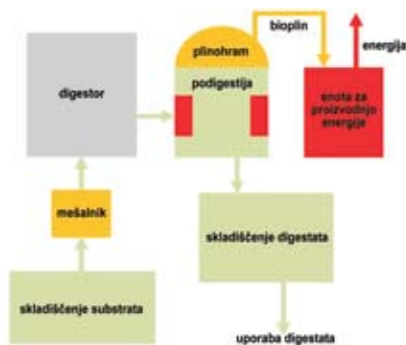
in delovne pogoje bioplinske naprave, je proizvodnjo bioplina možno dopolniti z različnimi tehnologijami kondicioniranja, skladiščenja in rabe presnovljenega substrata. Sladiščenje in raba substrata sta naravnana predvsem na uporabo kot gnojilo in s tem povezane potrebne okoljevarstvene ukrepe.

Glavni procesni koraki v bioplinski napravi so prikazani na sliki 7.1. Postopki prikazani v ležečem tisku za kmetijske bioplinske naprave niso običajni. Razlike med mokrim in suhim postopkom anaerobne digestije niso samo teoretične, saj se mikrobiološki procesi vedno odvijajo v tekočem mediju. Meja med moko in suho presnovo je določena z »zmožnostjo prečrpavanja« uporabljene substrata. Vsebnost suhe snovi nad 15 % pomeni, da se substrata ne da »prečrpavati«, v tem primeru gre za suho presnovo. Neposredno dovajanje relativno suhega substrata v digestor (npr. koruzna silaža) povečuje vsebnost suhe snovi v uporabljeni mešanici.

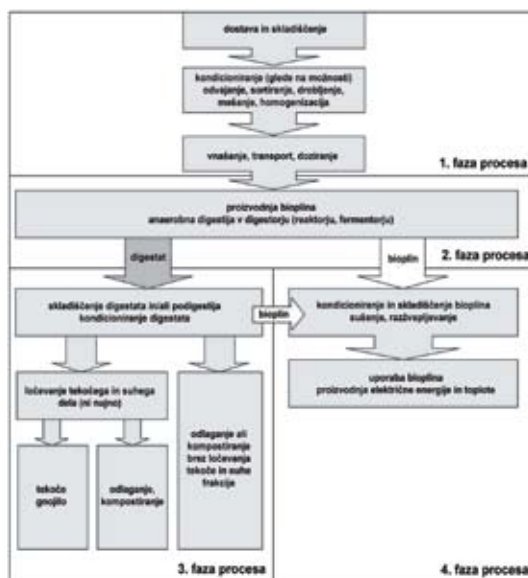


Slika 7.1. Procesni koraki tehnologij proizvodnje bioplina. Vir: LfU 2007

Ključni element bioplinske naprave je digestor (reaktor za anaerobno razgradnjo), spremljajo pa ga še številni drugi sestavni deli (slika 7.2).



Slika 7.2. Glavni deli in splošni potek proizvodnje bioplina. Vir: PRAŽL 2008



Slika 7.3. Faze procesa v kmetijski bioplinski napravi. Vir: JÄKEL 2002

Delovanje kmetijskih bioplinskih naprav lahko razdelimo na štiri procesne faze (slika 7.3):

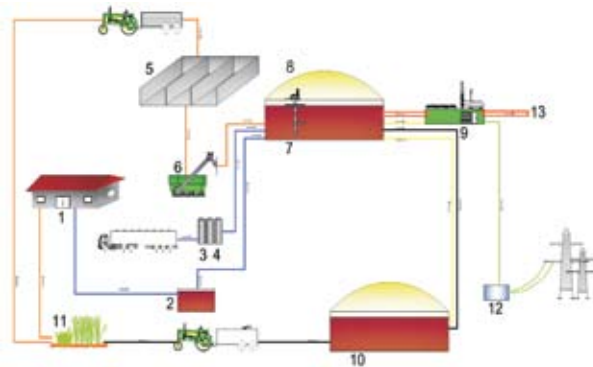
1. transport, dostava, skladiščenje in predobdelava uporabljenega substrata,
2. proizvodnja bioplina (AD),
3. skladiščenje presnovljenega substrata, morebitno kondicioniranje in uporabo,
4. skladiščenje bioplina, kondicioniranje in uporaba.

Procesne faze prikazane na sliki 7.3 so dodatno ilustrirane na sliki 7.4, ki prikazuje poenostavljeno predstavitev tipične kmetijske naprave s soprošnovo (kofermentacijo).

1. Prva faza procesa (skladiščenje, kondicioniranje, transport in vnos substrata) zajema zbiralnik gnojevke (2), zbiralnik kosubstratov (3), posodo za higienizacijo (4), zalogovnike za skladiščenje z dovozom (5) ter sistem za dovajanje trdnega substrata (6).

2. Druga faza procesa zajema proizvodnjo bioplina v bioplinskem reaktorju (7), ki ga imenujemo tudi digestor.
3. Tretjo fazo procesa predstavljata zalogovnik za skladiščenje (10) in uporaba presnovljenega substrata kot gnojila na poljih (11).
4. Četrto fazo procesa (skladiščenje bioplina, kondicioniranje in uporaba) sestavljata zalogovnik za skladiščenje plina ter enota za SPTE (9).

Te štiri faze so med seboj tesno povezane (npr. 4. faza priskrbi potrebno delovno toploto za 2. fazo).



Slika 7.4. Kmetijska bioplinska naprava s kofermentacijo, ki uporablja gnojevko in koruzno silažo.  
Vir: LORENZ 2008

Ko gradimo bioplinsko napravo, je izbira vrste naprave odvisna predvsem od količine in vrste razpoložljivega substrata. Količina substrata določa dimenzije digestorja, kapacitete skladišča in enote SPTE. Vrsta in kakovost substrata (vsebnost SS, struktura, izvor itn.) določata tehnologijo procesa.

Odvisno od sestave substrata je morda potrebno izločiti problematične snovi, substrat pretlačiti ali celo dodati vodo, da dobimo mešanico, ki jo je mogoče črpati. Če je uporabljen substrat nagnjen k okužbam, je v celotni načrt bodoče naprave nujno vključiti tudi higienizacijo.

Pri mokri presnovi/fermentaciji se navadno uporabljajo enofazne naprave za aneorobno digestijo, ki delujejo s pretočnim (flow-through) procesom. V dvofaznem procesu je pred glavnim digestorjem postavljen še rezervoar za predfermentacijo. Ta ustvarja optimalne pogoje za prva dva koraka delovanja procesa AD (hidroliza in nastajanje kisline). Po rezervoarju za predfermentacijo substrat vstopi v glavni digestor, kjer se odvijajo naslednji koraki procesa AD.

Presnovljeni substrat izčrpamo iz digestorja in pospravimo v zalogovnik. Ti skladiščni rezervoarji morajo biti pokriti z membrano, ki ne prepušča plina, s tem je olajšano zbiranje proizvedenega bioplina. Temperatura v rezervoarjih naj bo na nivoju temperature okolja (po presnovi). Kot alternativo lahko za shranjevanje uporabimo

odprte kontejnerje za presnovljeni substrat z naravno ali umetno plavajočo plastjo, ki zmanjšuje površinske emisije.

Proizvedeni bioplin uskladiščimo, kondicioniramo in uporabimo za proizvodnjo energije. Običajno bioplin uporabljamo za sočasno proizvodnjo električne energije in toplote v napravah za soproizvodnjo toplote in električne energije (SPTe).

## 7.1 Enota za sprejem substrata

Transport in dovod substrata igra pomembno vlogo pri obratovanju bioplinске naprave. Pomembno je zagotoviti stabilno in kontinuirano dovajanje substrata ustrežne kakovosti in količine. Če je upravitelj bioplinске naprave hkrati tudi proizvajalec substrata, visoko kakovost dovajanja substrata zlahka zagotovimo. V velikih bioplinске naprave uporabljajo tudi dodatne substrate (kosubstrati), ki jih proizvajajo na bližnjih kmetijah, podjetjih ali gospodinjstvih. V tem primeru je nadzor substrata nujen. Dostavljen substrat je potrebno pregledati, obračunati in odobriti. Najprej je potrebno vizualno pregledati vsak tovor substrata in nato zabeležiti njegovo težo ter ostale podatke (dobavitelj, datum, količina, vrsta, izvor in kakovost). Posebno pozornost je potrebno nameniti vhodnemu substratu, ki je označen kot odpadek in za katerega je morda potrebno izpolnjevati uredbene predpise (odvisno od kategorije odpadkov), kot tudi zakonodajne in administrativne pogoje.

## 7.2 Skladiščenje in kondicioniranje vhodnega substrata

### 7.2.1 Skladiščenje

Skladišče vhodnega substrata služi predvsem za kompenzacijo sezonskih nihanj v oskrbi substrata. Olajša pa nam tudi mešanje različnih kosubstratov za neprekinjeno dovajanje v digestor.

Vrsta skladiščnih prostorov je odvisna od uporabljenega substrata. Glavna delitev zajema koritaste silose za trdne substratе (npr. koruzna silaža) in rezervoarje za tekoče substratе (npr. gnojevka). Običajno kapaciteta koritastih silosov zadošča za več kot leto dni skladiščenja, zbiralniki gnojevke pa za več dni. V nekaterih primerih je možno uporabiti tudi stolpne silose. Dimenzije skladiščnih prostorov določajo količina, ki jo je potrebno uskladiščiti, intervali dostave in koliko dnevno prenesemo v digestor.

#### Koritasti silosi za skladiščenje pridelka energetskih rastlin

Koritasti silosi se v osnovi uporabljajo za skladiščenje živinske krme, da bi tako uravnotežili njeno sezonsko razpoložljivost. Danes se taka skladišča pogosto uporabljajo za skladiščenje pridelka energetskih rastlin, ki je namenjen proizvodnji bioplina.

Silaža mora biti iz rastlinskega materiala s primerno vlažnostjo (55-70%, odvisno od načina skladiščenja, stopnje zgoščenosti in vsebnosti vode, ki se izgubi med skladiščenjem). Silaža gre skozi proces fermentacije, kjer kvasovke porabljajo energijo za proizvodnjo

hlapnih maščobnih kislin (HMK), kot so acetat, propionat, laktat in butirat, ki silažo ohranjajo. Posledica je, da ima silaža manjšo energijsko vrednost kot osnovni rastlinski material, saj kvasovke porabijo nekaj ogljikovih hidratov za proizvodnjo HMK.

V Nemčiji skladiščijo silažo v betonskih koritastih silosih (slika 7.5) ali v velikih kupih na tleh (slika 7.6). Silažo s traktorji potlačijo, da ustvarijo čim bolj kompakten kup in s tem iztisnejo zrak. Zmanjšanje vsebnosti kisika je nujno, da se izognemo aerobnim procesom. Iz istega razloga silažo ponavadi pokrijemo s plastično folijo, ki je na robovih obtežena. Možno pa je uporabiti tudi naravno prevleko, na primer plast travne silaže, ki prav tako lahko zatesni koritast silos. Na nekaterih silosih posadijo tudi pšenico, spet drugi pa sploh niso pokriti. S tem se zmanjšajo stroški za prevleko, po drugi strani pa se poveča izguba energije silaže.

V primeru koritastih silosov je vedno potrebno upoštevati, da se med procesom fermentacije izločajo tekočine, ki lahko onesnažijo vodotoke, če pri tem nismo dovolj previdni. Visoka vsebnost hranil lahko povzroči evtrofikacijo površinskih voda (razcvet alg). Odtok iz silosa vsebuje dušikovo kislino ( $\text{HNO}_3$ ), ki je korozivna zmes.



Slika 7.5. Koritast silos. Vir: Wikipedia, 2008



Slika 7.6. Koruzna silaža na tleh pokrita s plastjo travne silaže. Vir: Rutz, 2007

### Rezervoarji za skladiščenje tekočega vhodnega substrata

Tekoč substrat, ki ga je možno črpati, je običajno shranjen vzatesnjenih, vodoneprepustnih in ojačanih betonskih rezervoarjih, ki so postavljeni nad tlemi ali na njih. Ti rezervoarji, ki so podobni tistim za skladiščenje gnojevke, imajo običajno kapacitete za dan ali dva. Da se izognemo emisijam, morajo biti pokriti. Izbrana prevleka mora zagotavljati enostavno odpiranje in odstranjevanje sedimentov. Če so rezervoarji za skladiščenje postavljeni višje kot digester (nagnjenost terena), hidravlična dvigalka nadomesti opremo za črpanje in tako prihranimo energijo.

Kosubstrat (tekoč ali trden) lahko v rezervoarju za skladiščenje zmešamo z glavnim substratom, ga zdrobimo, homogeniziramo in pretvorimo v tekočo mešanico, ki jo lahko črpamo. Potrebno se je izogniti nastajanju grudic, sedimentov, plavajočih plasti in ločevanju plasti v mešanici. Rezervoarji za skladiščenje so zato opremljeni z mešalniki, pogosto v kombinaciji z orodjem za trganje in rezanje, ki drobijo vhodni substrat. Mešanje vsebine rezervoarjev se opravlja z isto tehniko mešanja kot v digestorjih.

Rezervoarji za skladiščenje tekočega substrata zahtevajo malo vzdrževanja, ki zajema predvsem odstranjevanje sedimentnih plasti peska in kamenja, ki zmanjšujejo skladiščno kapaciteto. Sedimente lahko odstranimo s pomočjo strgalnega dna, vijačnih transporterjev, odtočnih črpalk, zbiralnih posod ali grezilnih agregatov.

Substrat industrijskega izvora lahko zahteva sanitacijske ukrepe in zato je z njim potrebno ravnati posebej in ga hraniti strogo ločeno od vhodne enote za prejem kmetijskega substrata. Tako preprečimo mešanje kritičnega substrata z ostalim substratom pred obdelavo s higienizacijsko opremo.

Da bi zmanjšali širjenje neprijetnih vonjav iz bioplinske naprave, se morajo dostava, skladiščenje in priprava substrata odvijati v zaprtih halah opremljenih z ventilacijo z biofiltrom. Tako je oprema zaščitena, delo ter nadzor pa lahko poteka ne glede na vremenske razmere.

### **7.2.2 Kondicioniranje substrata**

Kondicioniranje substrata vpliva na tok in učinkovitost procesa anaerobne digestije. Glavni namen kondicioniranja je izpolnitev higienskih zahtev in povečanje razgradljivosti substrata. Kondicioniranje substrata omogoča znatno optimizacijo procesa, poveča nivo presnove in donos bioplina. Obstaja več možnosti za kondicioniranje substrata in optimizacijo organske polnitve bioplinske naprave, kot so mehanično drobljenje, razkrajanje (že v uporabi pri obdelavi odplak), hidroliza itd.

#### **Sortiranje in ločevanje substrata**

Potreba po sortiranju in ločevanju nečistoč ter problematičnih snovi iz substratov je odvisna od izvora in sestave substrata. Silaža je med najčistejšimi vrstami substrata, medtem, ko na primer gnoj in gospodinjski odpadki lahko vsebujejo kamenje in druge fizične nečistoče, ki jih je potrebno občasno odstraniti z dna rezervoarja. Običajno jih odstranimo s sedimentacijo v rezervoarjih za skladiščenje (ter, v primeru peska, tudi znotraj digestorja). Pogosto v ta namen uporabljamo predrezervoar, opremljen z rešetkami, ki lahko zadržijo kamenje in fizične nečistoče, preden substrat prečrpamo v rezervoarje za skladiščenje.

Gospodinjski, gostinski in prehranski odpadki lahko vsebujejo različne nečistoče (plastični, kovinski, stekleni in drugi nepresnovljivi ostanki embalaže) (slika 7.7 desno), ki lahko poškodujejo črpalke, zamašijo cevi ali celo digestor. Te nečistoče je mogoče odstraniti z ločenimi zbiralnimi sistemi za na primer gospodinjske odpadke ali pa jih iz strnjenih odpadkov ločimo mehansko, z magnetom ali ročno.



Slika 7.7. Dovodni sistem za čiščenje trdih komunalnih odpadkov (levo) in “problematičen material”, izločen iz gostinskih odpadkov (desno). Vir: RUTZ 2007

### Higienizacija

Obdelava, recikliranje in ravnanje s presnovljenim substratom mora biti opravljeno varno, brez tveganja onesnaževanja za ljudi, živali ali okolje. Evropska in domača zakonodaja določa prakso ravnanja z odpadki, z ozirom na epidemična in higienska tveganja, ter predpisuje ustrezno higienizacijo kritičnih materialov. Za podrobnosti glej poglavje 9.4.4. Higienizacijo substrata je v vsakem primeru treba opraviti pred njegovim črpanjem v digestor. To je potrebno, da se izognemo onesnaženju celotnega polnjenja in da ostanejo stroški higienizacije nizki. Higienizacija se navadno izvaja v ločenih, ogrevanih rezervoarjih iz nerjavnega jekla, ki so povezani s sistemom za dovajanje substrata v digestor. Tipični parametri za nadzor higienizacije so temperatura, minimalen zagotovljen zadrževalni čas (MGRT), tlak in prostornina. Po higienizaciji je temperatura substrata višja od procesne temperature anaerobne digestije. Zato je dobro, da substrat, preden ga naložimo v digestor, vodimo skozi toplotni izmenjevalnik, kjer se del toplote prenese na svežo biomaso, ki jo črpamo v digestor brez higienizacije.

### Drobljenje

Drobljenje substrata pripravi površine delcev na biološki razkroj in posledično proizvodnjo metana. Velja osnovno pravilo, da je proces razkrajanja hitrejši, če so delci manjši. Vendar velikost delcev vpliva le na čas presnove, ne nujno tudi na povečanje donosa metana. Drobljenje substrata je običajno neposredno povezano z dozirnim sistemom. Za pogon obeh lahko uporabimo električni motor ali traktorsko pogonsko gred.

### Drozganje, homogeniziranje

Drozganje substrata je lahko nujno, da pridobimo substrat z višjo vsebnostjo vode, da ga lahko črpamo. Drozganje se odvija v rezervoarjih za skladiščenje ali v predrezervoarjih, preden se substrat prečrpa v glavni digestor. Izbira tekočine za drozganje je odvisna od razpoložljivosti. Običajno je to gnojevka, presnovljeni material, procesna voda ali celo sveža voda.

Prednost uporabe presnovljenega substrata za drozganje je v zmanjšanju porabe sveže vode in v inokulaciji substrata z mikroorganizmi anaerobne digestije iz digestorja. To utegne biti pomembno po higienizaciji ali v saržnih digestorjih. Uporaba presnovljenega substrata za drozganje pa posledično lahko poveča vsebnost hranil ter soli in povzroči

neuravnoteženost ali zaviranje procesa. Enaka previdnost je potrebna tudi pri uporabi vode iz čistilnega procesa, saj imajo razkužila lahko negativen vpliv na mikroorganizme anaerobne digestije. Uporabi sveže vode se je potrebno izogniti tudi zaradi visokih stroškov.

Poleg možnosti črpanja, je homogenost substrata še en pomemben faktor za stabilnost procesa anaerobne digestije. Tekoč substrat se homogenizira z mešanjem v skladiščnem rezervoarju, medtem, ko je potrebno trden substrat homogenizirati med procesom dovajanja. Večje spremembe dostavljenih vrst substrata in sestave substrata obremenjujejo mikroorganizme AD, saj se morajo prilagoditi novim substratom in spremenljivim pogojem. Izkušnje kažejo, da se to odraža v manjšem donosu plina. Za uravnotežen in »zdrav« proces anaerobne digestije, z visokim donosom metana, je zato pomembno imeti stabilno in konstantno zalogo substrata za daljše obdobje.

### 7.3 Dozirni sistem

Po skladiščenju in predobdelavi se vhodni substrat naloži v digestor. Tehnika doziranja je odvisna od vrste substrata in zmožnosti črpanja. Tekoč substrat se iz skladiščnih rezervoarjev prenese v digestor s pomočjo črpalk. V substrat, ki ga je možno črpati, spada na primer gnojevka ter veliko tekočih organskih odpadkov (npr. brozga, odpadki mlečnih izdelkov, ribje olje). Substrat, ki ga ni mogoče črpati (vlaknati materiali, trava, koruzna silaža, gnoj z veliko vsebnostjo slame), lahko naložimo v dovodni sistem z nakladalnikom in nato v digestor (na primer s sistemom spiralne cevi). Obe vrsti substrata (tekočega in trdnega) lahko v digestor dovajamo sočasno. V tem primeru je priporočljivo, da trden substrat dovajamo skozi obvođe.

Iz mikrobiološkega stališča je za stabilen proces AD idealen neprekinjen tok substrata skozi digestor. V praksi substrat v digestor dodajamo skoraj neprekinjeno v več serijah na dan. Tako varčujemo z energijo, saj dozirni sistemi ne delujejo neprekinjeno. Obstajajo različni dozirni sistemi in njihova izbira je spet odvisna od kakovosti substrata (mišljena je zmožnost črpanja) in od intervalov dovajanja.

Posebno pozornost je potrebno nameniti temperaturi substrata, ki ga dovajamo v digestor. Večje razlike med temperaturo novega substrata in delovno temperaturo digestorja se lahko pojavijo, če je bil substrat higieniziran (do 130 °C) ali pozimi (pod 0 °C). Temperaturne razlike motijo mikrobiologijo procesa, kar povzroča zmanjšanje donosa plina in se jim je zato potrebno izogibati. Za ta problem obstaja več tehničnih rešitev. Na primer uporaba toplotnih črpalk ali prenosnikov toplote, s katerimi ogrejemo/ohladimo substrat preden ga naložimo v digestor.

#### 7.3.1 Črpalke za transport tekočega substrata

Prenos tekočega substrata iz skladiščnih rezervoarjev v digestor opravijo črpalke. Pogosto se uporabljata dve vrsti črpalk: centrifugalne in izrivne (volumenske). Centrifugalne (rotacijske) črpalke so pogosto potopljene, lahko pa so postavljene tudi v suh jašek

poleg digestorja. Za posebno rabo obstajajo rezalne črpalke, ki jih uporabljamo za substrate z dolgimi vlakni (slama, ostanki krme, seno). Volumenske črpalke (batne črpalke, ekscentrične vijačne črpalke) so bolj odporne na tlak od rotacijskih. So samososalne, delujejo v dveh smereh in dosežejo relativno visok tlak z zmanjšano dostavno kapaciteto. Vendar so, zaradi nižje cene, rotacijske črpalke pogostejša izbira od izrivnih.

### **Centrifugalne črpalke**

Centrifugalna črpalka je rotacijska črpalka, ki uporablja rotor za povečanje hitrosti tekočine. Tekočina vstopi v rotor črpalke poleg ali blizu vrteče osi, rotor jo pospeši, nato odteka radialno v difuzor ali v spiralno komoro, od koder izteka v sistem cevi z nagibom. Centrifugalne črpalke se običajno uporabljajo za črpanje tekočin skozi sistem cevi in se torej pogosto uporabljajo za ravnanje z gnojevko.

### **Tlačne izrivne črpalke**

Za transport gostega tekočega substrata z visoko vsebnostjo suhe snovi se pogosto uporabljajo tlačne izrivne črpalke (vrteč bat in ekscentrične vijačne črpalke). Količina prečrpanega materiala je odvisna od hitrosti vrtenja, kar omogoča boljši nadzor črpalke in natančnejše doziranje prečrpanega substrata. Izrivne črpalke so samososalne in so tlačno stabilnejše od centrifugalnih. Zato zmogljivost cevi ni toliko odvisna od razlike v višini. Glede na to, da so tlačne izrivne črpalke sorazmerno nagnjene k problemom, ki jih povzročata visoka vsebnost vlaken v črpanem substratu, jih je smiselno opremiti z rezalniki in ločevalci ter jih tako zaščititi pred velikimi delci in vlaknastimi materiali.

Izbira primernih črpalk in tehnologije črpanja je odvisna od karakteristik materialov, ki jih bodo črpalke poganjale (vrsta materiala, vsebnost SS, velikost delcev in nivo priprave). Bioplinske naprave uporabljajo enake črpalke kot se uporabljajo za gnojevko, kar se je izkazalo kot ustrezno za dovajanje v digestor in za ravnanje s presnovljenimi substrati. Izkušnje iz prakse kažejo, da je nastajanje zamaškov možno preprečiti z ustreznim premerom cevi. Cevi pod pritiskom za polnjenje ali mešanje morajo imeti vsaj 150 mm premera, medtem ko morajo imeti cevi za transport gnoja, ki niso pod pritiskom, vsaj 200 mm premera oz. 300 mm, če je vsebnost slame visoka.

Vsi premikajoči se deli črpalk so podvrženi veliki obrabi in jih je potrebno vsake toliko časa zamenjati. To bi moralo biti izvedljivo brez motenja proizvodnje bioplina. Zato morajo biti črpalke opremljene zapornimi ventili (slika 7.8), ki dovoljujejo polnjenje in praznjenje digestorja in cevi. Črpalke in cevi naj bodo enostavno dostopne in okoli njih mora biti dovolj prostora za vzdrževalna dela.

Delovanje črpalk in s tem transport substratov, ki jih je možno črpati, je avtomatično nadzorovano z računalniki in časovnimi stikali. V mnogih primerih je celoten transport substrata znotraj bioplinske naprave izveden z eno ali dvema črpalkama, ki se nahajata v črpalni postaji (sliki 7.8 desno in 7.9).



Slika 7.8. Zaporni ventili (levo) in črpalni sistem (desno). Vir: RUTZ 2006



Slika 7.9. Črpalni sistem. Vir: AGRINZ 2008

### 7.3.2 Transport trdnega substrata

Trden substrat, kot je trava, koruzna silaža, gnoj z visoko vsebnostjo slame, osrezvoarji zelenjave itn. je potrebno transportirati iz skladiščnega prostora (koritast silos) do sistema za polnjenje digestorja. To se ponavadi naredi z nakladalniki ali traktorji (sliki 7.10 in 7.11), substrat pa se v digestor dovaja npr. s sistemom transportnih cevi s polžem, kot je prikazan na sliki 7.12.

Sistem za dovajanje vključuje zabojnik, v katerega s traktorjem naložimo trden substrat in transportni sistem, ki napolnjuje digestor. Transportni sistem je voden avtomatično in je sestavljen iz pomičnih grabelj (scraper), pomičnih tal, potisnih drogov in polžnih transporterjev.

Sistem grabelj in nadglavni potisni drogovci se uporabljajo za transport substrata do polžnih transporterjev. Sposobni so prelagati skoraj vse vrste trdnega substrata, tako horizontalno kot pod rahlim naklonom in se zato uporabljajo v zelo velikih zalogovnikih za začasno skladiščenje, niso pa primerni za doziranje.

Polžni transporterji lahko premikajo substrat skoraj v vse smeri. Edini predpogoj je, da v substratu ni velikih kamnov in drugih fizičnih nečistoč. Za optimalno delovanje je potrebno substrat grobo zdrobiti, da ga lahko polž zagradi in da ustreza zavojem polža.



Slika 7.10. Dovodni sistem s kontejnerjem za suhi substrat – koruzno silažo in trdni perutninski gnoj (levo) in nakladalnik s koruzno silažo (desno). Vir: RUTZ 2008



Slika 7.11. Nakladalnik dovaja koruzno silažo v kontejner. Vir: RUTZ 2008

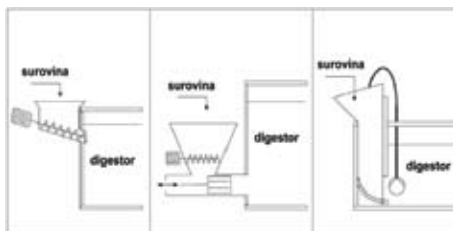


Slika 7.12. Transportni sistem cevi s polžem (levo) in polžni transporterji, pripravljeni za namestitvev (desno). Vir: RUTZ 2007

Dovod substrata v digester mora biti neprepusten. Zato dovodni sistem dovaja substrat pod površinsko plast presnovljenega gnoj (slika 7.13). V širši uporabi so trije sistemi: gred za spiranje, polnilni ventil in dovodni conveyor vijaki.

#### **Dovodni jašek, žleb za spiranje**

Dovajanje trdih materialov prek jaška ali žleba/zapornice z uporabo čelnih ali kolesnih nakladalnikov omogoča v vsakem trenutku dostavo večjih količin trdih materialov, neposredno v digester (slika 7.13).



Slika 7.13. Polžni transporter, dozirni bat in jašek za dovajanje substrata v digester. Vir: FAL 2006

### Dozirni bati

Pri uporabi dozirnih batov (slika 7.13) substrat dovajamo s hidravličnimi cilindri neposredno v digester. Bat potisne substrat skozi odprtino v steni digestorja. Takšno polnjenje v višini dna pomeni, da se substrat vpije v tekočo vsebino digestorja, kar zmanjšuje tveganje nastajanja plavajočih plasti. Sistem je opremljen z nasprotni vrtečimi se mešalnimi valjarji, ki prinašajo kosubstrate do nižjih horizontalnih cilindrov ter hkrati drobijo dolgovlaknat substrat.

### Polžni transporterji

Dovajanje kosubstratov lahko opravljajo polžni transporterji (slika 7.13). V tem primeru je material pod gladino tekočine v digestorju potisnjen z uporabo čepnih vijakov. Prednost te metode je, da ne preprečuje iztekanje plina med polnjenjem. Najpreprostejši način za to je, da na digester postavimo dozirni sistem, tako je potreben le en polžni transporter. Za polnjenje vijaka se uporabljajo začasni skladiščni kontejnerji z in brez drobilnega orodja.



Slika 7.14. Sistem za dovajanje silaže. Vir: AGRINZ 2006

## 7.4 Armature in cevovodi

Armature in cevovodi uporabljeni v bioplinski napravi morajo biti odporni na korozijo in primerni za ravnanje s specifičnimi vrstami materialov (bioplin in biomasa). Materiali uporabljeni za cevovod so odvisni od obremenitve in tlaka ter vključujejo PVC, HDPE, jeklo in nerjaveče jeklo. Armature, kot so sklopke, drsni ventili, loputni ventili, odprtine za čiščenje in manometri morajo biti dostopni, enostavni za vzdrževanje in zaščiteni pred mrazom. Včasih je potrebno cevi izolirati (slika 7.15). Za varno delovanje bioplinskih instalacij je potrebno zagotoviti minimalne zahteve glede materiala cevovoda in armatur ter njihove varnosti in tesnjenja.

Cevovod za biomaso mora imeti 300 mm premera. Izlivanje substrata iz digestorja nazaj v skladiščne rezervoarje preprečimo z ustrezno izvedbo cevovoda. Pri postavljanju cevi je potrebno vzdrževati rahel naklon (1-2 %), da se omogoči popolno izpraznitev. Primerno tesnjenje instalacije je nujno. Pri dolgih ceveh postavljenih pod naklonom rado pride do tlačnih izgub.



Slika 7.15. Izoliran plinovod -levo; Cevovod za presnovljeni substrat -desno. Vir: RUTZ 2008

Plinovod mora biti nagnjen in opremljen z ventili, da je možno izpustiti kondenzat. Že manjše količine kondenzata lahko povzročijo popolno blokado plinovoda zaradi nizkega tlaka v sistemu.

## 7.5 Ogrevalni sistem – ogrevanje digestorja

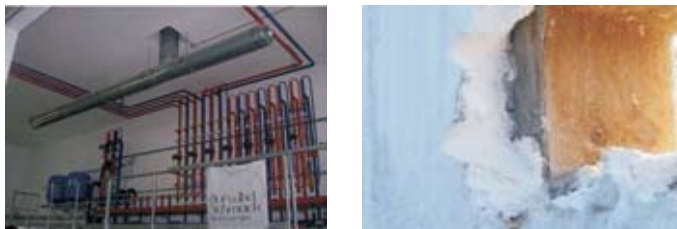
Stalna procesna temperatura znotraj digestorja je eden izmed najpomembnejših pogojev za stabilno delovanje in visok donos bioplina. Temperaturna nihanja, vključno s sezonskimi in vremenskimi nihanji, kot tudi lokalna nihanja v različnih delih digestorja, je potrebno kar se da omejiti. Velika temperaturna nihanja vodijo do nestabilnega procesa AD in v najhujših primerih do popolne odpovedi procesa.

Razlogi za temperaturna nihanja so različni:

- dodajanje novega substrata, ki ima drugačno temperaturo od tistega v obdelavi,
- nastajanje temperaturnih plasti ali con zaradi neustrezne izolacije, neučinkovitega ali nepravilnega dimenzioniranja ogrevalnega sistema ali nezadostnega mešanja,
- neustrezna postavitev grelnih elementov,
- ekstremne zunanje temperature pozimi ali poleti,
- odpoved električne napeljave.

Da bi dosegli in vzdrževali stalno delovno temperaturo ter kompenzirali morebitne izgube toplote, mora biti digestor izoliran in ogrevan z zunanjimi viri toplote (slika 7.16). Najpogosteje uporabljen vir je odvečna toplota iz enote SPT bioplinske naprave.

Ogrevanje substrata se lahko izvaja med procesom dovajanja (predogrevanje) s prenosniki toplote ali pa v digestorju z grelnimi elementi (slika 7.17.), vročo paro itn. S predogrevanjem se izognemo temperaturnim nihanjem v digestorju. Mnoge bioplinske naprave uporabljajo oba tipa ogrevanja substrata.



Slika 7.16. Ogrevalni sistem bioplinске naprave (levo) in izolacija betonskega digestorja v izgradnji (desno). Vir: RUTZ 2008



Slika 7.17. Ogrevalne cevi v digestorju. Vir: AGRINZ 2008

## 7.6 Digestorji

Jedro bioplinске naprave je digestor – zrakotesen reaktor, kjer se odvija razkrajanje substrata ob odsotnosti kisika in kjer se proizvaja bioplin. Iz nemškega govornega področja je k nam prišel in se uveljavil tudi izraz fermentor, pri čistilnih napravah pa govorimo o gniliščih. Skupne značilnosti digestorjev, poleg zrakotesnosti, so sistem za dovajanje substrata ter sistemi za proizvodnjo bioplina in presnovljenega substrata. V evropskih klimatskih razmerah morajo biti digestorji izolirani in ogrevani.

Obstaja več vrst bioplinških digestorjev, ki obratujejo v Evropi in po svetu. Zgrajeni so lahko iz betona, jekla, opeke ali plastike, oblikovani kot silosi, korita, kotanje ali lagune in postavljeni so lahko na površini ali pod zemljo. Velikost digestorja določa obseg bioplinске naprave in variira od nekaj kubičnih metrov v primeru manjših hišnih postavitvev do nekaj tisoč kubičnih metrov, kot je to v primeru velikih komercialnih naprav, ki imajo pogosto več digestorjev.

Vsebnost suhe snovi v uporabljenem substratu določa zasnovano bioplinško napravo in primerno vrsto digestije. Kot že omenjeno AD deluje z dvema osnovnima sistemoma presnove: mokra presnova, ko je povprečna vsebnost suhe snovi v substratu pod 15 % in suha presnova, kadar je vsebnost nad to vrednostjo, običajno med 20 in 40 %. Te definicije in njihove mejne vrednosti imajo nekaj regionalnih variacij ali pa se razlikujejo zaradi zakonodaje in podpornih shem, kot je to npr. v Nemčiji.

Mokra presnova zajema substrate kot sta gnojevka in kanalizacijske odplake, medtem ko se suha presnova uporablja v proizvodnji bioplina iz trdnega živinskega gnoja z

visoko vsebnostjo slame, gospodinjskih odpadkov in trdih mestnih organskih odpadkov, ostankov košnje in trave, ki se nabere po urejanju okolice ali žetve energetskih rastlin (sveže ali iz silosa). Digestorji za obe vrsti presnove so opisani v sledečih poglavjih, s poudarkom na sistemih za mokro presnovo.

Iz stališča dovajanja in odvajanja substrata obstajata dva osnovna tipa digestorjev: saržni in kontinuirni.

### 7.6.1 Saržni digestorji

Značilnost saržnih digestorjev je, da jih napolnimo s svežim substratom, ki ga po opravljeni presnovi v celoti odstranimo. Digestor nato napolnimo z novo polnitvijo (saržo) in tako se postopek ponavlja. Saržne digestorje je enostavno zgraditi in se jih običajno uporablja za suho presnovo.

Primer saržnih digestorjev so t.i. »garažni« digestorji (slika 7.18) izdelani iz betona, namenjeni za obdelavo po izvoru ločenih organskih odpadkov gospodinjstev, košnje, trdnega gnoja in energetskih rastlin. Obdelovalna kapaciteta sega od 2000 do 50.000 ton na leto. Substrat inokuliramo s presnovljenim substratom in ga natovorimo v digestor. Kontinuirana inokulacija z bakterijsko biomaso se zgodi skozi recikliranje filtrirne tekočine, ki jo poškopimo po substratu v digestorju.

Za razliko od mokre presnove, pri suhi presnovi mešanje substrata med presnovo ni potrebno. Temperaturo procesa in filtrirne tekočine uravnavamo z vgrajenim sistemom talnega ogrevanja ter s prenosnikom toplote, ki ima vlogo rezervoarja za filtrirno tekočino.

V primerjavi z drugimi sistemi je prednost saržnih digestorjev v nizkih stroških delovanja in poceni tehnologiji, slabost pa je visoka poraba energije in visoki stroški vzdrževanja.



Slika 7.18. Garažni tip saržne digestorja, ki ga polnijo z nakladalnikom. Vir: BEKON 2004

Obetavna alternativa za popolnoma suho presnovo je v uporabi plastičnih vreč ali cevi iz folije. Ideja je zmanjšanje stroškov investicije z uporabo plastične plahte iz silo bag tehnologije, kjer so AD substrati (gnoj, bio-odpadki, DEC) shranjeni v zrakotesnih plastičnih vrečah.

Saržni digestorji se uporabljajo tudi za kombinirano suho in mokro presnovo v primeru trdnega substrata, kjer v velikih količinah dodatno uporabljamo odpadno vodo ali filtrirno tekočino za poplavljanje ali filtriranje.

Možnost obdelave substratov, ne samo skozi predobdelavo in perkolacijo filtracijo, ampak tudi z aeracijo (zračenjem) pod visokim tlakom in poplavljanjem, omogoča, da suho fermentacijo uporabljamo kot primeren obdelovalni proces pri nadzorovanem odlaganju odpadkov.

## 7.6.2 Kontinuirni digestorji

V kontinuirne digestorje substrate dovajamo kontinuirano. Substrat se skozi digestor premika mehanično ali pod pritiskom dovajanja novega substrata, ki izriva presnovljeni material. V nasprotju s saržnimi digestorji pri kontinuirnih proizvodnje bioplina ni potrebno prekinjati z dovajanjem novega substrata in odnašanjem presnovljenega materiala. Proizvodnja bioplina je neprekinjena in predvidljiva.

Kontinuirni digestor je lahko vertikalni, horizontalni ali sistem z več rezervoarji. Odvisno od izbrane rešitve mešanja substrata ločimo take s popolnim mešanjem in pretočne (ang. plug-flow) (preglednica 7.1). Digestorji s popolnim mešanjem so ponavadi vertikalni, medtem ko so pretočni plug-flow digestorji horizontalni.

Preglednica 7.1. Tipi digestorjev

Digestorji s popolnim mešanjem	Pretočni digestorji
okrogla, enostavna konstrukcija digestorja, vertikalni	podolgovati, horizontalni rezervoarji
popolnoma mešani	vertikalno mešani
primerni za enostavne substrate (gnojevka)	primerni za težavne substrate (trden gnoj)
delčki nepresnovljenega substrata lahko pridejo v iztok	običajno nobenih bližnjic med pritokom in iztokom, zanesljiva higienizacija
procesna temperatura 20° - 37° C	procesna temperatura 35° - 55° C
zadrževalni čas 30 - 90 dni	zadrževalni čas 15 - 30 dni

### Vertikalni digestorji

V praksi je večina digestorjev vertikalnih. Vertikalne rezervoarje večinoma zgradimo na lokaciji bioplinarne (Slika 7.19), v obliki okroglih rezervoarjev iz jekla ali armiranega betona, pogosto s stožčastim dnom za enostavno mešanje in odstranjevanje sedimentov. So zrakotesni, izolirani, ogrevani in opremljeni z mešalniki ali črpalkami. Streha rezervoarja je iz betona, jekla ali iz zrakotesne membrane. Proizvedeni bioplin je speljan po ceveh in shranjen v zunanjem skladiščnem prostoru blizu digestorja ali pod zrakotesno membrano. Membrano napolni proizvedeni bioplin, lahko pa je pritrjena na centralni steber (slika 7.20).



Slika 7.19. Izgradnja vertikalnih digestorjev. Vir: RUTZ 2007

Digestorji iz armiranega betona so dovolj zrakotesni, ker je beton prepojen z vodo od vlage, ki jo vsebuje substrat in bioplin. Betonski rezervoarji so lahko v celoti ali delno zgrajeni na tleh. Neustrezna konstrukcija lahko pripelje do pokanja, puščanja, korozije in v ekstremnih primerih do porušanja digestorja. Tem problemom se lahko izognemo z uporabo betona primerne kakovosti ter strokovnega načrtovanja in izgradnje.



Slika 7.20. Vertikalni digestorji pokriti z zrakotesno membrano. Membrano napolni proizvedeni plin –levo (AGRINZ 2008); Vrh membrane je pritrjen na centralni steber –desno. Vir: RUTZ 2006

Jekleni rezervoarji so postavljeni na betonskih temeljih. Jeklene plošče je potrebno privariti skupaj in zatesniti špranje. Jekleni rezervoarji so vedno postavljeni nad tlemi.

Prednost vertikalnih digestorjev je v tem, da je mogoče na kmetijah že obstoječe rezervoarje za gnojevko ekonomično preurediti v digestorje, s tem, da jim dodamo izolacijo in ogrevalni sistem. Za naknadno izolacijo se na notranji strani sten rezervoarja vodotesne izolacijske plošče (stiropor) poveže z zatiči. Druga možnost za izoliranje bivših rezervoarjev za gnojevko je postavitve pene za zračno tesnjenje po celotni notranjosti rezervoara, to pa morajo opraviti specializirana podjetja. Rezervoarje se na koncu pokrije z zrakotesno streho iz enojne ali dvojne membrane.

Poseben sistem AD, ki se uporablja za kmetijske bioplinske naprave, je t.i. akumulacijsko –pretočni (accumulation-continuous-flow, ACF) sistem. Pri tem sistemu rezervoar za gnojevko hkrati služi kot digestor in kot skladiščni prostor za gnojevko. Take naprave so v uporabi na kmetijah, kjer je bilo potrebno zgraditi zahtevane zalogovnike. Najmanjša obremenitev je dosežena poleti po zadnjem nanosu presnovljenega gnoja kot gnojila. Med jesenjo in zimo se rezervoar napolni. Na tej stopnji sistem deluje neprekinjeno z dolgimi zadrževalnimi časi in dobrim donosom plina. Presnovljeni material odteče v končni zalogovnik, ki deluje tudi kot podigestor.

### Horizontalni digestorji

Horizontalni digestorji (sliki 4.3 in 7.21) imajo horizontalno os in so valjaste oblike. Tovrstni rezervoarji se navadno izdelajo in prepeljejo na mesto, kjer bo stala bioplinska naprava, v enem kosu, zato je njihova velikost in prostornina omejena. Standardna izvedba za manjše naprave je horizontalen jeklen rezervoar, prostornine 50-150 m<sup>3</sup>, ki ga v manjših bioplinskih napravah uporabljamo kot glavni digestor ali kot preddigestor v velikih bioplinarnah. Obstaja tudi različica v obliki kanalnega digestorja iz betona, ki omogoča večjo velikost rezervoarja, do 1 000 m<sup>3</sup>.

Za doseganje večje proizvodnje lahko horizontalne digestorje uporabimo tudi vzporedno. Zaradi njihove oblike se avtomatično uporablja pretočni način. Substrat se počasi pretaka od vhodne strani proti izhodni in ustvarja nekakšen čep, ki se pomika skozi digestor. Tveganje, da bi se substrat na koncu izločil še ne presnovljen, zmanjšamo z minimalnim zagotovljenim časom zadrževanja (MGRT) substrata v digestorju. Horizontalni digestorji s kontinuiranim tokom se običajno uporabljajo za substrate kot je perutninski gnoj, trava, koruzna silaža ali gnoj z visoko vsebnostjo slame.

Izoliran digestor je opremljen z ogrevalnim sistemom, kupolo za plin, cevmi in mešalniki. Ogrevalni sistem sestavljajo gibke grelne cevi s pritokom in odtokom tople vode ali diagonalno postavljeni radiatorji. Ročice, z lopaticami opremljenega, počasi vrtečega se mešalnika so spiralno razporejene na mešalni osi, tako da se navor enakomerno razporedi. Veliko število lopatic omogoča prenos odpadnega peska do odvodnih rezervoarjev. Z zagotavljanjem neprekinjenega pritoka in odtoka substrata je mogoče doseči zadrževalni čas 15-30 dni. Meja napolnjenosti digestorja vedno dosega isto višino, med polnjenjem in mešanjem pa niha znotraj kupole za plin. Nivo reguliramo s sifonom na iztoku. Digestor je opremljen z vodotesno prevleko ali pa je postavljen pod streho. Lahko se ga zgradi na mestu bioplinske naprave ali proizvaja v omejenih serijah. Rezervoarji iz jekla in nerjavnega jekla so vedno narejeni nad tlemi ter postavljeni in pritrjeni na betonske temelje. Vijačne spoje je potrebno zavarovati pred odvitjem.

### Sistem z več rezervoarji

Bioplinarne na velikih kmetijah z rabo kosubstratov (kofermentacijo), so navadno sestavljene iz več digestorjev. Običajno delujejo kot sistem s kontinuiranim pretokom, vključujoč en ali več glavnih digestorjev in podigestorjev. Kot pri enojnih digestorjih, je lahko sistem z več rezervoarji sestavljen iz vertikalnih rezervoarjev ali iz kombinacije vertikalnih in horizontalnih rezervoarjev. Skladiščni rezervoarji za presnovljeni substrat služijo tudi za popresnovo in morajo biti pokriti z zrakotesno membrano.



Slika 7.21. Horizontalni pretočni digestor. Vir: Rutz, 2006

### 7.6.3 Vzdrževanje digestorjev

#### Odstranjevanje sedimentov v digestorju

V digestorjih kontinuiranega tipa se lahko kopičijo sedimenti težkih materialov kot npr. pesek in druge snovi, ki jih ni mogoče presnoviti. Večino teh materialov je možno odstraniti med predskladiščenjem ali med polnjenjem. Vendar pa je lahko pesek močno vezan na organsko snov in ga je težko odstraniti pred presnovo. Velik del tega peska se izloči med procesom AD v digestorju. Živinski gnoj (prašičja gnojevka, perutninski gnoj), pa tudi druge vrste biomase, lahko vsebujejo različne količine peska. Kopičenje peska v digestorjih zmanjšuje njihovo delovno prostornino. Prisotnost peska v toku biomase močno obremenjuje mešalni sistem, povzroča mašenje, zaviranje in visoko obrabo. Če jih redno ne odstranjujemo, lahko plasti sedimentov otrdijo in jih je možno odstraniti le s strojno opremo. Stalno je sedimente mogoče odstranjevati s pomočjo talnih strgal ali odvodnih kanalov. Če se sedimenti nalagajo v velikih količinah, sistem za odstranjevanje morda ne bo deloval. Takrat je potrebno proces presnove zaustaviti ter digestor odpreti, da bi lahko plast sedimentov odstranili ročno ali mehanično, odvisno od velikosti digestorja. Statičen tlak v zelo visokih rezervoarjih (več kot 10 m) naj bi bil zadosten za odstranitev peska, usedlin in blata.

Nastajanje sedimentov in probleme, ki jih povzročajo, je možno zmanjšati z nekaterimi osnovnimi ukrepi, kot so:

- redno praznjenje predskladiščnih in skladiščnih rezervoarjev,
- zagotavljanje zadostnih kapacitet za predskladiščenje,
- uporaba ustrezne metode mešanja,
- ustrezna postavitve stubs črpalne cevi, da se izognemo kroženju peska,
- izogibanje substratu z visoko vsebnostjo peska,
- uporaba posebnih metod, razvitih za odstranjevanje peska iz digestorja.

#### Ukrepi proti tvorjenju plasti pene

Nastajanje pene in plavajočih plasti je lahko znak nestabilnosti procesa in je odvisno od vrste dostavljenega substrata. Prisotnost pene in plavajočih plasti na površini biomase

v digestorju lahko povzroči mašenje plinovoda. Da bi to preprečili, morajo biti plinske cevi postavljene kar se da visoko znotraj digestorja. Lovilec pene lahko prepreči vdiranje pene v cevi za substrat in v podigestor ali končni zalogovnik. V prostor za plin v digestorju lahko namestimo senzor za peno, ki peno v notranjosti digestorja avtomatično poškrupi z zaviralnim sredstvom (retardantom), če se je na površini substrata nabere preveč. Retardanti za peno naj se uporabljajo samo v kritičnih situacijah, saj običajno vsebujejo vezalce silikata, ki lahko poškodujejo enoto za SPT.

## 7.7 Tehnologije mešanja

Minimalno mešanje biomase v digestorju se dogaja s pasivnim mešanjem. To se zgodi ob dodajanju svežega substrata in posledično nastalimi toplotnimi konvekcijskimi tokovi, kot tudi med dvigovanjem plinskih mehurčkov. Pasivno mešanje za optimalno delovanje digestorja ne zadostuje, zato ga je potrebno dopolniti z aktivnim mešanjem, z uporabo mehanske, hidravlične ali pnevmatske opreme. Do 90 % bioplinskih naprav uporablja mehansko opremo za mešanje.

Vsebinsko digestorja je potrebno večkrat dnevno premešati, da se nov substrat zmeša s substratom v digestorju. Mešanje preprečuje nastajanje plavajočih plasti in sedimentov, poveže mikroorganizme z delčki novega substrata, pospešuje dviganje mehurčkov in homogenizira porazdelitev toplote in hranil med celotno maso.

Mešalniki lahko delajo neprekinjeno ali prekinjeno. Izkušnje kažejo, da je mogoče sekvenčno mešanje empirično optimizirati in prilagoditi specifični bioplinski napravi (velikost digestorja, kakovost substrata, nagnjenost k nastajanju plavajočih plasti itn.). Po dostavi prvega tovora substrata in vklopu naprave, bo optimalno trajanje in frekvenca mešanja ter nastavitve mešalnikov določeno glede na izkušnje pridobljene med neprekinjenim nadzorovanjem delovanja digestorja.

Danske izkušnje kažejo, da so se potopni, električno gnani, mešalniki srednje hitrosti, ki so jih v preteklosti veliko uporabljali, izkazali za relativno drago rešitev. Obratovalni stroški so visoki, mešalniki pa so težko dostopni za popravila in preglede. Boljša izbira so kontinuirni, počasi vrteči, mešalniki, nameščeni na sredini na vrhu digestorja. Vendar pa njihova uporaba zahteva natančno nastavitve nivoja biomase v digestorju, da se izognemo nastajanju plavajočih plasti.

### 7.7.1 Mehansko mešanje

Glede na hitrost vrtenja mehanskih mešalnikov poznamo hitro, srednje hitro in počasi se vrteče mešalnike.



Slika 7.22. Potopni mešalnik s propelerjem, ki ga poganja elektromotor. Vir: AGRINZ, 2006



Slika 7.23. Viseči lopatični mešalnik (levo) in njegov motor (desno). Vir: AGRINZ, 2006



Slika 7.24. Lopatični mešalnik. Vir: AGRINZ, 2006

Potopni mešalniki s propelerjem (slika 7.22) pogosto uporabljamo v vertikalnih digesterjih. Mešalnike poganja električni motor brez prestav, z vodotesnim ohišjem in protikorozivnim premazom. So popolnoma potopljeni v substratu in običajno imajo geometrijsko optimiran propeler z dvema ali tremi kraki. S pomočjo sistema za vodenje,

ki ga sestavljajo nosilec, vitel za dviganje s kablom in vodilo, jih je možno nastavljeni po višini, nagibu in smeri.

Lopatični mešalniki imajo horizontalno, vertikalno ali diagonalno os (sliki 7.23 in 7.24). Motor je postavljen izven digestorja. Spoji, kjer gred prehaja skozi strop, membrano ali steno digestorja, morajo biti zatesnjeni.

Druga možnost mehničnega mešanja so osni mešalniki. Pogosto delujejo neprekinjeno. Osni mešalniki so ponavadi pritrjeni na gredi, nameščeni, v sredini, na stropu digestorja. Hitrost motorja, ki je postavljen izven digestorja, je z uporabo prenosa, zmanjšana na nekaj obratov na minuto. Mešalniki bi morali v digestorju ustvariti stalen tok, ki se dviga od dna navzgor po stenah.

V horizontalnih rezervoarjih običajno uporabljamo počasi vrteče mešalnike v obliki valja/bobna z lopaticami, možno pa jih je postaviti tudi v vertikalne digestorje. Lopatice so pritrjene na horizontalno os mešalnika, ki substrat meša in ga potiska naprej. Mešalni učinek naj bi vplival samo na vertikalno mešanje substrata. Horizontalen pretok zagotavljamo z vnašanjem svežega substrata v digestor. Ogrevalne cevi so dostikrat vgrajene v pogonsko gred in v ročice mešalnika. Lopatični ali bobnasti mešalniki delujejo z nizko hitrostjo in se vklopijo večkrat dnevno za kratek čas.

### 7.7.2 Pnevmsko mešanje

Pri pnevmatskem mešanju uporabljamo proizvedeni bioplin, ki ga z dna digestorja vpihujemo skozi maso substrata. Mehurčki dvigajočega se plina povzročajo vertikalno gibanje in mešajo substrat. Prednost tega sistema je, da je potrebna oprema (črpalke in kompresorji) postavljena izven digestorja, kar pomeni manjšo obrabo. Pnevmsko mešanje se v kmetijskih bioplinarnah ne uporablja pogosto, saj ta tehnologija ni primerna za odstranjevanje plavajočih plasti. Pnevmsko mešanje se lahko uporablja samo za redek tekoč substrat z majhno nagnjenostjo k tvorjenju plavajočih plasti.

### 7.7.3 Hidravlično mešanje

Pri hidravličnem mešanju substrat stiskamo s črpalkami in horizontalnimi ali dodatnimi vertikalno vodenimi oddušniki. Sesanje in odvajanje substrata mora biti oblikovano tako, da se vsebina digestorja premeša kar se da temeljito. Prednost hidravličnih mešalnikov je, da so njihovi mehanski deli postavljeni izven digestorja in tako manj izpostavljeni obrabi, obenem pa so lažje dostopni za vzdrževanje. Hidravlično mešanje je redkokdaj ustrezno za odpravo plavajočih plasti in ga, podobno kot pnevmatsko mešanje, uporabljamo samo za redek tekoč substrat z majhno nagnjenostjo k tvorjenju plavajočih plasti.

## 7.8 Skladiščenje bioplina

Proizvodnjo bioplina je potrebno ohranjati kar se da stabilno in konstantno. V digestorju pa bioplin nastaja neenakomerno in s proizvodnimi vrhunci. Kadar se bioplin izkorišča npr. v enoti za SPTE, lahko potreba po bioplinu čez dan niha. Da bi lahko vsa ta nihanja uravnavali, je nujno, da proizvedeni bioplin začasno shranimo v primernih skladiščnih prostorih.

Možni so različni načini skladiščenja. Najenostavnejša rešitev je ureditev skladišča za bioplin na vrhu digestorja z uporabo zrakotesne membrane, ki hkrati služi tudi kot pokrov digestorja. Za večje bioplinske naprave skladiščne prostore uredimo ločeno, lahko kot samostojno zgradbo ali pa se jih priključi ostalim skladiščem. Skladiščni prostori za bioplin lahko delujejo pod nizkim, srednjim ali visokim tlakom.

Pravilna izbira in dimenzioniranje skladiščnih prostorov za bioplin pomembno prispevata k učinkovitosti, zanesljivosti in varnosti bioplinske naprave, tako da zagotavljata konstantno zalogo in zmanjšujeta izgube bioplina.

Vsi skladiščni prostori za bioplin morajo biti zrakotesni in odporni na tlak. Skladiščni prostori, ki niso zaščiteni v zgradbah, pa morajo biti odporni tudi na ultravijolične žarke in vremenske vplive. Pred zagonom bioplinske naprave je potrebno preveriti zrakotesnost skladiščnih rezervoarjev. Iz varnostnih razlogov morajo biti opremljeni z varnostnimi ventili (premajhen in prevelik tlak) (Slika 7.25), da se izognemo poškodbam in tveganju. Zagotovljena mora biti zaščita pred eksplozijo in opozorilo za nevarnost. Minimalna kapaciteta skladiščnih prostorov mora ustrezati četrtini dnevne proizvodnje bioplina.



Slika 7.25. Tlačni varnostni pripomočki in ventili. Vir: AGRINZ, 2006

### 7.8.1 Nizkotlačni rezervoarji

Pogosto uporabljani nizkotlačni rezervoarji imajo razpon nadtlaka od 0,05 do 0,5 mbar in so izdelani iz posebnih membran, ki morajo izpolnjevati številne varnostne zahteve. Rezervoarji z membrano so nameščeni kot zunanji plinski rezervoarji ali kot plinske kupole na vrhu digestorja.

Zunanji nizkotlačni rezervoarji so lahko oblikovani kot membranska blazina/ plinski baloni (slika 7.26). Membranske blazine so postavljene znotraj stavb zaradi zaščite pred vremenskimi vplivi ali pa so opremljene z dvojno membrano.

Če digestor ali podigestor uporabljamo za skladiščenje bioplina, morata biti pokrita z plinotesno membransko kupolo (rezervoarji z dvojno membrano), kot je prikazano na sliki 7.27 levo, ki je pritrjena na zgornji rob digestorja. V digestor je mogoče namestiti podporni okvir, ki drži prazno membrano. Membrana se razširi glede na prostornino plina, ki ga vsebuje. Širjenje membrane je možno omejiti s posebno mrežo, ki jo namestimo čeznjo (slika 7.27 desno).



Slika 7.26. Zunanji skladiščni rezervoarji z nizkim pritiskom. Vir: RUTZ 2007



Slika 7.27. Plinotesna membrana; pogled znotraj digestorja -levo. Vir: AGRINZ 2006; Plinotesna membrana opremljena z mrežo, ki omejuje raztezanje -desno. Vir: RUTZ, 2006

### 7.8.2 Skladiščenje bioplina pod srednjim in visokim tlakom

Bioplin je lahko shranjen tudi v rezervoarjih s srednjim in visokim tlakom, v jeklenih rezervoarjih ali jeklenkah pod tlakom od 5 do 250 barov. Ta vrsta skladišč ima visoke obratovalne stroške in visoko porabo energije. Za plinske rezervoarje do tlaka 10 barov je treba računati na energijske potrebe do  $0,22 \text{ kWh/m}^3$ , za rezervoarje z visokim tlakom (200 do 300 barov) pa okoli  $0,31 \text{ kWh/m}^3$ . Zaradi velikih stroškov se taki rezervoarji v kmetijskih bioplinskih napravah redko uporabljajo.

### 7.8.3 Bioplinske bakle

Včasih se zgodi, da proizvedemo več bioplina, kot ga je možno porabiti za proizvodnjo energije. Do tega lahko pride zaradi neobičajno velike proizvodnje bioplina, ali med odpovedjo oz. vzdrževanjem sistema za pridobivanje energije. V takih primerih so nujne rezervne rešitve, kot je dodatno skladišče za bioplin ali dodaten sistem za proizvodnjo energije. Skladiščenje bioplina za krajši čas je možno brez kompresije, za obdobje daljše od nekaj ur pa to običajno, zaradi prevelikega volumna, ni izvedljivo. Dodatna enota za proizvodnjo energije (druga enota za SPTe) ekonomsko ni upravičena. Zato mora biti vsaka bioplinska naprava opremljena z bioplinsko baklo. V situacijah, ko imamo

presežek bioplina, ki se ga ne da shraniti ali porabiti, je sežig na bakli skrajna rešitev, da se izognemo varnostnim tveganjem in zavarujemo okolje. V izrednih razmerah je lahko sežig na bakli rešitev za varno odstranitev bioplina proizvedenega s procesom AD, ko proizvodnja energije ni možna.

Prednosti določene vrste bakle pred drugo določa proces izgorevanja. Izbiro bakle nam določajo njene delovne karakteristike in emisijski standardi. Tu sta še posebej pomembna dva parametra; temperatura zgorevanja in kontaktni čas gorenja. Bakle naj bi bile oblikovane tako, da omogočajo kar najboljšo pretvorbo metana in izpust nezgorelega metana ter drugih proizvodov nepopolne oksidacije (npr. ogljikov monoksid) tako zmanjšajo na najmanjšo možno mero. Pri izgorevanju bioplina lahko, glede na razmerje zraka, temperature in dinamiko zgorevanja, nastane več neželenih stranskih proizvodov. Da bi zgorevanje na bakli optimirali, je potrebno ohraniti temperaturo med 850 - 1200 °C in minimalen kontaktni čas gorenja 0,3 sekunde.

Ne glede na vrsto bakle, zahteva njeno varno in zanesljivo delovanje, poleg gorilnika in ograje, številne druge posebnosti. Osnovni varnostni dodatki vključujejo varovalo za ogenj, varnostni ventil in vžigalni sistem, ki vsebuje detektor ognja. Prav tako je bistveno puhalo za plin, da se tlak plina pri gorilniku dvigne na 3 - 15 kPa. Nujnost čiščenja ali kondicioniranja plina je odvisna od kakovosti plina in mesta uporabe, ali je to v obratu za proizvodnjo energije, kjer je toleranca vsebovanih delcev nižja in za številne kisle pline, ki nastajajo med izgorevanjem. Obstajata dva osnovna tipa bioplinskih bakel: odprte bakle in ograjene bakle.

Odprta bakla je pravzaprav gorilnik z majhnim vetrobranom, ki varuje ogenj. Upravljanje plina je osnovno – v mnogih primerih je to preprost ročni ventil. Bogata plinska mešanica, pomanjkanje izolacije in slabo mešanje vodi do nepopolnega izgorevanja in žarečega plamena, ki se ga pogosto opazi nad vetrobranom. Znatna je izguba toplote s sevanjem, zato na robu plamena prihaja do hladnih območij in je zgorevanje dušeno, kar prinaša veliko neželenih stranskih proizvodov.

Odprte bakle so bile v preteklosti priljubljene zaradi njihove preprostosti in nizkih stroškov, ter zaradi permisivne ali pomanjkljive zakonodaje ter nadzora emisijskih standardov. V prihodnje bodo stroga pravila in nadzor emisij verjetno omejila njihovo uporabo.

Ograjene bakle so običajno trajne naprave, postavljene na tleh, z enim ali več gorilniki ograjenimi v cilindričnem ohišju obloženim z ognjevarnim refractory materialom. Ohišje je namensko oblikovano, preprečuje dušenje in posledično omogoča veliko bolj konstantno izgorevanje ter nizke emisije. Nadzor emisij je relativno enostaven, zraven pa lahko vključimo še kontinuirano merjenje temperature, ogljikovodikov in ogljikovega monoksida. Izboljšana tehnika in nadzor procesa zagotavljata večjo fleksibilnost gašenja (razmerje med minimalnim in maksimalnim pretokom plina, pri katerem vzdržujemo zadovoljive delovne pogoje). Proizvajalci običajno navajajo razmerje gašenja 4-5:1 za kakovost bioplina z 20-60 % metana (po prostornini). Višje razmerje gašenja, do 10:1

je možno doseči, vendar na račun kakovosti izgorevanja, saj izpust toplote ne omogoča doseganja ustrezne temperature.



Slika 7.28. Sodobna bioplinska bakla. Vir: Rutz, 2007

## 7.9 Čiščenje bioplina

### 7.9.1 Kondicioniranje plina

Ko bioplin zapusti digestor, je nasičen z vodno paro in poleg metana ( $\text{CH}_4$ ) in ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) vsebuje še različne količine vodikovega sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Vodikov sulfid je toksičen plin z značilnim neprijetnim vonjem, podobnim vonju po gnilih jajcih, ki v kombinaciji z vodno paro oblikuje žvepleno kislino. Žveplena kislina je jedka in lahko poškoduje motorje naprav za SPTE, plinovode, izpušne cevi itn. To preprečimo z odstranitvijo vodikovega sulfida iz bioplina in s sušenjem bioplina.

Proizvajalci enot SPTE podajajo minimalne potrebne zahteve za karakteristike gorljivega plina (preglednica 7.2). Potrebno je zagotoviti karakteristike izgorevanja, da se prepreči poškodbe motorjev. To velja tudi za uporabo bioplina. Za koriščenje bioplina (npr. kot gorivo za vozila ali v gorivnih celicah) je potrebno dodatno izboljševanje in kondicioniranje.

Preglednica 7.2. Minimalne zahteve za gorljive pline z relativno vsebnostjo kisika 5 %

kurilnost (nižja kurilna vrednost)	$H_u$	$\geq 4 \text{ kWh/m}^3$
vsebnost žvepla (skupno)	S	$\leq 2,2 \text{ g/m}^3 \text{ CH}_4$
ali vsebnost $\text{H}_2\text{S}$	$\text{H}_2\text{S}$	$\leq 0,15 \text{ Vol.-%}$
vsebnost klora (skupno)	Cl	$\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
vsebnost fluorida (skupno)	F	$\leq 50,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
vsota klora in fluorida	(Cl + F)	$\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
prah (3 ... 10 $\mu\text{m}$ )		$\leq 10,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
relativna vlažnost (pri najnižji dovodni temperaturi zraka, drugače rečeno kondenzacija v dovodni cevi in poti za kontrolo plina)	$\phi$	$< 90 \%$

tlak dotoka pred vstopom v pot za kontrolo plina	$p_{\text{Gas}}$	20 ... 100 mbar
nihanje v tlaku plina		$< \pm 10\%$ of set value
temperatura plina	T	10 ... 50 °C
ogljikovi hidrati (> C5)		$< 0,4 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
silicij (pri Si > 5 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> analiza olja za vsebnost kovin t < 15 mg/kg pregledanega olja)	Si	$< 10,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
metan count (Bioplin MC približno 135)	MZ	> 135

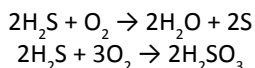
## 7.9.2 Razžvepljevanje

Suh bioplin iz AD živinskega gnoja povprečno vsebuje 1000 – 3000 ppm H<sub>2</sub>S (Agelidaki, 2003). Bioplin proizveden s presnovo živinskega gnoja z uporabo kosubstratov ima lahko različno vsebnost H<sub>2</sub>S. Večina konvencionalnih motorjev, ki jih uporabljamo za SPTE, zahteva bioplin, ki vsebuje manj kot 700 ppm H<sub>2</sub>S, da se izognemo prekomerni koroziji ter hitri in dragi porabi olja za mazanje.

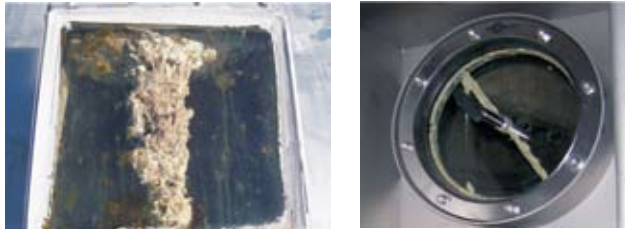
Odstranjevanje H<sub>2</sub>S iz bioplina (razžvepljevanje) je možno z različnimi metodami, biološkimi ali kemičnimi, ki potekajo znotraj ali zunaj digestorja. Odstranjevanje žvepla je odvisno od vsebnosti H<sub>2</sub>S in bioplinskega toka skozi opremo za razžvepljevanje. Tok bioplina lahko glede na postopek znatno niha. Večjo proizvodnjo bioplina, in s tem tudi večji pretok skozi razžvepljevalne naprave, lahko zaznamo po nalaganju novega substrata v digestor in med mešanjem. V kratkih časovnih intervalih je lahko obremenitev do 50 % višja kot običajno. Zato, in da zagotovimo popolno odstranitev žvepla, je nujno uporabljati zmogljivejšo opremo, kot je običajno potrebna.

### Bioško odstranjevanje žvepla v digestorju

Bioška oksidacija je ena izmed najpogosteje uporabljenih metod odstranjevanja žvepla in temelji na vbrizganju manjše količine zraka (2 - 8 %) v surov bioplin. Na ta način se vodikov sulfid biološko oksidira v žveplo v trdni obliki (Slika 7.29) ali do tekoče žveplove kisline (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>):



V praksi žveplovo usedlino zberemo ter dodajamo v skladiščne rezervoarje, kjer se zmeša s presnovljenim materialom, s tem se izboljša lastnosti presnovljenega materiala namenjenega za gnojenje. Bioško odstranjevanje žvepla se pogosto opravlja v digestorju, saj je to poceni metoda. Pri takem odstranjevanju žvepla morata biti prisotna kisik in bakterija *Sulfobacter oxydans*, da se vodikov sulfid pretvori v elementarno žveplo. *Sulfobacter oxydans* se nahaja v digestorju (ni je potrebno dodajati), saj substrat za AD vsebuje pomembna hranila za bakterijin metabolizem. Kisik se priskrbi z vpihovanjem kisika na vrhu digestorja s pomočjo zelo majhnega kompresorja. Cevi za dovajanje kisika v rezervoar naj bodo postavljene na drugo stran kot odvod za bioplin, da se izognemo mašenju odvodne cevi.

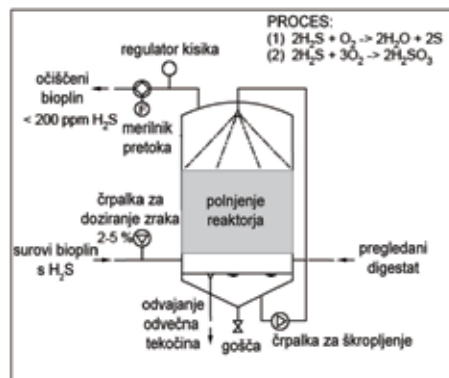


Slika 7.29. Elementarno žvepla, ki se je nakopičilo po biološkem odstranjevanju žvepla v digestorju. Vir: Rutz, 2007

Zrak vbrizgamo neposredno v zgornji del digestorja. Reakcije potekajo v gornjem delu, na plavajočih plasteh (če obstajajo), in na stenah reaktorja. Zaradi jedke narave proizvodov obstaja tveganje korozije. Proces je odvisen od prisotnosti stabilne plavajoče plasti znotraj digestorja. Proces se zato pogosto odvija v ločenem reaktorju, kot je prikazano na sliki 7.30.

### Biološko odstranjevanje žvepla izven digestorja

Biološko odstranjevanje lahko poteka v rezervoarjih ali stolpih za odstranjevanje žvepla. Ta metoda olajšuje nadzor nad procesom in dodajanje kisika je bolj natančno.



Slika 7.30. Diagram sistema za biološko oksidacijo  $H_2S$  (Angelidaki, 2004)

Reaktor (slika 7.31) je podoben strgalnemu dnu, sestavljajo ga porozno polnilo (naključno zloženi plastični elementi), kjer lahko rastejo mikroorganizmi, zbiralnika sedimentov, črpalka in razpršilec, ki omogoča redno močenje polnila. Reaktor prikazan na sliki 7.31 ima kapaciteto  $80\text{ m}^3$  s  $50\text{ m}^3$  polnila.  $H_2S$  se z vpihovanjem manjše količine zraka iz atmosfere skozi biološki proces oksidira do kislinskih proizvodov ali prostega žvepla.



Slika 7.31. Reaktor za odstranjevanje vodikovega sulfida. Vir: Angelidaki, 2004

Namen škropljenja je spiranje kislinskih produktov in oskrbovanje mikroorganizmov s hranili. Odtočni kanal mora zato vsebovati visoko alkalno tekočino, bogato z bistvenimi hranili za mikroorganizme. Digestat (presnovljeni substrat), še posebej če je pred uporabo pregledan, v tem primeru predstavlja idealen in lahko dostopen vir takšne tekočine.

Običajna izbira zmogljivosti reaktorja je približno 10 m<sup>3</sup>/h bioplina na m<sup>3</sup> reaktorja in procesna temperatura okoli 35 °C. Proces se je izkazal kot zelo učinkovit, pod pogojem, da je vpihano dovolj zraka (malenkost več kot je stohiometrično potrebno). V sedimentnem tanku je potrebno vzdrževati vrednost pH 6 ali več. Postopek spiranja, kjer se opere polnilo z mešanico zraka in vode, je potrebno izvajati v rednih intervalih, tako preprečimo, da bi proste žveplove usedline mašile polnilo reaktorja.

V nekaterih primerih, ko je bioplin uskladiščen ali prehaja skozi skladišče presnovljenega substrata, izvzamemo reaktor za odstranjevanje H<sub>2</sub>S, ter samo vpihujemo zrak. Čiščenje bioplina je v takih primerih odvisno od nastajanja plavajočih plasti v skladiščnem rezervoarju, na katerih lahko rastejo potrebni mikroorganizmi za oksidacijo. Plavajočo plast je mogoče obdržati brez večjih problemov v delovanju rezervoarja kot začasnega skladišča (buffer) z izbiro nizke intenzivnosti mešanja. Ta rešitev je cenejša, vendar tudi manj zanesljiva, saj so plavajoče plasti večinoma nestabilne, tako se lahko čez noč potopijo in se ponovno pojavijo nekaj dni kasneje. Zato lahko pride do obdobj z neučinkovitim odstranjevanjem H<sub>2</sub>S.

### **Kemično odstranjevanje žvepla v digestorju**

Razžvepljevanje je mogoče tudi z dodajanjem kemične snovi v mešanico substrata v digestorju. Na ta način je žveplo kemično omejeno med procesom AD, kar prepreči izpust vodikovega sulfida v bioplin. S tem se žveplo ne izgubi, ampak ostane v presnovljenem materialu.

### **Kemično odstranjevanje žvepla izven digestorja**

Kemično razžvepljevanje se lahko odvija izven digestorja, npr. z uporabo lugov (običajno natrijev hidroksid). Za to je potrebna posebna oprema.

Druga kemijska metoda zmanjševanja vsebnosti vodikovega sulfida je dodajanje železove raztopine v substrat. Železove zmesi vežejo žveplo v tekočo netopljivo zmes, kar prepreči nastajanje plinastega vodikovega sulfida. Metoda je precej draga, saj se je izkazalo, da je poraba železovega materiala na stohiometrični osnovi 2 - 3 krat večja od zelene redukcije plinastega vodikovega sulfida (Angelidaki, 2004). Tako je cenejša alternativa dodajanja kosubstratov (organskih odpadkov), ki vsebujejo železo in uporaba železovih dodatkov samo za podporo.

### **7.9.3 Sušenje**

Relativna vlažnost bioplina v digestorju je 100 %, plin je zasičen z vodno paro. Da se opremo za pretvarjanje energije obvaruje pred obrabo in možnimi poškodbami, je potrebno iz proizvedenega biolina odstraniti vodo.

Količina vsebnosti vode v plinu je odvisna od temperature. Del vodne pare je mogoče kondenzirati z ohlajanjem plina. To se pogosto opravlja v ceveh, ki dovajajo bioplin iz digestorja do SPTE enote. Kondenz se nabira na stenah poševnih cevi in ga je možno zbirati v separatorju kondenza na najnižji točki cevovoda. Prvi pogoj za učinkovito ohlajanje biolina v ceveh je zadostna dolžina cevi. Učinek hlajenja je še večji, če cevi potekajo pod zemljo. Za podzemni cevovod je zelo pomembno, da je postavljen na stabilnih temeljih, da lahko zagotovimo nagib cevi, na katerega lahko vplivajo pogrezajoča ali premikajoča se tla. Separator kondenza ne sme pomrzniti in mora biti enostavno dostopen, da ga je možno redno prazniti. Poleg vodne pare kondenzacija odstrani tudi nekatere neželene substance kot so v vodi topljivi plini in aerosoli.

Druga možnost za sušenje bioplina je hlajenje plina z električnimi hladilniki pri temperaturah pod 10 °C, ki omogočajo, da se odstrani velik del vlage. Da zmanjšamo samo relativno vlažnost plina, ne pa tudi absolutno vlažnost, lahko plin po ohlajanju ponovno ogrejemo in tako preprečimo kondenzacijo v plinovodu.

### **7.10 Skladiščenje presnovljenega substrata (digestata)**

Presnovljeni substrat v časovnih intervalih izčrpamo iz digestorja in skozi cevovod transportiramo do bližnjega zalogovnika, kjer je digestat lahko začasno shranjen (nekaj dni).

Ko ga uporabimo za gnojilo, presnovljeni substrat skozi cevovod ali s posebnimi vakuumskimi cisternami transportiramo stran od bioplinske naprave ter začasno shranimo v skladiščnih rezervoarjih postavljenih npr. na poljih, kjer se presnovljeni substrat uporablja. Skupna kapaciteta teh prostorov mora biti zadostna, da lahko uskladiščimo proizvodnjo presnovljenega substrata za nekaj mesecev. Kmetijska zakonodaja v

mnogih evropskih državah zahteva skladiščno kapaciteto živinskega gnoja, gnojevke ali presnovljenega substrata za šest do devet mesecev, da se zagotovi njihova optimalna in učinkovita raba v obliki gnojila, ter da se izognemo nanosu med zimsko sezono.

Presnovljeni substrat lahko hranimo v betonskih rezervoarjih ali kot lagune, pokrite z naravnimi oz. umetnimi plavajočimi plastmi ali membranskimi pokrivali.



Slika 7.32. Skladiščni rezervoarji pokriti z naravno plavajočo plastjo. Vir: Danish Biogas Association, 2008



Slika 7.33. Skladiščni rezervoarji pokriti z membrano. Vir: Danish Biogas Association, 2008

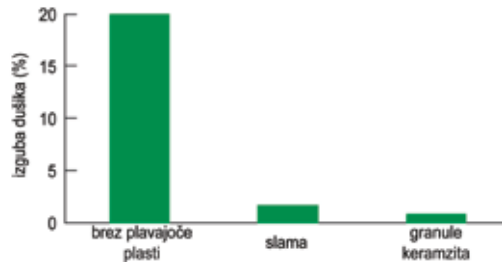


Slika 7.34. Odprte lagune za skladiščenje presnovljenega materiala. Vir: Agrinz, 2006

Med skladiščenjem in obdelavo presnovljenega substrata so možne izgube metana in hranil. Zunaj digestorja, v rezervoarjih za skladiščenje presnovljenega substrata, se lahko odvija do 20 % proizvodnje bioplina. Skladiščni rezervoarji naj bodo vedno pokriti z zrakotesno membrano, da preprečimo emisije metana in zberemo dodatno proizveden plin. Sodobne bioplinske naprave imajo skladiščne rezervoarje zaprte z zrakotesno membrano.

Kadar je presnovljeni material začasno shranjen v skladiščnih prostorih, ki se nahajajo na poljih, naj bodo ti pokriti vsaj z naravno plavajočo plastjo, da se zmanjša tveganje izhlapevanja amoniaka. Izkušnje kažejo, da je z umetno plavajočo plastjo v skladiščnih

rezervoarjih možno zmanjšati izhlapevanje amoniaka od 20 % na manj kot 2 % (slika 7.35).



Slika 7.35. Plavajoča plast na skladiščnih rezervoarjih za presnovljeni material zmanjša izhlapevanje amoniaka. Vir: Birkmose, 2002

### 7.11 Nadzorna enota

Bioplinska naprava je kompleksna postavitvev s tesnimi povezavami med vsemi njenimi deli. Zato je centralno računalniško nadzorovanje in vodenje bistven del celotnega delovanja naprave, ki zagotavlja uspešno delovanje brez napak (sliki 7.36 in 7.37). Standardizacija in nadaljnji razvoj procesnih tehnologij AD je mogoč le z rednim nadzorovanjem in dokumentiranjem pomembnih podatkov. Nadzorovanje in dokumentiranje sta prav tako nujna za stabilnost procesa, tako je možno prepoznati odklone od standardnih vrednosti ter zgodaj posredovati in izvesti popravljalne ukrepe.

Nadzorni proces (monitoring) vključuje zbiranje in analizo kemičnih in fizičnih parametrov. Potrebni so redni laboratorijski testi, da optimiramo biokemični proces in se izognemo inhibiciji ali prekinitvi proizvodnje bioplina. Spremljati je potrebno vsaj sledeče parametre:

- vrsta in količina vnesenega substrata (dnevno),
- procesna temperatura (dnevno),
- vrednost pH (dnevno),
- količina in sestava plina (dnevno),
- vsebnost maščobnih kislin s kratkimi verigami,
- nivo polnjenja.

Pri nadzornem procesu naj sodeluje tudi proizvajalec naprave, kot vključeno v pogodbo o servisiranju, ki mora slediti fazi izgradnje bioplinske naprave.

Upravljanje bioplinskih naprav z uporabo posebnih računalniško osnovanih kontrolnih sistemov postaja vedno bolj avtomatizirano. Možno je tudi daljinsko upravljanje. Današnje avtomatizirano upravljanje zajema sledeče komponente:

- dovajanje substrata,
- higienizacija,
- ogrevanje digestorja,

- intenzivnost in frekvenca mešanja,
- odstranjevanje sedimentov,
- transportiranje substrata skozi napravo,
- ločevanje trdih in tekočih delov,
- odstranjevanje žvepla,
- proizvodnja električne energije in toplote.

Vrsta opreme za upravljanje in nadzorovanje variira od preprostih časovnih stikal do ponazoritve računalniško podprtega upravljanja z daljinskim alarmnim sistemom. Vendar so zaradi ekonomskih razlogov v praksi merilna in oprema za tehnično upravljanje kmetijskih bioplinskih naprav pogosto zelo preproste.



Slika 7.36. Slika zaslona računalniško osnovanega nadzornega načrta z dvema glavnima digestorjema. Vir: Agrinz, 2006



Slika 7.37. Računalniško osnovani nadzorni sistemi. Vir: Rutz, 2007

### 7.11.1 Količina vnesenega tekočega substrata

Količino vnesenega substrata, ki ga je možno črpati, je možno določiti z uporabo merilnikov pretoka. Biti morajo robustni in neobčutljivi na umazanijo. Trenutno se uporabljajo induktivni in količinski merilniki pretoka, vedno bolj pa so v uporabi tudi inštrumenti, ki uporabljajo ultrazvok in meritve toplotne prevodnosti. Merilniki pretoka z mehanskimi deli so manj primerni za bioplinske naprave.

Za določanje trdnega substrata, kot npr. koruzne silaže, se uporablja ustrezna oprema za tehtanje, ki dovoljuje odmerjanje trdnih substratov.

### 7.11.2 Nivo polnjenja digestorja

Nadzorovanje nivoja polnjenja digestorjev in skladiščnih rezervoarjev se opravlja z ultrazvokom ali radarsko tehniko, ki merita hidrostatični tlak na dnu digestorja ali razdaljo do gladine tekočine.

### 7.11.3 Nivo polnjenja plinohrama

Merjenje nivoja polnjenja plinskih rezervoarjev je pomembno (npr. za delovanje naprav za SPTE). Kadar je na voljo premalo bioplina, se naprava SPTE avtomatsko izključi ter ponovno zažene, ko je nivo polnosti nad minimalnim dovoljenim za delovanje SPTE. Meritve polnosti običajno opravljajo senzori tlaka.

### 7.11.4 Procesna temperatura

Temperatura v digestorju mora biti konstantna in jo zato ves čas nadzorujemo. V digestorju je več merilnih točk za nadzorovanje temperature celotnega procesa. Izmerjene vrednosti so poslane do računalniške spominske enote in jih je možno vizualno prikazati. Vnos teh podatkov omogoča avtomatično upravljanje ogrevalnega ciklusa.

### 7.11.5 Vrednost pH

Vrednost pH substrata prinaša pomembne informacije o delovanju procesa AD. Meritev pH opravljamo na reprezentativnem vzorcu vsebnosti digestorja, ki ga odvezemamo v rednih presledkih. pH merimo ročno z uporabo običajnih pH merilnikov dostopnih na tržišču.

### 7.11.6 Določanje hlapnih maščobnih kislin (HMK)

Nadzorovanje HMK olajšuje vrednotenje in optimizacijo procesa AD. Meritve vključujejo spekter in koncentracijo maščobnih kislin kratkih verig. Zaradi zahtevnih metod analize je kontinuirane meritve v bioplinarni težko izvajati. Pravilna ocena dejanske biologije v procesu, je težko izvedljiva tudi v laboratoriju. Vzrok temu je čas, ki je potreben od odvzema vzorca do opravljene analize v laboratoriju. Mnogi proizvajalci bioplinskih naprav in njihovi svetovalci v okviru pogodbenih obveznosti ponujajo tudi opravljanje analiz HMK. Kot alternativa monitoringu HMK ali kot dodatek, je možen kontinuiran nadzor koncentracije kemične potrebe po kisiku (KPK).

### 7.11.7 Količina bioplina

Meritve količine bioplina se izvajajo z instrumenti s splošnim imenom plinomeri. Merjenje proizvodnje plina je pomembno orodje za določanje učinkovitosti procesa. Variacije v proizvodnji plina lahko nakazujejo na motnje v procesu, ki zahtevajo ustrezne ukrepe. Plinomeri so običajno postavljeni direktno v plinovodu. Proizvodnjo plina je

potrebno beležiti za nadaljnje ocenjevanje vzorcev in trendov proizvodnje ter celotnega delovanja bioplinske naprave.

### 7.11.8 Sestava bioplina

Sestavo bioplina je možno nadzorovati neprekinjeno z analizami plina in uporabo primernih merilnih naprav. Rezultati so uporabni za upravljanje procesa AD ter procesa, ki mu sledi (npr. čiščenje plina).

Za določanje sestave plinov uporabljamo senzorje, ki temeljijo na spremembi temperaturnega gradienta pri prenosu toplote, absorpciji infrardečih žarkov, kemijski sorpciji in elektrokemičnem zaznavanju. Infrardeči senzori so primerni za določanje koncentracij metana in ogljikovega dioksida. Elektrokemični senzori se uporabljajo za določanje vsebnosti vodika, kisika in žveplovodika.

Meritve sestave plina se izvajajo ročno ali avtomatsko. Ročne merilne naprave nam dajejo podatke o dejanski sestavi plina, vendar je nadaljnje vključevanje teh podatkov v računalniško upravljanje naprave težavno. Zato raje uporabljamo avtomatske meritve sestave plina.

## Kako začeti?

## 8 Načrtovanje in gradnja bioplinske naprave

To poglavje podaja smernice o zasnovi, načrtovanju in gradnji bioplinske naprave.

### 8.1 Izvedba projekta bioplinske naprave

K postavitvi bioplinske naprave nas lahko vodijo različni motivi, od varovanja okolja in zmanjševanje količine odpadkov do proizvodnje obnovljive energije, in lahko vključujejo finančne in druge pobude. Običajni pobudniki bioplinskih projektov so lokalni kmetovalci in kmetijske organizacije, proizvajalci in zbiralci organskih odpadkov, občine, proizvajalci energije ter drugi sodelujoči. Od začetne ideje o bioplinskem projektu do konca njene življenjske dobe gre proces skozi naslednje korake:

1. ideja o projektu,
2. predstudija izvedljivosti,
3. študija izvedljivosti,
4. podrobno načrtovanje bioplinske naprave,
5. pridobivanje dovoljenj,
6. izgradnja bioplinske naprave,
7. delovanje in vzdrževanje,
8. dodatne investicije, prenova in menjava komponent,
9. porušenje ali obnova.

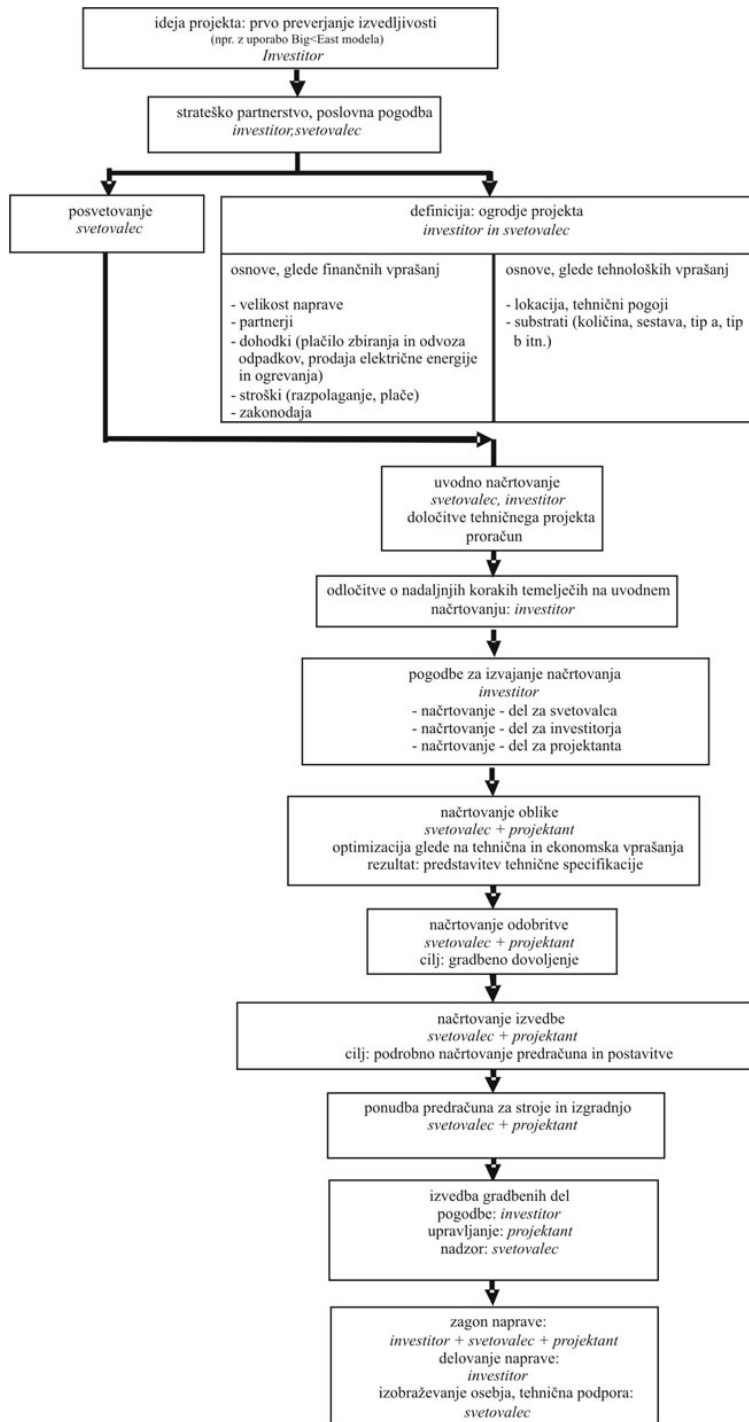
Da bi natančneje opredelili konkretno idejo o projektu bioplinske elektrarne, je potrebno odgovoriti na sledeča vprašanja:

- Kaj je cilj bioplinskega projekta?
- Kakšne so zmožnosti investitorja za izvedbo projekta?
- Kako lahko zagotovimo neprekinjeno in enotno dostavo substrata?
- Kje se lahko nahaja bioplinska naprava?

Osrednja predpostavka za izvedbo bioplinskega projekta je obstoj in razpoložljivost vhodnega substrata. Poleg tega je potrebno vnaprej zagotoviti možnost prodaje ali uporabe končnih produktov predvsem bioplina/biometana, električne energije, toplote in presnovljenega substrata. V naslednjem koraku je treba oceniti, ali je v lokalnih razmerah projekt izvedljiv. Zato je potrebno razmisliti o naslednjem:

- določanje in vrednotenje poslovnega načrta in strategije financiranja,
- vključevanje izkušenega podjetja za načrtovanje,
- zgodnje vključevanje drugih ključnih akterjev (lokalne oblasti, občine, dobaviteljev substrata, investitorjev in finančnih institucij ter javnosti).

Obstajajo različni uspešni modeli izvedbe bioplinskega projekta, ki so odvisni od razpoložljivosti substrata ter finančnih zmožnosti investitorjev.



Slika 8.1. Diagram, ki prikazuje glavne korake izvedbe bioplinskega projekta.

Čeprav je vsak projekt individualen in ga je potrebno obravnavati posebej, ker mora biti prilagojen lokalnim danostim, pa so nekateri splošni koraki podobni za vse bioplinske projekte (slika 8.1).

Proces se začne z idejo projekta in prvim preverjanjem izvedljivosti (za kar lahko uporabimo npr. tudi Big East kalkulator za preračunavanje, na priloženem CD-ju). Če se pobudnik in investitor projekta za projekt odločita, je na tej stopnji potrebno priključiti še izkušeno podjetje za svetovanje v bioplinskih projektih. Morda je potrebno tudi sodelovanje projektantskega podjetja (npr. glavni pogodbenik).

Vzporedno s temi projektnimi koraki je potrebno izdelati shemo financiranja. Stvarna finančna situacija določa potrebne korake. Običajna praksa je samofinanciranje projekta brez vključevanja bank in zunanjega financiranja do točke, ko je uvodno načrtovanje že opravljeno. Če to ni mogoče, se lahko pojavijo dvomi o samem projektu in zanesljivosti investitorja. Investitor mora dobro premisliti o pričakovanih koristih in tveganjih investicije.

Uvodno načrtovanje povzame vse robne pogoje (tehnološke vidike in proračun), ki so pomembni za zunanje financiranje. Uvodni načrt je treba oddati potencialnim financerjem. To so lahko banke, institucionalni investitorji, privatne osebe, skupine privatnih oseb itn. S tistimi, ki prejmejo uvodni načrt, je priporočljivo podpisati pogodbo o zaupnosti (NDA).

Možnosti financiranja so v veliki meri odvisne od lokalnih pogojev in položaja pobudnika projekta, tako da za to ni nobenih občnih smernic. Vendar pa lahko v 10. poglavju tega priročnika najdemo nekaj nadaljnjih pojasnil in osnovnih vidikov.

## 8.2 Kako zagotoviti neprekinjeno dostavo vhodnega substrata

Prvi korak v razvoju bioplinskega projekta je izdelava podrobnega popisa razpoložljivih vrst in količin substrata v regiji. Obstajata dve glavni skupini biomase, ki ju lahko uporabimo kot vhodni substrat v bioplinski napravi. Prva zajema kmetijske proizvode kot so živinski gnoj in gnojevka, pridelek energetskih rastlin (npr. koruzna, travna silaža), ostanki zelenjave, stranski kmetijski proizvodi in odpadki s kmetij. Druga skupina zajema širok izbor ustreznih organskih odpadkov iz živilske in farmacevtske industrije, iz gostinstva, mestni trdni odpadki itn. Oceniti je potrebno primernost vseh vrst substrata glede na metanski potencial, presnovljivost, možnosti onesaženja s kemičnimi, biološkimi in fizičnimi nečistočami ter glede ekonomskih stališč (npr. plačila za zbiranje in odvoz odpadkov (gate fees), stroški zbiranja in prevoza, razpoložljivost po sezonah).

Količina konstantno razpoložljive zaloge substrata ter velikost bodoče bioplinske naprave sta pri razvijanju bioplinskega projekta tesno povezani. V oceno primernosti posameznega substrata za AD morajo biti vedno vključeni tudi stroški dostave. Pri

pogajanjih o dobavi substrata za bodočo bioplinsko napravo, si lahko pomagamo z opisom lastnosti substratov v poglavjih 8.2.1 in 8.2.2.

### 8.2.1 Določanje velikosti naprave, ki uporablja kmetijske substrate

Živinski gnoj in pridelki energetskih rastlin so med najpogostejšimi kmetijskimi substrati za kmetijske bioplinske naprave. Njihove glavne lastnosti so opisane v preglednici 8.1.

*Preglednica 8.1. Tipične lastnosti najpogostejših kmetijskih substratov. Vir: Finsterwalder, 2008*

	Vsebnost SS [%]	Vsebnost oSS [%]	Donos bioplina [m <sup>3</sup> /t oSS]	Donos bioplina [m <sup>3</sup> /t FF]	Vsebnost metana [%]
goveja gnojevka	10	75	340	25	55
prašičja gnojevka	8	75	400	24	58
travna silaža	40	85,6	656	225	55
koruzna silaža	32	95,4	611	187	53

Da bi določili primerno velikost naprave, npr. z ozirom na proizvodjo električne energije, je nujno upoštevati razpoložljivost substrata. Sledeča primera prikazujeta, kako enostavno izračunati ustrezno inštalirano električno moč v kW<sub>el</sub>.

#### Primer določanja velikosti naprave / inštalirane električne moči bioplinske naprave, ki deluje na hlevski gnoj:

- Določiti je treba dnevno količino gnoja (m<sup>3</sup>/ dan).
- Določiti je treba vsebnost trdnega materiala v gnoju/gnojnici (%SS).

Če je vsebnost SS gnoja/gnojevke 9 – 10 %, možno inštalirano električno moč bioplinarne izračunamo tako, da dnevno količino gnoja pomnožimo z 2,4 kW<sub>el</sub>/d/m<sup>3</sup>.

Kmet z 200 kravami mlekaricami bo proizvedel okoli 10 m<sup>3</sup>/ dan gnoja z vsebnostjo SS 10 %.

Izračun električne moči bo: 10 m<sup>3</sup>/d × 2,4 kW<sub>el</sub>/d/m<sup>3</sup> = 24 kW<sub>el</sub>

#### Primer določanja velikosti naprave, ki deluje na pridelke energetskih rastlin:

- Potrebno je določiti koliko hektarjev (ha) obdelovalne površine (kjer npr. raste koruza, trava) imamo na voljo.
- Potencial električne energije na hektar in leto (kW<sub>el</sub>/ha/a) ocenimo glede na povprečno kakovost prsti in vremenske pogoje.

Če predpostavimo, da je vsak hektar vreden 2,5 kW<sub>el</sub> električne energije na leto, možno električno moč lahko izračunamo tako, da razpoložljivo površino pomnožimo z 2,5 kW<sub>el</sub>/ha.

200 ha × 2,5 kW/ha = 500 kW<sub>el</sub>

Seštevek rezultatov izračunov za hlevski gnoj in pridelke energetskih rastlin nam daje potencialno proizvodnjo električne energije bodoče bioplinske naprave.

Koristi, ki izhajajo iz t.i. ekonomije obsega, veljajo tudi za kmetijske bioplinske naprave. Izkušnje iz Nemčije kažejo, da bioplinske naprave, ki uporabljajo energetske pridelke in so manjše od 250 kW<sub>el</sub>, ekonomsko težko preživijo. Če je po prvem preverjanju bioplinska naprava premajhna, je vredno razmisliti o sodelovanju z drugimi kmetovalci, da zagotovimo velikost, ki bo ekonomsko upravičena. V Evropi je običajna praksa, da so kmetijske bioplinske naprave v lasti več kmetov, ki sodelujejo med seboj.

### 8.2.2 Določanje velikosti naprave za industrijske/mestne odpadke

V večini primerov morajo občine in zbiralci odpadkov zbrane odpadke ustrezno obdelati. Mnoge kmetijske bioplinske naprave uporabljajo tudi kosubstrate, to je obdelujejo še industrijske organske odpadke ali po izvoru ločene mestne organske odpadke.

Ko razmišljamo o obdelavi tovrstnih odpadkov v bodoči bioplinski napravi, je prvi korak ocenitev kakovosti substrata in metanskega potenciala. Na podlagi teh podatkov določimo velikost naprave. Potencialni donos plina iz različnih substratov se od proizvajalca do proizvajalca razlikuje glede na uporabljeno tehnologijo in surovine (preglednica 8.2).

*Preglednica 8.2. Podatki za nekatere vrste odpadkov, ki se pogosto uporabljajo kot AD substrati. Vir: Finsterwalder 2008*

	Vsebnost SS [%]	Vsebnost oSS [%]	Donos bioplina [m <sup>3</sup> /t oSS]	Donos bioplina [m <sup>3</sup> /t FF]	Vsebnost metana [%]
ostanki hrane	27	92	720	179	65
organski odpadki (ločeni po izvoru)	40	80	454	145	60
oljni separatorji (pred izločanjem vode)	36	69	1 200	298	61

Kakovost organskih odpadkov variira od države do države ter od regije do regije in je odvisna od navad potrošnikov. Tako bo tudi strokovnjak težko ocenil donos bioplina iz odpadkov samo z vizualnim pregledom. Ko je razpoložljivost določene vrste odpadkov zagotovljena, je nujno izvesti eudiometrično testiranje donosa plina in kakovosti plina, za primerno dimenzioniranje bodoče bioplinske naprave. Osnoven izračun za posamezne primere je mogoče opraviti s pomočjo kalkulatorja, ki ga je možno brezplačno sneti z internetne strani [www.big-east.eu](http://www.big-east.eu).

### 8.2.3 Načrt dovajanja substrata

Uspešno načrtovanje bioplinskega projekta zajema izdelavo sistema dovajanja vhodnega substrata. Sistem dovajanja lahko sloni na enem ali več dobaviteljih.

1. Posamezen dobavitelj (npr. kmetija, proizvajalec organskih odpadkov) ima dovolj gnoja, organskih odpadkov, obdelovalne površine ali vsega naštetega, da priskrbi dovolj substrata za delovanje bioplinske naprave.
2. Več dobaviteljev (npr. manjše kmetije, proizvajalci organskih odpadkov) sodelujejo v konzorciju (npr. kooperativnem podjetju, d.o.o. itn.) pri izgradnji, vodenju in dobavi substrata za bioplinsko napravo.

V obeh primerih je pomembno zagotoviti neprekinjeno in dolgoročno dovajanje potrebnega vhodnega substrata. To je precej enostavno, ko je dobavitelj ena sama kmetija s sorazmerno obdelovalno površino. V primeru konzorcija lastnikov in dobaviteljev substrata, mora vsak dobavitelj podpisati dolgoročno pogodbo, ki zajema vsaj sledeče elemente:

- trajanje pogodbe,
- zagotovljeno količino zaloge substrata za obdelovalne površine,
- zagotovljeno kakovost dostavljene biomase,
- plačila glede na količino in kakovost dostavljenega substrata.

V primerih, ko so dobavitelji substrata hkrati tudi investitorji ali solastniki bioplinske naprave, je potrebno z vsakim dogovoriti in podpisati ločene pogodbe, ki določajo njihove dolžnosti in odgovornosti.

### 8.3 Kje postaviti bioplinsko napravo

Naslednji korak v bioplinskem projektu je iskanje primerne prostora za postavitev naprave. Spodnji seznam podaja nekaj pomembnih premislekov, ki jih je treba upoštevati pred izborom lokacije za bodočo napravo:

- Lokacija naj bo dovolj oddaljena od stanovanjskih poslopij, da se izognete nevšečnostim, motnjam in konfliktom v zvezi z neprijetnimi vonjavami ter povečanim prometom proti in od bioplinske naprave.
- Upoštevati je potrebno smer prevladujočih vetrov, ki prinašajo neprijetne vonjave do stanovanjskih poslopij.
- Lokacija mora imeti enostaven dostop do infrastrukture kot je električno omrežje, za prodajo električne energije in do ceste, da je omogočeno dovažanje substrata in odvažanje digestata.
- Tla na lokaciji je treba pred gradnjo preveriti.
- Izbrana lokacija ne sme biti poplavno ogrožena.
- Lokacija mora biti relativno blizu proizvodnje substrata (gnoj, gnojevka, energetske rastline), da zmanjšamo razdaljo, čas in stroške prevoza substrata.
- Iz ekonomskih razlogov naj bo naprava postavljena čim bližje potencialnim uporabnikom ogrevanja. Alternativno je možno potencialne uporabnike, kot so industrija, ki potrebuje toploto, rastlinjaki itn. prestaviti bližje bioplinski napravi.
- Lokacija mora biti primerno velika, da je omogočeno izvajanje vseh dejavnosti in skladiščenje dostavljene biomase.

Potrebne površine za bioplinško napravo ni enostavno oceniti. Izkušnje kažejo, da potrebuje 500 kW<sub>el</sub> naprava približno 8000 m<sup>2</sup>. Ta številka služi samo za lažjo predstavo, saj je dejanska površina odvisna tudi od izbrane tehnologije.

Naslednji primer prikazuje grobo oceno velikosti bioplinške naprave, ki uporablja energetske rastline. Izračun določa velikost silosa (koritast silos) za skladiščenje substrata.

$$AS = MS / (DF \times HS)$$

MS	masa substrata shranjenega v silosu [t]
DF	gostota substrata v silosu [t/m <sup>3</sup> ]
HS	višina silosa [m]
AS	površina silosa [m <sup>2</sup> ]

Izračun je veljaven za silose s polnilno višino okoli treh metrov. Kot primer je uporabljena bioplinška naprava z inštalirano električno močjo 250 - 750 kW<sub>el</sub>. Velikost potrebne površine za posamezen bioplinški projekt je vedno rezultat podrobnih izračunov, za prvo oceno pa je dovolj, če vzamemo, da potrebuje bioplinška naprava dvakrat večjo površino kot silos. To pomeni:

$$AB = 2 \times AS$$

AB	površina bioplinške naprave [m <sup>2</sup> ]
AS	površina silosa [m <sup>2</sup> ]

## 8.4 Pridobivanje dovoljenj

Postopek, kriteriji in dokumentacija potrebna za pridobitev dovoljenja za gradnjo bioplinške naprave se od države do države razlikujejo.

Da bi investitor dobil gradbeno dovoljenje, mora dokumentirati skladnost projekta z vprašanji, ki zadevajo državno zakonodajo, kot so ravnanje z in recikliranje gnoja in organskih odpadkov, omejitev emisij, hrupa in vonjav, vpliv na podtalnico, varovanje okolja, varnost pri delu, gradbena varnost itn.

Izkušnje kažejo, da je pomembno že v zgodnji fazi projekta vključiti lokalne oblasti, jim posredovati informacije s prve roke in jih prositi za pomoč pri pridobivanju dovoljenj in izvedbi projekta.

Vključevanje izkušenega projektantskega podjetja v postopek pridobivanja gradbenega dovoljenja je, odvisno od lokalne situacije, lahko koristno ali celo nujno. Nekatera gradbena podjetja so to pripravljena storiti za nizko ceno, saj upajo, da bodo dobili pogodbo za gradnjo.

## 8.5 Zagon bioplinske naprave

Gradnja bioplinske naprave je podobna ostalim gradbenim delom na drugih področjih, zagon bioplinske naprave pa je postopek, ki ga morajo voditi izkušeni ljudje seznanjeni z obliko naprave in mikrobiologijo v procesu AD.

Zagon bioplinske naprave naj v vsakem primeru opravi podjetje, ki je napravo oblikovalo in zgradilo. Na začetku se upravljalec in osebje, ki bodo v bodoče napravo upravljalo, še izobražujejo o v upravljanju in vzdrževanju bioplinske naprave. Potek je od primera do primera različen.

Pred zagonom bioplinske naprave mora lastnik preveriti, ali so izpolnjene vse obveznosti določene v gradbenem dovoljenju. Nato se digestor napolni z gnojem ali s presnovljenim substratom iz že delujoče bioplinske naprave, z namenom inokulacije novega digestorja s populacijo mikroorganizmov potrebnih za proces AD. Preden se začne substrat dovajati v sistem ga je potrebno ogreti na procesno temperaturo.

Za bioplinsko napravo, ki jo oskrbuje ena sama kmetija in kapaciteto do 500 kW<sub>el</sub>, je potreben čas, povezan z upravljanjem in vzdrževanjem naprave, običajno okoli štiri ure na dan. V primeru naprav za obdelavo odpadkov je čas namenjen tem dejavnostim dogovorjen med oblikovalcem naprave in investitorjem.

## 9 Varnost bioplinskih naprav

Gradnja in delovanje bioplinske elektrarne sta povezana s številnimi pomembnimi varnostnimi vprašanji, potencialnimi tveganji in nevarnostmi za ljudi, živali in okolje. Namen ustreznih varnostnih in previdnostnih ukrepov je izogib kakršnimkoli tveganjem in nevarnim situacijam ter zagotavljanje varnega delovanja naprave. Pridobitev gradbenega dovoljenja zavisi, med drugim, tudi od izpolnitve pomembnih varnostnih vprašanj, kot so:

- preprečitev eksplozije,
- preprečitev požara,
- mehanske nevarnosti,
- statično trda gradnja,
- električna varnost,
- zaščita pred strelo,
- toplotna varnost (izolacija),
- zaščita pred hrupom,
- preprečitev zadušitev, zastrupitev,
- higienska in veterinarska varnost,
- izogibanje onesnaževanju zraka,
- preprečitev odtekanja v površinske in podtalne vode,
- izogibanje onesnaževanju med odstranjevanjem odpadkov,
- varnost pred poplavami.

## 9.1 Preprečitev požarov in eksplozij

Bioplin skupaj z zrakom lahko, pod določenimi pogoji, tvori eksplozivno plinsko mešanico. Možnost požara ali eksplozije je zlasti visoka blizu digesterja in plinskega rezervoarja. Zato je potrebno med gradnjo in delovanjem bioplinske naprave zagotoviti določene varnostne ukrepe. V preglednicah 9.1 in 9.2 je primerjava bioplina in njegovih glavnih komponent z drugimi plini glede nagnjenosti k eksplozijam. V obeh preglednicah je povprečna sestava bioplina: metan 60 vol. %, ogljikov dioksid 38 vol. % ter drugi plini 2 vol. %).

Preglednica 9.1. Lastnosti plinov (FNR, 2006)

	Enota	Bioplin	Zemeljski plin	Propan	Metan	Vodik
kurilnost	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
gostota	kg/m <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
razmerje gostote plina proti zraku		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
temperatura vžiga	°C	700	650	470	600	585
območje eksplozije	vol.-%	6 – 12	4,4 – 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77

Preglednica 9.2. Lastnosti komponent bioplina; TLV = mejna vrednost za poklicno izpostavljenost (FNR, 2006)

	Enota	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	H
gostota	kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
razmerje gostote plina proti zraku		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
temperatura vžiga	°C	600	-	270	605	585
območje eksplozije	Vol.-%	4,4 – 16,5	-	4,3 - 45,5	10,9 - 75,6	4 - 77
vrednost TLV	ppm	brez vrednosti	5000	10	30	brez vrednosti

V Evropi varnostne ukrepe pred eksplozijami določa direktiva 1999/92/EC, nevarna območja za eksplozije pa so razvrščena v cone glede na pogostost in trajanje pojavljanja eksplozivne atmosfere.

### Cona 0

Območje, kjer je eksplozivna atmosfera, sestavljena iz mešanice zraka in gorljivih substanc (plin, para ali megla), prisotna stalno, dalj časa ali občasno. Te cone se običajno ne pojavljajo na območju bioplinskih naprav.

### Cona 1

Območje, kjer se eksplozivna atmosfera, sestavljena iz mešanice zraka in gorljivih substanc (plin, para ali megla), v normalnih delovnih pogojih, pojavlja občasno.

### Cona 2

Območje kjer se eksplozivna atmosfera sestavljena iz mešanice zraka in gorljivih substanc (plin, para ali megla) v normalnih delovnih pogojih običajno ne pojavlja, če pa do tega vendarle pride, je to samo za kratek čas.

Čeprav v primeru bioplinskih naprav do eksplozij prihaja samo pod določenimi pogoji, pa ob odprtem ognju, priključitvi električnih naprav v omrežje ali udaru strele vedno obstaja nevarnost požara.

## 9.2 Nevarnost zastrupitve in zadušitve

Če vdihujemo bioplin v dovolj visoki koncentraciji, to lahko privede do simptomov zastrupitve ali dušenja in celo do smrti. V bioplinu, ki še vsebuje žveplo, je prisotnost vodikovega sulfida ( $H_2S$ ) že v nizkih koncentracijah lahko ekstremno toksična.

Preglednica 9.3. Toksičen učinek vodikovega sulfida (FNR. 2006)

Koncentracija (v zraku)	Učinek
0,03 – 0,15 ppm	prag zaznavanja (vonj gnilih jajc)
15 – 75 ppm	draženje oči in dihal, slabost, bruhanje, glavoboli, raztresenost
150 – 300 ppm (0,015 – 0,03 %)	paraliza vohalnega živca
> 375 ppm (0,038 %)	smrt z zastrupitvijo (po več urah)
> 750 ppm (0,075 %)	smrt zaradi odpovedi dihal po 30 do 60 minutah
od 1000 ppm (0,1 %)	hitra smrt zaradi odpovedi dihal po nekaj minutah

V zaprtih prostorih (npr. kletah, podzemnih prostorih) lahko zadušitev povzroči nadomestitev zraka z bioplinom. Bioplin je lažji od zraka in ima relativno vlažnost okoli  $1,2 \text{ kg/Nm}^3$ , vendar teži k ločevanju na sestavine. Težji ogljikov dioksid ( $D = 1,85 \text{ kg/m}^3$ ) se spusti nižje, medtem ko se lažji metan ( $D = 0,72 \text{ kg/m}^3$ ) dviga v zrak. V teh prostorih je zato potrebno poskrbeti za zadostno ventilacijo. Poleg tega je pri delu v potencialno nevarnih prostorih potrebno nositi varnostno in zaščitno opremo (npr. opozorilnik za prisotnost plina, dihalne maske itn.).

### 9.3 Druge nevarnosti

Poleg zastrupitve in zadušitve obstajajo tudi druge potencialne nevarnosti povezane z dejavnostmi pri proizvodnji bioplina (glej spodaj). Da bi se takim nesrečam izognili, je potrebno na ta območja postaviti opozorila in izuriti zaposlene.

- Druge potencialne nevarnosti vključujejo padec z lestve ali nepokritih delov (npr. dovodni lijak, vzdrževalni jaški) ali možnost poškodb s premikajočimi deli naprave (npr. mešalniki).
- Orodja kot so mešalniki, črpalke, oprema za dovajanje delujejo pod visoko napetostjo. Nepravilno delovanje ali poškodbe enote SPTE lahko pripeljejo do smrtno nevarnega električnega udara.
- Potrebno je paziti še na možnost opeklin, ki jih lahko povzroči kontakt z ogrevalnim ali hladilnim sistemom bioplinske naprave (npr. hladilniki motorjev, ogrevanje digestorja, toplotne črpalke). To velja tudi za dele enote SPTE in plinske bakle.

### 9.4 Higienizacija, kontrola patogenov in veterinarski vidiki

#### 9.4.1 Higieniski vidiki bioplinskih naprav

Odpadki živalskega ali človeškega izvora uporabljeni za AD vsebujejo različne patogene bakterije, parazite in viruse. Patogene vrste, ki so vedno prisotne v živalskem gnoju, gnojnici in gospodinjstvih odpadkih so bakterije (npr. *Salmonellae*, *Enterobacter*, *Clostridiae*, *Listeria*), paraziti (npr. *Ascaris*, *Trichostrangylidae*, *Coccidae*), virusi in glive. Skupna presnova odpadkov iz klavnic in ribarnic, kanalizacije ter organskih odpadkov povečuje raznolikost patogenov, za katere je verjetno, da bodo razpršene po tleh in lahko vstopijo v prehranjevalno verigo živali in ljudi.

Koriščenje presnovljenega substrata kot gnojila pomeni nanos le tega na polja več posameznih kmetij s tveganjem širjenja patogenov z ene kmetije na drugo.

Proizvodnja bioplina s skupno presnovo živalskega gnoja in bioloških odpadkov, kot tudi uporaba bioplina in presnovljenega materiala, ne sme privedi do novih patogenov ter prenašanja bolezni med živalmi, ljudmi in okoljem. To lahko preprečimo z izvajanjem standardiziranih veterinarskih varnostnih ukrepov.

Učinkovita kontrola patogenov se lahko opravlja s pomočjo spodaj navedenih sanitacijskih ukrepov:

- Kontrola zdravja živine. Živalskega gnoja in gnojevke od živine z zdravstvenimi težavami ne smemo pridobivati.
- Nadzor substrata. Biomaso z visokim tveganjem okužbe s patogeni je potrebno izločiti iz procesa AD.
- Ločena predhigienizacija je obvezna, saj jo določa Evropska uredba EC 1774/2002. Odvisno od vrste substrata uredba zahteva pasterizacijo (eno uro pri 70 °C) ali sterilizacijo pod tlakom (najmanj 20 minut pri minimalno 133 °C in absolutnim tlakom pare 3 bar).

- Nadzorovana higienizacija. V primeru substrata, ki po uredbi EC 1774/2002 ne potrebuje ločene predhigienizacije, je kombinacija AD procesne temperature in zagotovljen minimalen čas trajanja dovolj za učinkovito redukcijo patogenov v presnovljenem substratu.
- Nadzor učinkovitosti reduciranja patogenov v presnovljenem materialu s pomočjo organizmov indikatorjev. Učinkovitost reduciranja patogenov naj ne bo samo ocenjena, pač pa jo je potrebno preveriti z uporabo ene izmed uradno priznanih metod z organizmi indikatorji (Glej poglavje 9.4.3).

#### 9.4.2 Parametri za higiensko delovanje bioplinske naprave

Učinkovito redukcijo patogenov v presnovljenem substratu zagotavlja izvedba ločenega predhigienizacijskega postopka za substrate, ki potrebujejo posebno higienizacijo (npr. odpadna voda iz klavnic, gostinski odpadki, flotacijska gošča). Za substrate, ki ne potrebujejo ločene higienizacije (živinski gnoj in gnojnica, pridelki energetskih rastlin, ostanki vseh vrst zelenjave), potrebno sanitacijo in redukcijo patogenov zagotavlja že sam proces AD. Nekateri procesni parametri kot so temperatura, čas zadrževanja v digestorju, vrednost pH itn., imajo neposreden ali posreden vpliv na higienizacijsko učinkovitost procesa AD.

##### Temperatura

Procesna temperatura vpliva na higienizacijo. V primeru predobdelave substrata učinkovitost redukcije patogenov z višanjem temperature narašča.

##### Zadrževalni čas

V primeru bioplinskih naprav, ki obdelujejo živinski gnoj in gnojevko, rastlinsko biomaso iz kmetovanja, kot tudi ostale neproblematične vrste biomase, je higienizacija posledica kombinacije temperatur in zadrževalnega časa (MGRT).

Vpliv temperature in MGRT na uničenje patogenov je podan v preglednici 9.4, ki prikazuje čas potreben za uničenje nekaterih običajnih vrst patogenov iz živinske gnojevke. V primeru *Salmonella typhi murium*, se 90 % uničenje populacije pojavi po 0,7 ure v digestorju, ki deluje pri temperaturi 53 °C (termofilna presnova), po 2,4 dneh v digestorju pri 35 °C (mezofilna presnova), enaka redukcija salmonele lahko pri sobni temperaturi v neobdelani gnojevki traja 2 do 6 tednov.

##### pH vrednost

Do redukcije mikroorganizmov (bakterij) lahko pride v kislem ali alkalnem okolju. Zato predhidroliza določenih vrst biomase povzroči znaten padec vrednosti pH in zmanjša število mikroorganizmov do 90 % (povzroči ga toksičen učinek organskih kislin).

*Preglednica 9.4. Čas uničenja (T-90)\* nekaterih patogenih bakterij – primerjava z AD obdelane*

in neobdelane živalske gnojevke. Vir: Bendixen, 1999

Bakterija	Gnojevka obdelana z AD		Neobdelana gnojevka	
	53 °C (termofilna temperatura)	35 °C (mezofilna temperatura)	18-21 °C	6-15 °C
	ur	dni	tednov	tednov
Salmonella typhi murium	0,7	2,4	2,0	5,9
Salmonella dublin	0,6	2,1	-	-
Escherichia coli	0,4	1,8	2,0	8,8
Staphylococcus aureus	0,5	0,9	0,9	7,1
Mycobacterium paratuberculosis	0,7	6,0	-	-
Coliform bacteria	-	3,1	2,1	9,3
Group of D-Streptococi	-	7,1	5,7	21,4
Streptococcus faecalis	1,0	2,0	-	-

\* Čas uničenja T-90 je čas preživetja opazovanih mikroorganizmov. Čas decimiranja T-90, je določen kot čas potreben za zmanjšanje žive populacije za eno logaritmično enoto ( $\log_{10}$ ), ki je enakovredna 90 % redukciji (Schlundt, 1984).

### Izvor gnojevke

Življenska doba patogenov je odvisna od izvora gnojevke. Salmonella na primer najdlje preživi v goveji gnojevki, medtem ko prašičja gnojevka vsebuje več kužnih organizmov zaradi večje gostote živine in prisotnosti patogenov v krmi.

### Pozitivni/negativni učinki

Zaščitno kopičenje mikroorganizmov (bakterij) lahko podaljša dezaktivacijo patogenov.

### Vsebnost suhe snovi

Nekateri sevi traits salmonele preživijo najdlje pri vsebnosti SS nad 7 %.

### Vsebnost amoniaka

Dezaktivacija patogenov je bolj učinkovita v substratih z visoko vsebnostjo amoniaka. Koncentracija amoniaka v digestatu je višja kot pri surovem gnoju in tako je tudi z učinkovitostjo dezaktivacije patogenov.

### Sistem digestorjev

V popolnoma mešanih digestorjih lahko svež substrat vedno okuži že higieniziran substrat. Tudi v pretočnem (plug flow) reaktorju, kjer se delci enakomerno gibljejo skozi digestor, ni mogoče preprečiti kratkih prekinitev. Minimalnega časa zadrževanja v reaktorjih s popolnim mešanjem zato ni vedno mogoče zagotoviti. To je možno le

v saržnem batch (nekontinuiranem) sistemu, kjer se digestor najprej napolni in po presnovi popolnoma sprazni (npr. saržna batch metoda suhega sistema AD).

### 9.4.3 Organizmi indikatorji

Digestat je nemogoče analizirati za vse vrste patogenov, ki bi lahko bili prisotni, zato je potrebno prepoznati organizme indikatorje, ki jih je moč zanesljivo uporabiti za ocenjevanje učinkovitosti reduciranja patogenov v presnovljenem substratu. Uporaba organizmov indikatorjev za ocenjevanje iztrebljanja patogenov sloni na aktivaciji, rasti ter infektivnosti testnih organizmov.

Ena izmed najpogosteje uporabljenih metod je log<sub>10</sub> za FS (Faecale Streptococci), ki temelji na meritvah fekalnih streptokokov v digestatu. Več veterinarskih raziskovalnih programov na Danskem je bilo posvečeno preživetju bakterij, virusov in jajčec parazitov pod različnimi pogoji skladiščenja in anaerobne obdelave. Organizem indikator Faecal streptococci (enterokok) (FS) je bil izbran, ker te vrste streptokokov preživijo toplotno obdelavo še dolgo po tem, ko so klice ostalih patogenih bakterij, virusov in jajčeca parazitov že iztrebljene ali je njihovo preživetje onemogočeno.

V Nemčiji so raziskali higienski vidik uporabe kanalizacijske brozge in organskih odpadkov kot vhodni substrat za kofermentacijske naprave. Za smernice so uporabili že obstoječe higienske zahteve aerobne proizvodnje komposta. Zaradi svoje razširjenosti v tleh in vodnih okoljih so izključili mnogo organizmov indikatorjev, ki se uporabljajo v zdravstveni mikrobiologiji. Pri kofermentaciji organskih odpadkov so prišli do zaključka, da odsotnost salmonelle zagotavlja najboljši pokazatelj učinkovite higienizacije v kofermentacijskih napravah. Izkazalo se je, da je vrsta *Salmonella* sp. prisotna v več kot 90 % pregledanih kontejnerjev z organskimi odpadki. Za razliko od log<sub>10</sub> FS metode, uporabljene na Danskem, zahteva proces testa salmonelle predobogatitev in obogatitev kultivacijskih stadijev z puferirano peptonsko vodo in izbirnega medija, pred pozitivno identifikacijo.

Nujnost zagotavljanja fito higijene so raziskovali tudi v Nemčiji. Za razliko od bakterijskega sistema za potencialno prisotnost rastlinskih patogenov ni poznanih organizmov indikatorjev. Edini indikator, ki je v splošni uporabi za gospodinjske organske odpadke, so semena paradižnika. Posledično so v Nemčiji »fitohigiensko varnost« definirali kot prisotnost največ dveh paradižnikovih semen sposobnih kalitve in/ali razmnoževalnih delov rastlin na liter obdelanih odpadkov.

Podobne študije so pokazale na učinek temperature na dezaktivacijo virusov. Za večino virusov se je izkazalo, da je toplota najpomembnejši posamezni uničevalec virusov. Pri parvo virusih pa, poleg toplote, h končni onesposobljenosti virusov znatno prispevaljo tudi ostali dejavniki. To sovпада z odkritji drugih raziskovalcev, ki nakazujejo, da lahko dejavniki kot so visok pH, amoniak, razkužila in mikrobní metaboliti prispevajo k dezaktivaciji virusov.

#### 9.4.4 Higienizacijske zahteve

Številne evropske države imajo lastne predpise, ki določajo higienske in sanitacijske standarde za bioplinske naprave, ki obdelujejo gnoj iz več kmetij ali uporabljajo kofermentacijo živalskega gnoja in organskih odpadkov.

Ena izmed najpomembnejših evropskih uredb, ki vpliva na sektor bioplina je t.i. Uredba o živalskih stranskih proizvodih EC 1774/2002, ki se nanaša na obdelavo in recikliranje stranskih proizvodov živalskega izvora. Ureditev določa tri glavne kategorije živalskih stranskih produktov ter zahteve glede obdelave in higienizacije, potrebno opremo itn. Po uredbi EC 1774 obstajajo živalski stranski proizvodi (kategorija 1), ki jih ni dovoljeno obdelovati v bioplinskih napravah (preglednica 9.5).

*Preglednica 9.5. Živalski stranski proizvodi, ki niso namenjeni človeški potrošnji: kategorije in pravila za njihovo koriščenje v skladu z uredbo EC 1774/2002*

Kategorija in opis	Pravila za uporabo
1. Živali za katere se sumi, da so okužene s TSE, specifičen tvegan material: - živali, ki niso kmetijske ali divje živali, posebno hišni ljubljenci, živali iz živalskih vrtov ali cirkuške živali, - gostinski odpadki iz prevoznih sredstev, ki delujejo na mednarodni ravni.	Vedno uničiti – sežgati.
2. Gnoj od vseh vrst in vsebina prebavnega trakta sesalcev: - vsi živalski materiali, zbrani pri ravnanju z odpadno vodo iz klavnice ali iz obdelovalnih obratov kategorije 2, - proizvodi živalskega izvora, ki vsebujejo ostanke veterinarskih zdravil; mrtve živali, razen prežvekovalcev.	Za AD je potrebna sterilizacija pod tlakom, 20 minut pri 133 °C in 3 bar.  NB: Gnoj in vsebina prebavnega trakta se lahko uporablja za AD brez predobdelave.
3. Vsi deli zaklanih živali, ki so odobreni za človeško uporabo ali ne kažejo nobenih bolezenskih znakov: - koža.	Za AD je potrebna higienizacija v ločenih rezervoarjih za eno uro pri 70 °C.

Z izjemo gnojevke, vsebine želodca in prebavnega trakta (ločeno od želodca in prebavnega trakta), mleka in mleziva (dovoljeno jih je uporabljati brez predobdelave, pod pogojem, da ne obstoja nevarnost širjenja nevarnih bolezni), morajo biti vsi živalski stranski proizvodi kategorije 2 pred uporabo v bioplinarni sterilizirani z uporabo pare pod tlakom  $\geq 3$  bar in temperaturi  $\geq 133$  °C, toplotna obdelava pa mora trajati vsaj 20 minut po doseženi temperaturi sredice 133 °C. Za postopek mora imeti bioplinarna ustrezno dovoljenje. Delci obdelanega substrata pa morajo biti manjši od 50 mm.

Za gospodinjske odpadke in odpadne prehranske izdelke, ki niso bili v stiku z neobdelanimi živalskimi stranskimi proizvodi veljajo nacionalni predpisi. Za obdelavo ostalih živalskih stranskih proizvodov kategorije 3 je potrebno izvesti toplotno pasterizacijo pri 70 °C in v trajanju 60 minut. Delci obdelanega substrata morajo biti manjši od 12 mm.

Predpisi o živalskih stranskih proizvodih, poleg obvezne toplotne obdelave, za bioplinarne določajo še več drugih obveznih pogojev za proces proizvodnje bioplina in higienskih zahtev za končni proizvod.

Za gospodinjske odpadke in odpadne prehranske izdelke kategorije 3 lahko odgovorne nacionalne institucije odobrijo izjeme zgoraj omenjenim pogojem, vendar morajo biti v tem primeru uporabljeni ekvivalentni higienizacijski postopki (preglednica 9.6). Predpogoj je dokaz, da postopek enakovredno uničuje patogene mikrobe kot pasterizacija.

*Preglednica 9.6. Danski primer; higienizacijski ukrepi, ekvivalentni 1 urni toplotni obdelavi pri 70 °C. Vir: Bendixen, 1995*

Temperatura	Zadrževalni čas (MGRT) v termofilnem digestorju <sup>a)</sup>	Zadrževalni čas (MGRT) v ločenem higienizacijskem rezervoarju <sup>b)</sup>	
		Pred ali po digestiji v termofilnem digestorju <sup>c)</sup>	Pred ali po digestiji v mezofilnem digestorju <sup>d)</sup>
52,0 °C	10 ur		
53,5 °C	8 ur		
55,0 °C	6 ur	5,5 ur	7,5 ur
60,0 °C		2,5 ur	3,5 ur

Obdelava mora potekati v digestorju pri termofilnih pogojih ali v higienizacijskem rezervoarju v kombinaciji z digestijo v termofilnem ali mezofilnem digestorju. Upoštevati je potrebno ustrezno razmerje temperature/MGRT.

- a) Termofilna digestija v tem primeru poteka pri 52 °C. Hidravlični zadrževalni čas (HRT) v digestorju mora znašati vsaj 7 dni
- b) Digestija lahko poteka pred ali po pasterizaciji.
- c) Glej točko a)
- d) Temperatura mezofilne digestije mora biti od 20 °C do 52 °C. Hidravlični zadrževalni čas mora znašati vsaj 14 dni.

Higienizacijske zahteve so odvisne od vrste bioplinkega procesa (termofilni ali mezofilni postopek). Za skupno obdelavo surovine različnih kategorij je potrebno uporabiti najstrožje predpise.

Za gospodinjske odpadke in odpadne prehranske izdelke, ki niso bili v stiku z neobdelanimi živalskimi stranskimi proizvodi morajo biti zagotovljeni naslednji parametri termofilne digestije: temperatura  $\geq 55$  °C, hidravlični zadrževalni čas 20 dni z zagotovljenim minimalnim zadrževalnim časom 24 ur, velikost delcev  $\leq 12$  mm.

V mezofilnih bioplinarnah (temperatura okoli 37 °C) poteka toplotna higienizacija samo v omejenem obsegu. V tem primeru higienizacijo dosežemo s toplotno obdelavo celotnega materiala, ki vsebuje gospodinjske odpadke, ali z dokazanim ekvivalentnim uničenjem patogenov.

Da bi se izognili tveganju okužb, predpisi zahtevajo strogo ločevanje živinoreje od lokacije bioplinarne. Strogo je reguliran tudi transport, začasno skladiščenje, potrebna predobdelava (sekanje, drobljenje) in sam postopek proizvodnje bioplina.

Isto velja tudi za potrebno čiščenje, čistilno opremo, dezinfekcijski prostor, zatiranje škodljivcev, obvezno beleženje in dokumentiranje podatkov, higienski nadzor in ustrezno vzdrževanje vseh naprav ter kalibracijo vseh merilnih instrumentov. Poleg tega mora vsaka bioplinarna za analizo vzorcev in testiranja učinkovitosti uničenja patogenov bodisi imeti uradno potrjen laboratorij ali uporabljati storitve zunanjega pooblaščenega laboratorija.

Površina bioplinarne mora biti ločena na dva dela, čist in kontaminiran del. Oba dela je potrebno strogo ločevati. Zagotovljen mora biti tudi prostor za čiščenje transportnih vozil, vakuumskih posod in osebja bioplinarne. Na sliki 9.1 je prikazan primer čiščenja vozila iz danske bioplinarne Ribe.

V izogib vožnjam praznih tovornjakov, z vakuumskimi cisternami v bioplinarno dovažajo gnojevko s kmetij iz nje pa kmetijam digestat. Da bi se izognili kontaminaciji med svežim in presnovljenim substratom, je potrebno cisterne očistiti po vsakem transportu po opisanem postopku. Kontaminaciji med posameznimi kmetijami se izognemo tako, da se obravnava vsaka kmetija posebej in se izognemo vožnjam med kmetijami.



*Slika 9.1. Primer standardnega postopka čiščenja iz bioplinarne Ribe na Danskem*

## **10 Ekonomika bioplinarn**

### **10.1 Financiranje bioplinarnih projektov**

Bioplinarni projekti zahtevajo visoke investicije. Financiranje predstavlja torej enega od ključnih pogojev za zagotovitev izvedljivosti projekta. Načini financiranja se sicer od države do države razlikujejo, vendar se v splošnem uporabljajo dogoročni krediti z nizko obrestno mero. Redko se uporabljajo krediti na hipoteko. Krediti z indeksirano obrestno mero so krediti z nizko obrestno mero, ki investitorja skozi revaluacijo neodplačanega dolga z inflacijsko stopnjo zaščitijo pred inflacijo. Doba vračanja kredita je več kot 20 let. Tovrstno kreditiranje se je za financiranje izgradnje bioplinarn pokazalo kot najprimernejše, saj zadošča zahtevam dolgoročnih vlaganj, nizkim obrestim in nizkim obrokom na začetku vračanja posojila. Pomanjkljivost tovrstnih kreditov je, da

se zvišujejo z običajno prodajo obveznic po tržni ceni na borzi. To vodi do tveganja depreciacije in s tem posledično do negotovosti pri načrtovanju.

Na Danskem bioplinse projekte npr. financirajo preko kreditov z indeksirani obrestnimi merami, za katere jamčijo lokalne skupnosti. Večina projektov v preteklosti, pa je prejela tudi dodatne vladne subvencije v višini do 30 % stroškov investicije.

## 10.2 Ekonomska projekcija bioplinških projektov

Običajne skupine podjetnikov, ki se odločijo in uspešno izvedejo projekt bioplinarne, so posamezni kmetje, skupina kmetov ali občine. Uspešnost projekta je odvisna od nekaterih dejavnikov, ki jih je s strateškimi odločitvami, ki zadevajo investicijo in obratovalne stroške, možno nadzorovati in nanje vplivati. Izbira najboljše tehnologije glede na višino investicije in obratovalne stroške je zelo težka. V primeru natečaja za dobavo bioplinarne naprave je pomembno, da ponudba zajema in določa tudi obratovalne stroške kot so:

- obratovalni stroški naprave za SPTE, vključno z servisiranjem in rezervnimi deli (vrednost/kWh),
- celotni stroški vzdrževanja bioplinarne (% investicije/leto),
- lastna poraba električne energije, vključno z porabo SPTE (kWh/leto),
- povprečno število delovnih ur na dan za osebje (vzdrževanje in polnjenje sistema).

Standardni postopek čiščenja vozil za transport živinskega gnoja: **moremo nadzorovati:**

- Ko je vakuumaska cisterna popolnoma izpraznjena, vse notranje površine posode sperejo s tekočo vodo, dokler iz posode ne priteče popolnoma čista voda. **gije,**
- Ko je posoda prazna in očiščena, vse notranje površine poškrbijo z 0,2 % natrijevo lužino (NaOH), vsaj z 200 litri za večjo posodo in 150 litri za manjšo. **(line),**
- 2 minuti kasneje, ko se posuši, lahko cisterno ponovno napolnijo. **nom zagotavljanja dolgoročne**
- Med dezinfekcijo sperejo in dezinficirajo vse zunanje površine vozila in cisterne, še posebej to velja za kolesa. **em, saj je trg z recikliranjem**

odpadkov zelo kompetitiven in pogodbe z proizvajalci odpadkov (dobavitelji) se redko sklepajo za obdobje daljše od 5 let.

Banke pogosto, preden odobrijo financiranje biooplinarne, zahtevajo študijo oz. izračun dobičkonosnosti, ki dokazuje dolgoročno uspešnost projekta. Izračun običajno opravi izkušeno svetovalno podjetje v okviru načrtovanja projekta (glej poglavje 8.1). V primeru, da gre za bioplinški projekt, ki temelji na eni kmetiji, lahko izračun opravi tudi vodja projekta, kar ima dve prednosti: investitor je prisiljen projekt zelo natančno preučiti z različnih vidikov ter da v primeru preklica projekta ni zunanjih stroškov.

V primeru bioplinarne, ki obdeluje komunalne odpadke, je priporočljivo najeti izkušeno svetovalno podjetje. Naprave, ki obdelujejo odpadke, so namreč veliko bolj zapletene s stališča ravnanja s surovino, biološke stabilnosti sistema in celotnega načrtovanja v primerjavi z bioplinarno, ki temelji na kmetiji.

Za osnovni izračun posameznega primera je pripravljen računski model, ki omogoča osnovno določitev stroškov, velikosti bioplinarne naprave, dimenzioniranje, tehničnih

rešitev ipd. Model in navodila za njegovo uporabo so brezplačno na voljo na spletni strani <http://www.big-east.eu>).

### 10.2.1 Zaključki ekonomske projekcije

Z uporabo kalkulatorja Big>East, kot je opisano v poglavju 10.2, bi morali priti do rezultatov, ki predstavljajo ekonomski model projekta.

Kot že omenjeno, lahko na obratovalne in investicijske stroške vplivamo s strateškimi odločitvami. Na primer, z izbiro najustreznejše tehnologije. Glede na okolje v katerem se razvija bioplinski projekt je potrebno oceniti do kakšnega nivoja je smotrno proizvodni proces avtomatizirati. Izračun, namreč lahko pokaže, da se bolj splača zaposliti več ljudi kot pa investirati v avtomatiko. Odvisno od stroškov dela.

Na strani prihodkov je vpliv precej bolj omejen. Odkupne cene električne energije postavlja vlada. Pri napravah za obdelavo odpadkov smo za plačila odvoza in zbiranja odpadkov odvisni od tržnih razmer. Nekaj pa vseeno lahko storimo za povečanje prihodkov:

- uporaba oz. prodaja toplote,
- prodaja digestata za gnojilo.

V primeru, da je interna stopnja donosa (ISD) projekta nižja od 9 %, je potrebno ponovno preveriti vse predpostavke, na katerih temelji projekt in nekatere od njih izboljšati, če je mogoče. Če je ISD višja od 9 %, so predpostavke projekta dobre in je smotrno nadaljevati z fazo načrtovanja. Pomembno je, da predpostavke stalno primerjamo z dejanskim, materialnim stanjem. Samo na tak način lahko dobimo realističen pogled na samo biplinsko napravo, potreben prostor zanjo, resničen masni tok surovine in stvarne stroške izgradnje.

Računski model nam služi za grobo oceno, ki je potrebna preden začnemo z dejanskim načrtovanjem. Za naslednje korake projekta je nujno poiskati neodvisnega in zanesljivega projektanta (glej projektne korake opisane v poglavju 8.1).

**Vso srečo!**



## Bioplin v Sloveniji

### 11 Stanje bioplina v Sloveniji

Proizvodnja bioplina v Sloveniji se je začela proti koncu 80. let 20. stoletja. Prvi bioplinski napravi sta bili na komunalnih napravah – čiščenje odpadnih vod in velika prašičja farma v Ihanu. Pridobivanje bioplina z anaerobno digestijo je bilo pred letom 2002 omejeno na bioplin iz čistilnih naprav in zajetje deponijskega plina na odlagališčih komunalnih odpadkov. Bioplin so pridobivali na osmih centralnih čistilnih napravah. V polovici naprav je zajet bioplin zgorel na baklah. Skupna inštalirana električna moč v vseh napravah na bioplin je znašala manj kot 1 MW. V istem obdobju so deponijski plin zajemali na petih odlagališčih odpadkov; v Ljubljani, Mariboru, Velenju, Celju in Izoli. Izkoriščanje deponijskega plina v energetske namene je bilo omejeno na deponijo Barje v Ljubljani, medtem ko so ga na ostalih deponijah sežigali na baklah. Instalirana električna moč naprave za izkoriščanje deponijskega plina je bila 1,2 MW.

Po sprejetju Uredbe o odkupu električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije v letu 2002, ki je omogočala proizvajalcem električne energije višjo odkupno ceno oziroma premijo, se je zanimanje za postavitev bioplinskih naprav izrazito povečalo.

Pridobivanje bioplina, po podatkih iz leta 2008, poteka na šestih centralnih čistilnih napravah (CČN): Domžale-Kamnik, Kranj, Ptuj, Škofja loka, Velenje in Jesenice. V gradnji so še naprave na nekaterih novih CČN. Skupna električna moč vseh šestih naprav za soproizvodnjo toplote in električne energije na bioplin iz odplak je 2,1 MW. Po podatkih iz leta 2007 energetsko izkoriščanje deponijskega plina poteka na treh odlagališčih komunalnih odpadkov: Ljubljana, Maribor in Celje. Pridobljen deponijski plin uporabljajo za proizvodnjo toplote in električne energije v plinskih sistemih SPT. Skupna instalirana električna moč vseh naprav je 3,5 MW.

Pridobivanje bioplina iz odpadkov v kmetijstvu je bilo pred letom 2002 omejeno na eno napravo za pridobivanje bioplina iz gnojevke na prašičji farmi Ihan skupaj (na isti lokaciji) z CČN Domžale-Kamnik, kjer so bioplin pridobivali že leta 1987. Po sprejeti uredbi in sklepu o odkupu električne

energije od kvalificiranih proizvajalcev se je interes za izgradnjo bioplinskih naprav povečal, predvsem to velja za velike živinorejske farme z izrabo zelenih odpadkov iz kmetijstva.

V letu 2007 je bilo tako v obratovanju več kmetijskih bioplinskih naprav s skupno instalirano električno močjo 3,6 MW:

- Bioplinarna Farma Ihan – Ihan (0,5 MW),
- bioplinarna na kmetiji Frele – Letuš (120 kW),
- bioplinarna Nemščak - Skupina Panvita družba KG Rakičan (1,5 MW),
- bioplinarna na kmetiji Kolar – Logarevci (0,8 MW),
- bioplinarna Motvarjevci (Panvita) (0,5 MW).

Pridobivanje bioplina iz drugih odpadkov, kot so kuhinjski in odpadki iz restavracij, ter izraba ločeno zbranih organskih odpadkov iz gospodinjstev poteka na 4 bioplinskih napravah s skupno instalirano električno močjo 4 MW:

- Bioplinarna Koto Ljubljana (0,5 MW),
- bioplinarna Biotera-Črnomelj (1,5 MW),
- bioplinarna Bioferm-Pivka-Neverke (1,5 MW),
- bioplinarna Papirnica Količevo-Količevo (0,5 MW),
- bioplinarna Matevž Čokl s.p.-Ljubljana (180 kW).

V živilski industriji bioplinskih naprav še ni. Spodnja slika prikazuje stanje bioplinarn v Sloveniji leta 2007.



Slika 7.3 Lokacije obstoječih bioplinarn; stanje leto 2007.

### 11.1 Potencial surovine

V študiji, ki je bila pripravljena za naročnika Holding slovenskih elektrarn (HSE), je bil analiziran celoten potencial za pridobivanje bioplina v Sloveniji do leta 2012. V izračunu potenciala bioplina so bili analizirani trije možni scenariji ocenjevanja:

1. Scenarij najmanj posega v primarno kmetijsko proizvodnjo.
2. Scenarij zajema deleže, ki bodo primerni takrat, ko bo Slovenija pripravljena izkoristiti potenciale iz kmetijstva z dovolj visoko subvencionirano odkupno ceno energije, ki bo omogočala tudi tržne cene odkupljene biomase.
3. Scenarij najbolj posega v primarno kmetijsko pridelavo in je mogoč takrat, ko bi bilo za kmetijska gospodarstva ugodneje prodati rastlinsko biomaso za proizvodnjo bioplina, kot pa za hrano ljudi ali krmo za živali.

Za izračun potenciala bioplina iz živinskih gnojil je bila uporabljena vsa

količina živinskih gnojil iz prepoznanih kmetijskih gospodarstev, ki je v vseh treh scenarijih enaka. Za razpoložljive kmetijske površine se v vseh treh scenarijih, glede na značilnost posamezne regije, spreminja delež njivskih površin za pridelavo glavnega in strnišnega posevka ter trajnih travnikov, v odvisnosti ali so bile to živinorejske, večje poljedelske ali manjše poljedelsko travniške kmetije. Substrati, ki so bili všteti v izračun potenciala so:

- Živinska gnojila:
  - a. gnojevka (govedi in prašičev),
  - b. kokošji gnoj (brez nastilja),
  - c. hlevski gnoj (piščanci in purani).
- Rastlinska biomasa:
  - a. njivske površine,
  - b. glavni posevek (koruza, krmni sirek, sudanska trava, sončnice,..), Strniščni dosevek (sudanska trava, mnogocvetna ljuljka, grašljinka, ),
  - c. trajni travniki.

Kriteriji za izbor kmetijskih gospodarstev (KG) pa so bili:

- Večje živinorejske kmetije in kmetijska podjetja, ki redijo 30 ali več GVŽ govedi ali 20 GVŽ ali več prašičev ali perutnine.
- Večje poljedelske kmetije in KG, ki redijo manj kot 5 GVŽ in obdelujejo 10 ali več ha njivskih površin.
- Manjša KG, ki obdelujejo več kot 1 ha njivskih površin ali 3 ha trajnih travnikov in ne redijo živali.

Regije	Sub.vloge	Scenarij 1		Scenarij 2		Scenarij 3	
	za l. 2006	Izbrana		Izbrana		Izbrana	
		kmet.		kmet.		kmet.	
		gospod.	%	gospod.	%	gospod.	%
	M o č	M o č		M o č		M o č	
	motorja	motorja		motorja		motorja	
	kW	kW		kW		kW	
Gorenjska	35.809	2.792	7,8	4.014	11,2	5.236	14,6
Pomurska	124.687	13.664	11,0	18.112	14,5	22.559	18,1
Podravska	118.167	12.182	10,3	16.352	13,8	20.525	17,4
Koroška	19.916	827	4,2	1.116	5,6	1.405	7,1
Savinjska	65.881	2.799	4,2	3.862	5,9	4.975	7,6
Zasavska	5.256	140	2,7	176	3,3	225	4,3
Spodnje-							
posavska	32.458	1.548	4,8	2.213	6,8	2.879	8,9
	54.595	2.777	5,1	3.993	7,3	5.209	9,5
Osrednje-							
slovenska	67.905	4.765	7,0	6.646	9,8	8.527	12,6
Notranjsko-							
kraška	20.340	2.131	10,5	2.667	13,1	3.203	15,7
Goriška	23.589	1.011	4,3	1.451	6,2	1.891	8,0
O b a l n o -							
kraška	11.038	785	7,1	1.131	10,2	1.476	13,4
SKUPAJ	579.641	45.421	7,8	61.733	10,7	78.110	13,5

**Slika 7.4** Razpoložljiv potencial substratov iz kmetijstva izražen tudi v % teoretičnega potenciala

*Vir: Jug: analiza potenciala bioplinskih naprav v slovenskem prostoru, Ireet, d.o.o. 2008.*

Po podatkih iz omenjene študije je v fazi razvojne študije, priprave projektov, pridobivanja soglasij ali gradbenih dovoljenj, 20 naprav s skupno instalirano električno močjo 23 MW:

- Pomurska regija: 5 naprav skupne moči 8,5 MW,
- Podravska regija: 4 naprave skupne moči 5,3 MW,
- Savinjska regija: 5 naprav skupne moči 4 MW,
- Jugovzhodna Slovenija: 1 naprava skupne moči 1MW,
- Notranjsko kraška: 1 naprava skupne moči 1,5 MW,
- Osrednjeslovenska regija: 2 napravi skupne moči 2 MW,
- Gorenjska regija: 2 napravi skupne moči 0,7 MW.

Možne nove bioplinske naprave in njihove moči na osnovi ocenjenega

potenciala v omenjeni študiji pa so po regijah:

- Podravska in Pomurska regija: 5 x 1 MWel,
- Gorenjska, jugovzhodna in osrednja Slovenija, Spodnje posavska in Savinjska regija: 5x 0,5 - 1 MWel,
- možno tudi večje število manjših naprav: 10-20 x 250 kWel v vseh regijah razen Koroške, Goriške, Zasavske in Obalno kraške.

Ugotovljen potencial za nove bioplinske naprave bi tako bil do leta 2012:

- substrati: 45 – 80 MWel → razpoložljiv 22 – 58 MWel,
- kosubstrati: ~ 7,5 MWel → razpoložljiv 3 - 3,5 MWel,
- s proizvodnjo 160 – 390 GWh električne energije in 170 – 420 GWh toplote.

## 11.2 Zakonodaja

### 11.2.1 Lastniki bioplinarn

Lastnik bioplinske naprave je lahko fizična ali pravna oseba. Zakonska določila se nanašajo na obveznosti lastnika glede postavitve in delovanja bioplinske naprave ne glede na lastnika.

Fizična oseba, ki opravlja kmetijske dejavnosti, lahko prijavi proizvodnjo bioplina kot dopolnilno dejavnost. Za postavitev bioplinske naprave se lahko odločajo lastniki kmetij ali skupina kmetov, ki imajo zadostno količino odpadkov od reje živali (gnojevka) in/ali drugih kmetijskih odpadkov (rastlinski ostanki) oz t.i. energetske rastline, ki jih namensko gojijo.

Lastniki bioplinskih naprav morajo biti registrirani v skladu z Uredbo o standardni klasifikaciji dejavnosti (SKD).

### 11.2.2 Upravljalci energetskih naprav

Bioplinska naprava, ki proizvaja električno energijo in/ali toploto, je obravnavana kot energetski objekt. Izobrazba in naloge upravljavcev energetskih naprav so določene v Pravilniku o strokovni izobrazbi, delovnih izkušnjah ter obveznem usposabljanju in načinu preizkusa

znanja delavcev, ki opravljajo dela in naloge upravljanja energetskih naprav. Ti so:

- upravljavec kogeneracijskega postrojenja, katerega nazivna moč presega 500 kW,
- upravljavec motorjev z notranjim zgorevanjem, katerih skupna moč presega 300 kW,
- upravljavec plinskih naprav, ki opravlja sledeča dela in naloge: upravljanje postrojev in naprav v proizvodnji ali pri porabi tehničnih in drugih plinov, katerih skupna nazivna moč presega 300 kW.

Upravljavec zgoraj omenjenih energetskih naprav je lahko delavec s srednjo strokovno izobrazbo (V. raven zahtevnosti) strojne ali elektrotehnične smeri z najmanj dvema letoma delovnih izkušenj, ki po usposabljanju uspešno opravi preizkus znanja po tem pravilniku, ali delavec s srednjo poklicno izobrazbo (IV. raven zahtevnosti) pridobljeno po izobraževalnem programu strokovnega področja za strojništvo ali elektrotehniko z najmanj petimi leti delovnih izkušenj, ki po usposabljanju uspešno opravi preizkusu znanja po tem pravilniku.

V pravilniku so podana tudi določila za tehničnega vodjo in vodjo obratovanja energetskega objekta v organizacijah, katerih osnovna dejavnost je proizvodnja, prenos ali razdelitev električne ali toplotne energije ali plina.

### 11.2.3 Izbira lokacije

Lokacija za postavitve objekta za bioplinsko napravo je zemljišče, namenjeno za stavbno rabo v občinskem prostorskem načrtu. Namen rabe zemljišča je določen v aktu o prostorskem načrtovanju. Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPN) ureja prostorsko načrtovanje kot del urejanja prostora tako, da določa vrste prostorskih aktov, njihovo vsebino ter postopke za njihovo pripravo in sprejem.

V Uredbi o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov so določeni splošni pogoji, ki jih treba

upoštevati pri izbiri lokacije za bioplinsko napravo:

- količine in vrste dostopnih biološko razgradljivih odpadkov in izbrano tehnologijo obdelave biološko razgradljivih odpadkov,

- oddaljenost lokacije od stanovanjskih območij, rekreacijskih površin, vodnih teles, vključno z njihovimi vplivnimi območji, in drugih kmetijskih ter poselitvenih območij,
- bližino površinskih voda, vodovarstvenih območij, obale teritorialnih voda in
- bližino območij, zavarovanih po predpisih, ki urejajo ohranjanje narave, ali predpisih, ki urejajo varstvo kulturne dediščine.

Poleg teh splošnih pogojev je treba urediti zajemanje in odvajanje izcednih vod z območja naprave in obdelati v skladu s predpisom, ki ureja emisije snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo.

#### 11.2.4 Lokacijski načrt

Za postavitev objekta (v našem primeru bioplinske naprave) je potrebna opredelitev v prostorskem aktu, kjer je navedeno, kakšni objekti in pod kakšnimi pogoji se lahko na določenem področju gradijo. Zato je pomembno, da investitor v bioplinske naprave takoj na začetku priprave projekta preveri, kakšne pogoje postavljajo prostorski akti na področju, kjer naj bi bioplinska naprava nastala. Investitor mora pred začetkom izvedbe ugotoviti ali je lokacija za postavitev naprave usklajena in umeščena v veljavne prostorske akte.

#### 11.2.5 Občinski lokacijski načrt

Vsebine, oblike in načini priprave občinskih lokacijskih načrtov so določeni v posebnem pravilniku (Pravilnik o vsebini, obliki in načinu priprave občinskega podrobnega prostorskega načrta). Če je za posamezen objekt oziroma omrežje izdelan lokacijski načrt, je postopek izdaje gradbenega dovoljenja bistveno krajši in enostavnejši, saj za izdelavo projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja ni potrebno pridobiti projektnih pogojev in soglasij k projektu.

#### 11.2.6 Sosedje/ lastniki mejnega ozemlja

Zakon o graditvi objektov v 62. členu določa, da se v postopku izdaje gradbenega dovoljenja za objekt na območju, ki se ureja s prostorskim redom, imajo poleg investitorja pravico udeleževati postopka še lastniki nepremičnin in imetniki služnostne oziroma stavbne pravice na

nepremičninah, ki jih na podlagi vplivnega območja objekta, prikazanega z mejo v projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja, določi pristojni upravni organ za gradbene zadeve ter lastniki zemljišč izven gradbene parcele, na katerih je predvidena dovozna cesta in na katerih so predvideni komunalni priključki, prikazani v projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja ter imetniki služnostne oziroma stavbne pravice na takšnih nepremičninah. V primeru, da investitor zahteva izdajo gradbenega dovoljenja v skrajšanem ugotovitvenem postopku za gradnjo manj zahtevnega objekta, ki izpolnjuje zakonske zahteve in je oddaljenost stavbe od sosednjih zemljišč manjša od polovice njegove višine, merjeno od terena do kapi, mora dobiti notarsko overjene izjave lastnikov sosednjih zemljišč in objektov, da se strinjajo z nameravano gradnjo, kot je razvidna iz projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja.

#### 11.2.7 Lokacijska informacija

Lokacijska informacija je potrebna za ugotavljanje primernosti določene lokacije za graditev izbranega objekta (v našem primeru bioplinke naprave). Lokacijska informacija se izdaja za namene, med katerimi je gradnja objektov oz. izvajanje del na zemljiščih ali objektih. Je dokument, ki vsebuje podatke in pogoje (zahteve, obveznosti ter prepovedi), ki se nanašajo na posamezno, oziroma več zemljiških parcel. Lokacijsko informacijo podrobneje urejajo 80. člen Zakona o urejanju prostora in Pravilnik o obliki lokacijske informacije ter o načinu njene izdaje<sup>8</sup> (Uradni list RS, št. 17/04). Lokacijsko informacijo je tako potrebno upoštevati pri projektiranju in predstavlja obvezni del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja.

#### 11.2.8 Smrad

Smradovi, kot mešanica plinastih snovi učinkujejo predvsem na naše vonjalne in okušalne zaznave okolja. Smradovi niso strupeni, ampak lahko bistveno vplivajo na kvaliteto življenja okoliškega prebivalstva. Smradovi v bioplinarni nastanejo zaradi vhodnega substrata in digestata. Njihova koncentracija je odvisna od stopnje digestije, načina skladiščenja vhodnega substrata in digestata, ravnanja z njimi ter odvzema in razvoza digestata.

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov zahteva ureditev emisije neprijetnih vonjav iz bioplinke naprave kot pogoj za umeščanje v okolju. Bioplinška naprava z letno zmogljivostjo obdelave več kakor

500 t biološko razgradljivih odpadkov rastlinskega izvora ali 350 t drugih biološko razgradljivih odpadkov, mora zagotoviti obratovanje tehničnega sistema za omejevanje emisije neprijetnih vonjav iz take naprave. Učinkovitost tehničnega sistema za omejevanje neprijetnih vonjav iz naprave se ugotavlja v skladu s predpisom, ki ureja emisijo vonjav v okolje. V Sloveniji še nimamo mejnih emisijskih vrednosti za smradove.

### 11.3 Zakonski okvir - licence, dovoljenja

Za postavitev bioplinske naprave je potrebno pridobiti več licenc, soglasij in dovoljenj.

#### 11.3.1 Licenca za opravljanje energetske dejavnosti

Energetski zakon določa, da je za opravljanje posamezne energetske dejavnosti potrebno pridobiti licenco za opravljanje energetske dejavnosti (v nadaljevanju Licenca) za naprave, ki proizvajajo električno energijo nad 1 MW moči. To velja seveda tudi za bioplinarne.

***Za bioplinske naprave z električno močjo, ki ne presega 1MW, licenca ni potrebna.***

Licenco je potrebno dobiti pred začetkom obratovanja oziroma izvajanja energetske dejavnosti. Energetski zakon ne določa, v kateri fazi projekta je potrebno licenco pridobiti. Pogoji za pridobitev licence so podrobno določeni v Uredbi o pogojih in postopku za izdajo ter odvzemu licence za opravljanje energetske dejavnosti. Licenco za opravljanje energetske dejavnosti podeli Javna agencija Republike Slovenije za energijo.

#### 11.3.2 Okoljevarstveno soglasje

***Bioplinske naprave na kmetijske odpadke ne potrebujejo okoljevarstvenega soglasja, če je vhodna toplotna moč v napravah za proizvodnjo toplote in ali električne energije manjša od 1 MW.***

Nosilec investicije v bioplinske naprave (kot vsak nosilec projekta nameravanega posega v okolje, za katerega je potrebno izvesti presojo vplivov na okolje) mora podati vlogo na ministrstvo za izdajo okoljevarstvenega soglasja. Vloga vsebuje projekt, poročilo o vplivih na okolje in revizijo poročila o vplivih na okolje. Presoja vplivov na okolje je obvezna za vrste posegov, ki so definirani v Uredbi o vrstah posegov

v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje<sup>13</sup>. Uredba o ravnanju z odpadki določa, da je potrebno pridobiti okoljevarstveno dovoljenje za naprave, če je zanje obvezna presoja vplivov na okolje. V to skupino spadajo nepremični motorji z notranjim zgorevanjem in plinske turbine za proizvodnjo elektrike, pare, vroče vode, procesne toplote ali vročih odpadnih plinov, če uporabljajo bioplin ali plin iz blata čistilnih naprav, z vhodno toplotno močjo večjo od 1 MW. Vsebino okoljskega poročila in sam postopek celovite presoje vplivov na okolje določa Uredba o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopku celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje. Podlaga za izvedbo presoje vplivov na okolje je poročilo o vplivih na okolje, izdelano v skladu z Navodilom o metodologiji za izdelavo poročila o vplivih na okolje, ki ga pri izdelovalcu naroči investitor, revidira pa okoljski izvedenec. Okoljevarstveno soglasje izda Agencija RS za okolje (ARSO) kot samostojno odločbo. Najbolj vpliven element pri odločanju o izdaji okoljevarstvenega soglasja je vključevanje javnosti v tem postopku.

#### 11.3.3 **Gradbeno dovoljenje**

V skladu z Zakonom o graditvi objektov se gradnja novega objekta, rekonstrukcija objekta, nadomestna gradnja in odstranitev objekta lahko začne na podlagi pravnomočnega gradbenega dovoljenja. Postopki in pogoji za pridobitev gradbenega dovoljenja so določeni v zakonu. Zahtevo za izdajo gradbenega dovoljenja vloži investitor pri pristojnem upravnem organu za gradbene zadeve. Gradbena dovoljenja izdaja stvarno pristojna upravna enota, to je tista upravna enota, na katere območju leži nepremičnina, ki je predmet gradbenega dovoljenja. Po zakonu o graditvi objektov je določeno, da se gradnja lahko začne na podlagi pravnomočnega gradbenega dovoljenja.

#### 11.3.4 **Varstvo pred požarom**

Zakon o varstvu pred požarom zahteva, da morajo biti pri graditvi objektov izpolnjene zahteve za varnost pred požarom, določene s predpisi o graditvi objektov.

#### 11.3.5 **Uporabno dovoljenje**

Uporabno dovoljenje, kot je definirano v 89. členu Zakona o graditvi projektov, je odločba, s katero tisti upravni organ, ki je za gradnjo

izdal gradbeno dovoljenje, na podlagi poprej opravljenega tehničnega pregleda, dovoli začetek uporabe objekta.

### 11.3.6 **Odobritev veterinarske uprave**

Bioplinna naprava, ki kot vhodni substrat uporablja živalske stranske proizvode (gnojevko, klavniške odpadke, id.) potrebuje odobritev Veterinarske uprave Republike Slovenije skladno z Uredbo št. 1774/2002 Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi zdravstvenih pravil za živalske stranske proizvode, ki niso namenjeni prehrani ljudi<sup>19</sup>. V tej uredbi se živalski stranski proizvodi razdelijo v 3 kategorije:

- v kategoriji 1 so vsi tisti živalski stranski proizvodi, ki za človeka, živali in okolje predstavljajo največjo nevarnost (BSE nevarnost),
- v kategoriji 3 so tisti živalski stranski proizvodi ali deli zaklanih živali, ki so ocenjeni kot neustrezni za prehrano ljudi,
- v kategoriji 2 so vsi živalski stranski proizvodi, ki niso naštetih niti v kategoriji 1 niti v kategoriji 3 (med drugim gnojevka in vsebina prebavnega trakta).

Veterinarska uprava RS odobritev obratovanja bioplinne naprave izda na osnovi njene ugotovitve o izpolnjevanje pogojev iz veterinarske zakonodaje (Zakon o veterinarstvu, Zakon o veterinarskih merilih skladnosti) oziroma predvsem iz že prej navedenih uredb. Odobritev Veterinarske uprave RS je predpogoj za nadaljnji postopek za pridobitev dovoljenja za obratovanje, ki ga izda Ministrstvo za okolje in prostor.

## 11.4 **Podporni instrumenti**

Energetska politika v Sloveniji s ciljem povečanja deleža obnovljivih virov v primarni energetski bilanci, zmanjšanja emisij toplogrednih plinov in povečanja deleža proizvedene električne energije iz OVE je postavitvi bioplinških naprav sorazmerno naklonjena. Država izgradnjo bioplinških naprav podpira z ugodnimi krediti ekološkega sklada in subvencioniranjem priprav investicijske dokumentacije v fazi načrtovanja za projekte rabe obnovljivih virov energije. Glavni stimulans pa je podpora v obliki zagotovljenega odkupa električne energije po subvencioniranih odkupnih cenah oz. premijah.

Celotni postopek za postavitve bioplinne naprave zahteva najprej

izbiro lokacije za postavitev naprave, izdelavo projektne dokumentacije, izvedbo projekta, pridobitev potrebnih dovoljenj, priključitev na elektroenergetsko omrežje, pridobitev deklaracije o proizvodnji napravi in sklenitev pogodbe o zagotavljanju podpore s Centrom za podpore (Borzen).

#### 11.4.1 Energetska dovoljenja:

Od energetske dovoljenja je za proizvodnjo in prodajo električne energije v bioplinski napravi do električne moči 1 MW potrebno pridobiti soglasje za priključitev na distribucijsko električno omrežje in deklaracijo za proizvodno napravo in podpore.

#### 11.4.2 Soglasje za priključitev na distribucijsko omrežje

Za priključitev na energetska omrežja je potrebno pridobiti soglasje za priključitev, ki ga izda upravitelj omrežja. Na primer, na območju občine Naklo je to Elektro Gorenjska d.d.

Za pridobitev soglasja za priključitev so poleg upravne takse potrebni še naslednji dokumenti:

- vloga na predpisanem obrazcu z osnovnimi podatki o odjemalcu,
- veljavna lokacijska informacija (če je potrebna),
- mapna kopija (merilo 1:1000 ali 1:2880),
- redni izpisek iz sodnega registra (za gospodarske družbe),
- ostala dokazila na zahtevo prejemnika vloge (projekt el. instalacij, pooblastilo vlagatelja).

#### 11.4.3 Deklaracije za proizvodno napravo in podpore

Če želi proizvajalec električne energije prodajati proizvedeno elektriko in hkrati prejemati podporo s strani države, mora oddati vlogo za deklaracijo za proizvodno napravo in podpore. Za bioplinske naprave niso določeni dodatni pogoji za pridobitev deklaracije. O pridobitvi deklaracije odloča Agencija RS za energijo. Deklaracija se podeli za obdobje petih let

Podpore se izvajajo kot:

- zagotovljen odkup električne energije, dobavljene v javno omrežje;
- obratovalna podpora, ki pomeni razliko med proizvodnimi stroški in predvideno tržno ceno električne energije za vso neto proizvedeno

električno energijo, ki jo ti proizvajalci prodajo na trgu ali porabijo za lastni odjem.

SPT E enote z močjo manjšo od 1MW ter OVE enote z močjo manjšo od 5MW lahko izbirajo med tipoma podpore, ki sta na voljo – zagotovljeni odkup in obratovalna podpora. Večje enote lahko prejema le obratovalno podporo, t.j. nimajo pravice zahtevati zagotovljenega odkupa. Za SPT E enote je podpora omejena do starosti naprave 10 let, za OVE naprave pa je meja 15 let od začetka obratovanja. Če enota vstopi v sistem, ko je že v obratovanju, se trajanje podpore zmanjša za čas od začetka obratovanja do vstopa v sistem podpor. Enote starejše od 10 (SPT E) oziroma 15 (OVE) let torej ne morejo vstopiti v nov sistem.

#### 11.4.4 Potrdila o izvoru

Potrdila o izvoru so pogoj za pridobivanje podpor in so kot dokaz OVE / SPT E proizvodnje prenesena na center za podpore (CP v nadaljevanju). Prenos potrdil o izvoru na CP se izvaja naknadno, predvidoma na letni osnovi. V primeru da prenos ni urejen, mora proizvajalec prejeta sredstva podpor vrniti CP.

#### 11.5 Literatura

Intelligent energy Europe - Biogas Regions 2007 – 2010, <http://www.biogasregions.org/>

Dušan Jug: Ocena potenciala izrabe ocena potenciala izrabe bioplina v slovenskem bioplinu v slovenskem

Uredba o standardni klasifikaciji dejavnosti, Uradni list RS, št. 69/2007.

Pravilnik o strokovni izobrazbi, delovnih izkušnjah ter obveznem usposabljanju in načinu preizkusa znanja delavcev, ki opravljajo dela in naloge upravljanja energetske naprave (Ur.l. SRS, št. 30/1983, Spremembe: Ur.l. SRS, št. 31/1984, 1/1987.

Zakon o prostorskem načrtovanju, Uradni list RS, št. 33/2007

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov: Uradni list RS št. 62/2008

Pravilnik o vsebini, obliki in načinu priprave občinskega podrobnega prostorskega načrta: Uradni list RS, št. 99/2007

Pravilnik o vsebini, obliki in načinu priprave občinskega prostorskega načrta ter pogojih za določitev območij sanacij razpršene gradnje in

območij za razvoj in širitev naselij: Uradni list RS, št. 99/2007

Zakon o urejanju prostora in Pravilnik o obliki lokacijske informacije ter o načinu njene izdaje: Uradni list RS, št.17/04.

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov: Uradni list RS št. 62/2008

Uredbo o pravilih za določitev cen in za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije: Uradni list RS št.25/2002.

Sklep o cenah in premijah za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije: Uradni list RS št. 65/2008.

Uredba o pogojih in postopku za izdajo ter odvzem licence za opravljanje energetske dejavnosti: Uradni list RS, št. 21/01, 31/01 in 66/05

Uredba o standardni klasifikaciji dejavnosti: Uradni list RS, št. 69/2007

Javna agencija Republike Slovenije za energijo, Strossmayerjeva ulica 30, p.p.1579, 2000 Maribor,

Uredba a o vrstah posegov v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje, Uradni list RS št. 78/2006

Uredba ravnanju z odpadki: Uradni list RS št. 34/2008

Uredba o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopku celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje: Uradni list RS št. 73/2005

Navodilo o metodologiji za izdelavo poročila o vplivih na okolje: Uradni list RS št. 70/1996

Zakon o graditvi objektov: Uradni list RS št. 102/2004 (popravek 126/2007)

Zakon o varstvu pred požarom: Uradni list št. 3/2007

Regulation (EC) No 1774/2002 of the European Parliament and of the Council of 3 October 2002 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption: Official Journal L 273, 10/10/2002 P. 0001 - 0095

Zakon o veterinarstvu: Uradni list RS št. 33/2001

Zakon o veterinarskih merilih skladnosti: Uradni list RS št. 93/2005

## Priloge

### Priloga 1: Slovar, pretvorbene enote in okrajšave

#### Slovar

Amoniak:	Plinasta zmes vodika in dušika, NH <sub>3</sub> , z jedkim vonjem in okusom.
Anaerobna bakterija:	Mikroorganizem, ki živi in se množi v okolju, ki ne vsebuje prostega ali raztopljenega kisika. Uporablja se za anaerobno digestijo.
Anaerobna digestija (presnova, vrenje):	Mikrobiološki postopek razgradnje organskih snovi, v popolni odsotnosti kisika, ki se izvaja z usklajenim delovanjem različnih mikroorganizmov. Z anaerobno digestijo (AD) dobimo dva glavna končna produkta: bioplin (plin, ki se sestoji iz mešanice metana, ogljikovega dioksida in drugih plinov ter elementov v sledih) in digestat (presnovljen substrat). Postopek AD je pogost v veliko naravnih okoljih in se danes uporablja za proizvodnjo bioplina v zrakotesnih reaktorskih zbiralnikih, na splošno imenovanih digestorji.
Baza:	Običajno se za bazo šteje katerakoli kemična spojina, ki raztopljena v vodi, da raztopino s pH vrednostjo višjo od 7,0.
Bioenergija (energija iz biomase):	Koristen, obnovljiv vir energije, proizvedene iz organskih snovi (s pretvorbo ogljikovih hidratov iz organskih snovi v energijo). Organsko snov lahko kot gorivo uporabimo bodisi neposredno ali s predelavo v tekočine in pline.
Biokemijska pretvorba:	Uporaba biokemijskih procesov za proizvodnjo goriv in preparatov iz organskih surovin.
Biološka potreba po kisiku (BOD):	Kemijski postopek za določanje časa, v katerem organizmi porabijo kisik v določeni količini raztopine.
Biomasa surovina:	Organske snovi, katerih viri so obnovljivi. Biomasa vključuje gozd in ostanke mletja, kmetijske pridelke in odpadke, les in lesne odpadke, živalske odpadke, ostanke živalske predelave, vodne rastline, hitro rastoča drevesa in rastline, ter komunalne in industrijske odpadke.
Bioplin:	Vnetljivi plin, pridobljen iz razpadajočih bioloških odpadkov v anaerobnih pogojih. Bioplin je običajno sestavljena iz 50-60% metana.
Bioreaktor (digestor):	Naprava za optimizacijo anaerobne digestije biomase in/ali živalskega gnoja, z možnostjo pridobivanja bioplina za proizvodnjo energije.

Blato:	Trdne organske snovi, ki so bile med predelavo ločene od tekočine. Blato lahko vsebuje do 97% vode glede na prostornino.
Centralna anaerobna digestija (CAD):	Dobava gnojevke z več kmetij v centralni obrat za pridobivanje bioplina, kjer se predeluje sočasno z drugimi primernimi surovinami.
Digestat (ostanek AD, digestirana biomasa, digestirana gnojevka):	Obdelan/digestiran iztok iz procesa anaerobne digestije.
Digestija:	Glej anaerobna digestija.
Ekvivalent CO <sub>2</sub> :	Ekvivalent CO <sub>2</sub> je enota, s katero so standardizirane meritve emisij toplogrednih plinov. Na primer, tona za tona, metan je toplogredni plin, ki je 21-krat močnejši od ogljikovega dioksida. Zato ena tona metana predstavlja 21 ton ekvivalenta CO <sub>2</sub> .
Ekvivalent nafte:	Tona ekvivalenta nafte (toe) je enota energije: količina energije, ki se bo sprostila z zgorevanjem ene tone surove nafte, pribl. 42 GJ.
Elektrarna:	Objekt z gonilniki, generatorji in drugimi napravami za pridobivanje električne energije.
Emisije:	Hlapi ali plini, ki izhajajo iz dimnikov in izpušnih cevi, prihajajo iz proizvodnih obratov ali prehajajo v ozračje neposredno iz pogonskih goriv, odlagališč smeti, zaradi gnitja rastlin in propadanja dreves ter drugih virov. Med njimi so ogljikov dioksid, metan in dušikov oksid, ki povzročajo največji delež globalnega učinka tople grede.
Energetska bilanca: Energetske rastline: (DEC)	Količina energije porabljene in proizvedene v procesu.  Rastline, ki jih gojimo samo zaradi njihove energetske vrednosti. Sem vključujemo prehrabene rastline, kot sta koruza in sladkorni trs, in neprehrabene rastline, kot sta topol in okrasno proso. Trenutno se razvijata dve vrsti energetskih rastlin: drevje kratke rotacije; to so hitro rastoče vrste drevja s trdim lesom, ki ga lahko poberejo na 5 do 8 let, in zelene energetske rastline; vrsta trajne trave, ki jo lahko požanjemo vsako leto po 2 do 3 letih, v katerih doseže polno rast.
Fotosinteza:	Proces, pri katerem klorofil, ki ga vsebujejo celice v zelenih delih rastlin, spremeni vpadlo svetlobo v kemično energijo, s pomočjo ogljikovega dioksida v obliki ogljikovih hidratov.
Fosilno gorivo:	Trdna, tekoča ali plinasta goriva, ki so milijone let nastajala pod površino zemlje iz rastlinskih in živalskih ostankov s pomočjo kemijskih in fizikalnih reakcij pri visokih temperaturah in tlakih. Surova nafta, zemeljski plin in premog so fosilna goriva.

Gigavat (GW):	Mera za električno zmogljivost v višini 1 milijarde vatov ali 1 milijona kilovatov.
Globalno segrevanje:	Postopno segrevanje zemeljske atmosfere, ki ga povzroča zgorevanje fosilnih goriv in industrijska onesnaževala.
Gorivna celica:	Naprava, ki pretvarja energijo goriva neposredno v električno energijo in toploto, brez zgorevanja.
Hlapljiva trdna snov (VS):	Trdna snov v vodi ali drugih tekočinah, ki se izgubi pri vžigu suhe trdne snovi pri 550 °C.
Hlapljive maščobne kisline (VFA):	Kisline, ki jih proizvajajo mikrobi v silaži iz sladkorjev in drugih virov ogljikovih hidratov. Po definiciji so hlapljive, kar pomeni, da bodo v zraku izhlapele, odvisno od temperature. So prvi degradacijski produkt anaerobne digestije, pred nastankom metana.
Iztok:	Tekočina ali plin, ki izhaja procesa ali kemičnega reaktorja, ponavadi vsebujejo digestat iz tega procesa.
Joule (J):	Merska enota za energijo, enako delu, ki ga opravi sila enega Newtona na razdalji enega metra; 1 joule (J) = 0,239 kalorij, 1 kalorija (cal) = 4,187 J.
Kilovat (kW):	Merska enota za električno moč v višini 1.000 vatov. 1 kW = 3.413 BTU / h = 1.341 konjskih moči.
Kilovatna ura (kWh):	Najpogosteje uporabljena merska enota, ki pove količino električne energije, porabljene v določenem časovnem obdobju. To pomeni en kilovat električne energije, v eni uri.
Kilovolt (kV):	1.000 voltov. Količina električne napetosti, prenesene preko visokonapetostnih vodov se meri v kilovoltih.
Kislina:	Običajno se za kislino šteje katerakoli kemična spojina, ki raztopljena v vodi, da raztopino s pH vrednostjo nižjo od 7,0.
Kogeneracija:	Glej sočasna proizvodnja toplote in električne energije (SPTE).
Komunalni odpadki (MSW):	Vse vrste trdnih odpadkov, ki nastanejo v lokalni skupnosti (gospodinjstva in poslovne zgradbe) in se običajno zbirajo na lokalni ravni.
Kurilna vrednost:	Največja količina energije, ki se sprosti pri zgorevanju snovi.
Lebdeči delci:	Majhni delci pepela, ki jih nosijo s seboj produkti (ostanki) zgorevanja.
Metan (CH <sub>4</sub> ):	Vnetljiv in eksploziven plin, brez barve in vonja, delno topen v vodi in topen alkoholu in etru; vre pri -161,6 °C in zamrzne pri -182,5 °C. Nastaja na barjih in močvirjih kot posledica razpadanja organskih snovi. Predstavlja veliko nevarnost za podzemne eksplozije. Metan je glavna sestavina (do 97%) zemeljskega plina; uporablja se kot surovina v petrokemični industriji in kot gorivo.
Mezofilna digestija:	Poteka optimalno med 37 in 41 °C ali pri sobni temperaturi med 20 in 45 °C ob prisotnosti mezofilnih mikroorganizmov.

Mikro turbina:	Majhna turbina z izhodno močjo od 25 do 500 kW. Mikro turbine so sestavljene iz kompresorja, gorilnika, turbine, alternatorja, rekuperatorja in generatorja. V primerjavi z drugimi tehnologijami, primernimi za malo proizvodnjo električne energije, imajo mikro turbine številne prednosti: malo gibljivih delov, kompaktno velikost, majhno težo, večjo učinkovitost, nižje emisije, nižje stroške električne energije, možnosti za poceni masovno proizvodnjo in možnosti za izkoriščanje odpadnega goriva.
Mini-omrežje:	Integrirana lokalna proizvodnja, prenos in distribucijsko omrežje, ki oskrbuje številne porabnike.
Moč:	Količina opravljenega dela ali prenesene energije na časovno enoto.
Obnovljiva energija:	glej bioenergija
Obnovljivi viri energije:	Viri energije, ki so naravno obnovljivi, vendar z omejenim pretokom. So skoraj neizčrpani v trajanju, vendar omejeni glede na količino energije, ki je na voljo na časovno enoto. Nekateri (kot sta geotermalna energija in biomasa) imajo omejene zaloge, ki se z uporabo zmanjšujejo, vendar se lahko le-te, gledano v daljšem časovnem obdobju (nekaj desetletij ali stoletij) s lestvici desetletij, ali morda več stoletij, obnovijo. Obnovljivi viri energije so: biomasa, vodna in geotermalna energija, sonce in veter. V prihodnosti bi lahko vključili tudi tehnologije, ki izkoriščajo energijo oceanov: toplotno energijo, energijo valov in plimovanja.
Omrežje:	Sistem, preko katerega distribucijska podjetja povezujejo elektrarne in porabnike električne energije s pomočjo visokonapetostnega omrežja (110 kilovoltov [kV] do 765 kV); visoke napetosti se največ uporabljajo v industriji, železniškem in avtobusnem transportu (23 kV-138 kV); srednje napetosti se primarno uporabljajo v industriji (4 kV do 35 kV) in sekundarni servis za poslovne uporabnike in gospodinjstva (120 V do 480 V). Omrežje lahko imenujemo tudi sistem za distribucijo plina mesta ali kraja, pri katerem so cevi največkrat položene v obeh smereh po ulicah in povezane v križiščih.
Omrežni sistem:	Razporeditev električnih vodov, ki povezujejo elektrarne in porabnike na določenem večjem območju.
pH:	Merska enota za izražanje alkalnosti ali kislosti vode. Vrednosti se gibljejo v območju od 0 do 14, kjer je 0 najbolj kislo, 14 najbolj alkalno in 7 je nevtralnno.
Pilotna velikost:	Velikost sistema, med majhno velikostjo laboratorijskega modela (primerjalna skala) ter realno velikostjo sistema.
Plinska turbina:	Turbina, ki pretvori energijo vroče stisnjenega plina (dobljenega z zgorevanjem goriva v komprimiranem zraku) v mehansko

	energijo. Običajno je uporabljeno gorivo je zemeljski plin ali kurilno olje.
Prenosnik toplote:	Naprava, zgrajena za učinkovit prenos toplote z ene tekočine na drugo. Tekočine so lahko med seboj ločene s trdno steno, tako da nikoli ne pride ko mešanja, ali pa so v neposrednem stiku.
Procesna toplota:	Toplota, uporabljena v industrijskem procesu.
Sekanci:	Lesen material razrezan na kratke, tanke rezine. Sekanci se uporabljajo kot surovina za pridelavo celuloze in lepenke ali kot biomasno gorivo.
Serijsko polnjenje:	Postopek, pri katerem se reaktor polni s surovino v določenih količinah (korakoma in ne nepretrgoma).
Skupna trdna snov (suha trdna snov):	Ostanek, ki nastane pri procesu uparjanja vode in po sušenju.
Sodček ekvivalenta nafte (boe):	Količina energije, ki jo vsebuje sodček surove nafte, t.j. približno 6,1 GJ oziroma 1.700 kWh. Sodček nafte je tekočinska mera, ki je enaka 42 ameriškim galonom (35 imperialnim galonom oz. 159 litrom); približno 7,2 sodčka je enako eni toni nafte (v metričnih enotah).
Sočasna proizvodnja toplote in električne energije (SPTE) (soproizvodnja, kogeneracija):	Zaporedna proizvodnja električne energije in koristne toplotne energije iz skupnega vira goriva. Odpadno toploto iz industrijskih procesov lahko uporabljamo za pogon električnega generatorja. Obratno, lahko uporabimo presežke toplote, ki nastanejo pri proizvodnji električne energije v industrijskih procesih ali za ogrevanje prostorov oz. pripravo tople vode.
Substrat:	glej biomasna surovina.
Surovina:	Katerikoli material, ki ga pretvorimo v drugo obliko ali izdelek.
Termofilna digestija:	Anaerobna digestija, ki optimalno poteka optimalno okrog 50 do 52 °C, vendar tudi pri povišani temperaturi do 70 °C ob prisotnosti termofilnih mikroorganizmov (bakterij).
Toplogredni plin (GHG):	Plini, ki zadržujejo toploto sonca v zemljini atmosferi ter s tem ustvarjajo učinek tople grede. Dva pomembnejša toplogredna plina sta vodna para in ogljikov dioksid. Drugi toplogredni plini so metan, ozon, klorofluoroogljikovodiki in dušikov oksid.
Trajnosten:	Stanje ekosistema, pri katerem se biotska raznovrstnost, obnovljivost in produktivnosti virov ohranjajo s časom.
Turbina:	Naprava za pretvorbo toplotne energije iz pare ali plina visoke temperature v mehansko energijo. V turbini prehaja tok pare ali plina z veliko hitrostjo preko radialnih lopatic, zaporedno pritrtjenih na osrednjo gred.
Učinek tople grede:	Učinek nekaterih plinov v zemljini atmosferi, ki zadržujejo toploto sonca.

Učinkovitost prenosa toplote:	Razmerje med koristno toploto, sproščeno na izstopu in dejansko toploto proizvedeno v kurišču.
Uplinjanje:	Postopek, pri katerem se trdno gorivo pretvori v plin, znan tudi kot pirolitska destilacija ali piroliza.
Vat (W):	Standardna merska enota (SI sistem) za hitrost, s katero naprava porablja energijo, oz. hitrost, s katero energija potuje iz ene lokacije na drugo. Je enota za merjenje električne moči. Izraz »kW« pomeni »kilovat« ali 1.000 vatov. Izraz »MW« pomeni »Megavat« ali 1,000.000 vatov.
Volt:	Enota za merjenje električnega potenciala in električne napetosti. En volt ustreza razliki električnih potencialov na električnem uporniku, na katerem električni tok jakosti enega ampera porablja moč enega vata.
Vgrajena moč:	Skupna zmogljivost naprav za proizvodnjo električne energije v elektrarni ali sistemu.
Vrenje:	Glej anaerobna digestija.
Zeleni certifikat (REC):	Dokument, ki dokazuje, da je določena električna energija proizvedena iz obnovljivih virov energije. Ponavadi en certifikat pomeni proizvodnjo 1 megavatne ure (MWh) električne energije.
Zmogljivost:	Največja moč ki jo lahko proizvedejo in varno izvajajo stroji ali sistemi (največja trenutna proizvodnja pod posebnimi pogoji). Zmogljivost proizvodne opreme je običajno izražena v kilovatih ali megavatih.

### Pretvorbene enote

Kilovat (kW)	= 1.000 vatov
Megavat (MW)	= 1.000 kW
Gigavat (GW)	= 1 milijon kW
Teravat (TW)	= 1 tisoč milijonov kW
1 Joule (J)	= 1 Vatna sekunda = $278 \times 10^{-6}$ Wh
1 Wh	= 3.600 J
1 kalorija	= 4,18 J
1 Britanska toplotna enota (BTU)	= 1 055 J
1 kubični meter (m <sup>3</sup> )	= 1.000 liter (L)
1 bar	= 100.000 paskal (Pa)
1 milibar	= 100 Pa
1 psi	= 6.894,76 Pa
1 torr	= 133,32 Pa
1 milimeter živega srebra (0 °C)	= 133,32 Pa
1 hektopaskal (hPa)	= 100 Pa

### Okrajšave

AD	– anaerobna digestija
BPK	– biološka potreba po kisiku

SPT	– sproizvodnja toplote in električne energije
C:N	– razmerje ogljika in dušika
KPK	– kemijska potreba po kisiku
DEC	– energetske rastline
SS	– suha snov
FF	– sveža surovina
GHG	– toplogredni plini
HRT	– hidravlični čas zadrževanja
kWh	– kilovatna ura
kWh <sub>el</sub>	– kilovatna ura električne energije
MGRT	– zagotovljeni najkrajši čas zadrževanja
N-P	– dušik-fosfor
NPK	– dušik, fosfor in kalij
oSS	– organski delež suhe snovi
ppm	– delcev na milijon (1 ppm = 0,0001 %)
RD&D	– raziskave, razvoj in prikaz
TLV	– mejna vrednost
TS	– skupna trdna snov
VFA	– hlapljive maščobne kisline
VS	– hlapljive snovi

## Priloga 2: Literatura

- [1] Agapitidis I. and Zafiris C. (2006). 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.
- [2] Al Seadi, T. (2001). 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.
- [4] Al Seadi, T.; Holm Nielsen J. (2004). Utilisation of waste from food and agriculture: Solid waste: Assesment, Monitoring and Remediation; Waste management series 4; ELSEVIER; ISBN 0080443214, 735-754.
- [5] Al Seadi, T.; Moeller H., B. (2003). Separation of slurry - A potential option for the animal production sector. Proceedings report of European Biogas Workshop "The Future of Biogas in Europe III", October 2-4, Esbjerg, Denmark.
- [6] Amon, T. et al. (2006). Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem Published by Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Austria.
- [7] Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Moitzi, G.; Buga, S.; Lyson, D. F.; Hackl, E.; Jeremic, D.; Zollitsch, W.; Pötsch, E. (2003). Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Published by Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien, Austria.
- [8] Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Schreiner, M. (2004). Untersuchungen zur

- Wirkung von Rohglycerin aus der Biodieselerzeugung als leistungssteigerndes Zusatzmittel zur Biogaserzeugung aus Silomais, Körnermais, Rapspresskuchen und Schweinegülle. Published by Südsteirische Energie- und Eiweißherzeugung Reg. Gen.m.b.H., Mureck, Austria.
- [9] Amon, T.; Machmüller, A.; Kryvoruchko, V.; Milovanovic, D.; Hrbek, R.; Eder, M. W.; Stürmer, B. (2007). Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin 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.
- [10] Angelidaki, I. et al. (2004). Environmental Biotechnology. AD – Biogas Production. Environment & Resources DTU, Technical University of Denmark.
- [11] ASPO-Association for the study of the peak oil (2008). <http://www.peakoil.net/>
- [12] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (STMUGV) (2004). Biogashandbuch Bayern. - [www.ustmugv.bayern.de](http://www.ustmugv.bayern.de)
- [13] Bendixen, H.J. et al. (1995). Smitstofreduktion i biomasse. Landbrug og Fiskeriministeriet. Veterinærdirektoratet.
- [14] Birkmose, T. (2002). Centralised Biogas Plants. Landscentret, Planteavl. ISBN 87 7470 829 5.
- [15] 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.
- [16] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2007). Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen. Published by Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Wien, Austria.
- [17] 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.
- [18] Environmental Protection Agency; An Gníomhaireacht um Chaomhnú Comhshaoil. (2002). P.O. Box 3000, Johnstown Castle Estate, County Wexford, Ireland. ISBN: 1-84095-083-8
- [19] European Parliament (2002). Regulation (EC) no 1774/2002 of the European Parliament and of the Council of 3 October 2002 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption.
- [20] FNR (2006). Handreichung Biogasgewinnung und – Nutzung. – 3. überarbeitete Auflage; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe edt.; Germany; ISBN 3-00-014333-5
- [21] Hansen, M.N.; Birkmose, T.; Mortensen, B.; Skaaning, K. (2004). Miljøeffekter af bioforgasning og separering af gylle. Grøn Viden, Markbrug nr. 296.

- [22] Hjort-Gregersen, K. (1998). Danish Farm Scale Biogas Concepts- at the point of commercial break trough. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics. Proceedings of the International Conference Würzburg, Germany: Biomass for Energy and Industry, 8-11 June 1998, p 641-643.
- [23] Hornbachner, D.; Hutter, G.; Moor, D. (2005). Biogas-Netzeinspeisung – Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen in Österreich. Published by Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Austria.
- [24] Ivan Simeonov, Dencho Denchev and Bayko Baykov (2006). "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,
- [25] Jäkel K. (2002). Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und – verwertung – Managementunterlage; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Germany
- [26] Jönsson, O. et al. (2001). Adding gas from biomass to the gas grid. Swedish Gas Center Report SGC 118.ISSN 1102-7371.
- [27] Kirchmeyr, F.; Kraus, J. (2005). 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.
- [28] Krachler, M. M.; Dissemond, H.; Walla, C. (2003). BIOGAS - eine ökologische, volks- und betriebswirtschaftliche Analyse. Published by NÖ Landesakademie Bereich Umwelt und Energie, St. Pölten, Austria.
- [29] LandesEnergieVerein Steiermark (2003). Bauherrnmappe Biogas, Published by LandesEnergieVerein Steiermark, Graz, Austria.
- [30] LfU (2007). Biogashandbuch Bayern - Materialband. - Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Germany. <http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>
- [31] Metcalf and Eddy (1979). Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal, McGraw-Hill, New York.
- [32] Meynell, P.J. (1976). Methane, Planning a Digester. Prism Press, Dorset, England.
- [33] Moller, H. et al. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass & Bioenergy 26, pp 485-495.
- [34] Nordberg, Å. (1999). EU and National Legislation of Relevance to Anaerobic Digestion.
- [35] Padinger, R. et al. (2006). 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.
- [36] Persson, M. (2007). Biogas-a renewable fuel for the transport sector for the present and the future. SGC, [www.sgc.se](http://www.sgc.se).
- [37] Petz, W. (2000). Auswirkungen von Biogasgülledüngung auf Bodenfauna und einige Bodeneigenschaften. Published by Amt der Oberösterreichischen Landesregierung Landesrat für Wasserwirtschaft Dr. Achatz, Hallwang, Austria.
- [38] Preißler, D. et al. (2007). Anaerobic digestion of energy crops without manure addition. 35. Symposium "Actual Tasks of Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, S. 363-370.

- [39] 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
- [40] Sioulas, K., Mavrogiorgos, D. and Chatziathanassiou, A. (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.
- [41] Sioulas, K., Boukis, I., et. al. (1999). "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.
- [42] Stoyanov, M., B. Baykov, A. Danev (1996). "Development of Technological regimes for Producing Biogas from Buffalo Dung", Bulgarian Journal of Agricultural Sciences, 2, 121 – 123;
- [43] Thrän D., Seiffert M., Müller-Langer F., Plättner A., Vogel A. (2007). Möglichkeiten einer Europäischen Einspeisungsstrategie. – Institut für Energie und Umwelt, Leipzig, Germany
- [44] Wolfsgruber, S.; Löffler, G.; Gross, R. (2005). ENERGIE AUS BIOGAS - Leitfaden für landwirtschaftliche Biogasanlagen. Published by Umwelt.Service.Salzburg in collaboration with Land Salzburg, Salzburg, Austria.

### **Priloga 3: Naslovi avtorjev in recenzentov**

**University of Southern Denmark (SDU)**

**Institute of Chemical Engineering, Biotechnology and Environmental Technology (KBM)**

Niels Bohrs Vej 9-10  
DK-6700 Esbjerg  
Denmark

Contact person: MSc **Teodorita Al Seadi**, Principal Scientist

Tel.: (+45) 6550 4168; Fax: (+45) 6550 1091

e-mail: [tas@bio.sdu.dk](mailto:tas@bio.sdu.dk)

Web: [www.sdu.dk](http://www.sdu.dk)

**WIP Renewable Energies**

Sylvensteinstr. 2  
D-81369 Munich  
Germany

Contact person: Dipl.-Ing. MSc **Dominik Rutz** and Dr. **Rainer Janssen**

Tel.: +49 89 720 12739; Fax: +49 89 720 12791

e-mail: [dominik.rutz@wip-munich.de](mailto:dominik.rutz@wip-munich.de)

Web: [www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)

**Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG (FITEC)**

Mailinger Weg 5  
83233 Bernau / Hittenkirchen  
Germany  
Contact person: Dipl.-Ing. **Tobias Finsterwalder**  
Tel.: +49 (0) 8051-65390; Fax: +49 /0) 8051-65396  
e-mail: info@fitec.com  
Web: www.fitec.com

**German Society for Sustainable Biogas and Bioenergy Utilisation (GERBIO)**

**FnBB e.V. – Geschäftsstelle**

Am Feuersee 8D - 74592 Kirchberg/Jagst  
Germany  
Contact person: **Michael Köttner** and **Silke Volk**  
Tel.: + 49 (0) 7954 921 969; Fax: +49 (0) 7954 926 204  
e-mail: office@fnbb.org  
Web: www.fnbb.org

**Ing. Gerhard Agrinz GmbH (AGRINZ)**

Emmerich-Assmann-Gasse 6  
A-8430 Leibnitz  
Austria  
Contact person: Mag. **Heinz Praßl**  
Tel: +43 3452/73997-0; Fax: +43 3452/73997-9  
e-mail: prassl@agrinz.at; office@agrinz.at  
Web: www.agrinz.at

**Center for Renewable Energy Sources (CRES)**

Marathonos Ave  
19009, Pikermi Attiki  
Greece  
Contact person: MSc **Konstantinos Sioulas**  
Tel.: +30210 6603300; Fax: +30210 6603301/302  
e-mail: cres@cres.gr  
Web: www.cres.gr

**Energetski Institut Hrvoje Požar (EIHP)**

Savska 163  
HR-10000 Zagreb  
Croatia  
Contact person: MSc **Biljana Kulišić**  
Tel: 385 1 6326 169; Fax: 385 1 6040 599  
e-mail: bkulic@eihp.hr  
Web site: www.eihp.hr

**Kmetijski inštitut Slovenije (KIS)**

**Oddelek za kmetijsko tehniko**

Hacquetova ulica 17  
SI-1000 Ljubljana  
Slovenia  
Contact person: **MSc Tomaž Poje**

Tel: 386 1 2805 100; Fax: 386 1 2805 255  
e-mail: tomaz.poje@kis.si  
Web site: www.kis.si

**Agencija za prestrukturiranje energetike d.o.o. (ApE)**

Litijska cesta 45  
SI-1000 Ljubljana  
Slovenia

Contact person: **Matjaž Grmek**

Tel: 386 1 586 3872; Fax: 386 1 586 3879  
e-mail: matjaz.grmek@ape.si  
Web site: www.ape.si



  
**Organica**  
green energy



**BIOPLINSKE ELEKTRARNE**  
energetska rešitev prihodnosti