

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Marko FERENČAK

**ANALIZA DELOVANJA BIOPLINSKE NAPRAVE V
BBG DONAU-WALD mbH (PASSAU, NEMČIJA)**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Marko FERENČAK

**ANALIZA DELOVANJA BIOPLINSKE NAPRAVE V BBG DONAU-
WALD mbH (PASSAU, NEMČIJA)**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ANALYSIS OF BIOGAS DEVICE IN BBG DONAU-WALD mbH
(PASSAU, GERMANY)**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za kmetijsko mehanizacijo, Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Podatki za analizo so bili pridobljeni v polletni študijski praksi v bioplinarni BBG Donau-Wald mbH v Passau-u (Nemčija).

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je odobrila naslov diplomskega dela in za mentorja imenovala prof. dr. Rajka Bernika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Rajko BERNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Rok MIHELIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Marko Ferenčak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 620.97:628.4.042:628.336.6(043.2)
KG	bioplinska naprava / organski gospodinjski odpadki / bioplin / bioplinski reaktor / biokompost / anaerobna razgradnja / električna energija
KK	AGRIS N01
AV	FERENČAK, Marko
SA	BERNIK, Rajko (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2011
IN	ANALIZA DELOVANJA BIOPLINSKE NAPRAVE V BBG DONAU-WALD mbH (PASSAU, NEMČIJA)
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	III, 41, [3] str., 1 preg., 31 sl., 2 pril., 16 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Namen dela je bil prikazati učinkovito pridobivanje bioplina iz organskih gospodinjskih odpadkov. To sem prikazal na primeru bioplinarne BBG Donau-Wald, v katero skupno vstopi 41000 t organskih ostankov letno. Glavni delež vhodne organske mase, ki znaša 90 %, predstavljajo organski gospodinjski odpadki. Ostalih 10 % sestavljajo zeleni rastlinski odpadki, sadne tropine iz bližnje predelovalne industrije in manj kot 1 % silažne koruze, ki skupaj z zelenimi rastlinskimi odpadki izboljšuje strukturo skupne organske mase in povzročajo manj težav pri predelavi. Podali smo mesečne podatke o masi vhodne organske snovi za mesec januar in julij in tudi za celo leto. Povprečni dnevni vnos organske snovi je januarja znašal 105486 kg, meseca julija pa 131275 kg. Podatka sta povsem logična, saj je poleti na voljo več biomase kot pozimi. Masa vhodne organske snovi narašča na letnem nivoju hkrati z vegetacijsko dobo in obratno. Zanimive so meritve o nastalem bioplinu. Januarja je v povprečju na dan nastalo 19952 m³ bioplina, julija pa 18753 m³ bioplina na dan, kar je 6 % manj kot meseca januarja. Iz primerjave povprečnega dnevnega vhoda organske mase in proizvodnje bioplina lahko ugotovimo, da je poleti kljub večji masi in volumnu organske snovi izplen bioplina manjši. Do tega pride zaradi višje temperature ozračja, ki sproži predčasno anaerobno razgradnjo in izgubo bioplina. Pridobivanje bioplina in proizvodnja električne energije sta predvsem v letnem času konstantna. Letno proizvedeta dva 16-batna plinska motorja z maksimalno skupno močjo 1,6 MW 11300000 kWh električne energije in vsaj še enkrat toliko toplotne energije. V povprečju je bioplinska naprava delovala z močjo 1,3 MW. Poleg električne energije in toplote nastane iz izhodne organske mase bioplinskega reaktorja 10000 t bioplinske gnojevke, ki je odlična za dognojevanje poljščin, in 7000 t biokomposta, ki je uporaben in dostopen tako za vrtničarje kot velike kmetovalce. Bioplinska naprava v Passau-u je vzorni primer, kako lahko na najbolj učinkovit in smiseln način izrabimo gospodinjske organske odpadke.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 620.97:628.4.042:628.336.6(043.2)
CX biogas device / organic housewaste / biogas / biogas reactor / biocompost / anaerobic digestion / electrical energie
CC AGRIS N01
AU FERENCAK, Marko
AA BERNIK, Rajko (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2011
TI ANALYSIS OF BIOGAS DEVICE IN BBG DONAU-WALD mbH (PASSAU, GERMANY)
DT Graduation Thesis (University studies)
NO IV, 41, [3] p., 1 tab., 31 fig., 2 ann., 16 ref.
LA sl
AL sl/en
AB This work was to demonstrate the effective production of biogas from organic household waste. That's what I show in the case of biogas device Donau-Wald BBG, which enters the total 41,000 t of organic residues annually. The main share of input organic matter, which is 90%, representing organic household waste. The remaining 10% consists of green vegetable waste, fruit pulp from the nearby manufacturing industry and less than 1% corn silage, which, together with green plant waste improves the structure of the total organic mass and causes fewer problems in processing. Then we set the monthly data on the mass input of organic matter for the month of January and July and also for the whole year. The average daily intake of organic matter in January amounted 105,486 kg, the month of July, 131,275 kg. Data are quite logical, since there is more biomass available in summer than in winter. Mass input of organic matter is increasing on an annual level along with the growing cycle, and vice versa. Interesting are measurements of the resulting biogas. In January, the average biogas production is 19952 m³ per day and in July 18,753 m³ of biogas per day, which is 6% less than in January. From the comparison of the average daily input of organic matter and biogas production can be concluded that in the summer, despite the greater amount and volume of organic matter yields lower biogas. This is due to higher atmospheric temperatures, which triggers early anaerobic degradation of wastes and loss of biogas. Biogas and electricity production are mainly in the summer time constant. The annual production of two 16-piston gas engine with a maximum total power of 1.6 MW 11.3 million kWh of electricity and at least twice as much heat. On average, the biogas plant is operated with the power of 1.3 MW. In addition to electricity and heat generated from the source of organic mass biogas reactor 10000 t biogas slurry, which is great for fertilizing crops, and 7,000 t biocompost, which is useful and accessible for both gardening and large farmers. Biogas device in Passau-u is a good example of one of the most efficient and sensible manner of household organic waste treatment.

KAZALO VSEBINE

	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
	KEY WORDS DOCUMENTAATION	IV
	KAZALO VSEBINE	V
	KAZALO PREGLEDNIC	VIII
	KAZALO SLIK	IX
	KAZALO PRILOG	XI
	OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1	UVOD	1
1.1	NAMEN DIPLOMSKEGA DELA	2
1.2	DELOVNA HIPOTEZA	2
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	O BIOPLINU	3
2.1.1	Sestava bioplina	3
2.1.2	Uporaba bioplina in njegove prednosti	4
2.2	BIOKEMIČNI PROCESI	5
2.2.1	Hidroliza	6
2.2.2	Kislinska geneza	6
2.2.3	Acetogeneza	7
2.2.4	Metanogeneza	7
2.3	FAKTORJI, KI VPLIVAJO NA ANAEROBNO RAZGRADNJO	7
2.3.1	Sestava organske mase	8
2.3.2	Vrednost pH	8
2.3.3	Hlapne maščobne kisline	8
2.3.4	Temperatura	9
2.3.5	Razmerje C/N	10
2.3.6	Zadrževalni čas	10
2.3.7	Organska obremenitev	10
2.3.8	Mešanje	11
2.4	ORGANSKA MASA ZA ANAEROBNO PRESNOVO	11
2.5	BIOREAKTORJI	12

2.5.1	Sistem z pogostim enkratnim polnjenjem in praznjenjem (saržni reaktor)	12
2.5.2	Sistem z neprekinjenim polnjenjem in praznjenjem (kontinuirni reaktor)	13
2.6	FERMENTACIJSKI OSTANKI	13
2.6.1	Biokompost	13
2.6.2	Bioplinska gnojevka	14
3	MATERIAL IN METODE	15
3.1	OPIS BIOPLINSKE NAPRAVE	15
3.1.1	Lokacija bioplinske naprave	15
3.1.2	Zastopanost bioplinskih naprav na območju mest Passau, Regen, Freyung in Deggendorf	16
3.1.3	Velikost bioplinske naprave	16
3.2	SESTAVNI ELEMENTI BIOPLINSKE NAPRAVE IN NJIHOVO DELOVANJE	17
3.2.1	Dostavni prostor	17
3.2.2	Pripravljalni prostor	18
3.2.3	Zalogovniki	19
3.2.4	Mešalna naprava	19
3.2.5	Batna črpalka	20
3.2.6	Bioplinski reaktorji	20
3.2.7	Plinska motorja	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.2.8	Stiskalnice ali separacijske enote	22
3.2.9	Kompostirnica	24
4	REZULTATI	27
4.1	VHODNA ORGANSKA MASA	27
4.1.1	Analiza vhodne mase	27
4.1.2	Masa mesečnega vhoda	28
4.1.3	Masa letnega vhoda	29
4.2	PROIZVODNJA BIOPLINA	30
4.2.1	Dnevna proizvodnja bioplina	30
4.2.2	Mesečna proizvodnja bioplina	31
4.2.3	Letna proizvodnja bioplina	32

4.3	PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	33
4.3.1	Vsebnost metana (CH₄) v proizvedenem bioplinu	33
4.3.2	Proizvodnja električne energije	34
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	36
5.1	RAZPRAVA	36
5.2	SKLEPI	37
6	POVZETEK	38
7	VIRI	40
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava bioplina (Graf, 2007)	3
--	---

KAZALO SLIK

Slika 1: Bioplin v Evropi (Biogas Barometer, 2008)	1
Slika 2: Vrste anaerobne fermentacije (Chaudhary, 2008).....	5
Slika 3: Postopki pri pridobivanju metana (Smith, 2004)	6
Slika 4: Relativni izplen bioplina glede na temperaturo in čas zadrževanja (Al Seadi in sod., 2010).....	9
Slika 5: Izplen metana za različne organske snovi (Al Seadi, 2010)	12
Slika 6: Lega Bavarske v Nemčiji (levo) in lega območja štirih mest znotraj Bavarske, iz katerih odpadke sprejema bioplinska naprava BBG Donau- Wald (desno).	15
Slika 7: Položaj bioplinskih naprav na območju mest Passau, Regen, Freyung, Deggendorf (Buchheit, 2005)	16
Slika 8: Bioplinska naprava BBG Donau-Wald v Passau-u in njeni elementi (Buchheit, 2005).....	17
Sliki 9 in 10: dostavni prostor v BBG Donau-Wald, Passau (Foto: Marko Ferenčak).	18
Slika 11: Prvi mlin (Foto: Marko Ferenčak).	18
Slika 12: Zalogovniki (Buchheit, 2005).	19
Slika 13: Mešalna naprava (Foto: Marko Ferenčak).	20
Sliki 14 in 15: Fermentor (Buchheit, 2005).....	21
Slika 16: Plinska motorja (Buchheit, 2005).	22
Slika 17: Stiskalnice (Foto: Marko Ferenčak).	23
Slika 18: Notranjost kompostirnice (Foto: Marko Ferenčak).....	24
Slika 19: Biofiltri (Buchheit, 2005).....	25
Slika 20: Notranjost naprave za ločevanje biokomposta (Buchheit, 2005).....	26
Slika 21: Analiza vhodne organske mase za leto 2007 (Buchheit, 2005).	27
Slika 22: Mesečni nivo vhodne sveže mase za mesec januar 2007.	28
Slika 23: Mesečni nivo vhodne sveže mase za mesec julij 2007.	29
Slika 24: Letni nivo vhodne sveže mase za leto 2007.	29
Slika 25: Dnevni diagram proizvodnje celotnega bioplina za 10. januar 2007.....	30
Slika 26: Dnevni diagram proizvodnje celotnega bioplina za 10. julij 2007.	31
Slika 27: Mesečni diagram proizvodnje bioplina za januar 2007.	31

Slika 28: Mesečni diagram proizvodnje bioplina za julij 2007.....	32
Slika 29: Letni diagram proizvodnje bioplina za leto 2007.....	33
Slika 30: Vsebnost metana (CH ₄) v izplenjenem bioplinu posamičnega bioplinskega reaktorja za mesec januar.....	34
Slika 31: Prikaz seštevka proizvodnje električne energije za leta 2007 in 2006, prikaz pričakovane in zajamčene proizvodnje električne energije za leto 2007.....	35

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Boodpadki, primerni za biološko obdelavo (Evropski katalog odpadkov, 1993)
- Priloga B: Hranilna vrednost biokomposta in predelane tekoče gnojevke v BBG Donau-Wald

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BBG Donau-Wald mbH – Biokompost Betriebsgesellschaft Donau-Wald mbH

OVE – obnovljivi viri energije

KIS – Kmetijski inštitut Slovenije

OSS – organska suha snov

m³ – kubični meter

km² – kvadratni kilometer

MW – mega Watt

kWh – kilovatna ura, število proizvedenih kilo Wattov na uro

t – tona

°C – stopinja Celzija; enota za merjenje temperature

g – gram; izpeljana enota za maso, enaka 1/1000 kilograma

dm³ – kubični decimeter; 1 dm³ = 1 liter

N – simbol za kemijski element dušik

P₂O₅ – fosforjeva kislina

K₂O – kalijev oksid

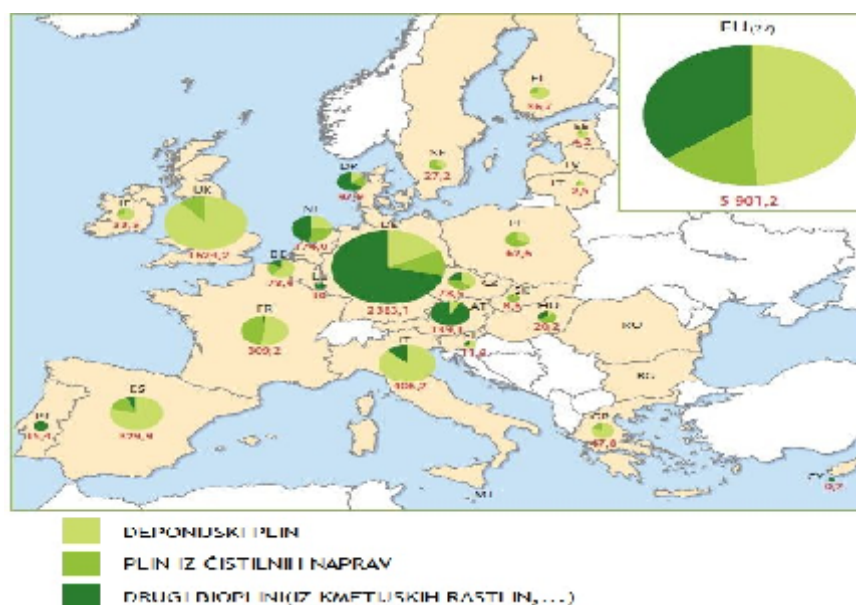
CaO – kalcijev oksid

1 UVOD

Zaradi velike porabe, omejenosti in vse večjega omejevanja okolja je v svetu naraslo zanimanje za ekološke, do narave prijazne obnovljive vire energije. Ob izkoriščanju vodnih virov, vetra in sonca se v razvitih državah vse bolj uveljavlja tudi predelava organskih snovi v energijo, saj pri tem postopku razmeroma majhne enote ponujajo velike količine presežne energije. Biomasa, ki je predvsem v kmetijskopridelovalni panogi skoraj v izobilju, je bila pri nas do sedaj povsem neizkoriščen skriti vir energije. Bioplinska elektrarna lahko obratuje nepretrgoma. Tako po nazivni moči enaka bioplinska naprava dejansko pridela osemkrat toliko električne energije kot na primer elektrarna na sonce ali veter (Mini..., 2010). Potencial biomase je zelo velik, saj v tovrstni napravi lahko v energijo predelamo vse vrste organskih ostankov od gnoja, gnojevke, silaže, tropin, pokošene trave, pa vse do gospodinjskih ostankov.

Po mnenju poznavalcev obnovljivih virov energije je v Sloveniji še močno neizkoriščen potencial pri deponijskem plinu ter plinu iz čistilnih naprav, medtem ko je na področju bioplinarn kmetijstvo zadnja leta zelo napredovalo (Čebular, 2010).

Nemčija je na področju OVE v letu 2007 zaposlovala že več kot 250.000 delavcev. Z rabo OVE je pokrila 14,2 % potreb električne energije, 6,6 % potreb energije za ogrevanje in 6,9 % potreb po pogonskih gorivih, s čimer je zmanjšala izpust toplogrednih plinov za 115 milijonov ton. Mnogo članic EU, med njimi tudi Slovenija, dosedanjih načrtov o uporabi OVE ni izpolnila. Da bi do leta 2020 delež OVE v končni porabi energije znašal 20 %, bomo morali iz OVE pridobiti kar tretjino vse električne energije. Biomasa naj bi k ciljem prispevala kar dve tretjini celotnega deleža OVE v končni porabi energije (Vindiš, 2010).



Slika 1: Bioplin v Evropi (Biogas Barometer, 2008)

1.1 NAMEN DIPLOMSKEGA DELA

Namen dela je na podlagi konkretnih podatkov in izkušenj, ki sem jih pridobil na polletni študijski praksi v bioplinski napravi BBG Donau-Wald v Nemčiji, prikazati pridobivanje bioplina izključno iz komunalnih organskih odpadkov iz gospodinjstev. S tem bi želel spodbuditi gradnjo bioplinskih naprav širom po Sloveniji, ki bi za vhodno surovino uporabljale gospodinjske organske odpadke in druge zelene ostanke. Namen diplomskega dela je poudariti pomembnost bioplinske naprave ne samo v njenem energetskem, ampak tudi ekološkem smislu.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Večina bioplinskih naprav v Sloveniji uporablja za vhodno organsko maso živinsko gnojevko in blato ter energetsko pridelane rastline. V organskih odpadkih iz gospodinjstev pa se prav tako skriva velik energetski potencial, žal pa se v Sloveniji ti odpadki izkoriščajo le v manjši meri (Stanje na področju bioplina, 2010).

Dosedanje spoznanje o delovanju bioplinskih naprav, da delujejo samo na živalske iztrebke in organsko maso iz polj, ne velja popolnoma. Naprava lahko učinkovito deluje tudi na organske gospodinjske odpadke z dodatkom zelenih rastlinskih odpadkov, kar bom prikazal na primeru bioplinske naprave BBG Donau-Wald.

Predpostavljam tudi, da bioplinarna deluje konstantno skozi celo leto in nima nihanj pri proizvodnji električne energije.

2 PREGLED OBJAV

2.1 O BIOPLINU

Bioplin je eden najučinkovitejših energentov z ugodnim vplivom na okolje, saj ne prispeva k povečanju toplogrednih plinov v atmosferi. Je zmes plinov, ki nastane pri anaerobnem vrenju organskih snovi. Vrenje hlevskega gnoja, gnojnice, energetskih rastlin, odpadkov iz gospodinjstev, klavnih odpadkov in drugih organskih odpadkov poteka s pomočjo razkrojnih organizmov, kot so bakterije in glive. Razkroj biomase in živalskih odpadkov poteka brez prisotnosti kisika v zaprti napravi, ki jo imenujemo bioplinski reaktor (Zver, 2009).

2.1.1 Sestava bioplina

Bioplin je sestavljen iz gorljivih in negorljivih snovi. Sestava je močno odvisna od organskih snovi, ki nastopajo pri procesu anaerobne razgradnje. V tabeli je prikazana običajna kemijska sestava bioplina. S stališča energetske izkoriščenosti nam kvaliteto bioplina podaja koncentracija metana in jo lahko izboljšujemo z zmanjševanjem deleža negorljivih snovi (Bitenc in Srt, 2010).

Preglednica 2: Sestava bioplina (Graf, 2007)

	Plin	Volumenski delež (%)	
		Obseg vrednosti	Povprečne vrednosti
Gorljive sestavine	Metan (CH ₄)	50–75	60
	Vodik (H ₂)	0–1	0,5
	Žveplovodik (H ₂ S)	0–1	0,1
Negorljive sestavine	Ogljikov dioksid (CO ₂)	25–45	39
	Vodna para (H ₂ O)	2–7	2-7
	Kisik (O ₂)	0–1	0,1
	Amoniak (NH ₃)	0–0,5	0,05
	Dušik (N ₂)	0–3	0,4

2.1.2 Uporaba bioplina in njegove prednosti

Bioplin ima podobne lastnosti kot zemeljski plin, zato ga lahko uporabljamo v podobne namene (Zver, 2009).

Najpogostejši načini uporabe bioplina:

- proizvodnja toplote in pare,
- proizvodnja električne energije,
- soproizvodnja toplotne in električne energije,
- ogrevanje in hlajenje,
- neposredno izgorevanje za kuhanje in razsvetljavo,
- pogonsko gorivo za kmetijsko mehanizacijo,
- gorivo za motorna vozila,
- gorivo za kotle,
- pridobivanje vodika iz bioplina in nadaljnja uporaba,
- proizvodnja kemikalij.

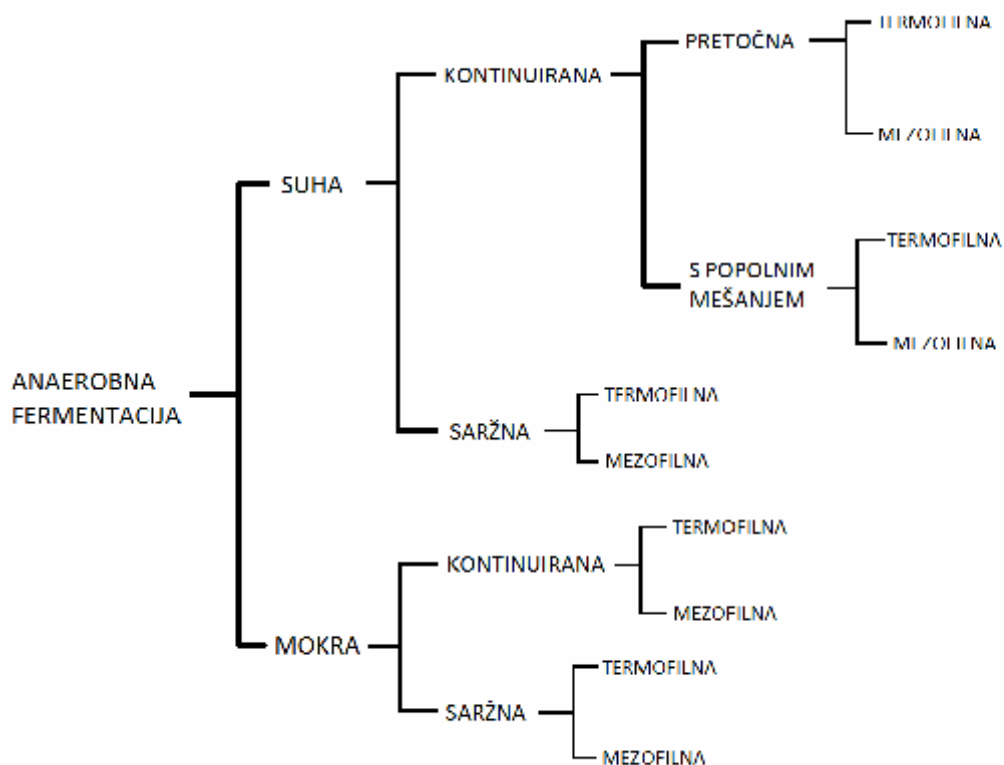
Prednosti uporabe bioplina (Zver, 2009; Al Seadi, 2010):

- je obnovljiv vir energije,
- zmanjšuje emisije ogljikovega dioksida in metana,
- sklenjen tokokrog hranil od vhodnega substrata do uporabe presnovljenega substrata za gnojilo,
- zmanjšuje stroške za emisijo,
- zmanjšuje količino organskih odpadkov,
- zmanjšuje neprijetne vonjave,
- decentralizirana uporaba/povečana zanesljivost oskrbe z energijo,
- zmanjšuje odvisnost od uvoza fosilnih goriv,
- prispeva k energetske in okoljske ciljem,
- je visokokakovostno gnojilo,
- zmanjšuje onesnaževanje zemlje in talnih voda,
- proizvodnja električne in toplotne energije iz uskladiščene sončne energije v skladu s trenutnimi potrebami, neodvisno od letnega časa,
- omogoča smotrno rabo opuščenih kmetijskih površin,
- možnost dodatne energetske dejavnosti – dodaten vir zaslužka,
- povečuje dodatno vrednost in s tem kupno moč podeželskih regij,
- zagotavlja dodatno delo domači industriji in obrti,
- omogoča zmanjšanje uporabe mineralnih gnojil na račun presnovljenega substrata,
- pomembno prispeva k ohranjanju naše kulturne krajine.

2.2 BIOKEMIČNI PROCESI

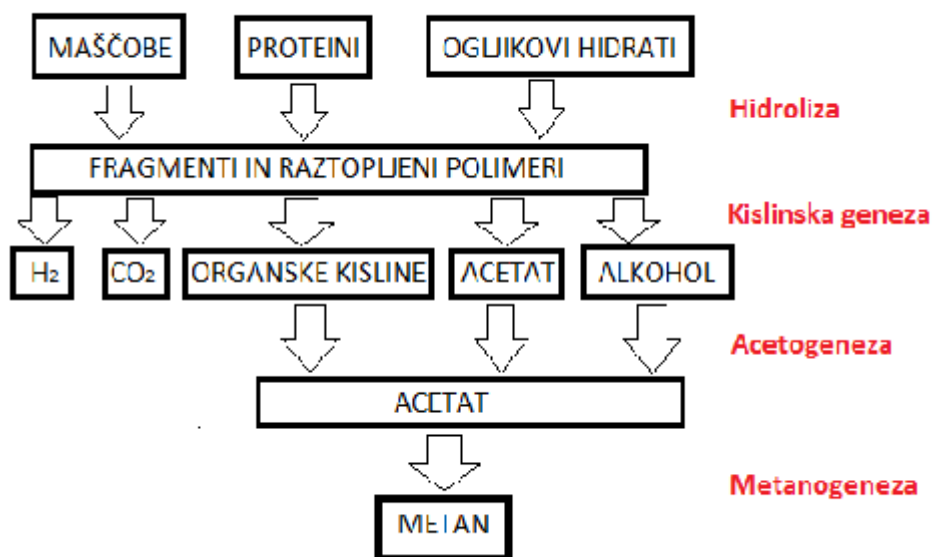
Med anaerobno presnovo v bioplinskem reaktorju se sprosti zelo malo toplote v primerjavi z aerobno presnovo, kot je na primer nastajanje komposta. Energija, ki je kemično vezana v substratu, večinoma ostane v proizvedenem bioplinu v obliki metana.

Proces nastajanja bioplina imenujemo anaerobna presnova, lahko pa tudi fermentacija ali digestija. Spodnja slika prikazuje njeno razdelitev..



Slika 2: Vrste anaerobne fermentacije (Chaudhary, 2008)

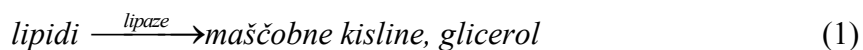
Anaerobna razgradnja organske mase je posledica povezanih procesov (slika 3), pri katerih se prvotna snov stalno deli na manjše enote. V vsak individualen korak so vključeni specifični mikroorganizmi, ki zaporedno razkrajajo proizvode prejšnjih korakov. Glavni koraki v procesu anaerobne razgradnje organske mase so hidroliza, kislinska geneza, acetogeneza in metanogeneza (Al Seadi in sod., 2010).



Slika 3: Postopki pri pridobivanju metana (Smith, 2004)

2.2.1 Hidroliza

Hidroliza je prvi korak anaerobne razgradnje, med katero se kompleksna organska snov (polimeri) pod vplivom hidrolitičnih encimov iz hidrolitičnih bakterij razkroji v manjše enote (mono- in oligomeri) (Al Seadi in sod., 2010).



2.2.2 Kislinska geneza

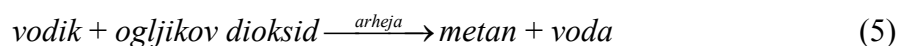
Med postopkom kislinske geneze acidogene bakterije (kvasne bakterije) pretvarjajo proizvode hidrolize v metanogene substrate. Enostavni sladkorji, aminokisline in maščobne kisline razpadajo v acetat, ogljikov dioksid in vodik, pa tudi v hlapne maščobne kisline in alkohole (Al Seadi in sod., 2010).

2.2.3 Acetogeneza

Med acetogenezo se proizvodi kislinske geneze, ki jih metanogene bakterije ne morejo direktno pretvoriti v metan, pretvarjajo v metanogene substrate. Hlapne maščobne kisline in alkoholi oksidirajo v 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. Acetogeneza in metanogeneza navadno potekata vzporedno kot simbioza dveh skupin organizmov (Al Seadi in sod., 2010).

2.2.4 Metanogeneza

Proizvodnjo metana in ogljikovega dioksida iz vmesnih proizvodov omogočajo metanogene bakterije. 70 % nastalega metana izvira iz acetata, ostalih 30 % pa nastane iz pretvorbe vodika in CO₂, glede na sledečo reakcijo:



Metanogeneza je ključni korak v procesu digestije, saj je najpočasnejša biokemična reakcija v procesu (Al Seadi in sod., 2010)

2.3 FAKTORJI, KI VPLIVAJO NA ANAEROBNO RAZGRADNJO

Aktivnost anaerobnih mikroorganizmov je odvisna od več ključnih faktorjev oz. parametrov. Med procesom anaerobne razgradnje jih je potrebno natančno kontrolirati, da se zagotovi učinkovitost občutljivih bakterij. Ti parametri so sestava odpadkov, temperatura, pH, razmerje C/N, zadrževalni čas, organska obremenitev, mešanje in številni drugi (Chaudhary, 2008). Nekateri med njimi so podrobneje opisani v nadaljevanju. Da bi lahko ocenili delovne zmožnosti bioplinske naprave in povrnitev investicije v sprejemljivem časovnem obdobju, je potrebno izvesti analizo s številnimi kriteriji. Ocena, ki temelji na enem samem faktorju, za tak proces ni primerna, vedno pa moramo upoštevati tudi ekonomske parametre (Al Seadi in sod., 2010).

2.3.1 Sestava organske mase

Bioodpadki so največkrat sestavljeni iz več komponent: razgradljivih organskih, gorljivih ali inertnih. Biološko razgradljivi so na primer kuhinjski odpadki, ostanki hrane in poljščin ter so najbolj primerni za proces anaerobne razgradnje. Gorljive komponente vsebujejo počasi razgradljive lignocelulozne snovi v grobem lesu, papirju ali kartonih. Delci kamna, stekla, kovine predstavljajo nerazgradljivi oziroma inertni del bioodpadkov, ki ga je potrebno odstraniti. V nasprotnem primeru se poveča nepotreben volumen organske mase v bioplinskem reaktorju in poraba energije za delovanje opreme (Chaudhary, 2008).

2.3.2 Vrednost pH

Nastajanje metana se odvija znotraj relativno ozkega območja pH, in sicer med 5,5 in 8,5. Metanogeneza in acidogeneza potekata v različnih pH okoljih, prva med 7 in 8, optimalni pH acidogenih bakterij pa je nižji.

Vrednost pH se lahko zniža pod 5 zaradi akumulacije maščobnih kislin, ki nastanejo med acidogenezo, kar zavira delovanje občutljivih metanogenih bakterij. Poveča pa ga lahko amoniak, ki nastane med degradacijo proteinov (Chaudhary, 2008). Večinoma se pH uravnava s sistemom bikarbonatnega pufra, zato je vrednost pH v bioplinskih reaktorjih odvisna od delnega tlaka CO₂ ter koncentracije alkalnih in kislinskih komponent (Al Seadi in sod., 2010).

2.3.3 Hlapne maščobne kisline

Hlapne maščobne kisline (HMK) so vmesni intermediati, ki nastanejo med metabolno potjo, in lahko, če so prisotne v previsokih koncentracijah, negativno vplivajo na delovanje bakterij. HMK so največkrat acetat, propionat, maslena kislina in laktat, med katerimi sta prvi dve zastopani največkrat (Chaudhary, 2008).

Akumulacija HMK znotraj digestorja bi lahko privedla do padca pH. Do tega ne pride vedno zaradi sposobnosti blaženja nekaterih vrst biomase, na primer živinska gnojevka ima presežek alkalnosti, kar pomeni, da bi morala akumulacija HMK preseči določen nivo, preden bi to zaznali na podlagi padca pH. Koncentracija HMK bi bila takrat že tako visoka, da bi bil postopek anaerobne digestije resno ogrožen. Vseeno je pomembno upoštevati, da je lahko vrednost pH hiter, dokaj zanesljiv in poceni način zaznavanja neuravnoteženosti sistema (Al Seadi in sod., 2010).

2.3.4 Temperatura

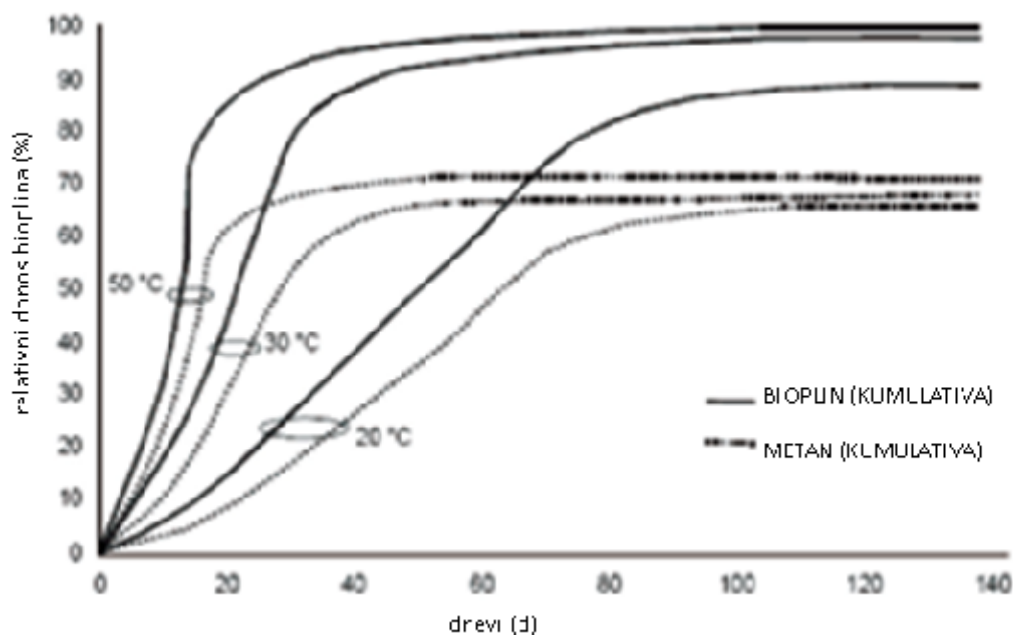
Zaradi zelo močne odvisnosti procesa razgradnje organske mase od temperature je ta eden najbolj kritičnih parametrov (Chaundhary, 2008). Ločimo tri temperaturna območja, pri katerih se lahko odvija anaerobna razgradnja: psihofilno (pod 25 °C), mezofilno (25–45 °C) in termofilno (45–70 °C) (Al Seadi in sod., 2010).

Mnoge sodobne bioplinske naprave v Evropi delujejo pri termofilnih procesnih temperaturah zaradi večje rasti metanogenih bakterij pri višjih temperaturah. Na sliki 3 so prikazane stopnje relativnih donosov bioplina v odvisnosti od temperature in časa zadrževanja. Termofilni proces ima v primerjavi z mezofilnim in psihofilnim številne prednosti (Al Seadi in sod., 2010):

- učinkovito uničenje patogenov,
- skrajšan zadrževalni čas, zaradi česar je proces hitrejši in bolj učinkovit,
- boljša razgradnja in razpoložljivost organske mase,
- boljša razgradnja trde organske mase in boljše izkoriščanje,
- boljša zmožnost ločevanja tekočega in trdnega dela.

Glavne slabosti pa so (Al Seadi in sod., 2010; Chaundhary, 2008):

- velika neuravnoteženost,
- občutljivost na spremembe v okolju,
- velike zahteve po energiji,
- večje tveganje zadrževanja amoniaka.



Slika 4: Relativni izplen bioplina glede na temperaturo in čas zadrževanja (Al Seadi in sod., 2010)

2.3.5 Razmerje C/N

Mikroorganizmi potrebujejo za svojo rast in delitev dušik. Optimalno razmerje med ogljikom in dušikom v bioplinskem reaktorju je med 20–30. Večje razmerje kaže na hitro bakterijsko porabo dušika, kar lahko privede do zmanjšane produkcije metana. Nasprotno pa majhno razmerje povzroči akumulacijo amoniaka in povečanje pH preko 8,5, kar ponovno ogrozi delovanje bakterij. Optimalno razmerje lahko dosežemo z mešanjem biomase z velikim in majhnim C/N razmerji, kot na primer organske trde odpadke z živinsko gnojevko ter blatom (Chaundhary, 2008).

2.3.6 Zadrževalni čas

Zadrževalni čas, ki je potreben za zagotovitev procesa anaerobne razgradnje, se razlikuje glede na tehnologijo, procesno temperaturo in sestavo odpadkov. Mezofilni procesi potrebujejo daljši (10–40 dni), termofilni pa krajši zadrževalni čas. Zadrževalni čas je razmerje med prostornino bioplinskega reaktorja in volumnom organske mase, naloženega časovni enoti (Chaundhary, 2008).

$$RT = \frac{V_R}{V} \quad (6)$$

RT – zadrževalni čas [dni]

V_R – prostornina reaktorja [m^3]

V – prostornina organske mase, naloženega v časovni enoti [m^3 /dan]

Glede na zgornjo enačbo pomeni povečanje organske obremenitve skrajšanje zadrževalni čas. Ta mora biti tudi dovolj dolg, da količina bakterij, odstranjenih skupaj s presnovljeno organsko maso, ni večja od količine na novo nastalih bakterij (Al Seadi in sod., 2010).

2.3.7 Organska obremenitev

Pri izgradnji bioplinske naprave je potrebno upoštevati ekonomske in tehnične vidike. Popolna presnova vhodne organske mase in posledični maksimalen izplen bioplina bi zahteval dolgotrajno zadrževanje in temu ustrezno velik bioplinski reaktor. V praksi izbira modela, to je velikosti in tipa bioplinskega reaktorja, temelji na kompromisu med maksimalnim donosom bioplina in opravičljivo ekonomičnostjo (Al Seadi in sod., 2010). V tem primeru je pomemben faktor delovanja organska obremenitev, ki kaže, koliko suhe snovi lahko naložimo v bioplinski reaktor na prostorninsko in časovno enoto glede na spodnjo enačbo (Chaundhary, 2008):

$$B_R = \frac{m \times c}{V_R} \quad (7)$$

B_R – organska obremenitev [kg/dan m³]

m – masa organske mase, naložene v časovni enoti [kg/dan]

c – koncentracija organske snovi [%]

V_R – prostornina bioplinskega reaktorja [m³]

2.3.8 Mešanje

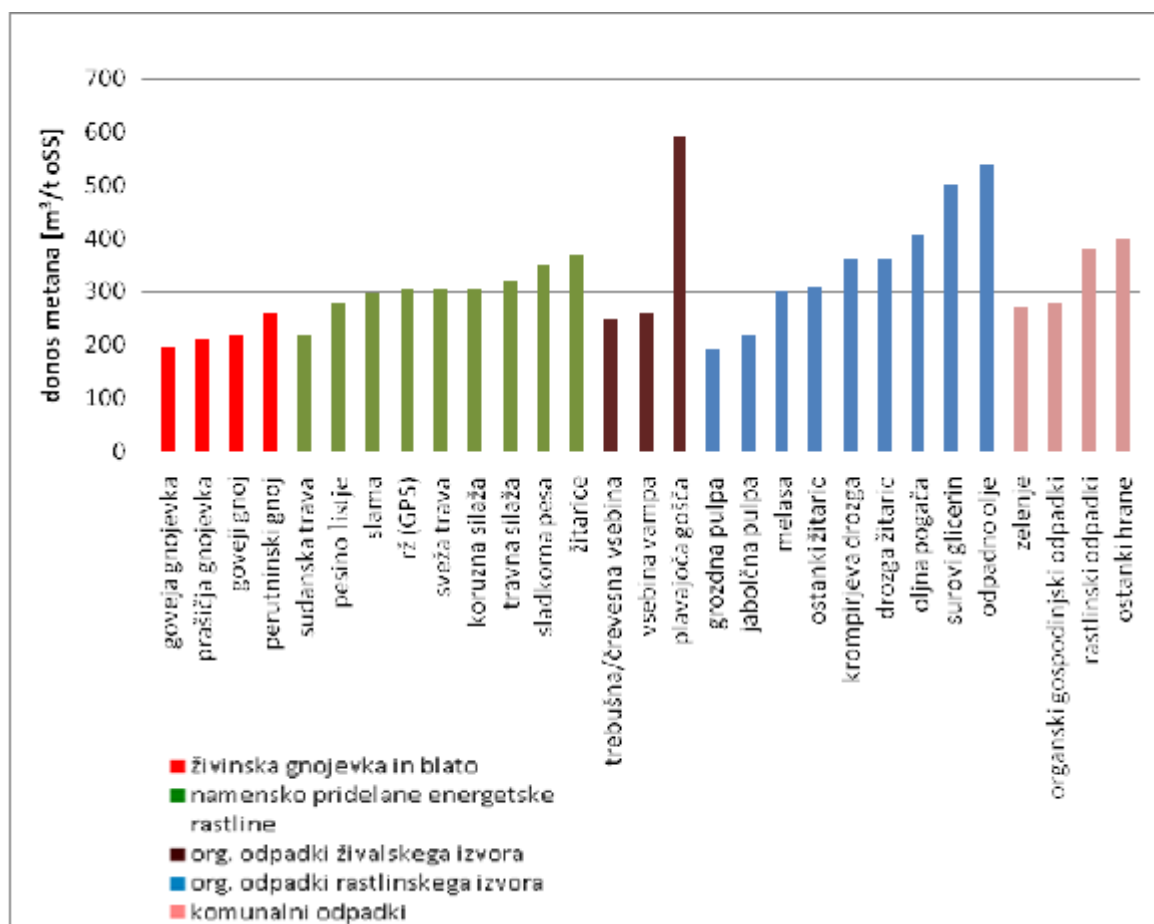
Namen mešanja znotraj bioplinskega reaktorja je, da se vstopna organska masa premeša z že nekoliko predelano ter se biomasa homogenizira. Nadalje mešanje preprečuje nastajanje plavajočih plasti in sedimentov, pospešuje dviganje mehurčkov in porazdeli toploto in hranila med celotno maso (Al Seadi in sod., 2010; Chaundhary, 2008). Mešalna oprema in hitrost mešanja se razlikuje glede na različne tipe bioplinskih reaktorjev.

2.4 ORGANSKA MASA ZA ANAEROBNO PRESNOVO

Kot vhodno organsko maso za proizvodnjo bioplina z anaerobno presnovo lahko uporabimo veliko različnih vrst biomase. Najpogostejše so:

- živinska gnojevka in blato,
- kmetijski ostanki in stranski proizvodi,
- organski odpadki iz prehrane in kmetijske industrije,
- organski del komunalnih in gostinskih odpadkov,
- kanalizacijska gošča,
- namensko pridelane energetske rastline.

V prilogi A je podan seznam odpadnih snovi iz Evropskega kataloga odpadkov, ki so primerne za biološko obdelavo in proizvodnjo bioplina.



Slika 5: Izplen metana za različne organske snovi (Al Seadi, 2010)

2.5 BIOPLINSKI REAKTORJI

Glede na dovajanje in odvajanje organske mase ločimo reaktorje z enkratnim polnjenjem in praznjenjem ter reaktorje z neprekinjenim polnjenjem in praznjenjem.

2.5.1 Sistem s pogostim enkratnim polnjenjem in praznjenjem

Bioplinski reaktor z enkratnim polnjenjem deluje tako, da ga napolnimo s svežim organskim substratom, ki ga po opravljeni presnovi v celoti odstranimo. Reaktor nato napolnimo z novo polnitvijo. Te reaktorje je enostavno zgraditi in se običajno uporabljajo za suho presnovo. V primerjavi z drugimi sistemi je prednost v nizkih stroških delovanja in poceni tehnologiji, enostavnosti, zmožnosti obdelave velikih količin mase in možnosti razkroja vlaknastih materialov brez vložka mehanskega dela. Slabost pa so velika prostornina bioplinskega reaktorja, velika poraba energije, visoki stroški vzdrževanja in nihanje količine bioplina zaradi nekontinuiranosti (Al Seadi in sod., 2010; Polprasert, 1996; Jejčič in Poje, 2010).

2.5.2 Sistem z neprekinjenim polnjenjem in praznjenjem

V sistem z neprekinjenim polnjenjem in praznjenjem organsko maso dovajamo kontinuirano (brez prekinitev). Organska masa se skozi bioplinski reaktor premika mehanično ali pod pritiskom dovajanja novega substrata, ki izriva presnovljeni material. Tega se odreja v rezervoar za hranjenje predelane organske mase. Največja slabost tega sistema je prav v veliki porabi energije, ki je potrebna za pogon črpalk in za mešanje tekoče vsebine bioplinskega reaktorja (Polprasert, 1996). Prednosti kontinuiranega postopka pa so kratek čas zadrževanja organske mase v reaktorju, neprekinjena in predvidljiva proizvodnja bioplina in odsotnost emisij smradu, ker proces poteka hermetično (Al Seadi in sod., 2010; Jejčič in Poje, 2010).

2.6 OSTANKI ANAEROBNE RAZGRADNJE

Po anaerobni razgradnji dobimo predelano organsko maso, ki jo ločimo na tekočo in netekočo fazo s pomočjo separatorja. Netekočo fazo imenujemo biokompost, tekočo fazo pa bioplinska gnojevka (lahko tudi biognojevka).

2.6.1 Biokompost

Na trgu se pojavlja vse več industrijsko pripravljenih biokompostov. Ti so pripravljeni iz različnih organskih odpadkov, med drugim tudi iz takšnih, pri katerih je nujno potrebno tehnološko bolj zahtevno kontrolirano kompostiranje. To velja predvsem za komposte iz gošč komunalnih čistilnih naprav ali iz mestnih organskih ostankov. Zato morajo biti takšni komposti opremljeni z analizo vsebnosti snovi, ki zagotavlja, da se jih lahko v predpisanih količinah brez škode uporablja bodisi za pridelavo hrane, bodisi za gnojenje okrasnih rastlin (Leskošek, 1993).

Z biokompostom lahko obogatimo kmetijska zemljišča s hranljivimi snovmi, v največji meri z dušikom, fosforjem in kalijem. Gnojenje zemljišča z biokompostom je pomembno za vzdrževanje in formiranje humusa v tleh. Zaradi doseganja optimalnih rezultatov pri uporabi tega gnojila in preprečitve škodljivih posledic je pomembno, da je biokompost v čim bolj stabilnem stanju, kar pomeni, da je treba z metanskim vrenjem doseči čim večjo pretvorbo organske mase v bioplin. S tem dosežemo optimalno razmerje ogljika in dušika v predelanem substratu v bioplinskem reaktorju. To je pomembno zaradi vpliva na kvaliteto humusa in na mikrobiološke procese v tleh. Predelani substrat, tako biokompost kot gnojevka, ne vsebuje patogenih bioloških organizmov, ki lahko okužijo kmetijske pridelke in lahko postanejo vzrok za nalezljive bolezni ljudi in živali. V anaerobnem vrenju se nekatere mikrobiološke vrste popolnoma uničijo v odvisnosti od temperature, časa in pH

organske mase. Z uporabo predelanega biokomposta za gnojenje zmanjšujemo uporabo mineralnih gnojil, dosegamo boljšo gospodarnost kmetovanja, povečujemo kvaliteto zemljišč, kar ima za posledico večje pridelke in njihovo boljšo kakovost. Tako pridelana hrana je bolj prijazna do okolja (Jejčič in Poje, 2010).

2.6.2 Gnojevka iz bioplinskih reaktorjev

Gnojevka iz bioplinskih reaktorjev je tekoči del predelane organske mase. Je manj smrdeča od nepredelane tekoče gnojevke, ker postopek anaerobne razgradnje zmanjšuje koncentracijo prostih maščobnih kislin, ki so odgovorne za smrad (Jejčič in Poje, 2010).

V bioplinski napravi predelana gnojevka se med procesom anaerobne razgradnje razsluzi, zato se pri gnojenju bolje vsrka v tla, ne maši talnih por in ne škodi talnim organizmom. Zmanjšana je vsebnost škodljivih mikroorganizmov in semen plevelov, fitotoksične snovi pa se razgradijo, zato je gnojevka iz bioplinskih reaktorjev manj škodljiva za korenine rastlin.

Bioplinarna BBG Donau-Wald zbira organske gospodinjske odpadke iz štirih mest. Ta mesta so Passau, Regen, Freyung in Deggendorf. Mesta štejejo skupaj 520000 prebivalcev in pokrivajo površino 4500 km².

3.1.2 Zastopanost bioplinskih naprav na območju mest Passau, Regen, Freyung in Deggendorf

Gre za območje, ki je po številu prebivalcev in površini veliko kot ena četrtina Slovenije. Kot je razvidno iz slike 7, se na tem območju nahajajo dve bioplinski napravi za predelavo organskih gospodinjskih odpadkov, osem kompostirnic in enajst zbirnih centrov za zelene odpadke (pokošena trava iz parkov in zelenic, vejevje ...). Našteti obrati so med seboj povezani in vodeni iz skupnega naslova. Poleg teh obratov pa je bilo na istem območju leta 2009 še 109 kmetijskih bioplinskih naprav.



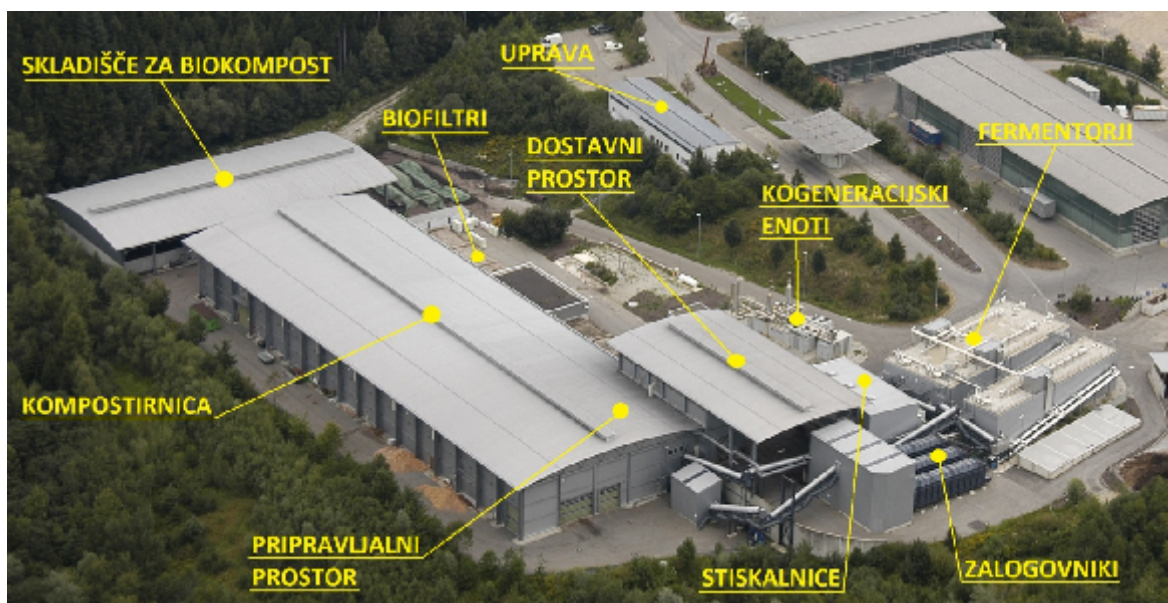
Slika 7: Položaj bioplinskih naprav na območju mest Passau, Regen, Freyung, Deggendorf (Buchheit, 2005)

3.1.3 Velikost bioplinske naprave

Bioplinska naprava BBG Donau-Wald v Passavu ima trikrat manjšo hčerinsko napravo v mestu Regen. Obe predelata letno 50000 t bioodpadkov. Od tega jih naprava v Passavu predela 41000 t. Maksimalna proizvodnja električne energije je 1,6 MW.

3.2 SESTAVNI ELEMENTI BIOPLINSKE NAPRAVE IN NJIHOVO DELOVANJE

Bioplinska naprava BBG Donau-Wald v Passau-u je kompleksna naprava, ki sestoji iz več elementov. Na sliki 8 so nazorno prikazani njeni glavni sestavni deli: dostavni prostor, pripravljalni prostor, zalogovniki, bioplinski reaktorji, motorja z generatorjem in izmenjevalcem toplote, stiskalnice, kompostirnica, skladišče za biokompost in prezračevalni sistem. Poleg glavnih delov je še mnogo pomembnih naprav, kot so na primer: mešalna naprava, čistilec za bioplin, različni podzemni rezervoarji za shranjevanje gnojevke, naprava za fino ločevanje biokomposta in mnogo drugih. Naloga omenjenih delov je podrobno predstavljena na naslednjih straneh z opisano potjo organske mase in delovanjem bioplinske naprave.



Slika 8: Bioplinska naprava BBG Donau-Wald v Passau-u in njeni elementi (Buchheit, 2005)

3.2.1 Dostavni prostor

Tovornjaki vozijo zbrane bioodpadke iz gospodinjstev direktno v bioplinsko napravo. Vsak tovornjak se stehta dvakrat, ob vstopu in izstopu v bioplnarno. Na ta način se vodi evidenca o skupni masi odpadkov, ki prispejo v bioplinsko napravo. Bioodpadki se zbirajo v pokritem in globokem rezervoarju, ki je s strani zaprt s tremi dvižnimi vrati (slika 9 in 10). Ta varujejo tako okolico pred smradom kot tudi biomaso pred mrazom. Bunker je velik okoli 500 m³. Nad njim je nameščeno viseče nakladalo, ki lahko z enim zajemom dvigne več kot eno tono bioodpadkov in jih pošlje v pripravljalni prostor. Nakladalo upravlja strojnik.



Sliki 9 in 10: dostavni prostor v BBG Donau-Wald, Passau (Foto: Marko Ferenčak)

3.2.2 Pripravljalni prostor

To je prostor, kjer se bioodpadki pripravijo za anaerobno razgradnjo. Sprva gredo v štiri metre visok rešetast boben, ki je podoben pralnemu stroju za perilo, kjer se ločijo večji kosi od manjših. Večji kosi potujejo skozi ločevalno kabino, kjer se ročno odstrani moteče odpadke za anaerobno razgradnjo, mletje in stiskanje kot npr. lesene, plastične, steklene, papirnate ali kovinske kose. Večji kosi se nato zmeljejo in pridružijo nazaj k drobnim odpadkom. Pomemben del pripravljalnega prostora je tudi močen magnet, ki bioodpadke očisti kovinskih delcev. Na koncu priprave sledi še drugo mletje, po katerem merijo največji delci 40 mm.



Slika 11: Prvi mlin (Foto: Marko Ferenčak)

3.2.3 Zalogovniki

Bioplinarna BBG Donau-Wald ima tri zalogovnike. Vsak zalogovnik lahko sprejme preko 100 t zmletih bioodpadkov. V notranjosti vsakega zalogovnika se nahajata dva polža, ki premikata prispele zmlete in očiščene odpadke v času polnjenja in praznjenja zalogovnika. Na dnu se nahajata dve ploščati verigi, ki pomagata premikati celotno maso, ko se zalogovnik polni in prazni. Zelo pametno je imeti več zalogovnikov, če imamo kontinuiran reaktor. Ob istem času lahko enega polnimo, drugega pa praznimo in proces anaerobne razgradnje teče nemoteno. Čez dan je potrebno napolniti dva zalogovnika, če hočemo zagotoviti zadostno količino vhodne mase in posledično nemoteno delovanje bioplinskih reaktorjev skozi noč. Zalogovniki so tako kot vsi deli bioplinarne vodeni računalniško in jih lahko zaposleni opravljajo kar od doma.



Slika 12: Zalogovniki (Buchheit, 2005)

3.2.4 Mešalna naprava

Zmleti bioodpadki so presuhi za proces anaerobne razgradnje oziroma bi ta potekala zelo počasi, zato jim je potrebno dodati vodo. V BBG Donau-Wald dodajajo poleg vode še tekočo predelano gnojevko, ki jo dobijo ob koncu anaerobne razgradnje po separaciji izhodne organske mase. Predelana gnojevka že vsebuje anaerobne metanogene bakterije in je s tem proces razgradnje v bioplinskem reaktorju hitrejši, kot pa če bi dodajali samo vodo. Vodo in gnojevko dodajamo tako dolgo, dokler ne dobimo primerno konsistenco vhodne organske mase. Če je ta preredka, se bodo težki delci usedali in zadrževali na dnu reaktorja. Lahko pride do oviranega mešanja in v takih primerih je potrebno reaktor izprazniti in počistiti tla, kar močno zaustavi proizvodnjo bioplina. Če pa je vhodna organska masa pregosta, potem je izplen bioplina manjši, vendar ne pride do usedanja težjih delcev bioplinskem reaktorju.

V mešalno napravo prispejo bioodpadki po tekočem traku iz zalogovnikov. Gnojevka priteče iz podzemnega rezervoarja, voda pa iz zbirališča za meteorno vodo. V mešalni napravi se nahajata dva polža, ki mešata suhe odpadke in tekočini. Obe tekočini sta segreti. Premešana organska masa ima ob vstopu v bioplinski reaktor okoli 50 °C.



Slika 13: Mešalna naprava (Foto: Marko Ferenčak)

3.2.5 Batna črpalka

Funkcija batne črpalke je, da potisne premešano vhodno organsko maso skozi cev v bioplinski reaktor. To se zgodi pri tlaku 250 barov. Visok tlak je potreben zaradi dolge cevi, ki vodi v reaktor pod kotom 15 ° navzgor. Dovodna cev ima ogrevano steno in je dobro izolirana, tako da segreje material na temperaturo okoli 50 °C. Brez ogrevalne cevi bi hladna organska masa ustvarila pri vходу v bioplinski reaktor temperaturni šok in zmanjšal delovanje metanogenih bakterij.

3.2.6 Bioplinski reaktorji

Bioplinski reaktorji so položeni horizontalno in imajo obliko kvadra. Zgrajeni so iz armiranega betona. Iz notranje strani so oblečeni v kovino iz zunanje pa so dobro izolirani in zaščiteni z aluminjasto prevleko. Gre za tako imenovane »plug flow« reaktorje, za katere je značilen neprekinjeni način polnjenja in praznjenja. Vsak reaktor ima prostornino 1000 m³ in je v povprečju napolnjen z 925 m³ substrata. Bioplinska naprava BBG Donau-Wald ima 3 reaktorje. Temperatura, pri kateri poteka anaerobna razgradnja, je v območju med 50–55 °C in jo zagotavlja toplota iz kogeneracijskih enot. Reaktor ima položene ogrevalne cevi v vseh stenah in podu. Opremljen je tudi s senzorji za temperaturo v prednjem, srednjem in zadnjem delu ter z mešalom. Le-to je sestavljeno iz horizontalnega vretena in pravokotno pritrjenimi mešalnimi ročicami. Notranjost bioplinskega reaktorja

prikazuje slika 15. Reaktor predstavlja zelo občutljiv del bioplinske naprave. Če zaniha temperatura organske biomase, se aktivnost metanogenih bakterij zmanjša. Še posebej je potrebno biti pozoren ob nenadnih spremembah zunanje temperature.

Organska biomasa potuje skozi reaktor približno 14 dni, odvisno je od materiala in letnega časa. Spomladi ima biomasa velik volumen in potuje hitreje kot pozimi, ko ima večjo gostoto in potuje počasneje. V povprečju nastane v posamičnem reaktorju 230 m³ bioplina na uro. Gre za zelo intenziven način pridobivanja bioplina, pri čemer moramo upoštevati, da uporabljamo za vhodni organsko biomaso izključno komunalne odpadke.



Sliki 14 in 15: Bioplinski reaktor (Buchheit, 2005)

3.2.7 Plinska motorja

V Passauski bioplinarni se nahajata dva Jenbacherjeva plinska motorja, ki poganjata generatorja z maksimalno skupno močjo 1600 kW. V povprečju delujeta z 70 % izkoristkom, kar je odvisno od proizvodnje bioplina. Proizveden bioplin gre skozi čistilec direktno v plinska motorja in se ne shranjuje. Če se proizvede več bioplina, kot ga lahko porabita oba motorja, ta izgori na bakli.

Pozimi je proizvodnja električne energije večja kot v ostalih letnih časih. Zaradi nizkih temperatur okolja se razgradnja biomase ne začne pred vstopom v reaktor, zaradi česar vsebuje več potencialnega metana kot v toplejših letnih časih. Leta 2005 sta Jenbacherjeva motorja proizvedla deset milijonov kWh električne energije, kar je zadostovalo potrebam 1800 gospodinjstev. Ob delovanju se sproščajo velike količine toplote, katere del porabijo za ogrevanje treh reaktorjev, del pa za ogrevanje sosednjih industrijskih objektov.

Da ne pride do izpada električne energije, morata motorja delovati nepretrgoma, zato je potrebna redna kontrola. Najpogosteje je potreben pregled svečk in olja, ki ga menjamo na vsakih 1400 obratovnih ur.



Slika 16: Plinska motorja (Buchheit, 2005)

3.2.8 Stiskalnice in izločevalne enote

Razgrajena biomasa nadaljuje pot iz reaktorja v stiskalnice. Njihov namen je ločiti biomaso na netekoči del, iz katerega se naredi biokompost, ter na tekoči del, ki se uporablja za gnojenje poljščin in za mešanje vhodnega substrata v mešalni napravi. Stiskalnice ločujejo izhodno maso tako, da jo polžasti transporter potiska ob stene, ki so narejene iz nerjavečega jekla in imajo številne luknjice, premera 2 mm. Skozi njih se izceja tekočina v pretočne rezervoarje, netekoči del, ki se izloči na koncu polžastega transporterja, pa pade na tekoči trak, ki vodi naprej v kompostirnico.

Bioplinskim napravam, ki za vhodno biomaso uporabljajo strukturno čist in homogen substrat (poljščine, živalski iztrebki ...), izločevalna enota ne predstavlja večjih težav. Drugačna situacija je v bioplinskih napravah, ki predelujejo biodpadke, med katerimi se znajdejo trdi predmeti (kovine, steklo, kamenje ...) in materiali, ki mašijo pore na sitih stiskalnic (papir, mehka plastika). Kljub magnetom v pripravljalnem prostoru in pregledu biodpadkov v ločevalni kabini prispejo trdi predmeti v stiskalnice, kjer poškodujejo polžast transporter in luknjice v stenah. Potrebno je hitro ukrepati in navariti kovino na odlomljen košček transporterja in zamenjati luknjičasto steno. Struktura biodpadkov je pozimi drugačna kot v času vegetacijske dobe, ko je rastlinskih ostankov na pretek (drobno vejevje, pokošena trava ...). Ti sveži in grobi rastlinski koščki povzročajo, da se pore v stiskalnicah ne mašijo in ločevanje predelane organske mase poteka nemoteno. Pozimi

pride pogosto do zamašitve luknjic v stenah stiskalnic zaradi pomanjkanja ravno teh grobih rastlinskih strukturnih delcev, zato je potrebno stiskalnice večkrat razstaviti in pod tlakom izpirati, dokler se luknjice ne odmašijo. V zimskem času je največja pozornost v bioplinski napravi posvečena stiskalnim enotam za odpravo okvar. Zelo nevarno je, če ni primerne tlaka v stiskalnici. Ta se uravnava z loputo ob izhodu predelane organske mase iz stiskalnice. Bolj ko je loputa priprta, manjša je izhodna odprtina in večji je tlak v notranjosti stiskalnice. Če pa je tlak prevelik, se predelana organska masa stisne preveč in dobimo na koncu presuh biokompost. V primeru, da je loputa preveč odprta, pride v kompostirnico premoker material, ki ga ni mogoče posušiti v enem tednu in nam zaradi lepljivosti maši tekoče trakove in mešalno napravo v kompostirni hali.

Delovanje stiskalnic neposredno vpliva na proizvodnjo biokomposta in gnojevke, posredno pa tudi na proizvodnjo bioplina. Če ne delujejo dobro, pride do nastanka zamaškov in reaktor se ne more več prazniti in tudi ne polniti. Upadati začne proizvodnja bioplina. Zato je prav, da ni na reaktor vezana le ena stiskalnica, ampak več. V BBG Donau-Wald imajo 5 stiskalnic proizvajalca Thöni (slika 17), ki uspešno ločujejo izhodno organsko maso iz treh reaktorjev.



Slika 17: Stiskalnice (Foto: Marko Ferenčak)

3.2.9 Kompostirnica

Po končani ločitvi dobimo iz razgrajene biomase tekočo predelano gnojevko in netekoči oziroma suh biokompost. Hranilna vrednost biokomposta in predelane gnojevke je podana v prilogi B.

Predelana gnojevka odteče v pretočni petdelen podzemni rezervoar. Letno nastane okoli 10000 ton tekoče predelane gnojevke, de katere se uporabi ponovno v mešalni napravi za pripravo vhodnega substrata. Preostali del predelane gnojevke je namenjen za prodajo in predstavlja odlično tekoče gnojilo za kmetijske površine.

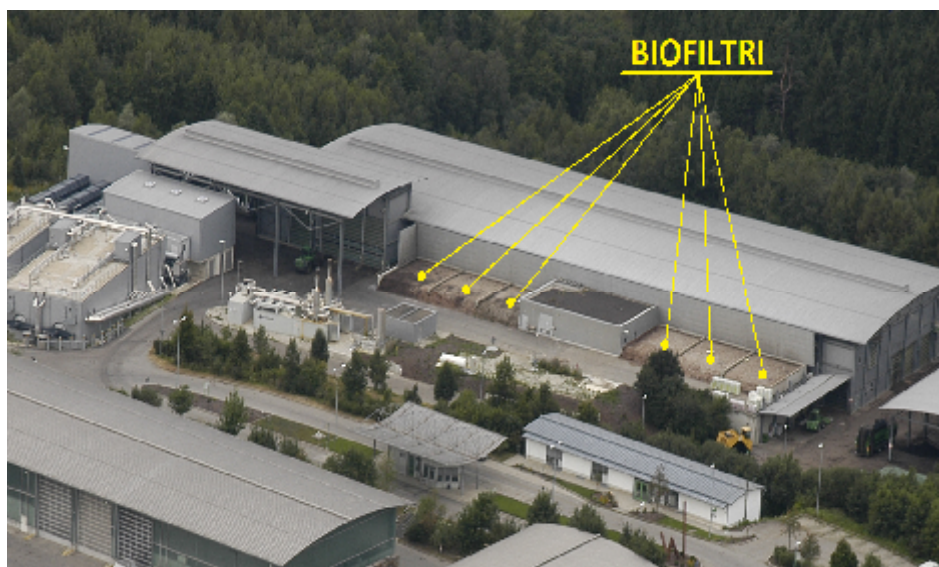
Biokompost potuje po ločitvi takoj v kompostirno halo, v kateri mora odležati en teden in se posušiti. Kar pol mase komposta je odvedene s kompleksnim prezračevalnim sistemom. Končna masa biokomposta znaša na letnem nivoju okoli 7000 ton. Hala je dolga sto metrov in je razdeljena na sedem polj. Biokompost se preklada iz polja v polje s pomočjo avtomatskega krožnega nakladalnika in se pri tem zrači. Anaerobni mikroorganizmi propadejo in nastopi aerobna faza kompostiranja. Biokompost, ki pride v kompostirnico, je dovolj moker, da poteka aerobna razgradnja. Razmerje med zrakom in vodo je pomembno za ohranitev visoke temperature, dokler material razpada. Hkrati pa preveč zraka ali vode tudi upočasnuje proces, kot tudi preveč ogljika ali premalo dušika. Najbolj učinkovito kompostiranje je, če je razmerje med ogljikom in dušikom približno 30:1.



Slika 18: Notranjost kompostirnice (Foto: Marko Ferenčak)

3.2.9.1 Prezračevalni sistem kompostirnice

Kompostirna hala je popolnoma zaprta, da ne uhaja zrak, ki je neprijeten in vsebuje nevarne pline. Svež zrak se neprekinjeno dovaja v halo preko ventilatorjev, ki so nameščeni po vseh stenah. Odvajanje onesnaženega zraka iz kompostirnice poteka tudi prav tako s pomočjo ventilatorjev, ki so nameščeni tik pod stropom in s talnim odvajanjem zraka. Vsa polja, na katerih leži biokompost, so opremljena z luknjicami v tleh, skozi katere se srka zrak skozi kompost. Ves odvajen onesnažen zrak gre najprej skozi vodni filter, nato pa še skozi biofilter, ki veže nase smrad. Ta je sestavljen iz šestih betonskih korit, ki so napolnjena z lesnimi sekanci približno 80 cm visoko. Lesne sekance je potrebno zamenjati vsaka štiri leta. Takšen sistem prezračevanja vsekakor ni poceni, pa tudi največ električne energije se porabi ravno na tem delu bioplinarne, zato ga mnoge bioplinarne nimajo in enostavno spuščajo smrad v zrak. V BBG Donau-Wald ga imajo, kljub temu da se nahaja naprava v gozdu in je oddaljena od naselij, kar kaže na visok okoljevarstveni standard. Tak prezračevalni sistem je zelo primeren za različne farme, ki pogosto oddajajo neprijetne vonjave.



Slika 19: Biofiltri (Buchheit, 2005)

3.2.9.2 Naprava za ločevanje biokomposta

V odležanem biokompostu se nahajajo delci, ki ne razpadejo v času razgradnje in kompostiranja (plastične vrečke, kamenje, debelejši zdrobljeni kosi lesa ...), in so nezaželeni, zato mora čisto na koncu proizvodnje ves material skozi napravo, ki s tresočimi zobatimi valji preseje in loči moteče elemente iz biokomposta. Ti gredo v sežigalnico, biokompost pa v prodajo.



Slika 20: Notranjost naprave za ločevanje biokomposta (Buchheit, 2005)

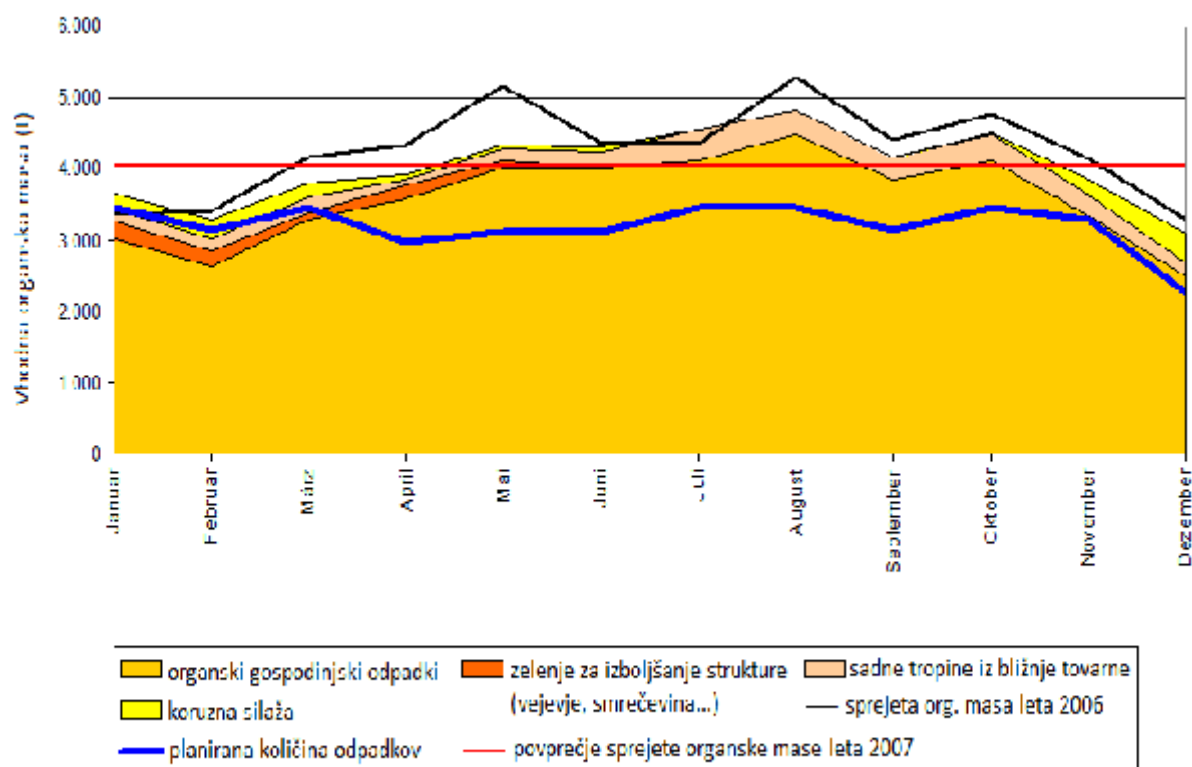
4 REZULTATI

Med rezultati sem obravnaval podatke o delovanju naprave iz leta 2007.

4.1 VHODNA ORGANSKA MASA

4.1.1 Analiza vhodne mase

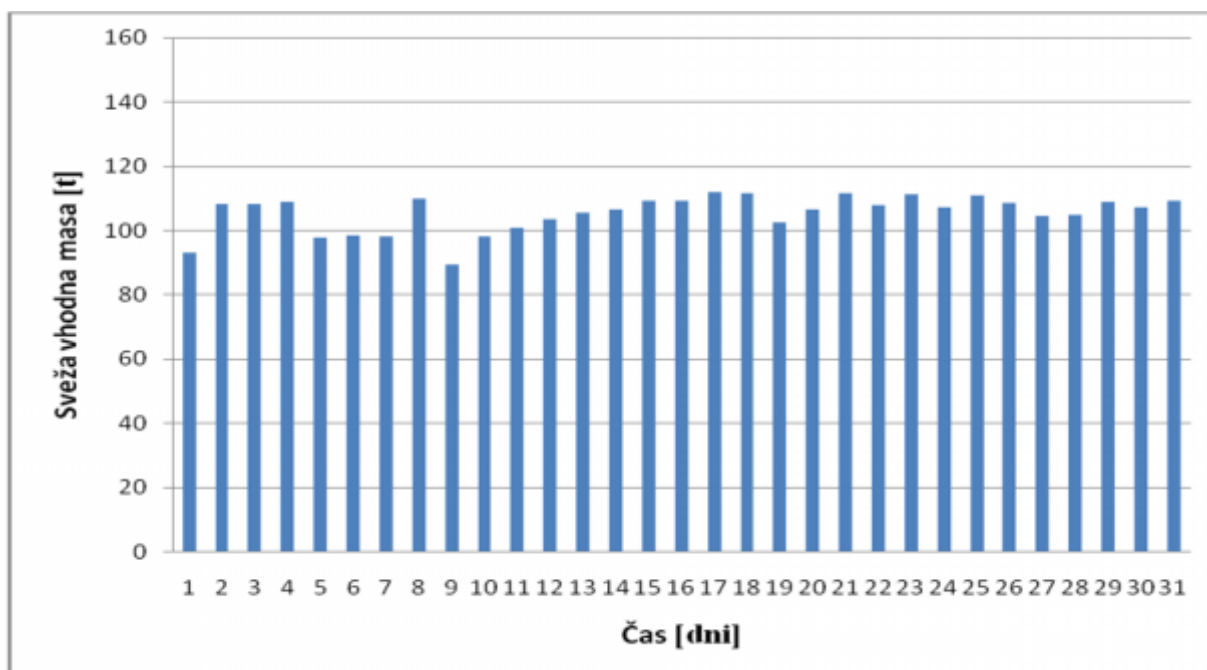
Glavni delež vhodne organske mase v bioplinarno BBG Donau-Wald predstavljajo organski gospodinjiski odpadki, ki jih je več kot 90 %. Skozi celo leto so prisotne sadne tropine. Nahajajo se zato, ker je v bližini predelovalna industrija sadja (predvsem ribeza). Bioplinarna bi lahko izpolnila normo tudi brez sadnih tropin. V zimskih mesecih je viden delež zelenja in silažne koruze, ki izboljšuje strukturo vhodne organske mase. Poleti je že v samih odpadkih dovolj zelene biomase in so tako odpadki samozadostni za nadaljnjo proizvodnjo. Koruzna silaža predstavlja na letnem nivoju manj kot 1 %, zelenje (vejevje, smrekovina) pa več kot 1 % vhodne organske mase.



Slika 21: Analiza vhodne organske mase za leto 2007 (Buchheit, 2005)

4.1.2 Masa mesečnega vhoda

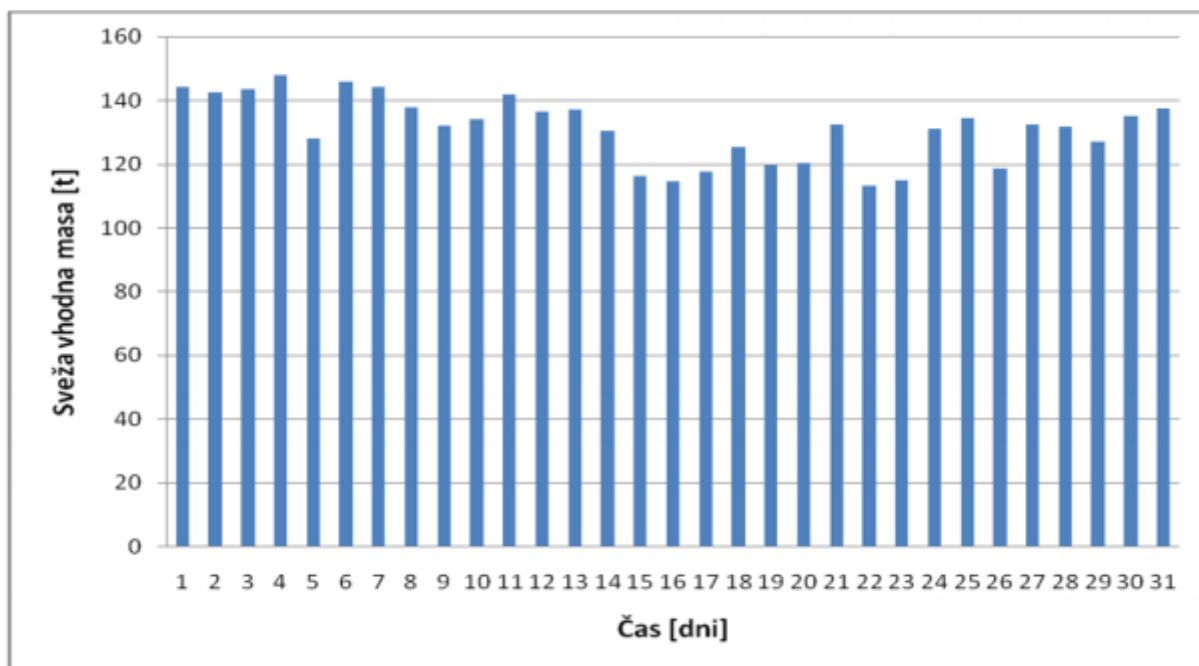
Iz slike 22 je razvidno, koliko sveže pripravljene organske mase se je vsak dan vnašalo v tri reaktorje. Zraven ni prišteta voda in gnojevka, ki se primeša sveži organski masi v mešalni napravi. Povprečni skupni dnevni vnos je meseca januarja znašal 105486 kg sveže organske mase.



Slika 22: Mesečni nivo vhodne sveže organske mase za mesec januar 2007

Meseca julija je opaziti veliko večje dnevne vnose sveže organske mase v reaktor kot meseca januarja, kar je logično, saj je poleti na voljo večja količina zelene biomase. Povprečni skupni dnevni vnos je znašal 131275 kg sveže organske mase.

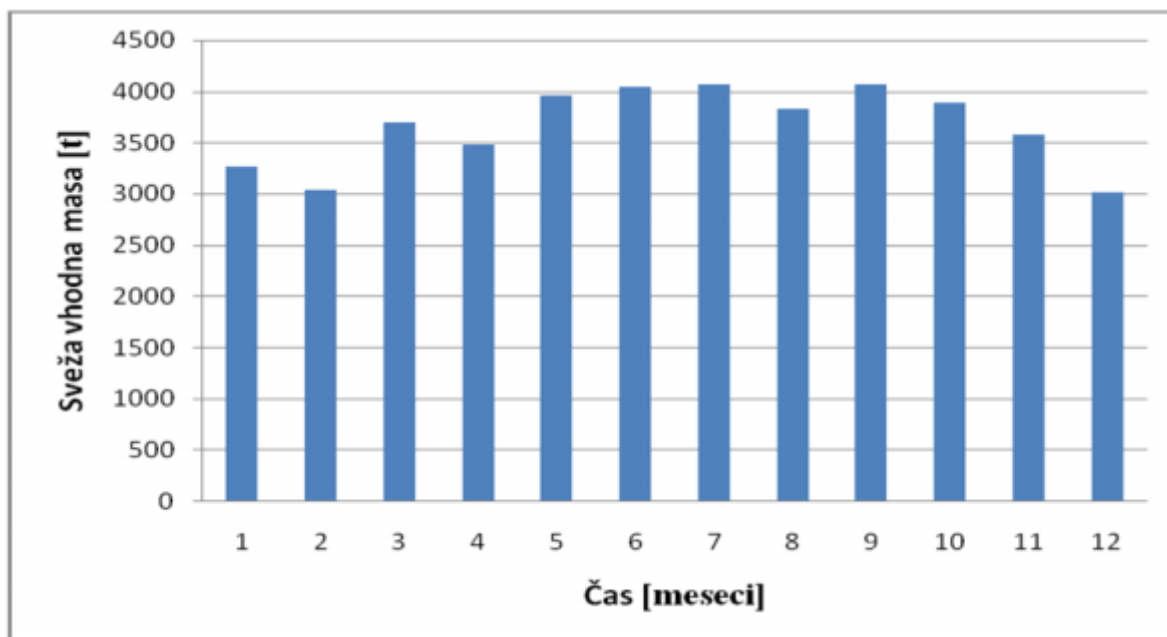
Na nihanje dnevnega vnosa sveže organske mase lahko vpliva količina prispelih organskih gospodinjskih odpadkov. Masa je lahko določen dan večja, ko prispejo v bioplinsko napravo še sadne tropine, ki imajo drugačno razmerje med volumnom in maso kot gospodinjski organski ostanki. Na drugi strani lahko vpliva na manjšo količino dnevne vhodne organske mase slabo delovanje stiskalnic, težave pri mletju odpadkov ali okvara v zalogovniku.



Slika 23: Mesečni nivo vhodne sveže mase za mesec julij 2007

4.1.3 Masa letnega vhoda

Na letnem nivoju se masa iz meseca v mesec razlikuje. Ni tako enakomerno kot na mesečnem nivoju. Opaziti je naraščanje mase vhodne organske mase z vegetacijsko dobo in obratno.

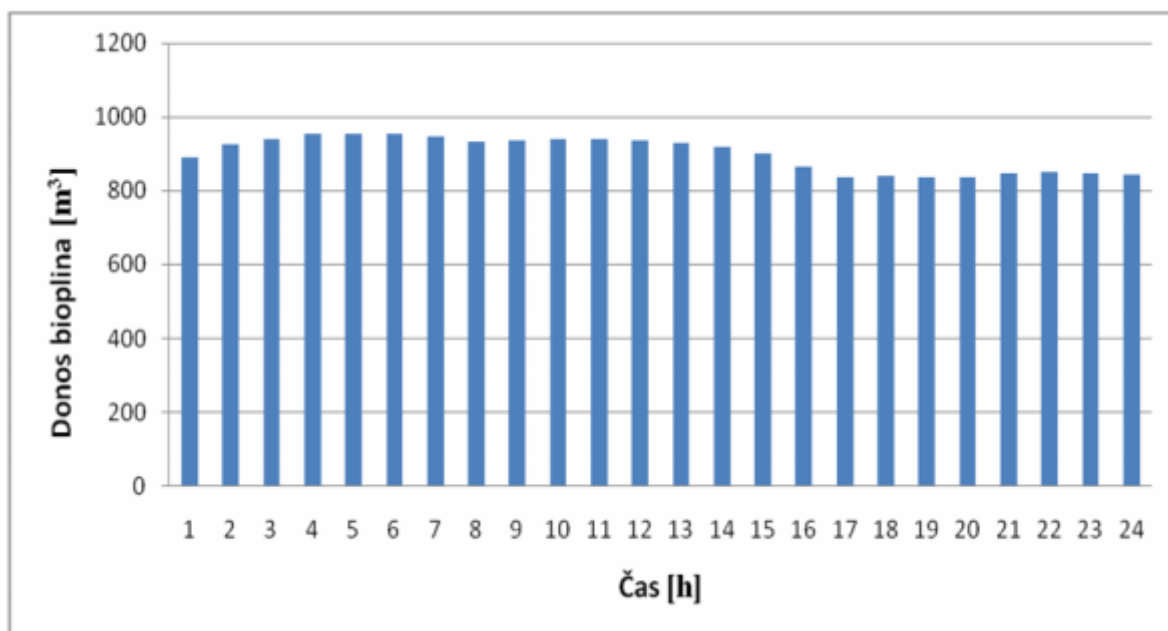


Slika 24: Letni nivo vhodne sveže organske mase za leto 2007

4.2 PROIZVODNJA BIOPLINA

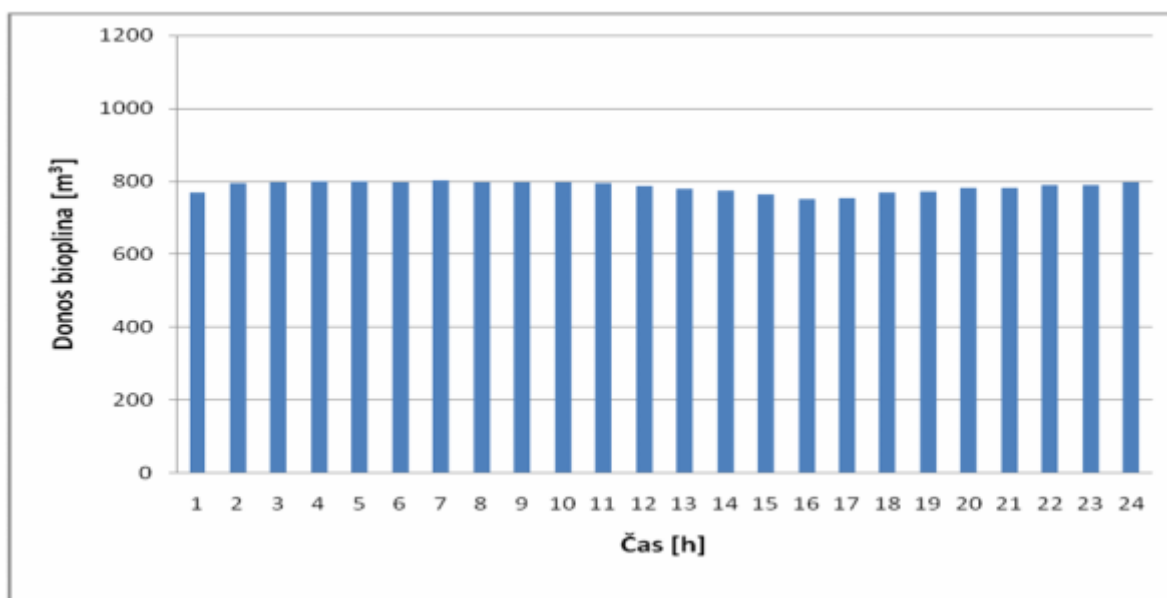
4.2.1 Dnevna proizvodnja bioplina

Iz slike 25 je moč razbrati proizvodnjo bioplina tekom dneva. Proizvodnja je uravnotežena in enakomerna, kar je nujno potrebno za enakomerno proizvodnjo električne energije, saj gre plin iz bioplinskih reaktorjev direktno v plinska motorja in se ne shranjuje. Povprečna skupna proizvodnja bioplina za 10. januar je znašala 901 m³ bioplina na uro.



Slika 25: Dnevni diagram proizvodnje celotnega bioplina za 10. januar 2007

Dnevni diagram proizvodnje skupnega bioplina za 10. julij 2007 je zelo podoben zgornjemu grafu, le da so vrednosti manjše. Povprečna skupna proizvodnja bioplina je znašala 785 m³ bioplina na uro.

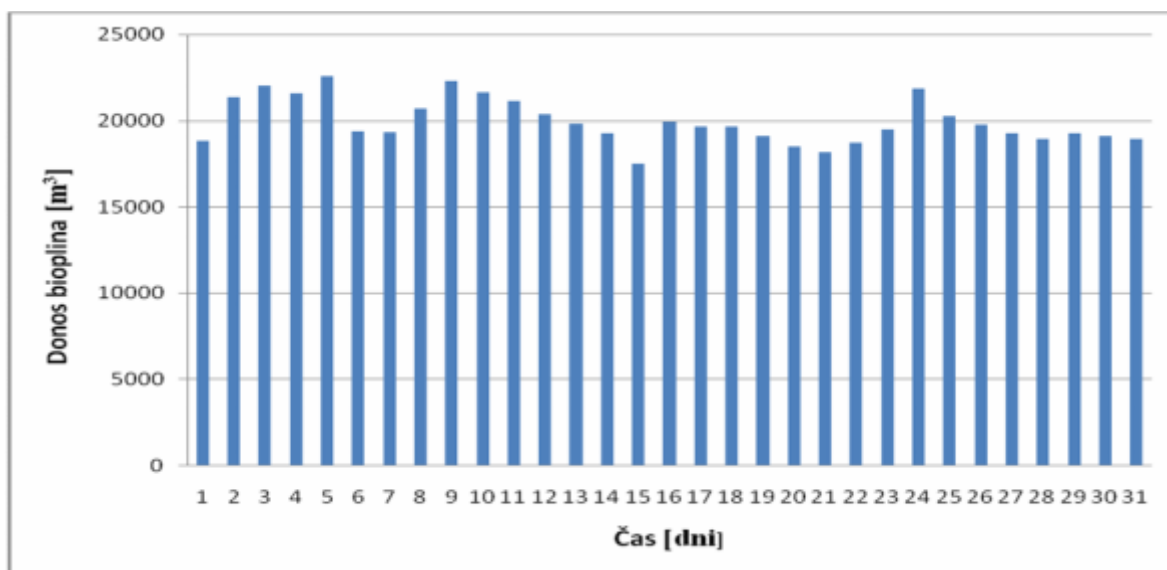


Slika 26: Dnevni diagram proizvodnje celotnega bioplina za 10. julij 2007

4.2.2 Mesečna proizvodnja bioplina

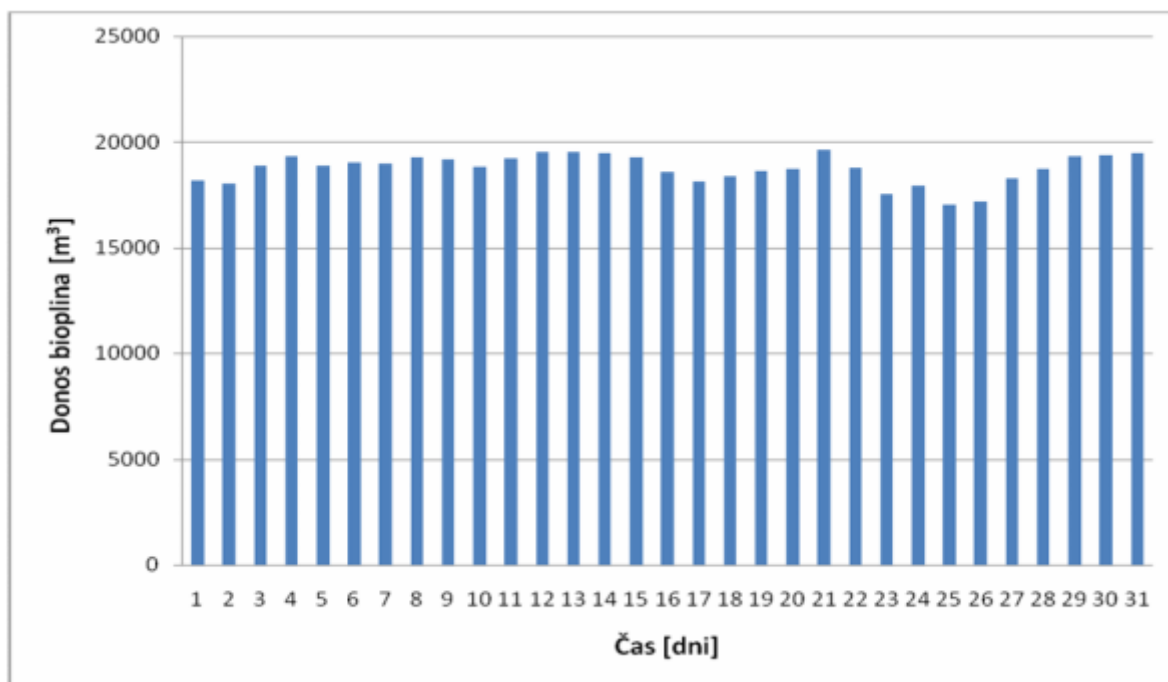
Mesečna proizvodnja bioplina malce niha, kar ni najbolj zaželeno. Na večji odskok od povprečja proizvodnje bioplina lahko vplivajo različne okvare na mešalni napravi ali morebitne težave v zalogovnikih, najpogosteje pa pride v zimskih mesecih do okvar stiskalnih enot in posledično je upočasnjeno praznjenje bioplinskih reaktorjev.

Povprečna dnevna proizvodnja vseh treh bioplinskih reaktorjev je januarja leta 2007 znašala 19952 m³ bioplina na dan.



Slika 27: Mesečni diagram proizvodnje bioplina za januar 2007

Juljski grafikon prikazuje manjše vrednosti proizvodnje bioplina kot zimski. Povprečna dnevna proizvodnja vseh treh bioplinskih reaktorjev je julija leta 2007 znašala 18753 m³ bioplina na dan, kar je 6 % manj kot meseca januarja.

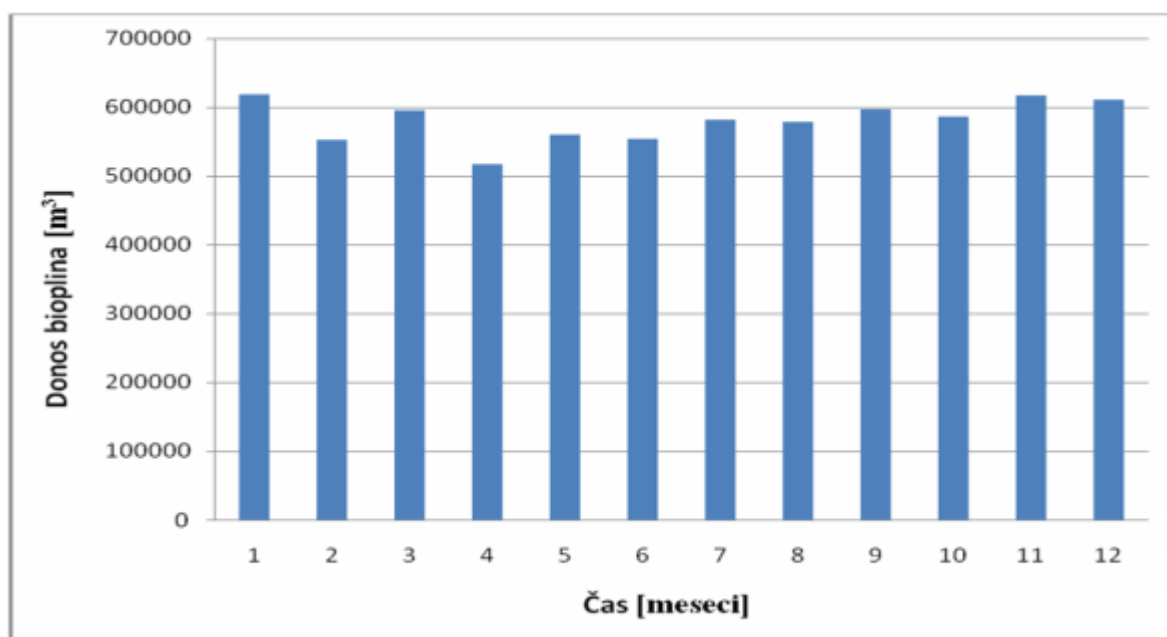


Slika 28: Mesečni diagram proizvodnje bioplina za julij 2007

Meseca julija je količina izplenjenega bioplina enakomernejša kot meseca januarja. To enakomernost lahko pripišemo nemotenemu delovanju bioplinke naprave. V zimskih mesecih je veliko več okvar (težave z stiskalnicami) kot v poletnih in temu primerna je razlika v enakomernosti izplena bioplina.

4.2.3 Letna proizvodnja bioplina

Skozi celo leto skupna mesečna proizvodnja bioplina nikoli ne pade pod 517311 m³ in ne preseže 618517 m³ bioplina. Ti številki sta hkrati tudi spodnja in zgornja mejna vrednost proizvedenega bioplina in lahko rečemo, da lahko ta poleti upade za več kot 16 %. Iz slike 29 je razvidno, da je več izplenjenega bioplina v hladnejših mesecih.

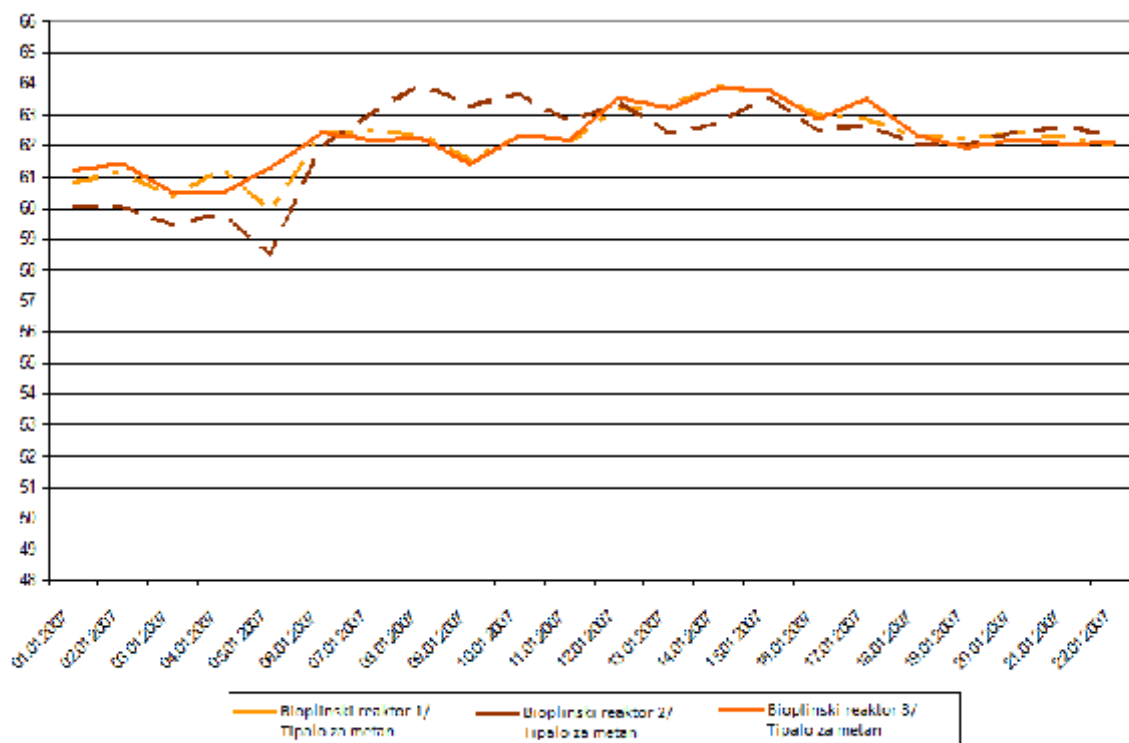


Slika 29: Letni diagram proizvodnje bioplina za leto 2007

4.3 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

4.3.1 Vsebnost metana (CH_4) v proizvedenem bioplinu

V zimskem času izplenjen bioplin ima majhno vsebnost metana, ki je potreben za pogon motorjev, ki poganjata električni generator. Na spodnji sliki vsaka posamična krivulja prikazuje vsebnost metana v proizvedenem bioplinu posamičnega bioplinskega reaktorja. Kvaliteta proizvedenega bioplina je v vsakem bioplinskem reaktorju drugačna, kar je odvisno od delovanja mešalne naprave in razmerja med bioplinsko gnojevko, vodo in zmleto organsko maso.

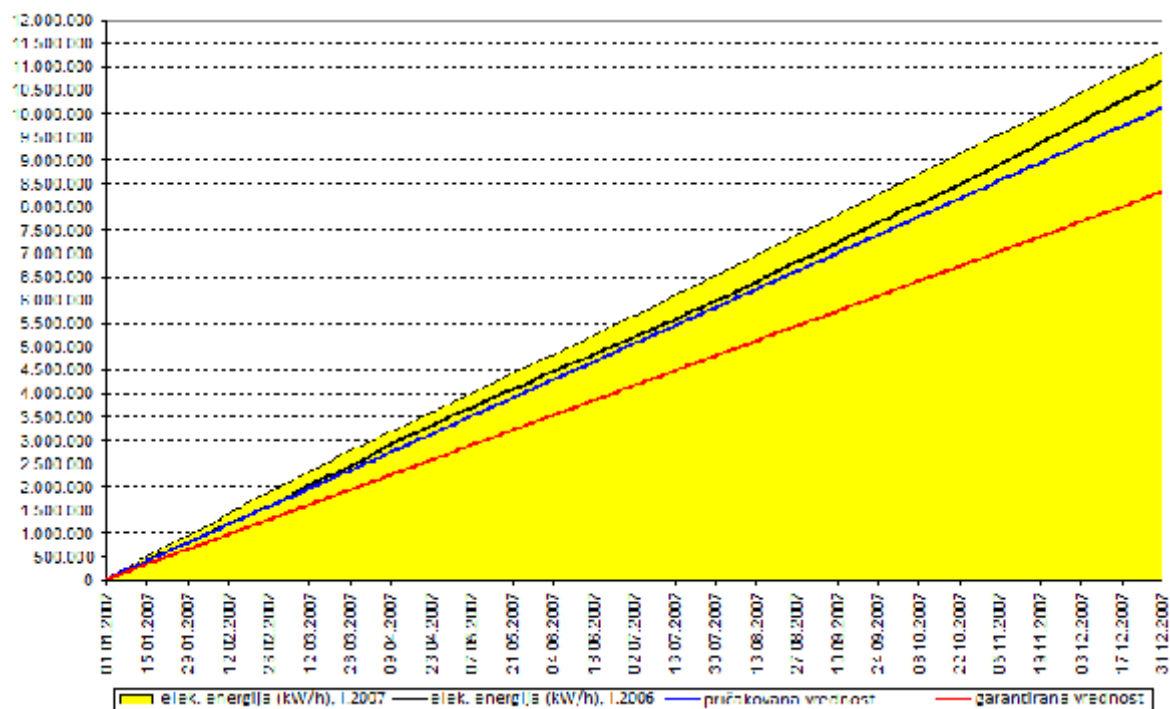


Slika 30: Vsebnost metana (CH_4) v izplenjenem bioplinu posamičnega bioplinskega reaktorja za mesec januar

4.3.2 Proizvodnja električne energije

Proizvodnja električne energije je konstantna. Letno proizvedeta dva 16-batna plinska motorja z maksimalno skupno močjo 1,6 MW kar 11300000 kWh električne energije in vsaj še enkrat toliko toplotne energije. Če nastane v bioplinarni preveč bioplina, ta izgori na bakli oziroma če je en motor na popravilu, takrat drugi dela s polno močjo in proizvaja 800 kW električne energije na uro, ostali plin pa zopet izgori na bakli.

Konstantna in enakomerna proizvodnja električne energije omogoča bioplinarni priklop na omrežje in ga tako ne ogroža z nihanji proizvodnje, do katerih ne sme priti.



Slika 31: Prikaz seštevek proizvodnje električne energije za leto 2007 in 2006, prikaz pričakovane in zajamčene proizvodnje električne energije za leto 2007

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V analizo je bila vključena bioplinska naprava BBG Donau-Wald, ki deluje na organske gospodinjske odpadke ob dodatku zelene biomase.

5.1.1 Vhodna organska masa

Glavni delež vhodne organske mase predstavljajo organski gospodinjski odpadki. Ta delež znaša preko 90 %. V zimskih mesecih je zaradi slabše strukture odpadkov potrebno dodajati svežo zeleno biomaso v obliki smrekovih vej oziroma ostalega vejevja in koruzne silaže. Delež koruzne silaže ne presega 1 % vhodne mase. Skozi celo leto so bile prisotne sadne tropine zaradi bližnje predelovalne industrije sadja. Letno sprejme bioplinska naprava 41000 t organskih gospodinjskih odpadkov.

Skozi leto se spreminja vegetacijska doba in posledično niha dostopnost sveže zelene biomase. Analizirali in primerjali smo vhodne organske mase za meseca januar in julij. Januarja je povprečni dnevni vnos sveže organske mase znašal 105486 kg, julija pa 131275 kg, kar je 20 % več. Slika 24 lepo prikazuje naraščanje in padanje vhodne organske mase z vzponom in padcem vegetacijske dobe.

5.1.2 Proizvodnja bioplina

Proizvodnja bioplina je 10. januarja znašala 901 m³ bioplina na uro. Ta podatek je torej seštevek pridobljenega bioplina iz treh bioplinskih reaktorjev, ki imajo skupno prostornino 3000 m³. Pol leta kasneje, 10. julija, je bil skupni izplen bioplina na uro 785 m³, kar je 13 % manj kot pozimi. Na letnem nivoju je znašal skupni minimalni (aprila) mesečni povprečni izplen bioplina 517311 m³, maksimalni (januarja) pa 618517 m³, kar je 16 % več.

Izplen bioplina lahko zelo hitro zaniha, kar je lepo razvidno iz slike 27. Do nihanj pride zaradi slabe vhodne organske mase, zaradi pogostih okvar na stiskalnicah in posledično oviranega praznjenja bioplinskih reaktorjev. Ta nihanja izboljšamo z dodatkom sveže zelene organske mase, ki izboljša delovanje bioplinske naprave.

Zanimivo je namreč, da je pozimi manjša masa in volumen vhodne organske snovi kot poleti in hkrati je pozimi večji izplen bioplina kot poleti, kar ni najbolj logično. To kontradiktornost povzroča temperatura. Poleti, ko so temperature višje, se anaerobna

razgradnja začne že prej v kantah za odpadke in tako pride do izgub metana. Pozimi teh izgub ni.

5.1.3 Proizvodnja električne energije

Pozimi imamo torej na voljo manj vhodne organske mase in hkrati več izplenjenega bioplina zaradi nizkih temperatur, ki onemogočajo predčasno anorgansko razgradnjo. Lastnosti bioplina so pozimi malce slabše in je vsebnost metana nekoliko manjša. O tem nam pričajo tipala za metan v bioplinskih reaktorjih (slika 30). Zaradi seštevka vseh omenjenih vplivov na organsko biomaso je možna konstantna proizvodnja električne in toplotne energije.

Maksimalna možna proizvodnja električne energije je 1,6 MW na uro. Minimalna proizvodnja poteka takrat, kadar se izvaja letni servis ali ob morebitni okvari motorjev. Takrat en motor počiva, drugi pa deluje z polno močjo in proizvodnja električne energije znaša 0,8 MW. V letu 2007 so proizvedli 1 130 000 kWh električne energije in v povprečju je bioplinska naprava delovala z močjo 1,3 MW.

5.2 SKLEPI

Z vestnim zbiranjem in dobro organiziranim pobiranjem organskih gospodinjskih odpadkov ustvarjamo odlično biomaso, iz katere lahko s pomočjo bioplinskih naprav pridobivamo bioplin.

Z termofilno anaerobno razgradnjo lahko iz 41 000 t zbranih organskih gospodinjskih odpadkov izplenimo 636 000 m³ bioplina kar zadostuje za proizvodnjo 130 000 kWh električne energije in vsaj še enkrat toliko toplotne energije.

Na kakovost organskih gospodinjskih odpadkov vpliva temperatura. Kakovost je slabša poleti, ker se anaerobna razgradnja začne že v hišnih kantah za odpadke in tako delež metana uide v ozračje. Pozimi teh izgub ni in posledično zimski organski odpadki vsebujejo polno vrednost potencialnega metana.

V procesu predelave organske biomase pride pogosto do okvar naprav. Te lahko preprečimo z dodajanjem sveže zelene organske mase in tako bistveno izboljšamo strukturo vhodne organske mase, ki je pomembna še posebej v zimskih mesecih.

6 POVZETEK

Zaradi svetovnega naraščanja števila prebivalstva in potrošniške miselnosti narašča količina vseh vrst odpadkov. Brez recikliranja in izrabe odpadkov si že sedaj, predvsem pa v bodoče ne moremo predstavljati razvite družbe in varovanja okolja. V diplomskem delu sem se osredotočil na organske gospodinjske odpadke in pridobivanje bioplina, toplote, bioplinske gnojevke in biokomposta iz njih.

Namen dela je bil prikazati učinkovito pridobivanje bioplina iz organskih gospodinjskih odpadkov. To sem prikazal na primeru bioplinarne BBG Donau-Wald. Obravnaval sem podatke iz leta 2007.

Bioplinska naprava se nahaja v Nemčiji na obrobju mesta Passau. Gospodinjski organski odpadki se zbirajo iz področja, ki meri 4500 km² in na katerem živi 520000 prebivalcev. Letno sprejme bioplinska naprava 41000 t organskih odpadkov, iz katerih s pomočjo anaerobne razgradnje izpleni 6360000 m³ bioplina iz katerega proizvedejo 1300000 kWh električne energije in vsaj še enkrat toliko toplotne energije. Poleg električne energije in toplote nastane iz izhodne organske mase bioplinskega reaktorja 10000 t bioplinske gnojevke in 7000 t biokomposta.

Glavna vhodna surovina v bioplinski napravi so gospodinjski organski odpadki ki jih je preko 90 %. Poleg njih se znajdejo še sadne tropine iz bližnje predelovalne industrije. Organskim odpadkom je v zimskih mesecih potrebno dodajati svežo zeleno organsko maso v obliki vejevja. Lahko se dodaja tudi koruzna silaža. Z dodajanjem zelene biomase izboljšujemo strukturo vhodne organske mase in s tem zmanjšamo težave v stiskalnicah.

Organskim odpadkom najprej odstranijo moteče elemente (kovinske delce, papir, večje kose lesa, steklo, plastiko) in jih kar dvakrat zmeljejo. Zmlet material potuje v zalogovnike iz njih pa v mešalne naprave, kjer zmletim organski masi dodajo predelano bioplinsko gnojevko, ki že vsebuje anaerobne bakterije in vodo. Ta vhodna organska masa se nato potiska po ogrevani cevi v bioplinski reaktor, kjer se dogaja intenzivna anaerobna razgradnja pri 50 – 55 °C. Organska masa potuje skozi reaktor 14 dni. Sledi ločevanje predelane organske mase na suhi in tekoči del s pomočjo petih stiskalnic. Tekoči del se uporablja za mešanje vhodnega substrata in za dognojevanje poljščin. Iz suhega dela pa nastane po enem tednu prezračevanja v kompostirni hali biokompost, ki je odličen izboljševalec tal.

Podali smo mesečne podatke o masi vhodne organske snovi za mesec januar in julij in tudi za celo leto. Povprečni dnevni vnos organske snovi je januarja znašal 105486 kg, meseca julija pa 131275 kg. Podatka sta povsem logična, saj je poleti na voljo več biomase kot pozimi. Masa vhodne organske snovi narašča na letnem nivoju hkrati z vegetacijsko dobo

in obratno. Zanimive so meritve o nastalem bioplinu. Januarja je v povprečju na dan nastalo 19952 m³ bioplina, julija pa 18753 m³ bioplina na dan, kar je 6 % manj kot meseca januarja. Iz primerjave povprečnega dnevnega vhoda organske mase in proizvodnje bioplina lahko ugotovimo, da je poleti kljub večji masi in volumnu organske snovi izplen bioplina manjši. Do tega pride zaradi višje temperature ozračja, ki sproži predčasno anaerobno razgradnjo in izgubo bioplina. Za lažjo predstavo sem prikazal dnevni izplen bioplina. Ta je znašal 10. januarja 901 m³, 10. julija pa 785 m³ bioplina na uro. Tudi dnevni prikaz izplena bioplina potrjuje, da je pozimi količina bioplina večja kakor poleti.

Bioplinska naprava v Passau-u je vzoren primer, kako lahko na najbolj učinkovit in smiseln način izrabimo gospodinjske organske odpadke.

7 VIRI

- Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., Grmek M., Vertin K., Blaznik I., Jereb J., Domjan S. 2010. Priročnik o bioplinu. Ljubljana, Agencija za prestrukturiranje energetike: 142 str.
- Biogas Barometer. 2008. 5,9 Mtoe recovered in 2007 in EU. *Le journal des energies renouvelables* 186: 45-59.
http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro186_a.pdf (december, 2010)
- Bitenc P., Srt M. 2010. Pridobivanje in uporaba bioplina. Velenje, Šolski center Velenje: 28 str.
- Buchheit M. 2005. Wer nicht zu den Stärksten gehört, braucht eine gute Strategie. Passau, BBG Donau-Wald mbH: ppt predstavitev (interno gradivo)
- Chaudhary B. K. 2008. Dry Continuous Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Thermophilic Condition. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of the Engineering in Environmental Engineering and Management. Thailand, Asian Institut of Technology, School of Environment, Resources and Development: 16–23. <http://www.faculty.ait.ac.th/visu/Data/AIT-Thesis/Master%20Thesis%20final/Binod.pdf> (december 2010)
- Čebular A. 2010. Obnovljiva Slovenija. *Gea*, 7: 24–31
- Graf W. 2007. Kraftstoff Biogas. Der Treibstoff der Zukunft – erneuerbar und immer verfügbar. Norderstedt, Books on Demand GmbH: 12 str.
- Jejčič V., Poje T. 2010. Bioplin v kmetijstvu - informacije za proizvodnjo bioplina v Sloveniji. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 16 str.
http://www.kis.si/datoteke/File/kis/SLO/MEH/Biogas/PUBLIKACIJA_BIOPLIN_V_KMETIJSTVU.pdf
- Mini Organica - bioplinska elektrarna za vsakogar. 2010. *Finance*, 202: 19
- Leskošek M. 1993. Gnojenje: za velik in kakovosten pridelek, zaboljšanje rodovitnosti tal, za varovanje narave. Ljubljana, ČZP Kmečki glas: 197 str.
- Polprasert C. 1996. Organic waste recycling. Technology and managment. 2nd edition. West Sussex, John Wiley & Sons: 412 str.
- Smith J. 2004. Biotechnonology. 4th edition. Cambridge, Cambridge University Press: 112 str.
- Stanje na področju bioplina v Sloveniji. 2010. KIS-Kmetijski inštitut Slovenije.
<http://www.kis.si/pls/kis/!kis.web?m=162&j=SI#nav>
- Verstraete W., Woestyne Vande M., Gellens V., Anasi I. 1994. Anaerobic digestion and Inter-regional recycling of organic soil supplements. V: *Biogas technology as an*

environmental solution to pollution. Fourth FAO/SREN Workshop in Migal, Israel.
Rome, FAO: 149–176

Vindiš P. 2010. Večparametrski model ocenjevanja energetskih rastlin za pridelavo v bioplin. Doktorska disertacija. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede: 139 str.

Zver A. 2009. Bioplin Keter-organica. V: Konferenca o obnovljivih virih energije in učinkoviti rabi energije 2009, Ljubljana 4. Junij 2009. Ljubljana, Keter: 25–26

ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil mag. Martini Šumenjak Sabol, predsednici zveze društev za biomaso v Sloveniji, ki mi je pomagala najti napredno bioplinsko napravo v Passau-u.

Zahvalil bi se vodji bioplinske naprave v BBG Donau-Wald g. Micahelu Buchheitu, ki mi je omogočil polletno študijsko prakso v nemškem Passau-u in mi dovolil dostop do vseh potrebnih podatkov.

Zahvala velja tudi mentorju prof. dr. Rajku Berniku, ki me je usmerjal pri pisanju diplomske naloge.

Iskrena hvala dragim staršem in Mojci ter kolegom iz zadnjega dela predavalnice, s katerimi sem odlično sodeloval v času študija.

PRILOGA A

Bioodpadki, primerni za biološko obdelavo (Evropski katalog odpadkov, 1993)

Koda odpadkov ¹	Opis odpadkov	
02 00 00	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture, gozdarski, lovski in ribiški odpadki, odpadki od priprave in predelave hrane	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture, gozdarski, lovski in ribiški odpadki
		odpadki od 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	paketiranje (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 (gospodinjski odpadki ter podobni komercialni, industrijski in drugi odpadki), vključno z ločeno zbranimi deli	ločeno zbrani odpadni deli
		odpadki z vrtov in parkov (vključno z odpadki iz pokopališč)
		drugi komunalni odpadki

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

PRILOGA B

Hranilna vrednost biokomposta in predelane tekoče gnojevke v BBG Donau-Wald

	BIOKOMOPOST	TEKOČA PREDELANA GNOJEVKA
SKUPNI DUŠIK	0,7 % N	0,18 N
SKUPNI FOSFAT	0,4% P ₂ O ₅	0,15 P ₂ O ₅
SKUPNI KALIJ	0,7 % K ₂ O	0,34 K ₂ O
KALCIJ	3 CaO	0,9 CaO
AMONIJSKI DUŠIK	0,10 % N	0,26 % N
SUHA SNOV SVEŽE MASE	65 %	11,2 %
pH VREDNOST	6,5 – 7,5	8,1
GOSTOTA SVEŽE MASE	0,650 g/dm ³	1010 g/dm ³