

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Žitek, F., 2015. Optimizacija procesa proizvodnje bioplina na Bioplinarni Nemščak s predobdelavo substrata in kombiniranjem z odpadnim blatom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drev, D., somentorica Kolbl, S.): 60 str.

Datum arhiviranja:04-05-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Žitek, F., 2015. Optimizacija procesa proizvodnje bioplina na Bioplinarni Nemščak s predobdelavo substrata in kombiniranjem z odpadnim blatom. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drev, D., co-supervisor Kolbl, S.): 60 pp.

Archiving Date: 04-05-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

FILIP ŽITEK

**OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE BIOPLINA
NA BIOPLINARNI NEMŠČAK S PREDOBDELAVO
SUBSTRATA IN KOMBINIRANJEM Z ODPADNIM
BLATOM**

Diplomska naloga št.: 259/VKI

**PROCESS OPTIMIZATION OF BIOGAS PRODUCTION
AT NEMŠČAK BIOGAS PLANT BY PRE-TREATMENT
OF THE SUBSTRATE AND COMBINING WITH WASTE
SLUDGE**

Graduation thesis No.: 259/VKI

Mentor:

doc. dr. Darko Drev

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentorica:

asist. dr. Sabina Kolbl

Član komisije:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Ljubljana, 15. 04. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Filip Žitek izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Optimizacija procesa proizvodnje bioplina na Bioplinarni Nemščak s predobdelavo substrata in kombiniranjem z odpadnim blatom«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 24. 03. 2015

Filip Žitek

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.3:620.92(043.2)
Avtor:	Filip Žitek
Mentor:	doc. dr. Darko Drev
Somentor:	asist. dr. Sabina Kolbl
Naslov:	Optimizacija procesa proizvodnje bioplina na Bioplinarni Nemščak s predobdelavo substrata in kombiniranjem z odpadnim blatom
Tip dokumenta:	Dipl. nal.-UNI
Obseg in oprema:	60 str., 20 graf., 9 pregl., 21 sl., 5 en.
Ključne besede:	substrat, bioplin, pilotni reaktor, anaerobna razgradnja, metan, koruzna silaža, blato, Bioplinarna Nemščak

IZVLEČEK

Namen diplomske naloge je povečati količino proizvedenega bioplina s predobdelavo substrata in kombiniranjem z odpadnim blatom. Za anaerobno razgradnjo različnih substratov smo uporabili pilotni reaktor za določevanje bioplinskega potenciala na Bioplinarni Nemščak. Pilotni reaktor je bil zgrajen leta 2009 za namen preizkušanja novih substratov pri procesu pridobivanja bioplina. Pilotni reaktor ima delovni volumen 2000 litrov, nad njim pa je plinohram volumna 500 litrov. Reaktor se ogreva do mezofilnega temperaturnega območja. Krmili se ga preko računalniškega programa, ki sproti beleži tudi količino nastalega bioplina. Sestavo bioplina smo merili z ročnim analizatorjem sestave plina. Najprej smo v reaktorju preizkušali nespremenjeno silažo in ji določili suho snov, organsko snov, donos bioplina in donos metana. Nato smo v reaktorju preizkušali silažo, ki smo jo pred doziranjem zmleli z ročnim sekljalnikom. Tudi mleti silaži smo določili donos bioplina in metana. Kot tretji substrat smo preizkušali odpadno blato iz komunalne čistilne naprave Murska Sobota. Odpadno blato, ki tam nastaja, je namenjeno za odlaganje, zato se nam je zdel ta substrat primeren za anaerobno razgradnjo. Vse tri substrate smo preizkušali po enaki metodi in z enakimi robnimi pogoji. Za potrebe diplomske naloge smo spremljali tudi delovanje Bioplinarne Nemščak v obdobju enega mesca.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	628.3:620.92(043.2)
Author:	Filip Žitek
Supervisor:	Assis. prof. Darko Drev, Ph.D.
Cosupervisor:	Sabina Kolbl, Ph.D.
Title:	Process optimization of biogas production at Nemščak biogas plant by pre-treatment of the substrate and combining with waste sludge
Document type:	Graduation Thesis-University studies
Notes:	60 p., 20 graph., 9 tab., 21 fig., 5 eq.
Key words:	substrate, biogas, pilot reactor, anaerobic digestion, methan, corn silage, sludge, biogas plant Nemščak

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to increase the amount of biogas produced by pre-treatment of the substrate and combining with waste sludge. For anaerobic digestion of different substrates, we used a pilot reactor to determine the biogas potential at Nemščak biogas plant. The pilot reactor was built in 2009 for the purpose of testing new substrates in the process of biogas production. The pilot reactor has a working volume of 2000 litres; there is a gas tank above it with the volume of 500 litres. The reactor is heated to a mesophilic temperature range. It is controlled through a computer program that continuously records the amount of the resulting biogas. The composition of the biogas was measured with a handheld gas composition analyser. First we tested the unchanged silage in the reactor and determined her dry matter, organic matter, biogas yield and methane yield. Then we tested the silage in the reactor, which was ground with a hand mincer prior to dosing. Ground silage was also determined with biogas and methane yield. As a third substrate we tested waste sludge from Murska Sobota municipal wastewater treatment plant. Waste sludge generated there is destined for disposal; therefore, we found this substrate suitable for anaerobic digestion. All three substrates were tested using the same method and the same boundary conditions. For the purpose of this thesis we monitored Nemščak biogas plant for a period of one month.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge, za strokovno usmerjanje, nasvete in vložen čas se zahvaljujem mentorju, doc. dr. Darku Drevu. Zahvala gre tudi somentorici dr. Sabini Kolbl. Posebej bi se rad zahvalil direktorju Panvite Ekoteh d.o.o., Matjažu Duriču, ki mi je omogočil opravljanje poskusa na njihovi pilotni napravi. Rad bi se še zahvalil Alešu Štumpfu za strokovno pomoč in nasvete pri upravljanju z reaktorjem. Zahvala gre tudi delavcem na CCN Murska Sobota.

Zahvaljujem se tudi svojim staršem, ki so mi omogočili študij ter vsem ostalim, ki so me spodbujali med študijem in mi pomagali. Posebna zahvala gre zaročenki Patriciji, ki mi je vedno stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 POTENCIAL BIOPLINA	3
2.1 Bioplin v Evropi in po svetu.....	3
2.2 Bioplin v Sloveniji.....	3
3 PROIZVODNJA IN LASTNOSTI BIOPLINA	6
3.1 Proizvodnja bioplina.....	6
3.1.1 Kmetijske bioplinske naprave	7
3.1.2 Naprave za obdelavo trdnih komunalnih odpadkov	8
3.1.3 Industrijske bioplinske naprave	8
3.1.4 Proizvodnja deponijskega plina.....	9
3.2 Lastnosti bioplina	9
4 ANAEROBNA PRESNOVA	12
4.1 Substrati za anaerobno razgradnjo.....	12
4.2 Biokemični procesi	15
4.2.1 Hidroliza	16
4.2.2 Acidogeneza	16
4.2.3 Acetogeneza	16
4.2.4 Metanogeneza.....	16
4.3 Parametri anaerobne razgradnje	17
4.3.1 Temperatura.....	17
4.3.2 Vrednost pH.....	18
4.3.3 Hlapne maščobne kisline	18
4.3.4 Amonijak, elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi	19
4.3.5 Organska obremenitev in zadrževalni čas v anaerobnem reaktorju.....	20
4.4 Uporaba predelanega substrata.....	21
5 PREDSTAVITEV BIOPLINARNE NEMŠČAK	23
5.1 Postopek sprejema in sterilizacije stranskih živalskih proizvodov.....	25
5.2 Postopek sprejema in prečrpavanja gnojevke.....	26
5.3 Postopek ravnanja s koruzno silažo.....	26
5.4 Postopek pridobivanja in ravnanja z bioplinom	26
5.5 Postopek ravnanja z odpadno goščo in odpadno vodo	27
5.6 Spremljanje delovanja Bioplinarne Nemščak.....	27
6 MATERIALI IN METODE	30
6.1 Suha in organska snov	30

6.2 Sestava bioplina	31
6.3 Mletje silaže	32
6.4 Hlapne maščobne kisline in alkaliteta	33
6.5 Pilotni reaktor.....	34
6.6 Zajem vzorca odpadnega blata na Centralni čistilni napravi Murska Sobota	37
6.6.1 Centralna čistilna naprava Murska Sobota.....	37
6.6.2 Ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka	39
6.7 Koruzna silaža.....	40
7 EKSPERIMENTALNI DEL	41
7.1 Eksperiment 1: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže brez predobdelave silaže	41
7.2 Eksperiment 2: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže s predobdelavo (mletjem) silaže.....	42
7.3 Eksperiment 3: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave.....	43
8 REZULTATI IN DISKUSIJA OPRAVLJENIH EKSPERIMENTOV	44
8.1 Rezultati eksperimenta 1: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže brez predobdelave silaže.....	44
8.2 Rezultati eksperimenta 2: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže s predobdelavo (mletjem) silaže	47
8.3 Eksperimenta 3: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave.....	51
8.4 Diskusija.....	55
9 ZAKLJUČEK.....	57
VIRI.....	58

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Trendi odlaganja, predelave in odstranjevanja odpadkov v Sloveniji (SURS, 2014).....	1
Grafikon 2: Razmerje $\text{NH}_4\text{-N}$ in NH_3 kot funkcija pH (Deublein, 2008).....	19
Grafikon 3: Količina nastalega bioplina glede na OLR.....	28
Grafikon 4: Nastajanje bioplina po dnevih.....	44
Grafikon 5: Nastajanje metana glede na OLR.....	45
Grafikon 6: Hlapne maščobne kisline po dnevih.....	45
Grafikon 7: Vrednost pH po dnevih	46
Grafikon 8: Alkaliteta po dnevih	46
Grafikon 9: Nastajanje bioplina in metana po dnevih na tono mlete silaže	47
Grafikon 10: Nastajanje metana glede na OLR.....	48
Grafikon 11: Hlapne maščobne kisline po dnevih.....	49
Grafikon 12: Vrednost pH po dnevih	49
Grafikon 13: Alkaliteta po dnevih	50
Grafikon 14: Primerjava donosa bioplina na tono silaže med prvim in drugim eksperimentom	50
Grafikon 15: Primerjava donosa metana med prvim in drugim eksperimentom.....	51
Grafikon 16: Nastajanje bioplina po dnevih.....	52
Grafikon 17: Nastajanje metana glede na OLR.....	52
Grafikon 18: Hlapne maščobne kisline po dnevih.....	53
Grafikon 19: Vrednost pH po dnevih	53
Grafikon 20: Alkaliteta po dnevih.....	54

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava bioplina (Al Seadi, 2010)	10
Preglednica 2: Teoretični donosi plina (Al Seadi, 2010)	10
Preglednica 3: Donos metana in bioplina iz različnih surovin (Al Seadi, 2010).....	11
Preglednica 4: Značilnosti nekaterih substratov (Al Seadi, 2003)	13
Preglednica 5: Temperaturna območja in čas zadrževanja pri anaerobni razgradnji (Al Seadi, 2010). 17	
Preglednica 6: Mejne koncentracije za NH ₄ ⁺ in NH ₃ (Deublein, 2008).....	19
Preglednica 7: Vsebnost hranil presnovljenega substrata v primerjavi z govejim in s prašičjim gnojem (Al Seadi, 2010)	22
Preglednica 8: Učinek čiščenja Centralne čistilne naprave Murska Sobota (Opis obratovanja CČN, Petrol).....	38
Preglednica 9: Količina odpadnega blata po mesecih za leto 2014.....	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Delež ogljika v odpadni vodi na CČN Domžale	6
Slika 2: Proizvodnja bioplina po dodanem substratu (Al Seadi, 2010)	15
Slika 3: Shema procesa anaerobne razgradnje (Al Seadi, 2003)	15
Slika 4: Vnos presnovljenega substrata z neposrednim vbrizgom v tla	22
Slika 5: Objekti bioplinarne Nemščak	24
Slika 6: Poenostavljena shema Bioplinarne Nemščak	25
Slika 7: Masni tokovi na Bioplinarni Nemščak	29
Slika 8: Sušilnik Binder in žarilna peč Aurodent	30
Slika 9: Žarilni lončki in analitska tehtnica Kern	30
Slika 10: Ročni analizator AAT Abwasser und Abfalltechnik SR2-DO	31
Slika 11: Mini sekljalnik Russell Hobbs 18558-56 Desire z močjo 380 W	32
Slika 12: Vzorec koruzne silaže pred mletjem	32
Slika 13: Vzorec koruzne silaže po mletju	33
Slika 14: Titrator, pH elektroda, magnetno mešalo in mešalnik za določevanje HMK in alkalitete	33
Slika 15: Krogllični ventili za zajem vzorca na različnih globinah	35
Slika 16: Krmiljenje pilotnega reaktorja prek računalnika	35
Slika 17: Skica pilotnega bioplinskega reaktorja na Bioplinarni Nemščak	36
Slika 18: Zajem odpadnega blata na CČN Murska Sobota	37
Slika 19: Shematski prikaz Centralne čistilne naprave Murska Sobota (Opis obratovanja CČN, Petrol)	39
Slika 20: Kombajn znamke Claas za siliranje	40
Slika 21: Deponija za silažo na Bioplinarni Nemščak	40

KRATICE

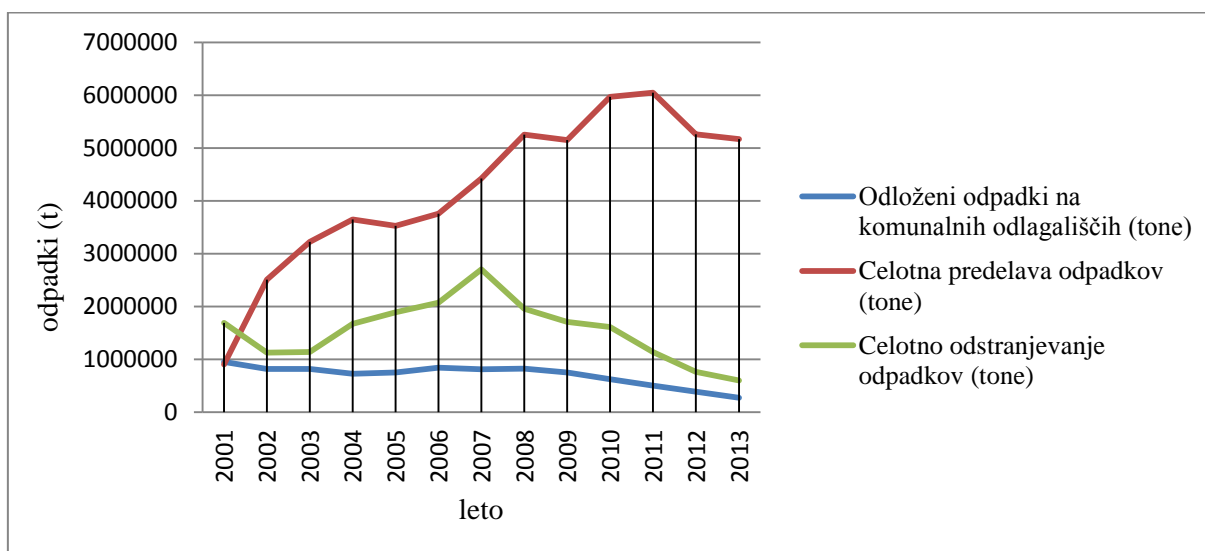
AEBIOM	evropsko združenje za biomaso
BPK	biokemijska potreba po kisiku
CČN	centralna čistilna naprava
EWC	evropski katalog odpadkov
HSE	holding slovenskih elektrarn
HRT	hidravlični zadrževalni čas
KPK	kemijska potreba po kisiku
OLR	organska obremenitev
OS	organska snov
ppm	število delcev na milijon
SS	suha snov
SŽP	stranski živalski proizvodi
VFA	hlapne maščobne kisline (HMK)

1 UVOD

Odpadki so na svetu eden glavnih okoljevarstvenih problemov. V nerazvitih delih sveta še vedno naraščajo količine odpadkov, v razvitih državah pa postopno padajo. V Sloveniji se v zadnjem obdobju bistveno izboljšuje ravnanje z odpadki. Glavni razlog za to so ustrezni predpisi, ki silijo prebivalstvo in gospodarske družbe, da zmanjšujejo količino nastalih odpadkov, jih vračajo v proizvodne procese, reciklirajo itd. Slovenski predpisi na področju ravnanja z odpadki morajo biti usklajeni z Direktivo 2008/98/ES o ravnanju z odpadki, ki ima naslednjo hierarhijo ravnanja z odpadki:

- preprečevanje nastajanja,
- priprava za ponovno uporabo,
- recikliranje,
- druga predelava (npr. energetska predelava),
- odstranjevanje.

Pri upoštevanju teh prioritete se v Sloveniji zmanjšuje količina odpadkov, ki jih odstranjujemo (odlaganje ali sežig zaradi uničenja), povečuje pa se količina predelanih odpadkov.



Grafikon 1: Trendi odlaganja, predelave in odstranjevanja odpadkov v Sloveniji (SURS, 2014)

V skladu z usmeritvami Direktive 2008/98/ES so postali tudi organski odpadki pomembna surovina za nadaljnjo predelavo ali energijsko izrabo. Predelava organskih odpadkov v bioplin je ena izmed možnih tehnoloških rešitev za njihovo izrabo. Odlaganje ali sežiganje zaradi uničevanja sta najnižje na hierarhični lestvici Direktive 2008/98/ES.

Anaerobna razgradnja je proces, ki poteka v odsotnosti kisika. Za ta proces je značilno vrenje, pri katerem nastaja bioplin, ki je vnetljiv in v povprečju sestavljen iz 60–65 % metana, 30–35 % ogljikovega dioksida ter manjših količin drugih plinov in elementov v sledih. Predelani substrat je bogat z makro in mikro hranili in je uporaben kot organsko gnojilo.

Cilj diplomske naloge je preveriti, koliko plina dobimo iz običajne koruzne silaže, predhodno obdelane silaže in odpadnega blata iz čistilne naprave. Meritve bodo opravljene na pilotnem reaktorju na Bioplinarni Nemščak. Diplomaska naloga ima dva namena:

1. ugotoviti ali ima predhodna obdelava silaže vpliv na količino in sestavo bioplina,
2. ugotoviti ali lahko z dodajanjem blata iz čistilne naprave zmanjšamo porabo koruzne silaže.

2 POTENCIAL BIOPLINA

2.1 Bioplin v Evropi in po svetu

Trg proizvodnje bioplina v zadnjem času raste z letno stopnjo od 20 do 30 %. Na področju bioplina v Evropi imajo največ izkušenj v Nemčiji in Avstriji ter na Danskem in Švedskem. V teh državah je proizvodnja bioplina deležna znatne vladne denarne pomoči in javne podpore. Poleg tradicionalnih surovin za anaerobno razgradnjo so v nekaterih državah vpeljali tudi rastline vzgojene za proizvodnjo bioplina. Take rastline imenujemo tudi energetske rastline. Za pridelavo teh rastlin so uvedli nove sisteme kolobarjenja in kombinirano gojenje pridelkov. Poleg tega razvijajo tudi nove digestorje, sisteme doziranja, skladiščenja in drugo opremo (Al Seadi, 2010).

Potencial biomase, ki jo lahko uporabimo za energijo, je zelo velik, vendar je danes izkoriščen le majhen del tega potenciala. Proizvodnjo energije iz biomase je tako možno znatno povečati. Največji potencial za rast proizvodnje energije izvira iz poljedelstva. Po podatkih Evropskega združenja za biomaso (AEBIOM) lahko za proizvodnjo energije uporabimo od 20 do 40 milijonov hektarjev zemlje, ne da bi pri tem prizadeli evropsko oskrbo s hrano. Nemški inštitut za energetiko in okolje trdi, da bi bilo mogoče z dovajanjem bioplina v plinovode nadomestiti celotno porabo zemeljskega plina (Al Seadi, 2010).

V Indiji in na Kitajskem se v zadnjem času veliko gradijo anaerobne čistilne naprave za čiščenje odpadnih voda, pri katerih se sprošča bioplin. Ta bioplin se nato energetske izrabljuje. To je bistveno drugačen pristop pri čiščenju odpadnih voda od tega, ki je uveljavljen v Evropi. Pri nas želimo čim več ogljika iz odpadne vode odstraniti v obliki CO₂, če ga ostane veliko v obliki blata, nam to predstavlja problem. Pri tem navadno ne razmišljamo o tem, da po nepotrebnem spuščamo v ozračje energetske prazen CO₂, ki je toplogredni plin. Če bi nastal pri čiščenju CH₄, bi ga nato s sežigom energetske izkoristili in bi šele nato izhajal v ozračje CO₂. Tudi blato, ki vsebuje veliko ogljika, se lahko energetske izrabljuje. Izrabljuje se lahko na ta način, da se posuši in predela v trdno gorivo ali pa se z digestijo v veliki meri odstrani iz blata ogljik v obliki bioplina.

2.2 Bioplin v Sloveniji

V Sloveniji se je začela proizvodnja bioplina proti koncu 80. let 20. stoletja. Prvi bioplinski napravi sta bili na prašičji farmi Ihan in komunalni napravi za čiščenje odpadnih voda. Do leta 2002 so pridobivali plin samo iz čistilnih naprav in z zajemanjem deponijskega plina na odlagališčih komunalnih odpadkov. Skupna moč v vseh napravah za čiščenje odpadnih voda je takrat znašala manj kot 1 MW.

Deponijski plin so zajemali v Ljubljani, Mariboru, Velenju, Celju in Izoli. V energetske namene so ga izkoriščali samo na deponiji Barje v Ljubljani. Na ostalih deponijah so ga sežigali na baklah. Skupna električna moč za izkoriščanje bioplina iz deponij je bila 1,2 MW.

Zanimanje za postavitev bioplinskih naprav se je izrazito povečalo po letu 2002, ko je bila sprejeta Uredba o pravilih za določitev cen in za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije (UL RS št. 25/2002:2025). Ta uredba je zagotavljala proizvajalcem električne energije višjo odkupno ceno oziroma premijo.

Po najnovejših podatkih poteka pridobivanje bioplina na sedmih centralnih čistilnih napravah: Domžale-Kamnik, Ptuj, Škofja loka, Kranj, Jesenice, Velenje in Beltinci. Skupna nazivna električna moč vseh sedmih naprav je 2,1 MW. Energetsko izkoriščanje deponijskega plina poteka na štirih odlagališčih komunalnih odpadkov: Ljubljana, Maribor, Celje in Kranj. Skupna električna moč teh treh naprav je 3,8 MW (Al Seadi, 2010).

Do leta 2002 je bila zgrajena in obratovala samo ena naprava za pridobivanje bioplina iz odpadkov v kmetijstvu (prašičja farma Ihan skupaj s CČN Domžale-Kamnik). Po sprejeti uredbi se je interes za gradnjo takšnih naprav povečal. Tako je v letu 2011 obratovalo več kmetijskih bioplinskih naprav s skupno električno močjo 22,4 MW (vir: Kazalci okolja Slovenije – ARSO, 2011):

- bioplinarna Farma Ihan – Ihan (0,9 MW),
- bioplinarna na kmetiji Flere – Letuš (0,12 MW),
- bioplinarna Nemščak – Panvita Ekoteh (1,5 MW),
- bioplinarna na kmetiji Kolar – Logarovci (1,0 MW),
- bioplinarna Motvarjevci – Panvita Ekoteh (0,8 MW),
- bioplinarna Jezera – Panvita Ekoteh (1,0 MW),
- bioplinarna Organica Nova – Bučočovci (4,0 MW),
- bioplinarna Lendava – Ecos d.o.o. (7,0 MW),
- bioplinarna Arnuš – Dolič (1,0 MW),
- bioplinarna Vargazon – Subetinci (1,0 MW),
- bioplinarna Jurša – Središče ob Dravi (1,0 MW),
- bioplinarna Biofutura – Ilirska Bistrica (1,1 MW),
- bioplinarna Gjerkeš – Dobrovnik (1,0 MW) in
- bioplinarna Petač – Zgornji Pirniči (1,0 MW).

Pridobivanje bioplina iz kuhinjskih bioloških odpadkov in odpadkov iz restavracij ter obdelava ločeno zbranih odpadkov iz gospodinjestev poteka na 5 bioplinskih napravah, katerih skupna električna moč znaša 4,2 MW:

- bioplinarna Koto – Ljubljana (0,5 MW),
- bioplinarna Bioenerg – Črnomelj (1,5 MW),
- bioplinarna Bioferm – Pivka-Neverke (1,5 MW),
- bioplinarna Papirnica Količevo – Količevo (0,5 MW) in
- bioplinarna Matevž Čokl s.p. – Ljubljana (0,18 MW).

Holding slovenskih elektrarn (HSE) je naročil študijo, v kateri je bil analiziran celoten potencial za pridobivanje bioplina v Sloveniji do leta 2012. Analizirani so bili 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 pridelavo in je mogoč takrat, ko bi bilo za kmetijska gospodarstva ugodneje prodati rastlinsko biomaso za proizvodnjo bioplina, kot pa za hrano za ljudi ali krmo za živali.

Pri izračunu potenciala so bili všteti naslednji substrati:

Živilska gnojila:

- gnojevka govedi in piščancev,
- kokošji gnoj brez nastilja in
- hlevski gnoj piščancev in puranov.

Rastlinska biomasa:

- njivske površine,
- glavni posevek (koruza, krmni sirek, sudanska trava, sončnice itd.), strniščni dosevek (sudanska trava, mnogocvetna ljuljka, grašljinka itd.) in
- trajni travniki.

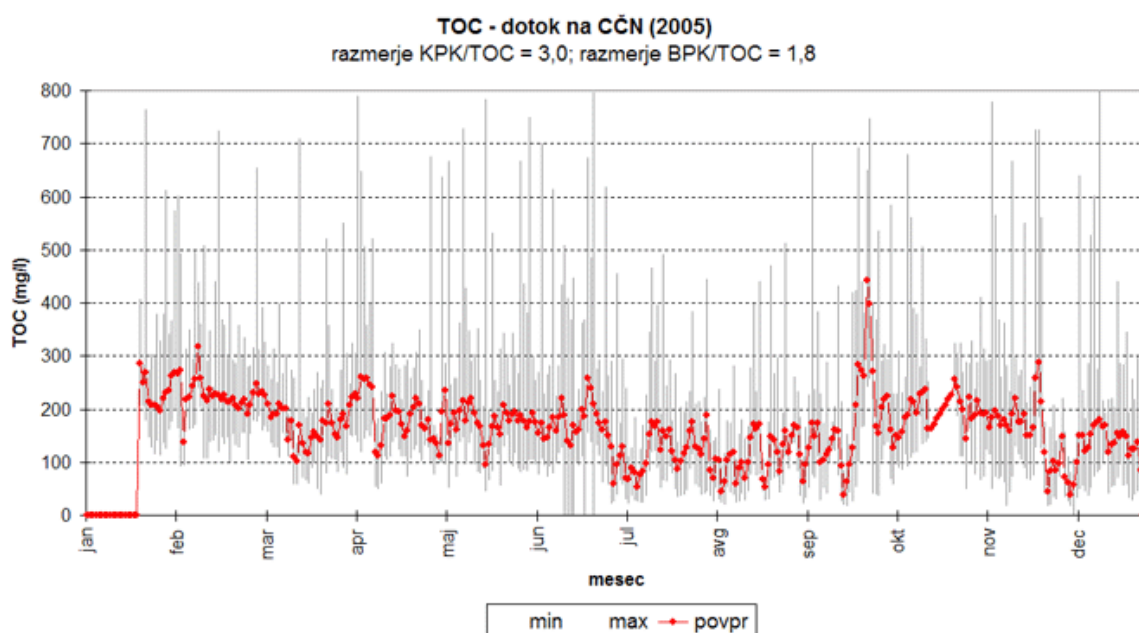
Ugotovljen potencial za proizvodnjo bioplina v kmetijstvu pri nas znaša:

- po prvem scenariju okrog 45 MW,
- po drugem scenariju okrog 62 MW in
- po tretjem scenariju okrog 78 MW.

3 PROIZVODNJA IN LASTNOSTI BIOPLINA

3.1 Proizvodnja bioplina

Anaerobno razgradnjo danes v veliki meri uporabljamo za predelavo živinskih odpadkov (gnoj in gnojevka), za proizvodnjo obnovljive energije in izboljšanja kakovosti gnojil. V nekaterih državah po svetu pa predstavlja znatni delež proizvodnje bioplina tudi čiščenje odpadnih voda. Na sliki 1 je prikazan delež ogljika v odpadni vodi na CČN Domžale v obliki TOC (totalni organski ogljik), ki lahko predstavlja potencial za proizvodnjo CH₄.



Slika 1: Delež ogljika v odpadni vodi na CČN Domžale

V zadnjem času se je povečalo tudi zanimanje za pridelavo energetskih rastlin, ki so kot surovina namenjene za proizvodnjo bioplina. Anaerobna presnova je prav tako standardizirana tehnologija za stabilizacijo primarnega in sekundarnega (aktivnega) blata iz komunalnih čistilnih naprav, ravnanje z industrijskimi odpadnimi vodami iz biomase, predelavo hrane in za obdelavo organske frakcije trdnih komunalnih odpadkov. Posebno poglavje predstavlja zajemanje bioplina na odlagališčih odpadkov. Proizvodnja bioplina iz komunalnih deponij je aktualna samo za obstoječe in stare komunalne deponije. Novi predpisi namreč omejujejo odlaganje organsko razgradljivih odpadkov.

Tako lahko proizvodnjo bioplina razdelimo na 4 podskupine: kmetijske bioplinske naprave, naprave za obdelavo organske frakcije komunalnih odpadkov, industrijske bioplinske naprave in proizvodnja deponijskega plina (Al Seadi, 2010).

3.1.1 Kmetijske bioplinske naprave

V kmetijskih bioplinskih napravah večinoma uporabljamo substrate, ki izvirajo iz kmetijstva (živalski gnoj in gnojevka, ostanki zelenjavnih pridelkov, stranski proizvodi in energetske rastline). Za večino kmetijskih bioplinskih naprav sta prašičji in goveji gnoj osnovni surovini. V zadnjem času pa se zvišuje število naprav, ki za pridobivanje biometana uporabljajo energetske rastline (koruza, sirek, tritikala, krmna repa itd.). Glede na velikost, lokacijo in funkcijo naprav za anaerobno razgradnjo, razdelimo naprave v tri kategorije (Al Seadi, 2010).

a) Družinske bioplinske naprave

Te naprave so običajno manjše (enodružinske) in jih postavljajo v ruralna okolja, in sicer v državah v razvoju. Glavne surovine so odpadki iz gospodinjstva in majhnih kmetij. Plin, proizveden na teh napravah, se najpogosteje uporablja za potrebe kuhanja in razsvetljave gospodinjstev. Digestorji so preprosti, robustni, poceni in brez inštrumentov za nadzor. Razgradnja poteka v psihofilnem in mezofilnem temperaturnem območju, saj veliko teh naprav deluje v toplem podnebnju in ni potrebno dodatno ogrevanje (Al Seadi, 2010).

b) Kmetijske bioplinske naprave

Bioplinska naprava na ravni kmetije je povezana z eno samo kmetijo in za razgradnjo uporablja surovine, ki so pridelane samo na tej kmetiji. Obstaja možnost, da kmetijska bioplinska naprava prejema surovine še iz ene ali dveh sosednjih kmetij, s katerima je povezana s cevovodom. Z namenom povečanja donosa bioplina, mnogi osnovnemu substratu dodajajo tudi manjše količine substratov, bogatih z metanom. Metanski donos energetskih rastlin je veliko večji kot metanski donos organskih odpadkov. Pri tem je potrebno upoštevati obratovalne stroške, stroške uporabe zemljišč in razpoložljivost rastlin. Razgradnja poteka pri konstantni temperaturi (pri mezofilnem procesu 38–40 °C in pri termofilnem procesu 55–60 °C). Reaktorji v katerih potekajo reakcije, so lahko vertikalni ali horizontalni. Opremljeni morajo biti z mešali, ki preprečijo nastajanje plavajočih plasti in usedlin ter zagotovijo mikroorganizmom vsa potrebna hranila. Predelani substrat se porabi kot gnojilo na njivskih površinah kmetije. Proizvedeni bioplina se porablja v plinskem generatorju za proizvodnjo električne energije in toplote. Od 10 do 30 % te energije in toplote se porabi za potrebe kmetije in potrebe delovanja bioplinske naprave. Ostala energija se proda podjetju za distribucijo električne energije, toplota pa lokalnim porabnikom (Al Seadi, 2010).

c) Centralizirane naprave s kofermentacijo

Sočasna razgradnja (kofermentacija) v centralizirani napravi je proizvodnja bioplina iz živalskega gnoja in gnojevke iz več kmetij. Naprava je postavljena v središče zbiranja substrata, zaradi zmanjšanja stroškov, časa in potrebne delovne sile za transport substrata do naprave. Zbrani substrat se

presnavlja skupaj z ostalimi primernimi substrati. Na kmetijah, ki so vključene v sistem, se gnojevka zbira v posebnih rezervoarjih za skladiščenje. Do bioplinske naprave jih prevažajo v tovornjakih s cisternami ali traktorskimi cisternami. Presnovljeni substrat se porabi kot gnojilo na poljih vključenih kmetij, a dobijo ga le toliko, koliko jim je dovoljeno uporabiti na njihovih poljih. Preostanek se proda kmetom, ki niso vključeni v sistem. Proces razgradnje potek pri mezofilnih in termofilnih pogojih. Centralizirana naprava prinaša veliko kmetijskih, okoljskih in ekonomskih koristi za kmete in družbo: poceni in okolju prijazno recikliranje gnoja, proizvodnja obnovljive energije, zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, izboljšana učinkovitost gnojenja, manj neprijetnosti z vonjavami in muhami ter ekonomske koristi za kmete. Večina centraliziranih naprav je naravnanih tako, da delujejo kot združna podjetja, kmetje pa nastopajo v vlogi delnih lastnikov. Največ takšnih naprav najdemo na Danskem (Al Seadi, 2010).

3.1.2 Naprave za obdelavo trdnih komunalnih odpadkov

V mnogih državah še vedno zbirajo in sežigajo ali odlagajo trdne komunalne odpadke, kar prinaša izgubo energije in hranil. Iz teh odpadkov namreč lahko izločimo organski del, ki ga lahko uporabimo kot surovino za anaerobno razgradnjo. V Evropski uniji sežig komunalnih odpadkov ni več dovoljen. Pri določanju najprimernejše metode obdelave odpadkov, so najpomembnejše lastnosti odpadka. Gospodinjski odpadki so običajno preveč mokri in niso primerni za aerobno kompostiranje. So pa odlična osnova za anaerobno razgradnjo. Lesni odpadki vsebujejo visok delež lignoceluloznih snovi in so bolj primerni za pridobivanje komposta.

Cilj takšnih naprav je zmanjšati tok organskih odpadkov v druge sisteme, kot je odlagališče ter jih preusmeriti v recikliranje in nazaj do kmetijskega sektorja. Proizvodnja bioplina na tak način ima velik potencial. Po svetu že obratuje nekaj sto takih naprav. Organske gospodinjske odpadke lahko uporabimo tudi v napravah s kofermentacijo, kjer jih pomešamo z gnojem in gnojevko (Al Seadi, 2010).

3.1.3 Industrijske bioplinske naprave

Anaerobne procese uporabljamo tudi za ravnanje s tehnološkimi odpadki in industrijsko odpadno vodo. Danes je anaerobna razgradnja standardna tehnologija za obdelavo različnih odpadnih vod iz prehranske, kmetijske in farmacevtske industrije. Lahko jo uporabimo tudi kot predhodno obdelavo obremenjenih tehnoloških odplak.

Med industrijo, ki uporablja anaerobno razgradnjo za obdelavo odpadkov, spada: predelava hrane (konzerviranje hrane, pridelovanje mleka in sira, odpadki iz klavnic, predelovanje krompirja), industrija pijač (pivovarne, brezalkoholne pijače, žganjarne, kava, sadni sokovi) in industrijski proizvodi (papir in karton, guma, kemikalije, škrob).

Prednosti, ki jih prinašajo industrijske bioplinske naprave:

- dodana vrednost z recikliranjem hranil in zmanjšanje stroškov za odstranjevanje odpadkov,
- bioplin se uporablja za pridobivanje procesne toplote,
- obdelava odpadkov izboljša okoljski videz industrije in
- nastali produkti se lahko ponovno uporabijo (odpadek se lahko predela v specialne produkte, očiščena odpadna voda se lahko uporabi).

Zaradi povečevanja cen alternativ odstranjevanja in obdelave odpadkov, lahko pričakujemo povečano uporabo industrijskih bioplinskih naprav (Al Seadi, 2010).

3.1.4 Proizvodnja deponijskega plina

Zajem plina na odlagališčih je nujen, ker s tem zmanjšujemo emisije metana in drugih plinov, ki nastajajo na odlagališču. Deponijski plin ima podobno sestavo kot bioplin (50–70 % metana, 30–50 % ogljikovega dioksida) in je poceni vir energije. Praviloma vsebuje tudi toksične pline, odvisno od odpadnih snovi na odlagališču (NH_3 , H_2S , merkaptani, tiofeni itd.). Količino plina lahko povečamo z mletjem odpadkov, dobrim zračnim tesnjenjem in ravnanjem z odlagališčem kot bioreaktorjem. Zbiranje plina pa pripomore k hitrejši stabilizaciji odlagališča. Ustrezno odvajanje bioplina pripomore k hitrejši stabilizaciji odlagališča, saj z odvodom nastalih produktov vplivamo na potek biokemijskih reakcij. S tem lahko vplivamo tudi na sestavo bioplina.

Odlagališča so običajno odmaknjena od prebivalstva, zato se plin uporablja za pridobivanje elektrike in ogrevanje upravnih stavb (Al Seadi, 2010).

3.2 Lastnosti bioplina

Na lastnosti bioplina vpliva vrsta in sestava surovin, sistem naprave, zadrževalni čas, temperatura obratovanja in drugi dejavniki. Količina energije je pogojena z vsebnostjo metana. Gostota bioplina je približno $1,2 \text{ kg/m}^3$ pri 65 % deležu metana. Kurilna vrednost se giblje med 4 in 8 kWh/m^3 . Vnetišče ima pri približno $700 \text{ }^\circ\text{C}$.

V primerjavi z zemeljskim plinom ima bioplina nižjo kurilno vrednost. To je posledica večjega deleža metana in manjšega deleža ogljikovega dioksida v zemeljskem plinu. Preglednica 1 prikazuje povprečno sestavo bioplina, nastalega z anaerobno presnovo.

Preglednica 1: Sestava bioplina (Al Seadi, 2010)

Zmes	Kemijski simbol	Volumski delež [%]
metan	CH ₄	50–75
ogljikov dioksid	CO ₂	25–45
dušik	N ₂	<2
kisik	O ₂	<2
vodikov sulfid	H ₂ S	<1

Na vsebnost metana in ogljikovega dioksida vplivajo proteini, maščobe in ogljikovi hidrati v substratu. Preglednica 2 prikazuje teoretične donose plinov.

Preglednica 2: Teoretični donosi plina (Al Seadi, 2010)

Substrat	Liter plina / kg SS	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]
surovi proteini	700	70–71	29–30
surova maščoba	1200–1250	67–68	32–33
ogljikovi hidrati	790–800	50	50

Biokemična sestava različnih substratov vpliva na donos metana in bioplina. Pri izbiri surovin pazimo, da so lokalno dostopne in porabimo tiste surovine, za katere moramo nekemu plačati, da jih odpelje. Preglednica 3 prikazuje donos metana in bioplina različnih surovin, ki jih uporabljamo pri anaerobni razgradnji.

Preglednica 3: Donos metana in bioplina iz različnih surovin (Al Seadi, 2010)

Surovina	Donos metana [%]	Donos bioplina [m³/t svežega substrata]
goveja gnojevka	60	25
prašičja gnojevka	65	28
žitni ostanki iz destilacije	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

4 ANAEROBNA PRESNOVA

Anaerobna razgradnja je proces, ki poteka v odsotnosti kisika. Za ta proces je značilno vrenje, ki je pogojeno z delovanjem bakterij v vodnem mediju. Pri tem postopku nastaja bioplina, ki je v povprečju sestavljen iz dveh tretjin metana in ene tretjine ogljikovega dioksida ter ostalih plinov (H_2 , CO , H_2S). Za optimalen izkoristek plina je potrebno brezhibno delovanje sistema, temeljita priprava vstopnih materialov, dobra tehnična opremljenost in dobro vodenje postopka (Panjan, 2002).

Mikroorganizmi razkrajajo kompleksne organske substrate (zelena biomasa in odpadki, živalska gnojevka in blato, organski odpadki in odplake, kanalizacijska gošča) v bioplina in presnovljeni substrat. Razgradnja največkrat poteka s kodigestijo. O kodigestiji govorimo takrat, ko je vhodni substrat mešan iz dveh ali več vrst surovin (npr. živalsko blato in odpadki iz prehranske industrije).

4.1 Substrati za anaerobno razgradnjo

Običajno kot vhodni substrat za proizvodnjo bioplina z anaerobno razgradnjo, uporabljamo naslednje vrste biomase:

- živalska gnojevka in blato,
- kmetijski ostanki in stranski proizvodi,
- organski odpadki iz prehranske in kmetijske industrije (odpadki rastlinskega in živalskega izvora),
- kanalizacijska gošča,
- organski del komunalnih in gostinskih odpadkov (odpadki rastlinskega in živalskega izvora) ter
- namensko pridelane energetske rastline (npr. koroza, sirek, tritikala, detelja, sudanska trava).

Prednosti uporabe živalske gnojevke in gnoja za anaerobno razgradnjo so:

- naravno vsebujeta anaerobne bakterije,
- imata visoko vsebnost vode, delujeta kot topilo za ostale substrate in zagotavljata ustrezno mešanje ter tekočnost mase in
- sta poceni, lahko dostopna, saj se zbirata kot odpadka pri živinoreji.

Agencija za varstvo okolja (Environmental Protection Agency) je leta 2002 objavila izčrpen seznam organskih odpadkov, ki so primerni za biološko obdelavo z anaerobno razgradnjo za pridobivanje bioplina (Priloga C). Substrate za anaerobno razgradnjo lahko razvrstimo glede na njihov izvor, donos bioplina, vsebnost suhe snovi in druge kriterije, kar prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Značilnosti nekaterih substratov (Al Seadi, 2003)

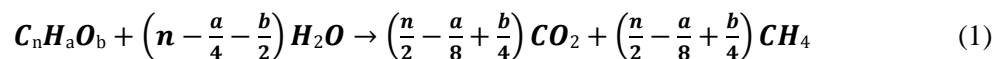
Substrat	Organska vsebina	Razmerje C/N	% suhe snovi	% organske snovi	Donos bioplina [m ³ /kg]	Nezaželene fizične nečistoče	Druge nezaželene snovi
prašičja gnojevka	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3–10	3–8	70–80	0,25–0,50	žagovina, ščetine, voda, pesek, slama	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
goveja gnojevka	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	6–20	5–12	80	0,20–0,30	ščetine, prst, voda, slama, les	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
perutninski gnoj	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3–10	10–30	80	0,35–0,60	prod, pesek, perje	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
črevesna vsebina	ogljikovi hidrati, proteini, lipidi	3–5	15	80	0,40–0,68	živalsko tkivo	antibiotiki, sredstva za dezinfekcijo
sirotka	70–80 % laktoza, 20–25 % proteini	n/a	8–12	90	0,35–0,80	nečistoča od prevoza	
konc. sirotka	70–80 % laktoza, 20–25 % proteini	n/a	20–25	90	0,80–0,95	nečistoča od prevoza	
plavajoča gošča	65–70 % laktoza, 30–35 % proteini					živalsko tkivo	težke kovine, org. onesnaževalci, sredstva za dezinfekcijo
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	15–25	75	0,25–0,50		
ostanki hrane			10	80	0,50–0,60	kosti, plastika	sredstva za dezinfekcijo
org. gospodinjski odpadki						plastika, kovine, kamenje, les, steklo	težke kovine, org. onesnaževalci
kanalizacijska gošča							težke kovine, org. onesnaževalci

Substrate lahko razdelimo tudi glede na vsebnost suhe snovi. Tiste substrate, ki imajo delež suhe snovi manjši od 20 % uporabljamo za mokro razgradnjo. Sem spadajo živinski gnoj in gnojevka ter različni mokri organski odpadki iz prehranske industrije. Če vsebnost suhe snovi doseže 35 % pa govorimo o suhi razgradnji (energetske rastline in silaža). Pri izbiri vrste in količine surovin za anaerobno razgradnjo moramo paziti na vsebnost suhe snovi, vsebnost sladkorjev, lignina, celuloze in hemiceluloze (Al Seadi, 2010).

Za optimalno proizvodnjo bioplina je zelo pomembno razmerje C/N posameznega substrata. Razmerje vpliva na izbiro vstopnih surovin. Bakterije porabljajo ogljik 20–30 krat hitreje kot dušik. Zato je pričakovano optimalno razmerje za proizvodnjo bioplina C/N 25 – 30 : 1. Poleg razmerja C/N je treba upoštevati še druge elemente, kot so: fosfor, natrij, kalij in kalcij. Človeški in živalski odpadki imajo razmerje C/N nižje od optimalnega, zato jih moramo mešati z ostalimi substrati, ki imajo višje razmerje (npr. rastlinska odpadna masa). Pri uporabi rastlinske odpadne mase pa lahko pride do tvorbe skorje v reaktorju, saj rastlinski ostanki priplavajo na površje vsebine reaktorja (Zver, 2009).

Nekateri substrati lahko vsebujejo kemične, biološke in fizične vire okužb. Živinski gnoj in gnojevka ter zelenjavni odpadki so lahko na primer okuženi z rastlinskimi ali živalskimi povzročitelji bolezni. Odpadki živalskega izvora so še posebej nevarni. Uredba o določitvi zdravstvenih pravil za živalske stranske proizvode, ki niso namenjeni prehrani ljudi št. 1774/2002, ki jo je izdal Evropski parlament, postavlja zdravstvene zahteve glede uporabe in ravnanja z živalskimi stranskimi proizvodi. V uredbi so določene minimalne zahteve in meritve, ki jih je treba izvesti pred obdelavo v bioplinskih napravah (Al Seadi, 2010).

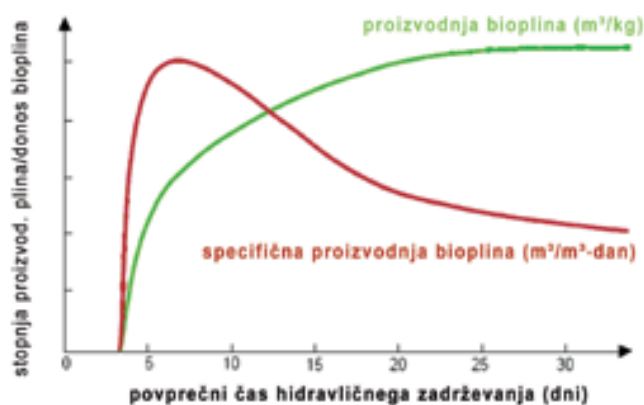
Produkcija metana iz organsko razgradljivih substratov je v glavnem odvisna od deleža do metana razgradljivih organskih snovi v anaerobnih razmerah pri določenih temperaturah. Za izplen metana pri vhodnih substratih sta pomembna dva faktorja: sestava in biološka razgradljivost. Teoretično lahko metanski potencial izračunamo s pomočjo Bushwellove formule:



Pri tem so a, b in n število atomov glede na vrsto organske snovi. Proizvodnjo metana v obliki obremenitve z organsko snovjo ($dm^3 CH_4/kg OS$), ko gre čas proti neskončnosti, imenujemo končni donos metana. Le-ta bo vedno nižji od teoretičnega donosa, saj se del substrata porabi za sintezo bakterijske mase, sestavine, ki vsebujejo lignin pa se razgradijo samo do določene stopnje (Kolbl, 2013).

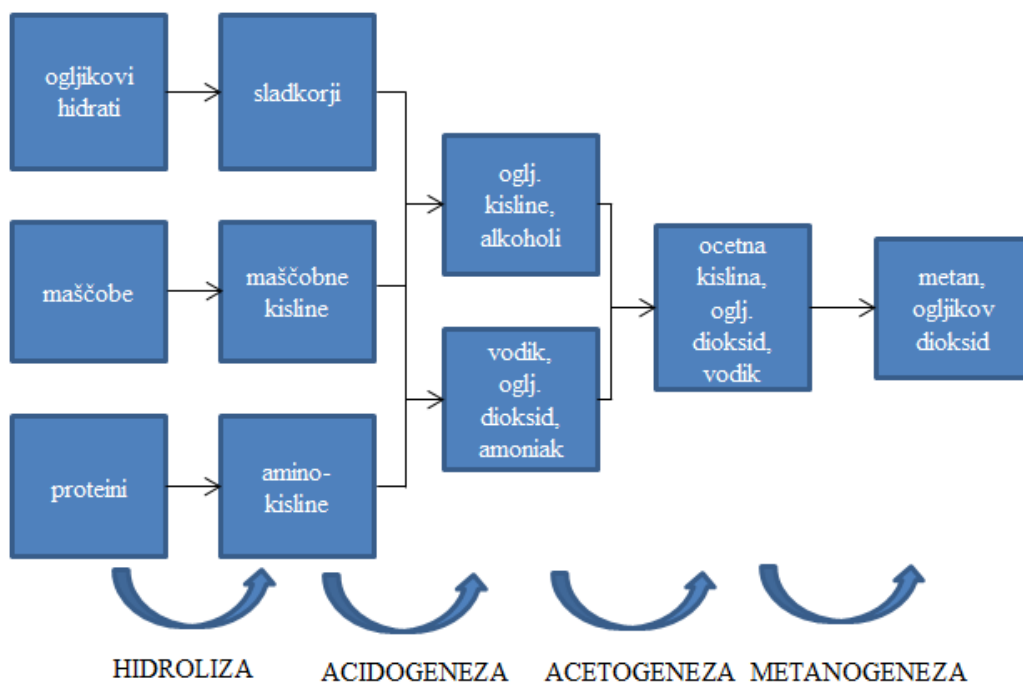
4.2 Biokemični procesi

Pri anaerobni razgradnji bioplin nastaja kot posledica povezanih procesnih korakov, pri katerih se prvotna snov stalno deli na manjše enote. V vsakem koraku razkrajanja so prisotne specifične skupine mikroorganizmov. Ti organizmi razkrajajo proizvode prejšnjih korakov. Proces anaerobne razgradnje povzamejo štirje osnovni procesi: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza in metanogeneza. Med hidrolizo nastaja relativno malo bioplina. Največ se ga proizvede med metanogenezo. Slika 2 prikazuje povezavo med donosom bioplina in časom hidravličnega zadrževanja med metanogenezo.



Slika 2: Proizvodnja bioplina po dodanem substratu (Al Seadi, 2010)

Na sliki 3 je prikazana poenostavljena shema procesa anaerobne razgradnje (Al Seadi, 2003).



Slika 3: Shema procesa anaerobne razgradnje (Al Seadi, 2003)

4.2.1 Hidroliza

Hidroliza je prvi korak anaerobne razgradnje, med katero se kompleksne organske snovi razkrajajo v manjše enote. Polimeri, kot so ogljikovi hidrati, maščobe, proteini in nukleinske kisline, se pretvorijo v glukozo, glicerol, aminokisline idr. V primerih, ko se presnavlja substrat, ki vsebuje celulozo, hemicelulozo ali lignin, hitrost procesa določa hidroliza (Al Seadi, 2003). Obstajajo tri glavne poti encimske hidrolize (Kolbl, 2014):

- Mikroorganizmi izločajo encime v tekočino, kjer se ti adsorbirajo na delce ali reagirajo s topnimi substrati.
- Mikroorganizmi se pritrdijo na delce in izločajo encime v svoji neposredni bližini.
- Mikroorganizem ima pripet encim, ki se lahko podvoji kot transportni receptor v notranjost celice. Pri tem se mora mikroorganizem adsorbirati na površino trdnega delca.

4.2.2 Acidogeneza

Med postopkom acidogeneze se pretvarjajo proizvodi hidrolize v metanogene substrate. Enostavni sladkorji, aminokisline in maščobne kisline razpadejo v acetat, ogljikov dioksid, vodik (70 %), hlapne maščobne kisline (HMK) in alkohole (30 %).

4.2.3 Acetogeneza

Naslednja stopnja pretvorbe je acetogeneza. Produkti, ki so nastali v fazi acidogeneze, služijo kot substrat v acetogenezi za acetogene bakterije. Organske kisline in alkoholi se z anaerobno oksidacijo pretvorijo v acetat (organske snovi z lihimi številom v verigi v propionat). Vodikovi ioni se porabijo za proizvodnjo vodika v plinski obliki, bikarbonatni ioni pa za proizvodnjo formata. Vodik in ogljikov dioksid se s pomočjo homoacetogenih bakterij pretvorita v acetat (Kolbl, 2014).

4.2.4 Metanogeneza

Četrta stopnja se imenuje metanogeneza, pri kateri pride do tvorbe metana v anaerobnih pogojih. Ogljik iz biomase se pretvori v ogljikov dioksid in metan. Metan se tvori na dva načina: z razkrojem očetne kisline in redukcijo ogljikovega dioksida. Ob odsotnosti vodika se pri razkroju očetne kisline ustvari metan in ogljikov dioksid. Metilna skupina (CH_3) očetne kisline se reducira v metan, medtem

ko karboksilna skupina (COOH) oksidira v ogljikov dioksid. Ko je vodik na voljo, se metan ustvari iz redukcije ogljikovega dioksida (Kolbl, 2014).

Metanogeneza je ključna stopnja v procesu razgradnje. Nanjo vpliva sestava substrata, hitrost dovajanja substrata, temperatura in vrednost pH.

4.3 Parametri anaerobne razgradnje

Učinkovitost in potek anaerobne razgradnje sta odvisna od ključnih parametrov (odsotnost kisika, temperatura, vrednost pH, hlapne maščobne kisline, amonijak, zadrževalni čas, organska obremenitev). Optimalen potek razgradnje vodi do maksimalnega izplena bioplina. Zato je zelo pomembno, da ustvarimo primerne pogoje za anaerobne mikroorganizme.

4.3.1 Temperatura

Eden izmed najbolj pomembnih dejavnikov, ki vplivajo na rast mikrobov, je temperatura. Mikroorganizmi niso sposobni nadzorovati notranje temperature, zato je temperatura notranjosti mikroorganizma odvisna od temperature okolice (Kolbl, 2014). Poznamo tri temperaturna območja, pri katerih poteka anaerobna razgradnja (psihofilno, mezofilno in termofilno). Med temperaturo procesa in časom zadrževanja obstaja neposredna povezava, ki jo prikazuje preglednica 5.

Preglednica 5: Temperaturna območja in čas zadrževanja pri anaerobni razgradnji (Al Seadi, 2010)

Temperaturno območje	Temperatura procesa	Čas zadrževanja
psihofilno	<20 °C	70–80 dni
mezofilno	30–42 °C	30–40 dni
termofilno	43–55 °C	15–20 dni

Večina anaerobnih reaktorjev je narejenih za mezofilno temperaturno območje, čeprav lahko delujejo tudi v termofilnem območju. Termofilni proces ima v primerjavi s psihofilnim in mezofilnim številne prednosti (Al Seadi, 2010):

- učinkovito uničenje patogenov,
- krajši zadrževalni čas (hitrejši in bolj učinkovit proces),
- boljša razgradnja,
- boljše izkoriščanje substratov in
- boljša možnost ločevanja tekočega ter trdega dela substrata.

Slabosti termofilnega procesa so:

- visoka stopnja neuravnoveženosti,
- visoke zahteve po energiji zaradi višjih obratovalnih temperatur in
- višje tveganje zaradi višje toksičnosti amonijaka.

Celoten sistem je zelo občutljiv na nenadne temperaturne spremembe. Zato morajo biti te spremembe znotraj ± 2 °C/dan. Pri večjih nihanjih pride do neravnovesja med mikrobnimi procesi in s tem do slabše anaerobne razgradnje in posledično manjše količine proizvedenega metana (Kolbl, 2014).

4.3.2 Vrednost pH

Vpliv vrednosti pH na proces anaerobne razgradnje poteka na dva načina (Kolbl, 2014):

- direktno: sprememba pH lahko spremeni beljakovinsko strukturo encimov in tako vpliva na encimsko aktivnost ter
- posredno: vpliv na toksičnost številnih sestavin (npr. amonijak).

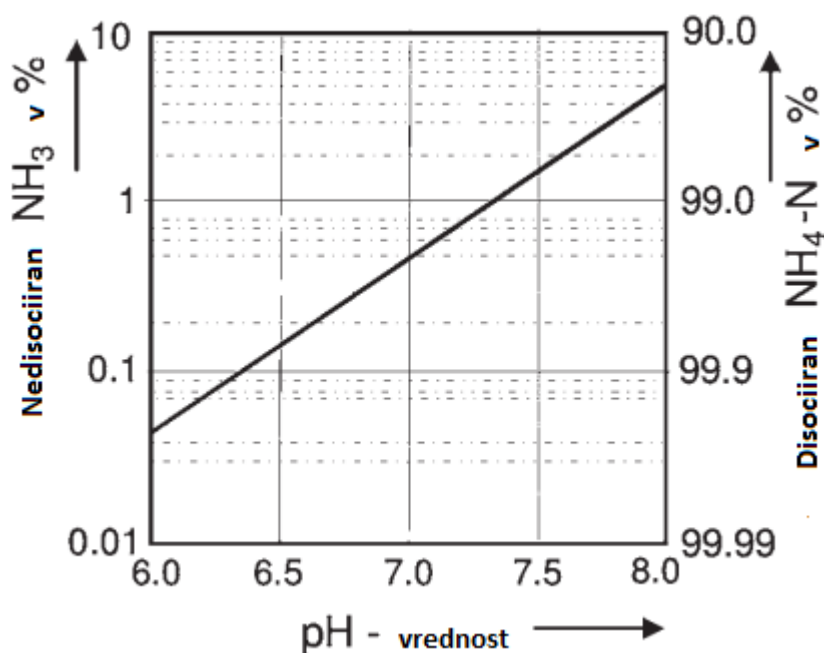
Za optimalno rast metanogenih mikroorganizmov potrebujemo vrednost pH med 6,6 in 7,4. Višja ali nižja vrednost pH od optimalne močno ovira proces anaerobne razgradnje. pH v reaktorju anaerobne razgradnje je odvisen od vrste mikroorganizmov in vrste substrata. Nadzorovanje vrednosti pH je zelo pomembno, saj lahko pride do kopičenja maščobnih kislin, ki zavirajo proces tvorjenja metana. Vrednost pH lahko poviša amonijak, ki je nastal med razgradnjo proteinov ali prisotnost amonijaka v dotoku materiala. Zmanjša pa jo lahko akumulacija hlapnih maščobnih kislin (Al Seadi, 2010).

4.3.3 Hlapne maščobne kisline

Hlapne maščobne kisline (angl. volatile fatty acids – VFA) so biološke molekule, ki nastajajo med acidogenezo. Če je koncentracija teh kislin previsoka, imajo lahko negativen vpliv na proces anaerobne razgradnje. Koncentracija hlapnih maščobnih kislin je odvisna od karakteristik substrata in ravnotežja med acidogenimi in metanogenimi mikroorganizmi. Običajno jo izrazimo kot mg $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{l}$. Povečana koncentracija hlapnih maščobnih kislin je lahko pokazatelj neravnovesja v sistemu in slabšega delovanja metanogene faze anaerobne razgradnje. Sestava populacij bakterij se od enega do drugega reaktorja za anaerobno razgradnjo razlikuje, zato je za vsak reaktor optimalna drugačna koncentracija hlapnih maščobnih kislin.

4.3.4 Amonijak, elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi

Glavni viri amonijaka so proteini. Povečana koncentracija amonijaka povzroča zaviranje procesa anaerobne razgradnje. Koncentracija amonijaka je v neposrednem razmerju s temperaturo tako, da obstaja povečano tveganje zaviranja procesa razgradnje, ki poteka v termofilnem temperaturnem območju (Al Seadi, 2010).



Grafikon 2: Razmerje $\text{NH}_4\text{-N}$ in NH_3 kot funkcija pH (Deublein, 2008)

Ravnotežje med NH_4^+ in NH_3 je odvisno od temperature. Z večanjem temperature se ravnotežje med NH_4 in NH_3 pomakne proti NH_3 tako, da se zaviranje povečuje z večanjem temperature (Deublein, 2008). Preglednica 6 prikazuje mejne koncentracije za NH_4^+ in NH_3 .

Preglednica 6: Mejne koncentracije za NH_4^+ in NH_3 (Deublein, 2008)

Ime	Kemijska formula	Koncentracije pri katerih se začne zaviranje [mg/L]
Amonijev ion	NH_4^+	1500–10000
Amonijak	NH_3	80

Tudi elementi v sledih so pomembni za rast in preživetje bakterij v reaktorju. Najpogostejši elementi, ki jih najdemo v sledih, so: železo, nikelj, kobalt, selen, molibden in volfram (Deublein, 2008).

Nezadostna preskrba s hranilnimi snovmi in elementi v sledih lahko povzročijo zaviranje ter motnje procesa anaerobne razgradnje. Optimalno razmerje hranil (ogljik, dušik, fosfor in žveplo) je 500-1000:15-20:5:3 (C:N:P:S) (Deublein, 2008).

Toksične zmesi pridejo v sistem anaerobne fermentacije skupaj s surovinami ali nastanejo med samim procesom. Toksične zmesi lahko nadzorujemo z naslednjimi metodami (McCarty):

- odstranimo toksično snov iz digestata,
- razredčimo mešanico, da koncentracija strupenih snovi pade pod dovoljen prag ali
- strupenost zmanjšamo z drugim materialom.

4.3.5 Organska obremenitev in zadrževalni čas v anaerobnem reaktorju

Obremenitev anaerobnega reaktorja z organskimi snovmi se nanaša na maso organskih snovi, ki jih vsak dan doziramo, deljeno z delovnim volumnom reaktorja. Organsko obremenitev zapišemo kot kg OS/dan.m³. Običajno določimo maksimalno obremenitev reaktorja (glede na maksimalno mesečno ali tedensko produkcijo organskih snovi) in se s tem izognemo preobremenitvi. Tipična maksimalna obremenitev z organskimi snovmi v primeru uporabe blata iz komunalnih čistilnih naprav je med 1,9 in 2,5 OS kg/dan.m³. Premajhna organska obremenitev poveča stroške gradbenega dela (velik volumen anaerobnih reaktorjev) in obratovanja (premalo plina, da bi sistemu zagotovili dovolj toplote za ogrevanje) (Kolbl, 2014). Organsko obremenitev v reaktorju (OLR) izračunamo po enačbi (Wellinger, 2013):

$$OLR \left(\text{kg} \frac{\text{OS}}{\text{m}^3} \cdot \text{dan} \right) = \frac{Vnos \text{ substrata} \left[\frac{\text{kg}}{\text{dan}} \right] * SS [\%] * OS [\% SS]}{volumen \text{ reaktorja} [\text{m}^3]} \quad (2)$$

Zadrževalni čas je pomemben dejavnik pri načrtovanju dimenzij reaktorja. Zadrževalni čas je povprečen časovni interval, ko se substrat nahaja v reaktorju. Izračunamo ga glede na prostornino reaktorja in volumen substrata, naloženega v časovni enoti. Povečevanje zadrževalnega časa povečuje obseg reakcij, ki potekajo med anaerobno razgradnjo (hidroliza, tvorjenje kislin, tvorjenje metana). Zmanjševanje zadrževalnega časa pa zmanjšuje obseg reakcij. Za normalen potek anaerobne razgradnje moramo zagotoviti vsaj minimalni zadrževalni čas. Tako lahko bakterije rastejo dovolj hitro, da potečejo vse reakcije in se proces ne ustavi (Kolbl, 2014). Hidravlični zadrževalni čas (HRT) izračunamo po enačbi (Wellinger, 2013):

$$HRT \text{ (dni)} = \frac{Volumen \text{ reaktorja} [\text{m}^3]}{Vnos \text{ substrata} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{dan}} \right]} \quad (3)$$

4.4 Uporaba predelanega substrata

Po zaključenem procesu anaerobne razgradnje nam še vedno ostane predelani substrat, ki ima nekoliko spremenjene lastnosti. Reakcije, ki potekajo v reaktorju anaerobne razgradnje, zmanjšujejo prostornino substrata 30–60 %. Nastala brozga je primerna za gnojenje. Prevreti substrat ima kljub doseženi stopnji stabilizacije veliko nevarnost razširjanja kužnih bolezni. Anaerobna razgradnja hranil iz kmetijskih in gospodinjstvih odpadkov ne odstrani, ampak jih naredi lažje dostopne za rastline. Po končani razgradnji je najmanj 50 % dušika v obliki raztopljenega amonijaka, ki pa se v nadaljnjem procesu nitrifikacije pretvori do nitrata. Vsebnost fosfata se med procesom ne spremeni in njegova dosegljivost ostane med 50 in 80 %. Med procesom anaerobne razgradnje so odpadki izpostavljeni temperaturi okrog 35 °C za časovno obdobje od 15 do 50 dni (Zver, 2009). To je dovolj za 65–90 % uničenje bakterij (*Salmonella*), zmanjšanje populacije streptokokov in virusov ter za skoraj popolno uničenje parazitov (npr. *Ascaris*, *Entamoeba* in *Schistostoma*) (Stafford in sod., 1981; cit. po Sorensen, 2000). Prednosti predelanega substrata sta še zmanjšanje intenzivnih vonjav in zmanjšanje emisij toplogrednih plinov med skladiščenjem ter raztrosom po kmetijskih površinah.

Brozga, ki zapusti reaktor, vsebuje 1–2 % suhe snovi. Sestavine predelanega substrata so kljub nekaterim razlikam zelo podobne substratu, ki vstopa v anaerobni proces. Najpogosteje predelani substrat raztrosimo po kmetijskih površinah. Ta gnoj povečuje zadrževalno sposobnost tal za vodo, izboljšuje aeracijo, blaži učinke vodne in vetrne erozije, spodbuja rast koristnih organizmov in ohranja rodovitnost tal. Vendar lahko pretirana uporaba tega gnoja, poveča akumulacijo topnih soli v tleh (zlasti v suhih območjih). Ekonomsko vrednost predelanega substrata lahko izračunamo iz dušika, fosforja in kalija, ki so v njem dosegljivi (Zver, 2009). Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (UL RS št. 62/08) predpisuje mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v tleh, na ali v katere se vnaša obdelano blato, mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v obdelanem blatu ter mejne vrednosti letnega vnosa težkih kovin.

Odstotek presnovljenih snovi se med govejim in prašičjim gnojem razlikuje. V praksi znaša odstotek razkroja organskih snovi pri govejim gnoju okoli 40 %, pri prašičjem pa okoli 65 %. Odstotek razkroja je odvisen od vrste vhodnega substrata, zadrževalnega časa in obratovalne temperature. Preglednica 7 prikazuje vsebnost hranil presnovljenega substrata v primerjavi z govejim in s prašičjim gnojem (Al Seadi, 2010).

Preglednica 7: Vsebnost hranil presnovljenega substrata v primerjavi z govejim in s prašičjim gnojem (Al Seadi, 2010)

	Suha snov [%]	Skupaj N [kg/tono]	NH ₄ -N [kg/tono]	P [kg/tono]	K [kg/tono]	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

Presnovljeni substrat ima nižje razmerje C/N v primerjavi s svežim gnojem, je bolj homogen in ima izboljšano razmerje N/P. Ker poznamo vsebnost hranil, ga lahko natančno odmerimo za gnojenje in brez težav vključimo v gnojilni načrt. Vsebuje tudi več anorganskega dušika, ki je rastlinam lažje dostopen. Presnovljen substrat se zaradi boljše tekočnosti hitreje vpije v tla kot svež hlevski gnoj. Vendar obstaja tveganje za izgubo dušika z emisijami amonijaka in izpiranjem nitratov. Tveganje lahko zmanjšamo z upoštevanjem preprostih pravil dobrega kmetovanja (Al Seadi, 2010):

- izogibati se je treba prepogostemu mešanju presnovljenega substrata pred uporabo,
- pred nanosom se mora substrat ohladiti,
- nanašamo ga s pomočjo vlečnih cevi, z neposrednim vbrizgom v tla ali z uporabo razpršilne plošče,
- nanašamo ga na začetku sezone ali med sezono rasti,
- optimalne vremenske razmere za nanos presnovljenega substrata so dež, visoka vlaga in brez vetra.



Slika 4: Vnos presnovljenega substrata z neposrednim vbrizgom v tla

(vir: <http://www.toreuse.com/joskin-x-trem-18-500/>)

5 PREDSTAVITEV BIOPLINARNE NEMŠČAK

Panvita Ekoteh d.o.o. je ena od družb iz Skupine Panvita. Družba je bila ustanovljena leta 2004 z namenom izgradnje in upravljanje bioplinarn ter skrbi za okoljske procese v skupini Panvita. Panvita Ekoteh upravlja tri bioplinarne: Nemščak, Motvarjevci in Jezera. V letu 2013 je bilo skupaj proizvedeno 22968,3 MWh električne energije in 6658,9 MWh toplotne energije. Toplotna energija se uporablja za potrebe ogrevanja prašičje farme Nemščak, piščančje farme Motvarjevci, za ogrevanje naselja Jezera in za ogrevanje Splošne bolnišnice Murska Sobota.

Panvita Ekoteh d.o.o. je kot investitor na lokaciji farme Nemščak zgradil bioplinarno za proizvodnjo bioplina iz prašičje gnojevke, koruzne silaže in stranskih živalskih proizvodov (SŽP II. in SŽP III. kategorije) ter energetski center za kogeneracijo toplotne in električne energije iz bioplina. Električna moč kogeneracije znaša 1,46 MW. Toplotna energija iz kogeneracije se uporablja za ogrevanje gnilišč bioplinarne, za ogrevanje obratne in upravne stavbe bioplinarne, za pripravo pare za sterilizacijo stranskih živalskih proizvodov in za ogrevanje hlevov bližnje farme Nemščak. Namen izgradnje bioplinarne je, da se večina stranskih produktov, ki nastajajo v proizvodnji gospodarske družbe Panvita d.d., predela in izkoristi na okolju prijazen način. Za surovine pri proizvodnji bioplina se porabijo stranski produkti, ki nastanejo pri proizvodnji v mesno predelovalnih obratih, na poljih in pri reji prašičev. Presnovljeni substrat se po končani anaerobni razgradnji vrne na začetek proizvodne verige kot organsko gnojilo. Z dodajanjem koruzne mase kot kosubstrata, se povečuje ekološki in ekonomski učinek bioplinarne (Štumpf, 2014).

Bioplinarna Nemščak lahko proizvede 11 GW ur električne energije na leto. Celotna investicija v Bioplinarno Nemščak je bila 7,7 milijona EUR. Pozitivni učinki Bioplinarne Nemščak:

- proizvodnja zelene električne energije (do 11 GW ur/leto),
- zmanjšanje uporabe kurilnega olja za potrebe ogrevanja Farme Nemščak,
- zmanjšanje porabe umetnih gnojil za gnojenje njivskih površin za cca. 200 t/leto in
- ekološka predelava stranskih živalskih proizvodov.

Bioplinarna Nemščak obratuje 24 ur na dan, vse leto, razen v izrednih primerih, kot so servisi, remontu in drugi nepredvideni izpadi. Obratovalni čas se podrobneje deli glede na različne sklope bioplinarne, in sicer (Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008):

- sterilizacija, ki traja 8 ur/dan, 5 dni/teden,
- fermentacija, ki traja 24 ur/dan, vse leto,
- kogeneracija, ki traja 24 ur/dan, vse leto in
- dehidracija, ki traja 12 ur/dan, 7 dni/teden.

Slika 5 prikazuje Bioplinarno Nemščak in njene ključne objekte. Pri tem pomeni:

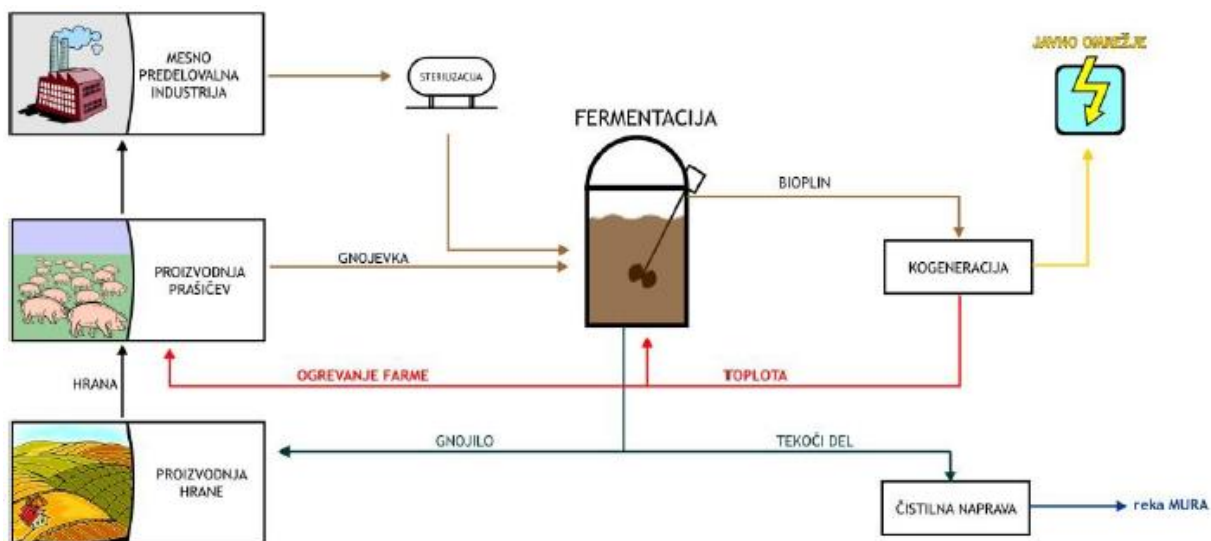
- 1 sprejemni prostor za SŽP II. in III. kategorije,
- 2 sterilizacija,
- 3 kotlovnica
- 4 sprejemni prostor biorazgradljivih kuhinjskih odpadkov,
- 5 upravna stavba,
- 6 sprejemni bazen za gnojevko in silažo,
- 7 fermentor 1,
- 8 fermentor 2,
- 9 plinohram,
- 10 deponija za silažo,
- 11 kogeneraciji,
- 12 čistilna naprava,
- 13 deponija za suho pregnito blato.



Slika 5: Objekti bioplinarne Nemščak

(vir: Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008)

Slika 6 prikazuje poenostavljeno shemo vseh postopkov pridobivanja bioplina in kogeneracije na Bioplinarni Nemščak.



Slika 6: Poenostavljena shema Bioplinarne Nemščak

(vir: Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008)

5.1 Postopek sprejema in sterilizacije stranskih živalskih proizvodov

Stranske živalske proizvode II. in III. kategorije dovažajo na Bioplinarno Nemščak s transportnim vozilom direktno v pokrit sprejemni objekt in bazen namenjen samo za SŽP. Vstop v prostor je omogočen skozi elektromotorna dvizna vrata, ki se odprejo samo za prehod transportnega vozila. Odpadki se iz vozila vsipajo v sprejemnik SŽP. Pokrov sprejemnika ima hidravlični pogon in je odprt samo ob sprejemu. Transport SŽP do bioplinarne poteka s transportnim vozilom, in sicer do štirikrat dnevno med 10. in 15. uro, od ponedeljka do petka. Po dostavi se opravi pranje transportnega vozila na pralni ploščadi. Pranje se opravlja z visokotlačnim vodnim čistilnim aparatom. Po čiščenju se opravi še dezinfekcija vozila. Pralne vode od pranja vozil se iztekajo v kalužno jamo v poglobljenem delu prostora, kjer je vgrajena potopna centrifugalna črpalka, od tam pa se po tlačnem cevovodu prečrpava v sprejemnik SŽP in na koncu v proces sterilizacije. Praznjenje vozila poteka v zaprtem prostoru iz katerega se izsesava zrak skozi zračni UV filter. Vsi stranski živalski proizvodi (do 36 t/dan) so v sklopu objekta za sterilizacijo obdelani v istem dnevu (Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

Iz sprejemnega bazena se vsebina transportira s spiralnim transporterjem v drobilec, ki zdrobi stranske živalske proizvode na velikost pod 30 mm. Nato se proizvodi transportirajo s tračnim transporterjem, opremljenim z detektorjem kovin, v sterilizator. Sterilizacijska enota je šarža z avtomatskim tehtanjem

teže vsebine sterilizatorja. Pri postopku toplotne obdelave segrevamo material živalskega izvora nad 100 °C. S tem se uničijo vsi mikroorganizmi in njihove spore ter deaktivirajo encimi. Celoten postopek poteka v hermetično zaprtem prostoru (sterilizator). V sterilizatorju se vsebina najprej 5 min ogreva pri 100 °C, da se izloči zrak (zrak se izsesava skozi UV filter). Nato se izvaja sterilizacija, ki poteka pri tlaku 3,5 bar, temperaturi najmanj 133 °C in času najmanj 20 min. Celoten postopek se beleži za vsako šaržo posebej (Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

Po končani sterilizaciji se vsebina izprazni v ohlajevalni bazen, kjer se ohladi na temperaturo okrog 70 °C. Od tu se črpa v sprejemni bazen za gnojevko ali direktno v fermentorja. Prostori sterilizacije so ločeni od ostalih prostorov bioplinarne (Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

5.2 Postopek sprejema in prečrpavanja gnojevke

Gnojevka iz farme Nemščak se prečrpava iz obstoječega črpališča gnojevke na čistilno napravo Nemščak v pokrit sprejemni bazen za gnojevko. V bazenu je vgrajeno mešalo za homogenizacijo vsebine. Vsebinski bazen se v programiranih intervalih prečrpava v obe gnilišči (Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

5.3 Postopek ravnanja s koruzno silažo

Koruza se enkrat letno silira in skladišči na za to namenjenih deponijah v bližini sprejemnega bazena. Kapaciteta deponij je 12000 m³. Silaža se s posebnim nakladalcem dnevno prevažna iz deponije v sprejemni bazen, kjer se dozira v časovnih intervalih gnilišča (Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

5.4 Postopek pridobivanja in ravnanja z bioplinom

Anaerobna razgradnja se izvaja v dveh gniliščih, ki obratujeta v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi okrog 38 °C s popolnim premešanjem. Doziranje vseh vrst substrata je avtomatizirano po vnaprej določenih časovnih intervalih. V obeh gniliščih je po eno vertikalno in horizontalno mešalo. Mešali zagotavljata dobro mešanje svežega vložka z obstoječo maso v gnilišču, preprečujeta pojav plavajoče gošče in usedanje gošče na dno. Gnilišči sta ogrevani z vgrajenimi vročevodnimi ogrevali. Kot vir energije se uporablja del odpadne vode iz kogeneracije. Proces anaerobne razgradnje poteka pri konstantni temperaturi, ki se skupaj z nivojem gošče stalno kontrolirata. Po anaerobni

razgradnji se gošča gravitacijsko preliva v bazen presnovljene biomase in plinohram. V bazenu še naprej poteka manj intenzivna anaerobna obdelava. V bazen se prečrpava tudi blato iz obstoječe lagune za preseženo blato. Plinohram je za nizekotlačne membranske izvedbe z maksimalnim nadtlačkom 3 mbar in je opremljen z varnostnim nadtlačnim in podtlačnim ventilom (Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

Iz plinohrama se bioplin vodi preko peščenega filtra, kondenznih loncev in plinskega puhalca v dve enoti kogeneracije. V primeru nedelovanja kogeneracijskih enot zaradi vzdrževalni del, višek bioplina izgoreva na plinski bakli. Na Bioplinarni Nemščak sta vgrajeni dve tipski kogeneracijski enoti kontejnerske izvedbe. Dnevna proizvodnja električne energije za oddajo v sistem javnega omrežja je približno 30000 kWh, povprečna električna moč pa znaša približno 1200 kW. Moč prve kogeneracijske enote je 835 kW, druge pa 625 kW. Letna proizvodnja električne energije je tako 10000 MW (Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

5.5 Postopek ravnanja z odpadno goščo in odpadno vodo

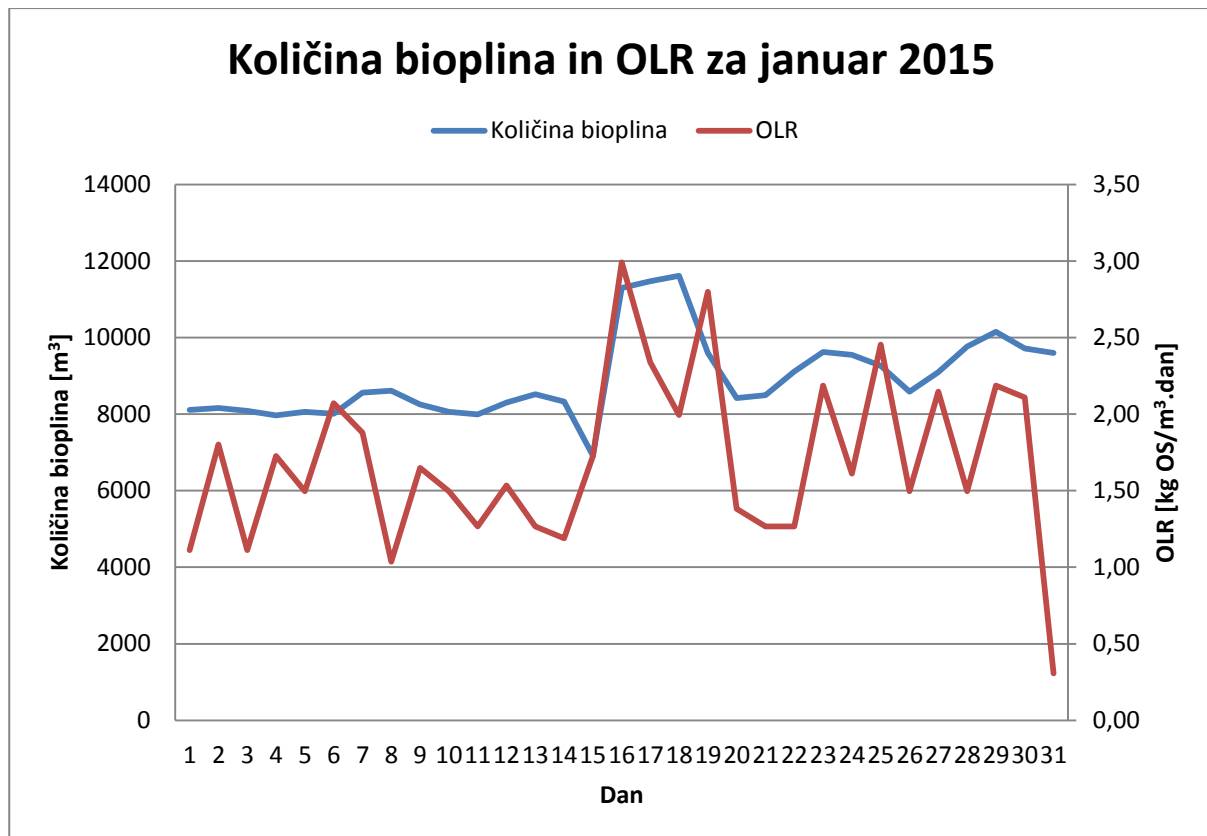
Iz bazena presnovljene mase se gošča črpa v objekt za strojno zgoščanje, kjer sta nameščeni dve centrifugi horizontalnega tipa. Ti centrifugi zgostita presnovljeno goščo na cca. 30 % suhe snovi. Strojno zgoščena gošča se nato skladišči na deponiji za strojno zgoščeno goščo, od tam pa se v času gnojenja kmetijskih površin odvažna na polja.

Odpadna voda s približno 0,5 % suhe snovi se izteka v črpališče, od tam pa se prečrpava v obstoječo čistilno napravo za aerobno čiščenje gnojevke Čistilne Naprave Nemščak (Poslovník za obratovanje Bioplinarne Nemščak, 2008).

5.6 Spremljanje delovanja Bioplinarne Nemščak

Delovanje Bioplinarne Nemščak smo spremljali 1 mesec, in sicer od 1. 1. 2015 do 31. 1. 2015. Spremljali smo količino bioplina, količino vhodnih substratov in iz tega izračunali hidravlični zadrževalni čas in organsko obremenitev reaktorja. Povprečen hidravlični zadrževalni čas za mesec januar 2015 je znašal 53,56 dni. Povprečna organska obremenitev reaktorjev za mesec januar 2015 pa je znašala 1,69 kg OS/m³.dan. V Prilogi A je prikazan skupni vnos substratov po dnevih (m³) in HRT za posamezni dan ter vnos silaže (kg), SS, OS silaže in izračunan OLR po dnevih. V zadnjem stolpcu je prikazana količina bioplina, ki je nastala na posamezni dan. Skupni volumen fermentorjev na Bioplinarni Nemščak je 8200 m³. SS silaže je znašal 36,37 %, OS pa 34,95 %. Iz teh podatkov smo

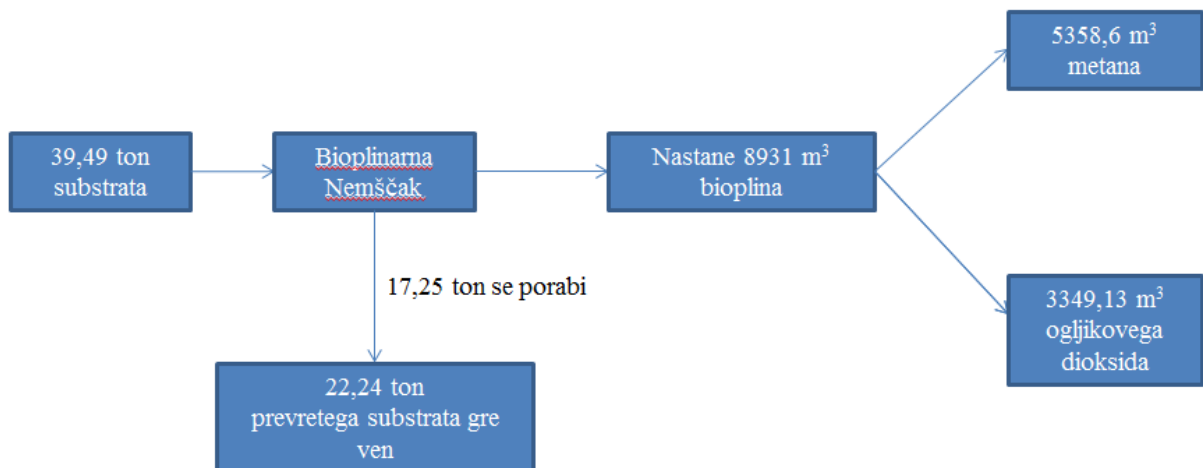
izračunali HRT in OLR. Grafikon 3 prikazuje količino nastalega bioplina in OLR za Bioplinarno Nemščak po dnevih za januar 2015.



Grafikon 3: Količina nastalega bioplina glede na OLR

(vir: Dnevnik obratovanja Bioplinarne Nemščak, 2015)

Slika 7 prikazuje masni pretok snovi v Bioplinarni Nemščak. Napisane vrednosti so povprečne vrednosti na dan za mesec januar 2015. V januarju 2015 je bilo tako dozirano povprečno 39,49 ton substrata na dan. Med anaerobno presnovo se je porabilo povprečno 17,25 ton substrata, izločilo pa se ga je povprečno 22,24 ton na dan. Iz te količine substrata je nastalo povprečno 8931 m³ bioplina, ki je bil sestavljen iz 5358,6 m³ metana in 3349,13 m³ ogljikovega dioksida. Bioplin je bil v povprečju sestavljen iz 60 % metana in 37,5 % ogljikovega dioksida. Dva generatorja sta tako skupaj proizvedla 884232 kW električne energije kar pomeni, da sta v povprečju na dan proizvedla 27632 kW električne energije.



Slika 7: Masni tokovi na Bioplanarni Nemščak

6 MATERIALI IN METODE

6.1 Suha in organska snov

Pri določitvi suhe in organske snovi smo uporabili sušilnik, žarilno peč, analitsko tehtnico in žarilne lončke.



Slika 8: Sušilnik Binder in žarilna peč Aurodent



Slika 9: Žarilni lončki in analitska tehtnica Kern

Suha snov je definirana kot snov, ki ostane v posodi po segrevanju vzorca pri temperaturi 105 °C. Pri izvajanju te meritve smo potrebovali žarilne lončke, sušilnik, žarilno pečico in eksikator. Pred izvajanjem meritev eno uro segrevamo žarilne lončke pri temperaturi 550 °C (če merimo tudi organsko snov) oziroma eno uro pri temperaturi med 103 in 105 °C, če merimo samo suho snov. Meritve opravimo v treh ponovitvah.

Žarilne lončke smo pred začetkom meritev eno uro žgali na 550 °C in jih dali hladiti v eksikator. Po hlajenju smo stehali prazne lončke. Nato smo v lonček dodali vzorec in ga stehali ter prenesli v

sušilnik na temperaturo 105 °C. Po 24 urah smo vzeli vzorce iz sušilnika in jih dali hladit v eksikator. Po hlajenju smo jih stehali. Iz stehanih tež smo nato po naslednji enačbi izračunali delež suhe snovi (Kolbl, 2014):

$$SS(\%) = \frac{(A-B)*100}{C-B} \quad (4)$$

Kjer so:

A – teža suhega substrata + teža lončka

B – teža lončka

C – teža svežega substrata + teža lončka

D – teža ostanka + teža lončka po sežigu

Po merjenju suhe snovi smo prenesli lončke s suho snovjo v žarilno peč na temperaturo 550 °C za tri ure. Po žarenju smo pustili lončke, da so se ohladili in jih stehali. Delež organske snovi smo določili po naslednji enačbi (Kolbl, 2014):

$$OS(\%) = \frac{(A-D)*100}{A-B} \quad (5)$$

Suho in organsko snov v vzorcih smo določili po metodi 2540 B in 2540 G (APHA, 2005).

6.2 Sestava bioplina

Za določitev sestave bioplina smo uporabili prenosni analizator bioplina, ki ga vidimo na sliki 10. S tem analizatorjem lahko določimo % CH₄, % CO₂, % O₂ in ppm H₂S. Meritev smo izvajali vsak dan pred doziranjem substrata. Cevko za zajem plina smo priključili na ventil za izpust plina iz plinohrama pilotnega reaktorja in izmerili sestavo bioplina.



Slika 10: Ročni analizator AAT Abwasser und Abfalltechnik SR2-DO

6.3 Mletje silaže

Za mletje silaže smo uporabili ročni sekljalnik Russell Hobbs 18558-56 Desire s prostornino posode 1 l. Ročni sekljalnik prikazuje slika 11.



Slika 11: Mini sekljalnik Russell Hobbs 18558-56 Desire z močjo 380 W

Naenkrat smo zmleli 200 g silaže. Tako smo za dnevni vnos substrata (4 kg silaže) mletje ponovili 20 krat. Silaža pred mletjem ima delce velikosti od 1,5 do 2,5 cm (slika 12). S 30 sekundnim sekljanjem smo vzorec zmleli tako, da je bilo 90 % delcev manjših od 0,5 cm (slika 13). Velikosti delcev pred in po mletju smo določili s sejalno analizo.



Slika 12: Vzorec koruzne silaže pred mletjem



Slika 13: Vzorec koruzne silaže po mletju

6.4 Hlapne maščobne kisline in alkaliteta

Za določevanje hlapnih maščobnih kislin in alkalitete s titracijsko metodo smo uporabili sito, titrator, magnetno mešalo, mešalnik, elektrodo za merjenje pH, bireto in raztopino H_2SO_4 . Titrator je znamke ISOLAB DIGITRATE 50 ml. Slika 13 prikazuje določevanje hlapnih maščobnih kislin in alkalitete s titracijsko metodo.



Slika 14: Titrator, pH elektroda, magnetno mešalo in mešalnik za določevanje HMK in alkalitete

Vzorec po odvzemu iz pilotnega reaktorja prefiltriramo in ga odpipetiramo 5 ml ter dodamo 120 ml destilirane vode. Nato dodamo magnetno mešalo in postavimo na mešalnik. Vstavimo elektrodo za merjenje pH. V bireto zmešamo 0,05 M raztopino H_2SO_4 , s katero začnemo titrirati raztopino vzorca, da se njegov pH in temperatura ustalita. Titracijo vodimo po petih točkah, porabo kisline pa si zapišemo pri pH 6.7, 5.9, 5.2 in 4.3. Za izračun potrebujemo še začetno temperaturo in začetni pH raztopine. Vse dobljene podatke (pH, začetna temperatura, poraba kisline, volumen vode in vzorca) vnesemo v računalniški program Excel in z uporabo pred nastavljene funkcije izračunamo HMK in alkaliteto. Titracijo z vsakim vzorcem ponovimo vsaj trikrat, dokler se dobljeni rezultati ne ujemajo. Končno vrednost hlapnih maščobnih kislin in alkalitete izračunamo iz povprečnih vrednosti dveh najbolj podobnih meritev.

6.5 Pilotni reaktor

Meritve količine bioplina so merjene na pilotnem reaktorju v neposredni bližini Bioplinarne Nemščak. Reaktor se uporablja za optimizacijo delovanja bioplinarne in za testiranje novih substratov, ki so zanimivi za proizvodnjo bioplina. Volumen reaktorja je 2500 litrov, od tega je 2000 litrov delovnega volumna, 500 litrov pa plinohrama. Pilotni reaktor je pomanjšana različica digestorja bioplinarne, saj lahko v njem preizkušamo enako obdelane substrate kot v digestorju. Skico reaktorja in njegove ključne elemente prikazuje slika 17. Konstrukcijsko je narejen tako, da je možno opazovati dogajanje v njem in vzorčiti vsebino na različnih delovnih globinah, kar prikazuje slika 15 (na šestih različnih globinah so montirani kroglični ventili za zajem vzorcev). Glavni sestavni deli reaktorja so:

MEŠALO: Je horizontalno na dveh višinah, poganja ga elektromotor moči 500 W.

GRELEC: Je nameščen v notranjosti na stenah reaktorja, greje ga topla voda iz izmenjevalca.

DODATNO MEŠALO NA IZTOKU: Na iztoku pri prelivnem robu smo namestili dodatno mešalo, ki je sproti razbijalo kepe, ki so se naredile. Poganja ga elektromotor moči 350 W.

ČRPALKA ZA GNOJEVKO: Je črpalka z elektromotorjem, s katero črpamo gnojevko v reaktor. Ob upoštevanju izgub v cevovodu prečrpa v eni minuti 2 litra gnojevke. Z nastavitvijo intervalov delovanja in nedelovanja črpalke nastavljamo želeno količino gnojevke v reaktorju.

NASIPNICA ZA SUHE SUBSTRATE: Je lijakasta odprtina, v katero se v določenih intervalih nasuje suhe substrate.

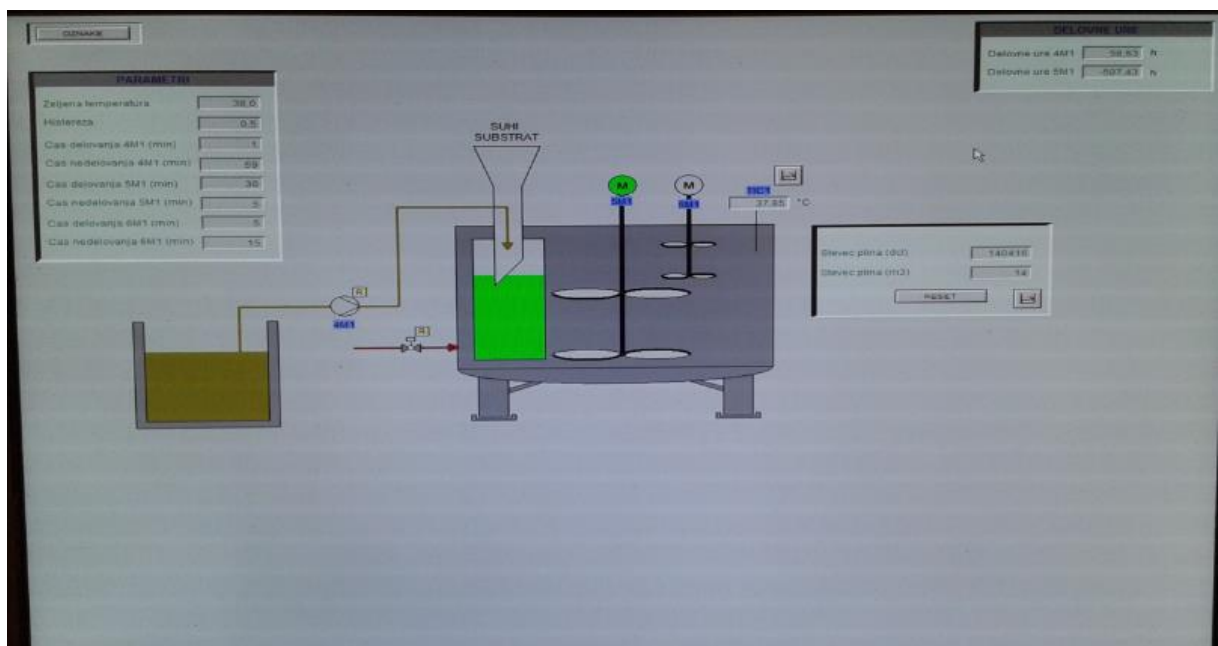
MERILEC PRETOKA BIOPLINA: Je mehanski števec, ki beleži pretok bioplina na osnovi obratov lopatic, ki jih poganja proizvedeni bioplina. Količina bioplina se beleži tudi v računalniku.

KRMILNA OMARICA Z RAČUNALNIKOM: Vse naprave na reaktorju, razen ročnega analizatorja sestave bioplina, se krmilijo z računalnikom prek krmilne omarice. Programska oprema omogoča nastavljanje intervalov delovanja mešal in črpalke ter sprotno beleženje podatkov (slika 16).

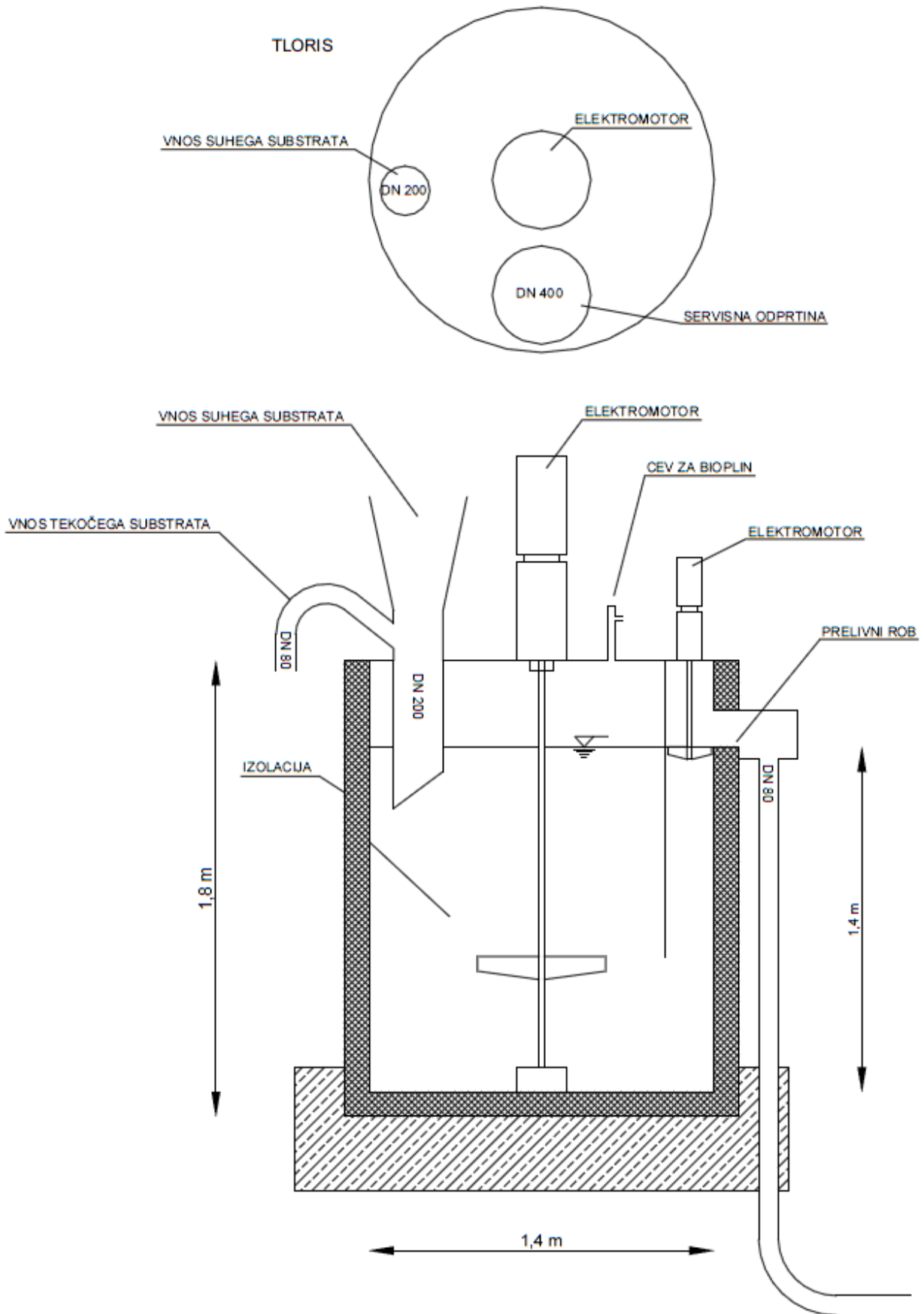
OKNO: Je mesto z zastekljeno odprtino, skozi katero lahko opazujemo dogajanje v reaktorju.



Slika 15: Kroglični ventili za zajem vzorca na različnih globinah



Slika 16: Krmiljenje pilotnega reaktorja prek računalnika



Slika 17: Skica pilotnega bioplinskega reaktorja na Bioplinarni Nemščak

6.6 Zajem vzorca odpadnega blata na Centralni čistilni napravi Murska Sobota

Za zajem vzorca odpadnega blata na CČN Murska Sobota smo uporabili plastično vedro prostornine 10 litrov s pokrovom, ki dobro tesni. Vzorec smo zajemali iz zalogovnika za odpadno blato (slika 18). Odpadno blato za doziranje v reaktor ima približno 2–2,5 % suhe snovi.



Slika 18: Zajem odpadnega blata na CČN Murska Sobota

6.6.1 Centralna čistilna naprava Murska Sobota

Izvajalec gospodarske javne službe čiščenja komunalne odpadne in padavinske vode na območju Mestne občine Murska Sobota je Petrol, Slovenska energetska družba d.d., Ljubljana. Zagotavlja sprejem in obdelavo grezničnega mulja ter mulja iz MČN za območje Mestne občine Murska Sobota ter tudi za stranke izven tega območja, če to dopušča kapaciteta CČN MS. Čistilna naprava je velikosti 42000 PE (populacijskih enot). CČN Murska Sobota ima dva glavna vira nastajanja odpadkov:

- čiščenje komunalne odpadne in padavinske vode, ki priteka po glavnih kolektorjih iz prispevnega področja Mestne občine Murska Sobota ter naselja Martjanci in naselja Borejci v občini Tišina ter
- sprejem grezničnega mulja ter mulja MČN iz prispevnega področja Mestne občine Murska Sobota ter izven tega prispevnega področja.

Poleg navedenih virov nastajanja odpadkov je za čas v obdobju 2012–2016 predvideno nastajanje odpadkov še iz:

- čiščenja komunalne odpadne in padavinske vode, ki pritekata iz prispevnega področja naselja Sebeborci v Občini Moravske Toplice.

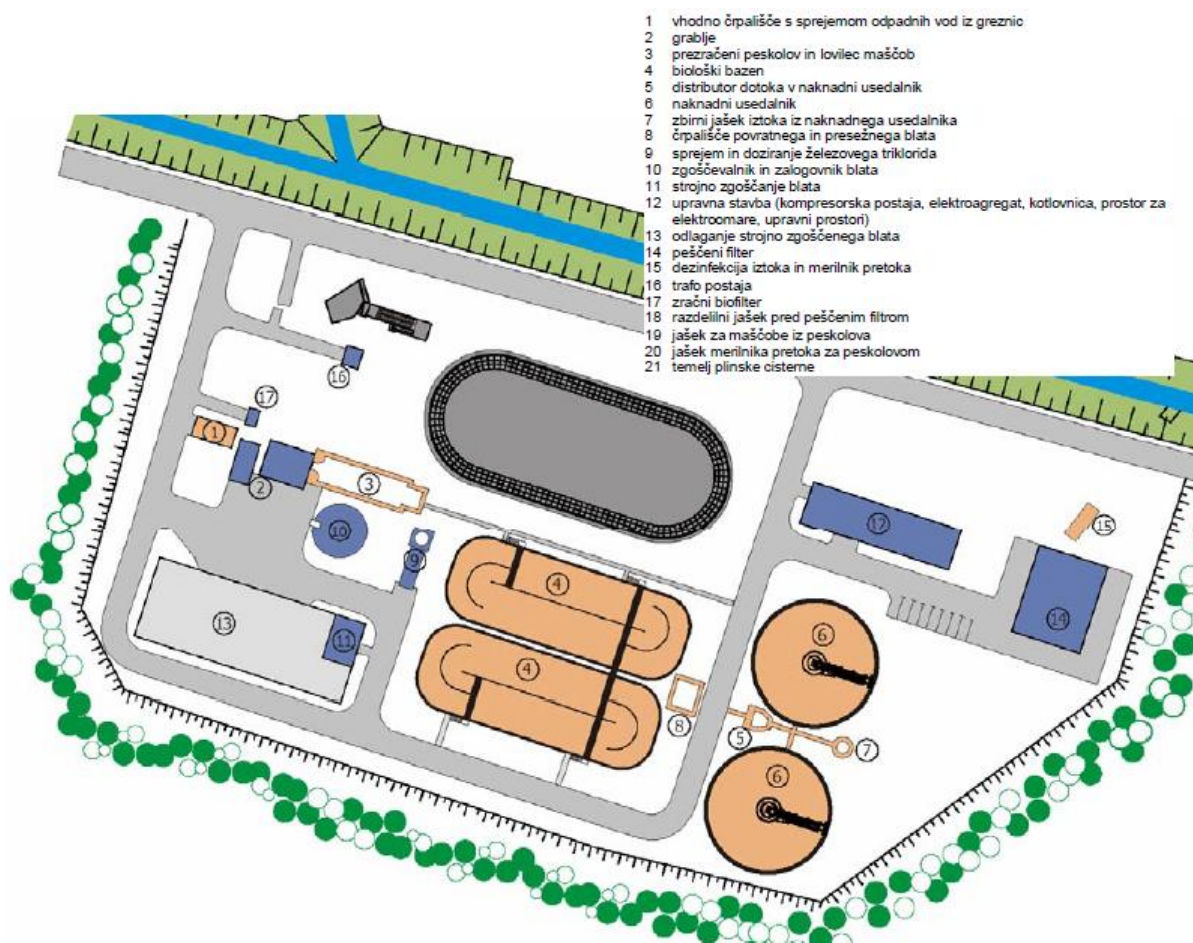
Odvečno blato, ki nastaja kot stranski produkt pri biološkem čiščenju odpadne vode na čistilni napravi, je v skladu z Uredbo o odpadkih (UL RS, št. 103/2011) klasificiramo kot »Blato iz čiščenja komunalnih odpadnih vod«, s klasifikacijsko številko 19 08 05. Blato na CČN Murska Sobota se obdela po naslednjem postopku:

- blato se dnevno črpa v gravitacijski zgoščevalnik in zalogovnik blata, kjer se doseže 2–3 % vsebnosti suhe snovi,
- blato iz zgoščevalnika se črpa na strojno zgoščanje blata (dehidracija), na tračno stiskalnico, s katero se doseže 20–25 % vsebnosti suhe snovi v blatu,
- blatenico, ki se nabere nad usedlim blatom, se preko prelivnega žleba odvaža nazaj v črpališče odpadne vode,
- za boljše izločanje vode se na tračni preši dodaja flokulant, ki pospeši tvorbo kosmov,
- na izstopu iz tračne preše se blatu preko vijačnega transporterja dodaja apno, ki omogoči boljše doseganje suhe snovi,
- tako obdelano blato se preko tračnega transporterja odlaga v zato določen kontejner, ki ga prevzame v končno ravnanje pooblaščen podjetje za odvoz in predelavo tovrstnih odpadkov.

Odvečno blato, ki nastane na Centralni čistilni napravi Murska Sobota, je predano pooblaščenemu zbiralcu odpadkov oziroma pooblaščenemu izvajalcu obdelave odpadkov. V tem primeru je to podjetje Saubermacher – Komunala Murska Sobota d.o.o., ki odvaža dehidrirano blato na nadaljnjo predelavo v skladu s svojimi razpoložljivimi možnostmi in kapacitetami. Blato se odvaža na Center za ravnanje z odpadki Puconci (CEROP), ki blato obdela oziroma ga odlaga. V letu 2013 je na CČN Murska Sobota nastalo 3265 ton dehidriranega blata z 22 % suhe snovi. Preglednica 8 prikazuje povprečne vrednosti parametrov na vtoku in iztoku ter povprečni učinek čiščenja CČN Murska Sobota, ki ga je izmerila pooblaščen ustanova.

Preglednica 8: Učinek čiščenja Centralne čistilne naprave Murska Sobota (Opis obratovanja CČN, Petrol)

Parameter	Enota	Vtok	Iztok	Učinek čiščenja
KPK	mg O ₂ /l	1051	46	96 %
BPK ₅	mg O ₂ /l	523	10	98 %
neraztopljene snovi	mg/l	351	15	95 %
skupni dušik	mg N/l	71	12	82 %
skupni fosfor	mg P/l	12	1	92 %
pretok	m ³ /d	5137		



Slika 19: Shematski prikaz Centralne čistilne naprave Murska Sobota (Opis obratovanja CCN, Petrol)

6.6.2 Ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka

Za odpadno blato je bila avgusta 2014 izvedena ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka. Oceno je izdalo podjetje ERICo Velenje, ki se ukvarja z ekološkimi raziskavami.

Opis odpadka:

Odpadek je dehidrirano blato, ki nastaja pri čiščenju komunalnih odpadnih voda. Je v obliki kosmičev, ki ga tvorijo drobnozrnati delci velikosti $<0,5$ cm. Vsebuje manjšo količino apna. Odpadek je rjavo obarvan in ima močan, karakteristični vonj po odpadnem blatu iz čistilnih naprav komunalnih odpadnih voda (Ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka za podjetje Petrol d.d., 2014).

Povzetek ocene nevarnosti odpadka s klasifikacijsko številko 19 08 05

Priloga B prikazuje opis vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka – blato iz CCN Murska Sobota.

6.7 Koruzna silaža

Koruzna silaža se enkrat letno silira s silažnim kombajnom znamke Claas (slika 20) in skladišči na deponijih za koruzno silažo. Kapaciteta deponij je 12000 m³. Slika 21 prikazuje eno izmed štirih deponij.

Koruzna silaža je bila vsak dan vzeta iz deponije za koruzno silažo. Vzorec je bil zajet s plastično vedro na mestu, kjer je pred tem posebni nakladalec za doziranje silaže odstranil silažo. Pred doziranjem je bila silaža stehtana.



Slika 20: Kombajn znamke Claas za siliranje

(vir: <http://farmprogress.com/story-run-numbers-drought-stressed-corn-9-61924>)



Slika 21: Deponija za silažo na Bioplinarni Nemščak

7 EKSPERIMENTALNI DEL

V eksperimentalnem delu smo spremljali količino in sestavo bioplina na pilotnem reaktorju v neposredni bližini Bioplinarne Nemščak. Namen pilotnega reaktorja je ustvariti enake ali podobne pogoje kot jih najdemo v fermentorjih na sami bioplinarni. Za potrebe raziskav za diplomsko nalogo smo eksperimentalni del razdelili na 3 dele:

- EKSPERIMENT 1: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže brez predobdelave silaže.
- EKSPERIMENT 2: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže s predobdelavo (mletjem) silaže.
- EKSPERIMENT 3: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave.

7.1 Eksperiment 1: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže brez predobdelave silaže

Namen prvega dela eksperimenta je bil ugotoviti, koliko bioplina dobimo iz običajne silaže. Rezultati tega eksperimenta nam služijo za primerjavo drugih dveh eksperimentov.

S prvim delom eksperimenta smo začeli 17. 11. 2014. Reaktor smo napolnili z 2000 litri prašičje gnojevke in dozirali 9 kg nepredelane silaže. Še isti dan smo naredili analizo HMK in določili alkaliteto mešanice v reaktorju. Števec količine bioplina smo nastavili na ničlo in začeli z eksperimentom. Do petega dneva eksperimenta smo dozirali približno 9 kg silaže na dan, nato smo spet naredili test HMK in določili alkaliteto. Izkazalo se je, da so hlapne maščobne kisline začele naraščati, zato smo dnevni vnos silaže prepolovili. Naraščale so vse do 8. dne eksperimenta. Takrat so začele padati in so se ustalile okrog 15. dne. Od takrat naprej smo 15 dni dozirali 4 kg silaže na dan in vsaki peti dan naredili test HMK ter določili alkaliteto. Vsega skupaj je prvi del eksperimenta potekal 31 dni. V tem času je bil 11 krat opravljen test HMK in določena alkaliteta. Vsak dan smo pred doziranjem izmerili sestavo bioplina v plinohramu reaktorja z ročnim analizatorjem plina. Odčitali smo tudi količino bioplina in zapisali odčitke. Rezultati meritev so podani v Prilogi D.

7.2 Eksperiment 2: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže s predobdelavo (mletjem) silaže

Namen drugega dela eksperimenta je bil ugotoviti, koliko plina dobimo iz predobdelane silaže v primerjavo z neobdelano silažo.

Po končanem prvem delu eksperimenta smo pustili reaktor 5 dni počivati. Z drugim delom eksperimenta smo tako začeli 23. 12. 2014. Takoj smo začeli z doziranjem 4 kg mlete silaže na dan. Števec količine bioplina smo nastavili na ničlo in opravili test HMK ter določili alkaliteto. Hlapne maščobne kisline so bile skozi celoten eksperiment konstantne, prav tako je bila konstantna količina nastalega plina po dnevih. Zato smo z drugim delom eksperimenta zaključili po dvajsetih dnevih. V tem času smo 7 krat opravili test HMK in določili alkaliteto. Vsak dan smo odčitali količino nastalega bioplina in izmerili sestavo z ročnim analizatorjem. Rezultati so podani v Prilogi E.

Vzorec koruzne silaže za doziranje je bil mlet vsak dan tik pred doziranjem. Mletje smo opravili z ročnim mini sekljalnikom znamke Russell Hobbs 18858-56 Desire z močjo 380 W. Naenkrat smo zmleli 200 g silaže, zato smo za potrebnih 4 kg/dan morali mletje ponoviti 20 krat. Po 30 sekundnem mletju je bil vzorec dovolj zmlet za doziranje. Podan je izračun porabljene energije za mletje silaže:

$$P=380 \text{ W}= 0,38 \text{ kW}$$

$$T=20*30\text{s}= 600 \text{ s}= 10 \text{ min}=0,1667 \text{ h}$$

$$C_{el}=0,10 \text{ €/kWh (povprečna cena električne energije za industrijo z davkom v zadnjem četrtletju 2014)}$$

$$E_n=P*T= 0,38 \text{ kW}*0,1667 \text{ h}=0,063346 \text{ kWh}$$

$$C_{mletja/4\text{kg}}=E_n*C_{el}=0,063346 \text{ kWh}*0,10 \text{ €/kWh}=\underline{0,00633 \text{ €/4 kg}}$$

$$C_{mletja/1\text{kg}}=\underline{0,00158 \text{ €/kg}}$$

$$C_{mletja/tono}=\underline{1,583 \text{ €/tono}}$$

Pri tem pomeni:

P - moč sekljalnika

T - čas, potreben za sekljanje 4 kg silaže

C_{el} - cena električne energije (vir: www.stat.si)

E_n - energija porabljena za mletje

C - strošek mletja

7.3 Eksperiment 3: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave

Namen tretjega dela eksperimenta je bil ugotoviti, koliko bioplina dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave Murska Sobota.

Po končanem drugem delu eksperimenta smo spet pustili reaktor počivati pet dni. S tretjim delo eksperimenta smo tako začeli 19. 1. 2015. Začeli smo dozirati 7 kg odpadnega blata. Iz testa HMK se je pokazalo, da je bila količina premajhna, zato smo do tretjega dne povečali dnevni vnos na 10 kg odpadnega blata. Tretji del eksperimenta je skupaj trajal 12 dni. V tem času smo štiri krat opravili test HMK in določili alkaliteto. Enako kot v prvih dveh eksperimentih, smo tudi v tretjem delu merili količino nastalega bioplina in njegovo sestavo. Rezultati in meritve so podani v Prilogi F.

Blato je imelo v povprečju 2,35 % suhe snovi. Vzorec blata za doziranje je bil vzet iz zalogovnika pred tračno prešo. Blato po obdelavi s tračno prešo ima v povprečju 23,15 % suhe snovi. Preglednica 9 prikazuje količino odpadnega blata pred tračno prešo po mesecih za leto 2014 za CČN Murska Sobota.

Preglednica 9: Količina odpadnega blata po mesecih za leto 2014

(vir: CČN Murska Sobota)

Mesec	Količina blata [m ³]
1.	2350
2.	2219
3.	1961
4.	2248
5.	2578
6.	2459
7.	2817
8.	2432
9.	2374
10.	2003
11.	1633
12.	1549

Skupaj: **26623**

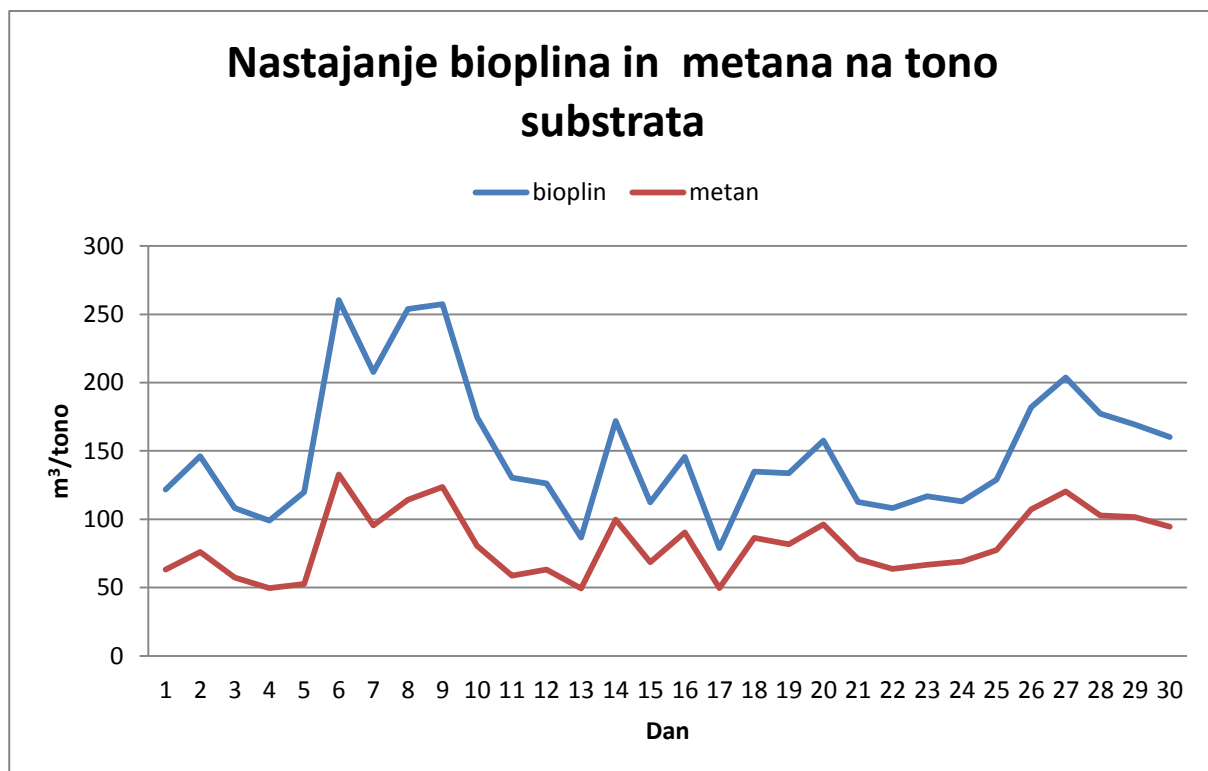
V letu 2014 je bilo proizvedenih 26623 m³ odpadnega blata, kar znaša v povprečju 72,94 m³ odpadnega blata na dan.

8 REZULTATI IN DISKUSIJA OPRAVLJENIH EKSPERIMENTOV

8.1 Rezultati eksperimenta 1: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže brez predobdelave silaže

V prvem eksperimentu smo v reaktor dozirali nespremenjeno koruzno silažo. V povprečju je bilo dozirane 3,8 kg silaže na dan, iz česar je nastalo povprečno 530,4 l bioplina dnevno. Bioplin, ki je nastal, je bil v povprečju sestavljen iz 60,11 % metana, 36,89 % ogljikovega dioksida in 0,5 % kisika. V bioplinu je bilo tudi v povprečju 80,78 ppm vodikovega sulfida. Za izračun povprečnih vrednosti smo vzeli podatke od 14. dneva naprej. Takrat se je namreč vrednost hlapnih maščobnih kislin ustalila na vrednosti približno 1400 mg $\text{CH}_3\text{COOH/l}$. V prvem delu eksperimenta je pH vrednost mešanice nihala med 7,56 in 8,10. Z nespremenjeno koruzno silažo smo dosegli povprečen donos metana 227,55 ml $\text{CH}_4/\text{g OS}$. Grafikon 4 prikazuje nastajanje bioplina in metana po dnevih v m^3/tono dozirane silaže.

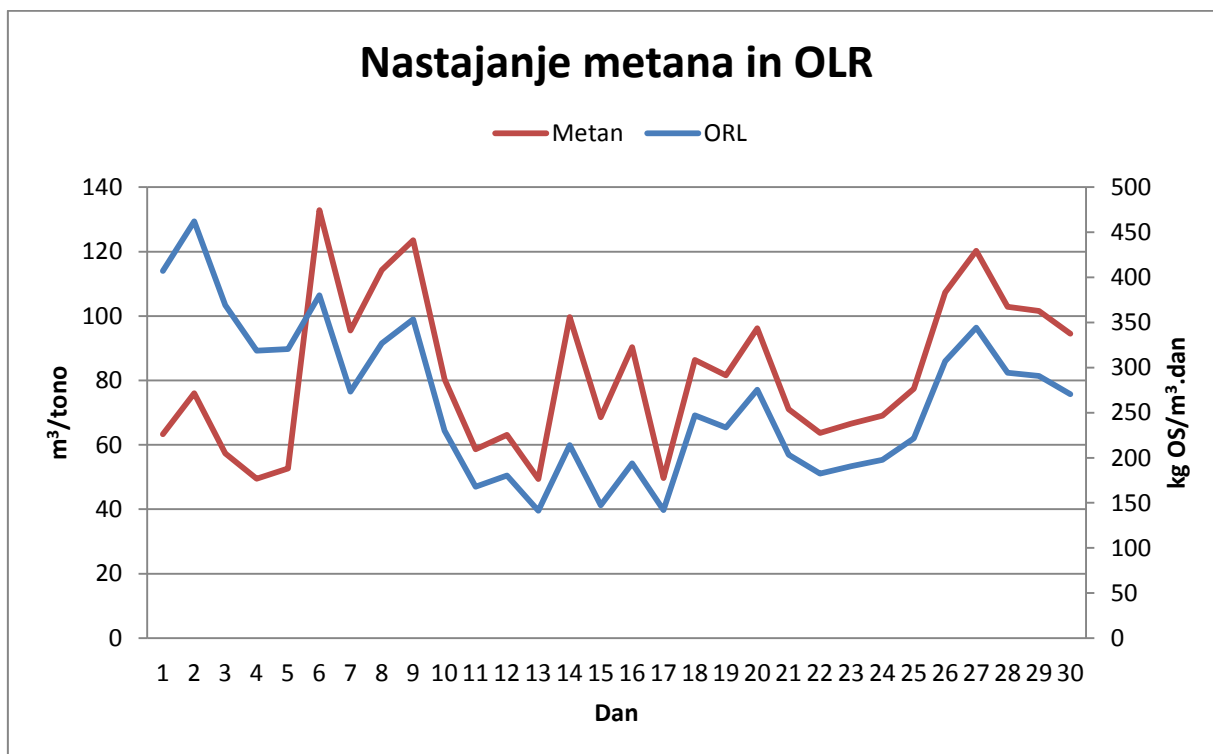
Določili smo tudi suho in organsko snov silaže. Suha snov je znašala 36,37 %, organska snov pa 34,95 %. Suha in organska snov sta pri mleti silaži enaki. Razmerje med organsko in suho snovjo (OS/SS) je znašalo 96,09 %.



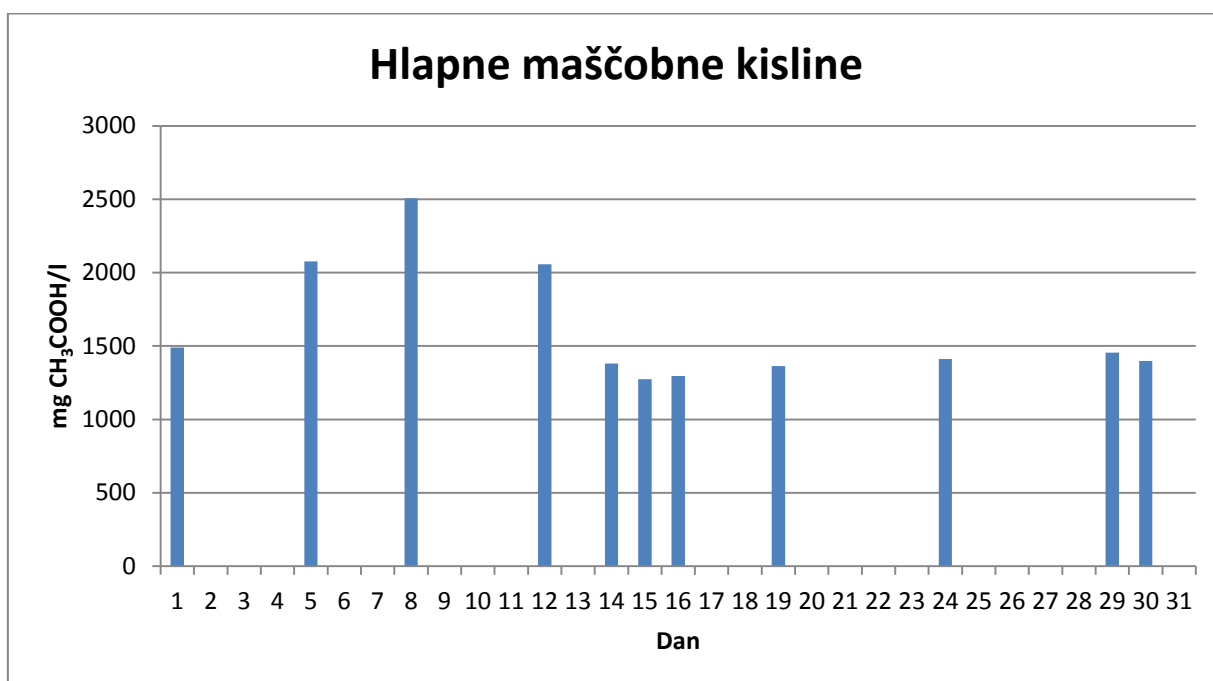
Grafikon 4: Nastajanje bioplina po dnevih

Iz sestave nastalega bioplina smo izračunali nastalo količino metana po dnevih. Povprečno je nastalo 318,12 l metana na dan, iz česar smo izračunali še povprečen donos metan na gram OS. Povprečni

donos metana na tono dozirane silaže je bil $83,12 \text{ m}^3$. Grafikon 5 prikazuje nastajanje metana na tono dozirane silaže in OLR po dnevih v prvem delu eksperimenta.

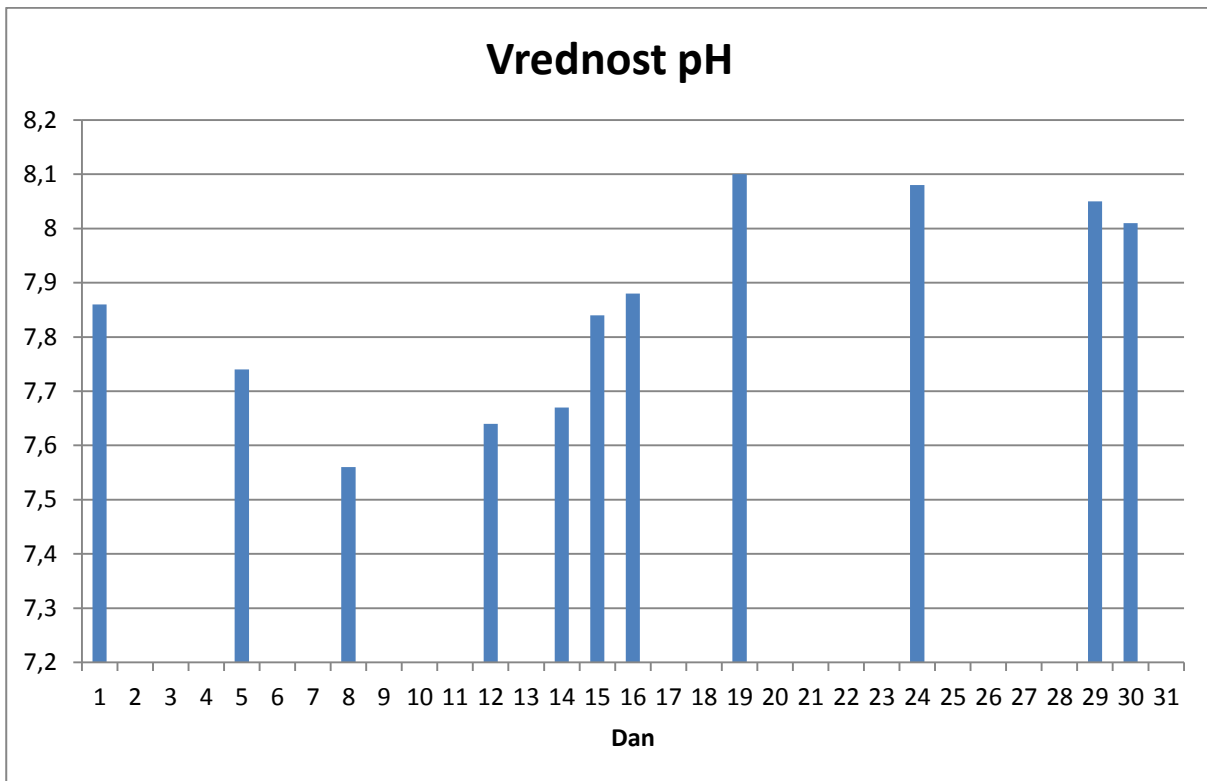


Grafikon 5: Nastajanje metana glede na OLR

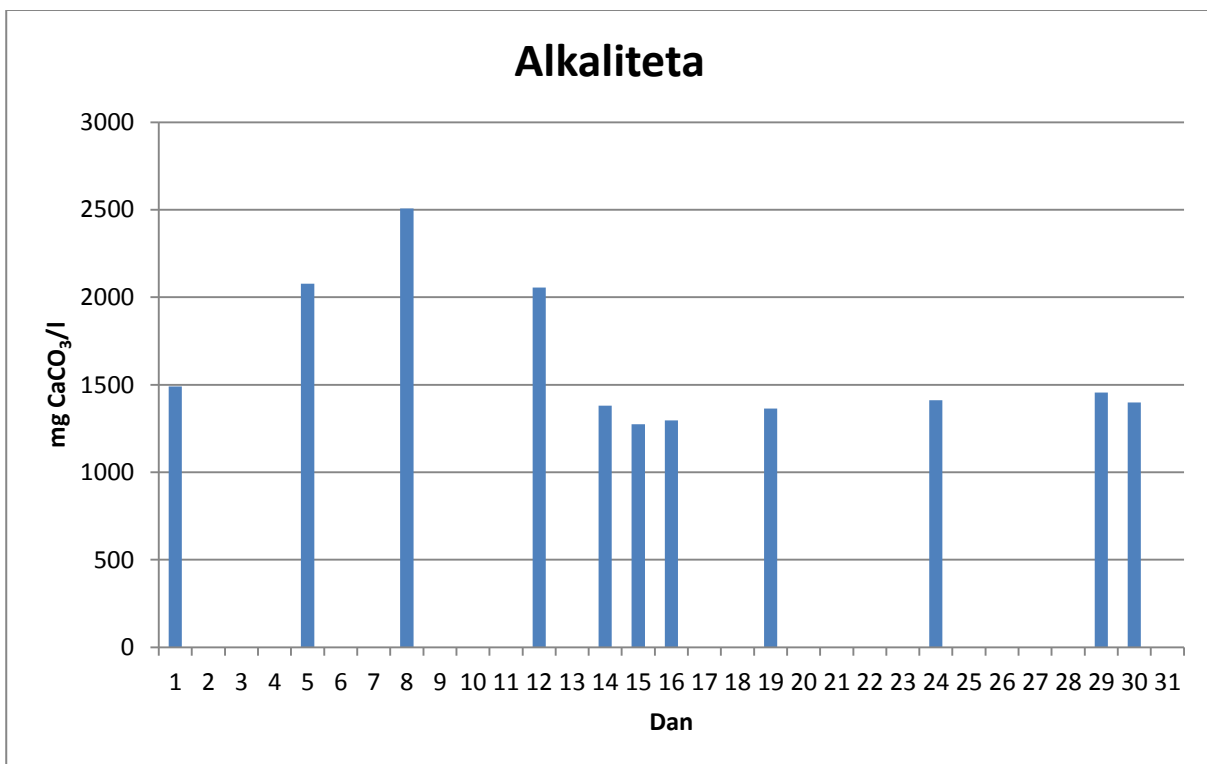


Grafikon 6: Hlapne maščobne kisline po dnevih

Grafikon 6 prikazuje hlapne maščobne kisline za eksperiment 1. Grafikon 7 prikazuje vrednost pH za eksperiment 1. Grafikon 8 prikazuje alkaliteto izmerjeno med eksperimentom 1.



Grafikon 7: Vrednost pH po dnevih

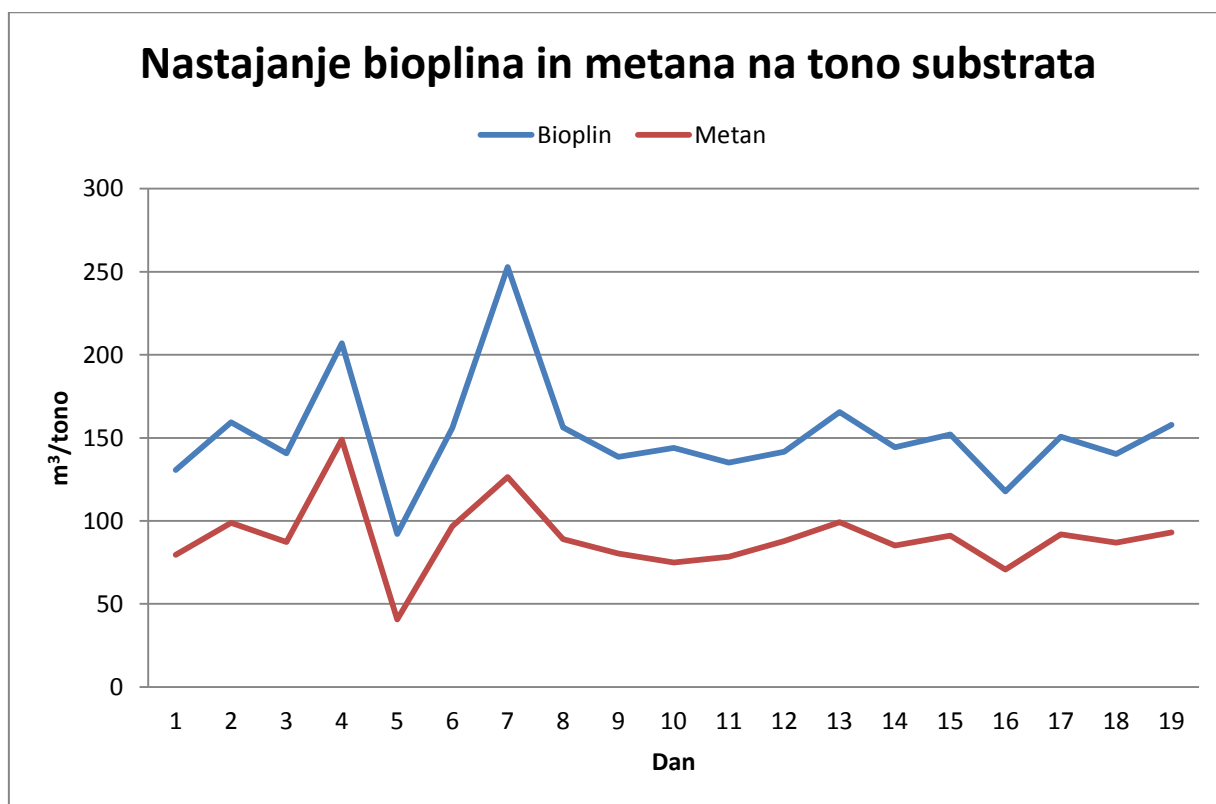


Grafikon 8: Alkaliteta po dnevih

V prvem delu eksperimenta je nastajalo od 141,2 do 461,9 ml metana na gram OS na dan. Če upoštevamo samo rezultate od 14. dneva naprej, je najmanjši donos metana bil enak (14. dan), največji donos pa je bil 344,2 ml metana na gram OS (28. dan).

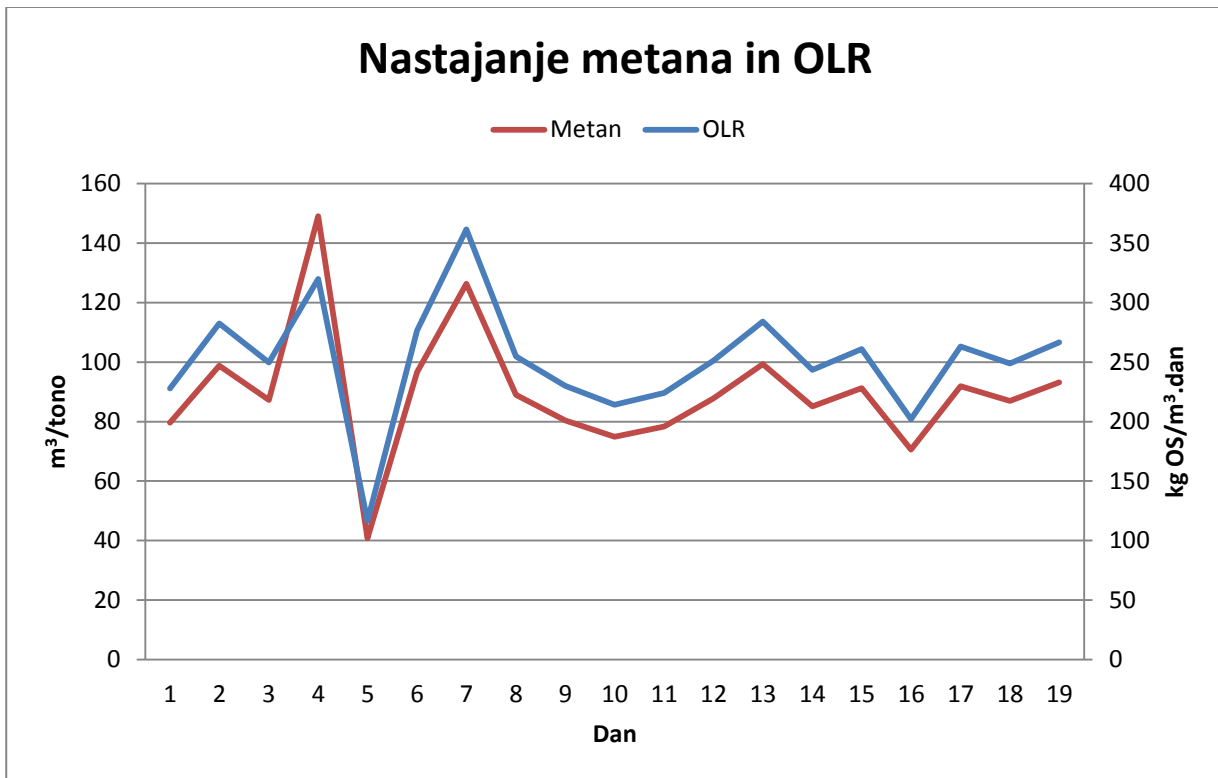
8.2 Rezultati eksperimenta 2: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz silaže s predobdelavo (mletjem) silaže

V drugem eksperimentu smo dozirali mleto silažo. V povprečju je bilo dozirane 3,95 kg mlete silaže na dan, iz česar je nastalo v povprečju 571,83 l bioplina dnevno. Bioplin, ki je nastajal, je bil v povprečju sestavljen iz 58,84 % metana, 39,16 % ogljikovega dioksida in 0,49 % kisika. V bioplinu je bilo v povprečju tudi 113,37 ppm vodikovega sulfida. Zaradi konstantnega doziranja mlete silaže so se hlapne maščobne kisline hitro ustalile okrog vrednosti 1400 mg $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{l}$, kar je podobno kot v prvem eksperimentu. V drugem eksperimentu je pH vrednost mešanice v reaktorju nihala med 7,90 in 8,18. Z mleto silažo smo dosegli povprečen donos metana 251,48 ml $\text{CH}_4/\text{g OS}$. V primerjavi s prvim eksperimentom vidimo, da smo z mleto silažo dosegli večji povprečni donos metana. Razlika v donosu znaša 23,93 ml $\text{CH}_4/\text{g OS}$. Grafikon 9 prikazuje nastajanje bioplina in metana po dnevih v m^3/tono dozirane mlete silaže.



Grafikon 9: Nastajanje bioplina in metana po dnevih na tono mlete silaže

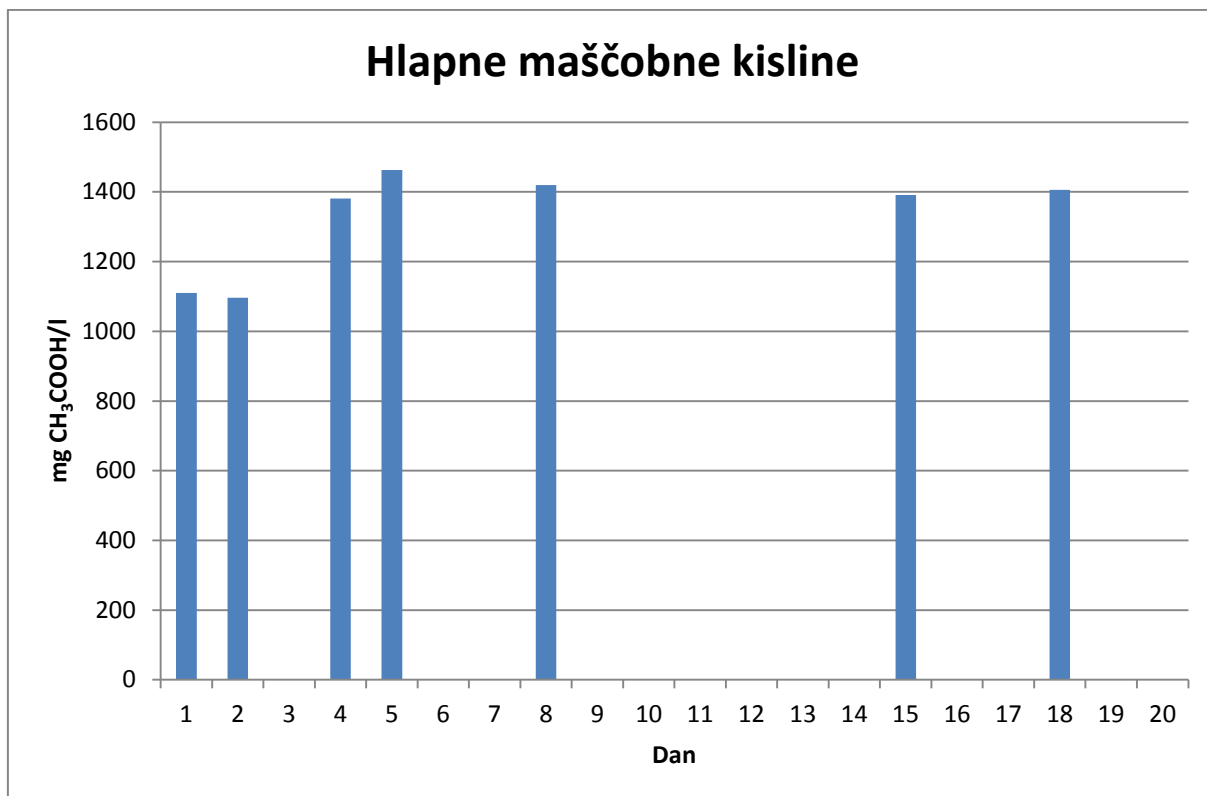
Iz sestave nastalega bioplina smo izračunali količine metana nastalega po dnevih. Povprečno je nastalo 333,99 l metana na dan, iz česar smo izračunali še povprečen donos metan na gram OS. Povprečni donos metana na tono dozirane mlete silaže je bil 89,85 m³. Grafikon 10 prikazuje nastajanje metana na tono dozirane mlete silaže in OLR po dnevih v drugem eksperimentu.



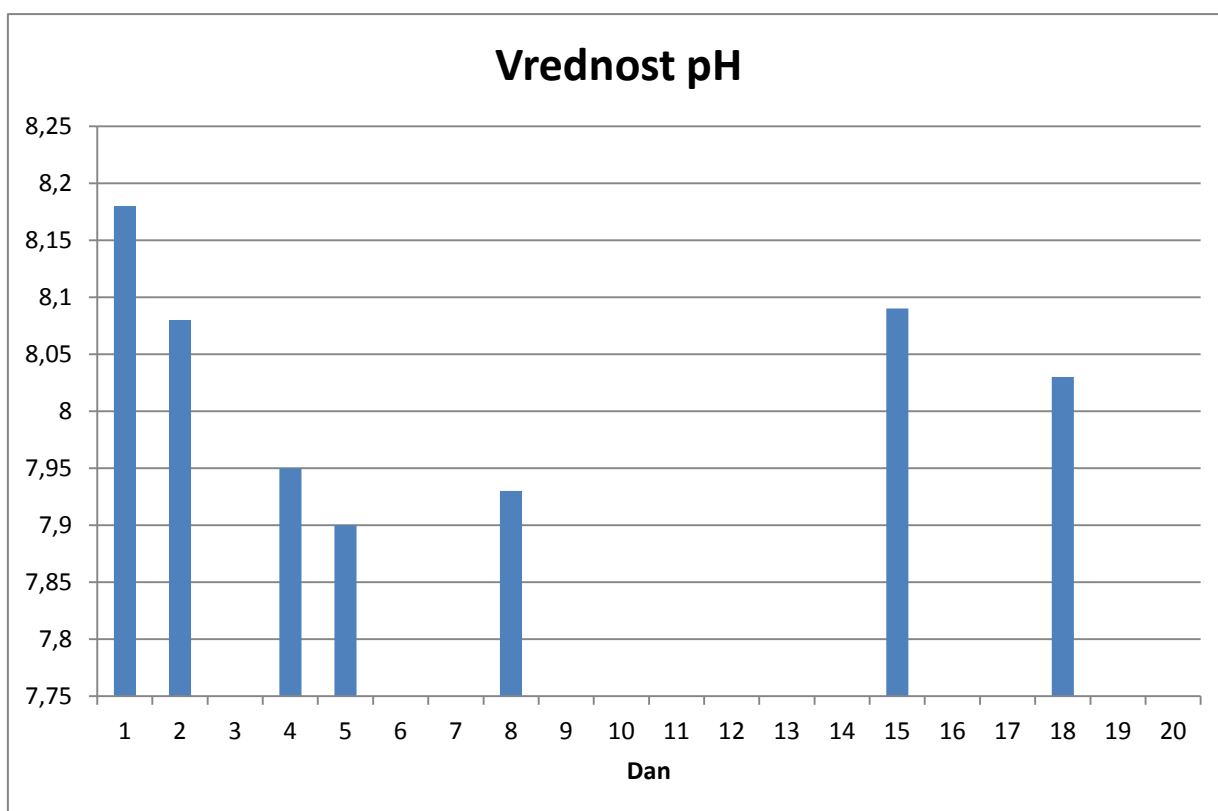
Grafikon 10: Nastajanje metana glede na OLR

V drugem eksperimentu je nastajalo od 116,5 do 361,6 ml metana na gram OS na dan. Največji donos je bil dosežen 8. dan drugega eksperimenta.

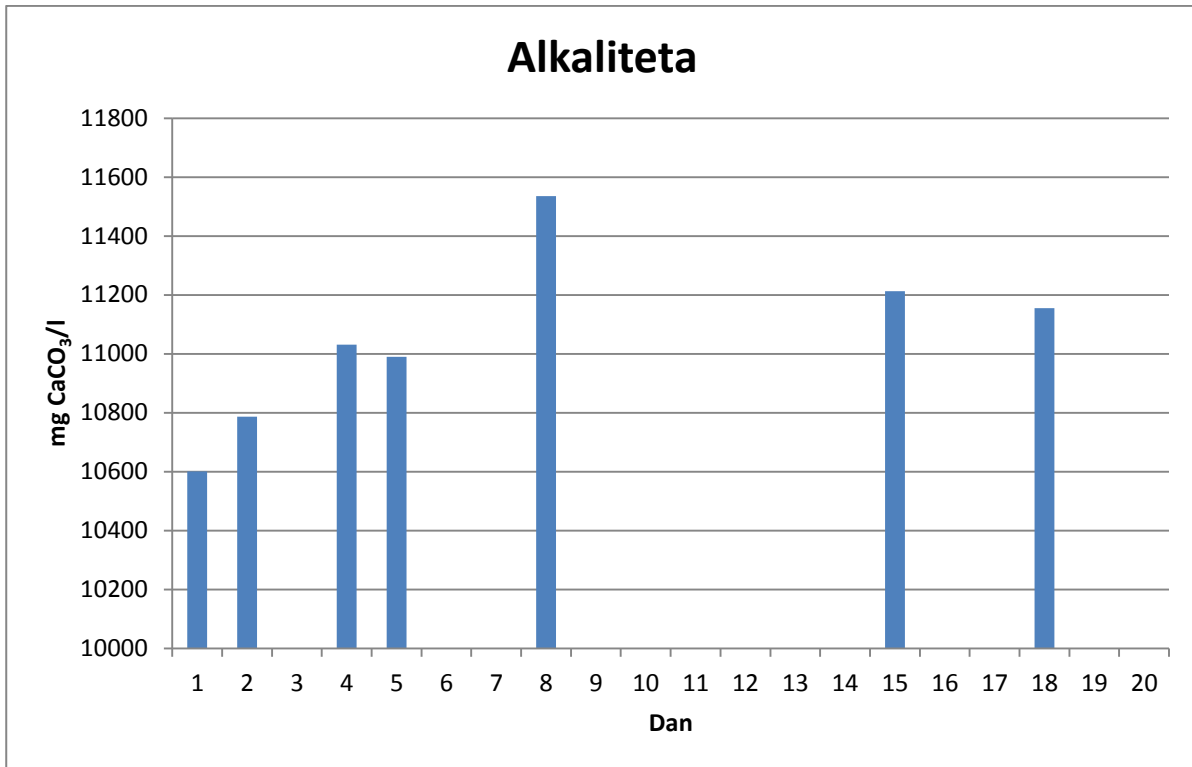
Grafikon 11 prikazuje hlapne maščobne kisline, ki so bile izmerjene v eksperimentu 2. Grafikon 12 prikazuje vrednost pH, ki smo jo določili v eksperimentu 2. Grafikon 13 prikazuje alkaliteto, izmerjeno v eksperimentu 2.



Grafikon 11: Hlapne maščobne kisline po dnevih

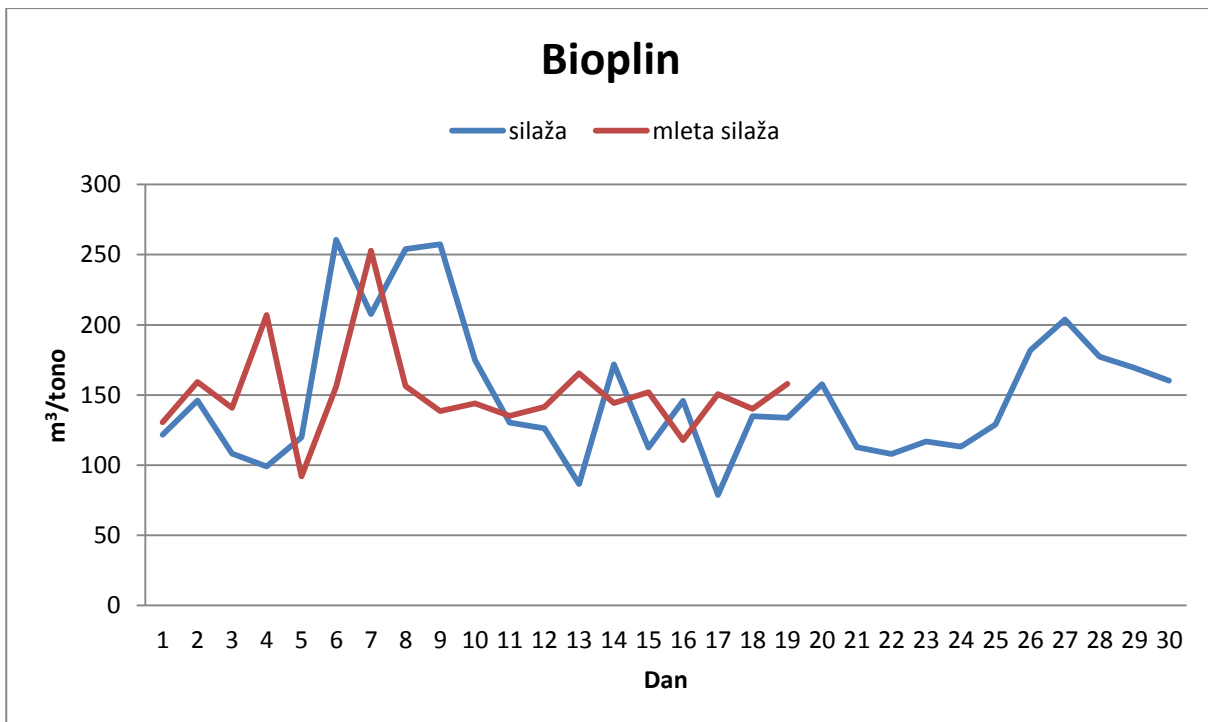


Grafikon 12: Vrednost pH po dnevih



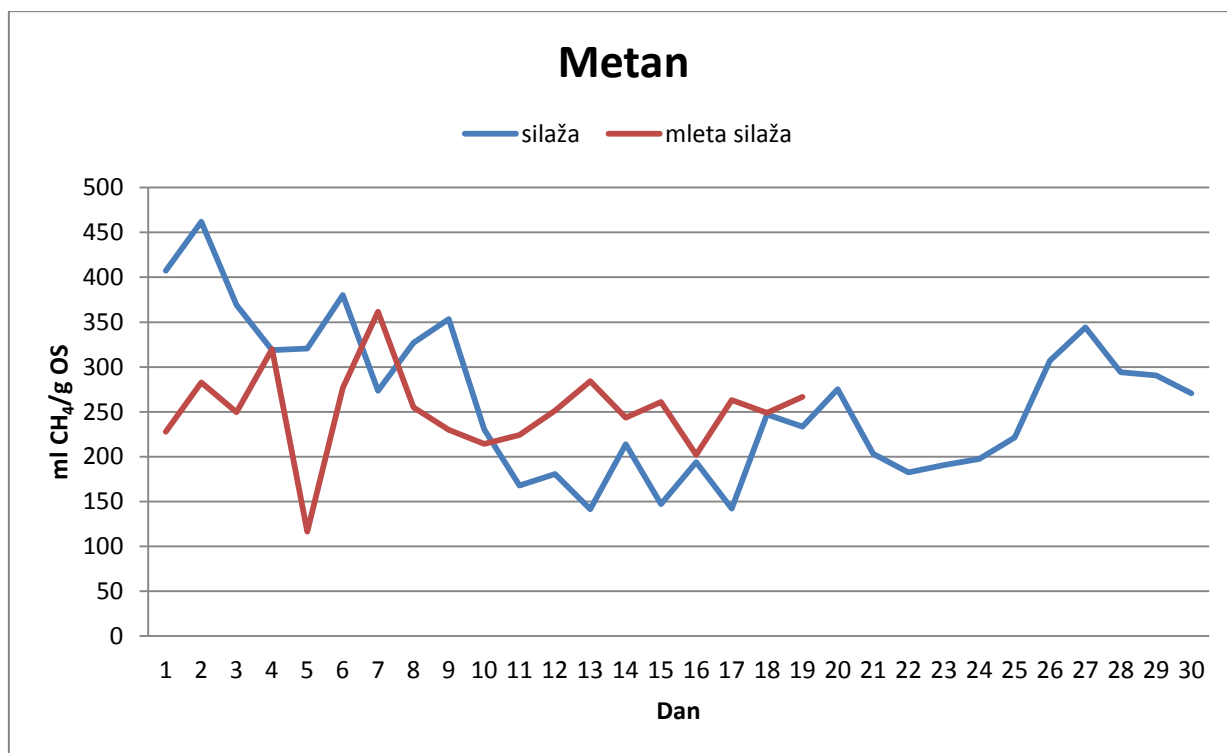
Grafikon 13: Alkaliteta po dnevih

Grafikon 14 prikazuje primerjavo v donosu bioplina med prvim in drugim eksperimentom.



Grafikon 14: Primerjava donosa bioplina na tono silaže med prvim in drugim eksperimentom

Grafikon 15 prikazuje primerjavo v donosu metana med prvim in drugim eksperimentom.



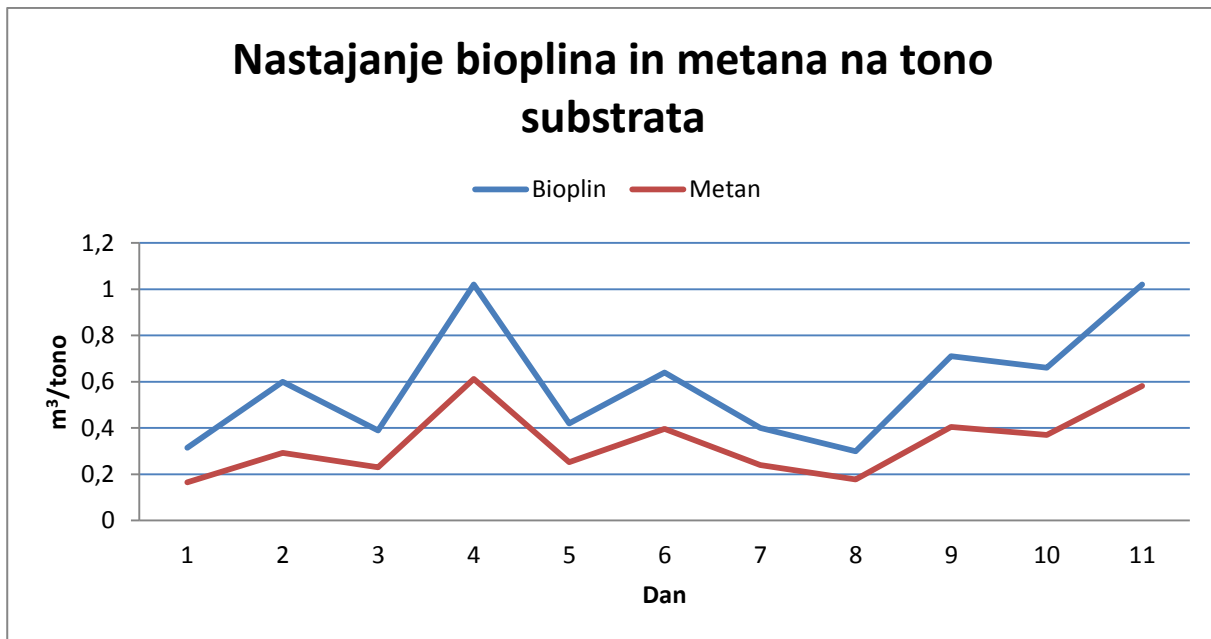
Grafikon 15: Primerjava donosa metana med prvim in drugim eksperimentom

8.3 Eksperimenta 3: Merjenje količine bioplina, ki ga dobimo iz odpadnega blata iz komunalne čistilne naprave

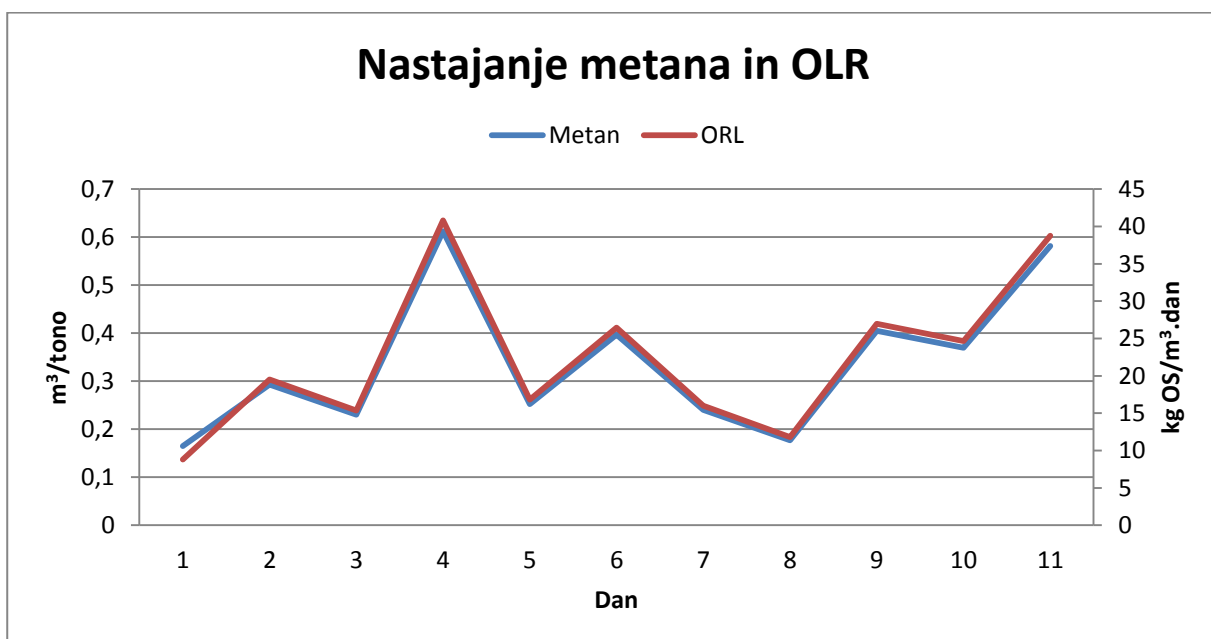
V tretjem eksperimentu smo dozirali odpadno blato iz komunalne čistilne naprave Murska Sobota. V povprečju je bilo doziranega 9,55 kg blata na dan, iz česar je nastalo v povprečju 5,69 l bioplina dnevno. Bioplin, ki je nastajal, je bil v povprečju sestavljen iz 59,18 % metana, 39,36 % ogljikovega dioksida in 0,49 % kisika. V bioplinu je bilo v povprečju tudi 60,73 ppm vodikovega sulfida. Hlapne maščobne kisline so se gibale okrog vrednosti 900 mg CH₃COOH/l. Višje vrednosti niso dosegle zaradi zelo nizke vsebnosti organskih snovi. V tretjem eksperimentu je vrednosti pH nihala med 7,88 in 8,15. Z odpadnim blatom smo dosegli povprečni donos metana 22,35 ml CH₄/g OS. Kot pričakovano, je bil povprečni donos metana, v primerjavi s silažo in mleto silažo, dosti nižji. Grafikon 16 prikazuje nastajanje bioplina in metana po dnevih v m³/tono doziranega odpadnega blata. Povprečni donos metana na tono doziranega odpadnega blata je bil 0,338 m³. V tretjem eksperimentu je nastajalo od 8,8 do 40,8 ml metana na gram OS na dan. Največji donos je bil dosežen na peti dan tretjega eksperimenta. Grafikon 17 prikazuje nastajanje metana na tono doziranega odpadnega blata in OLR po dnevih tretjega eksperimenta. Določili smo tudi suho in organsko snov odpadnega blata. Suha

snov je znašala 2,35 %, organska snov pa 1,5 %. Razmerje med organsko in suho snovjo (OS/SS) je znašalo 63,83 %.

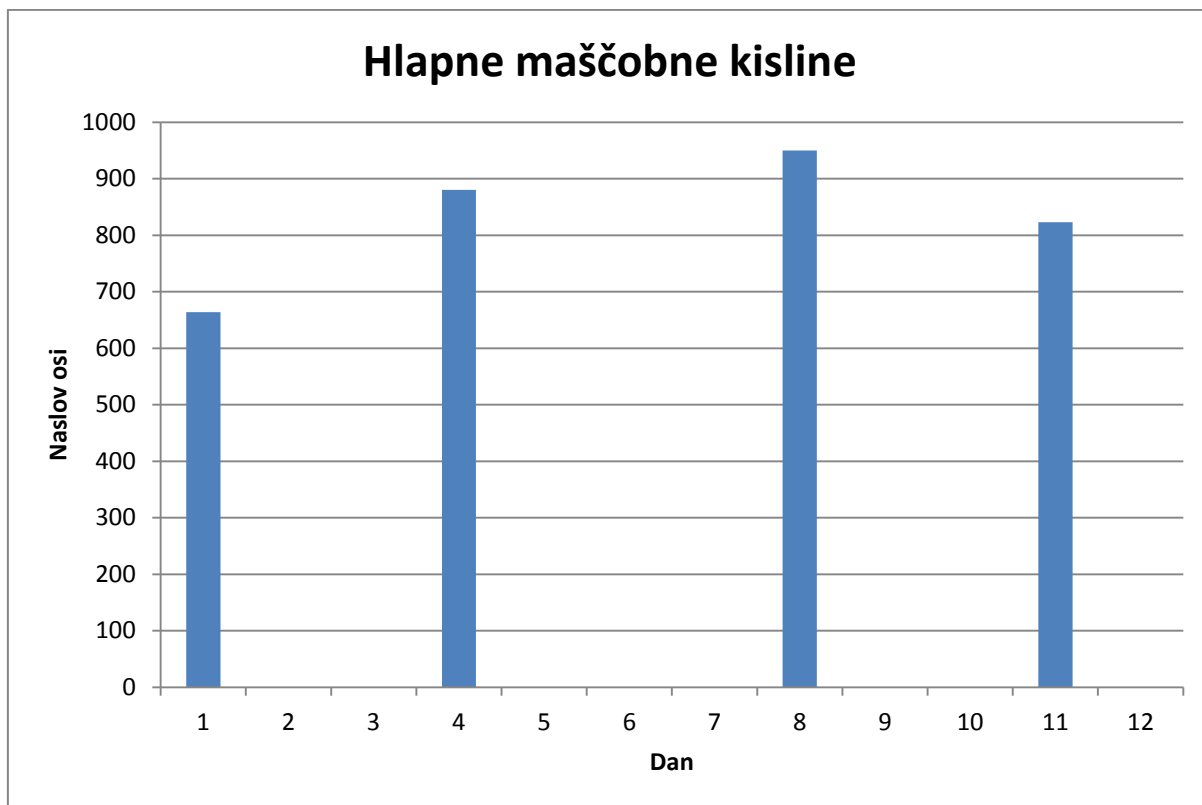
Campos (1999) je določil metanski donos prašičje gnojevke. Dobil je rezultat 143 ml CH₄/g OS. Če ta donos primerjamo z donosom blata ugotovimo, da je donos blata približno 7 krat manjši (donos blata: 22 ml CH₄/g OS). V primeru, da zmanjka prašičje gnojevke bi lahko za doziranje v fermentorje uporabili odpadno blato, saj vsak dan nastane ogromno blata, ki ga potem odložijo na deponiji.



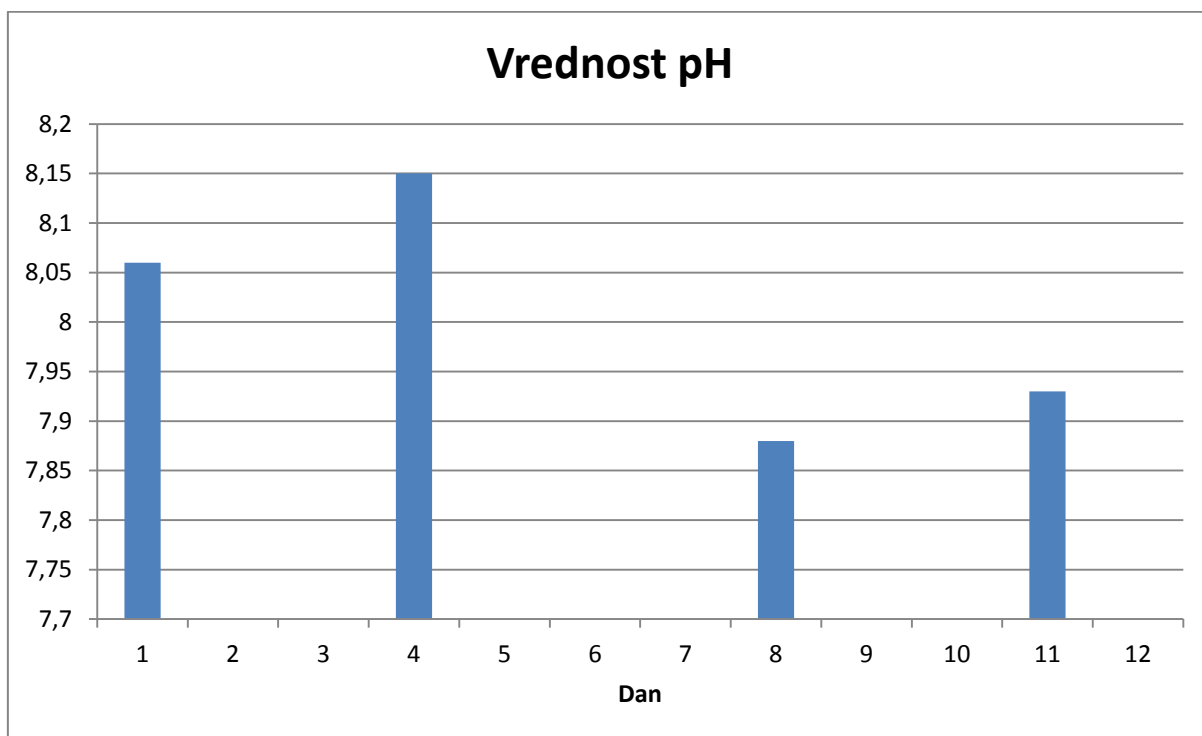
Grafikon 16: Nastajanje bioplina po dnevih



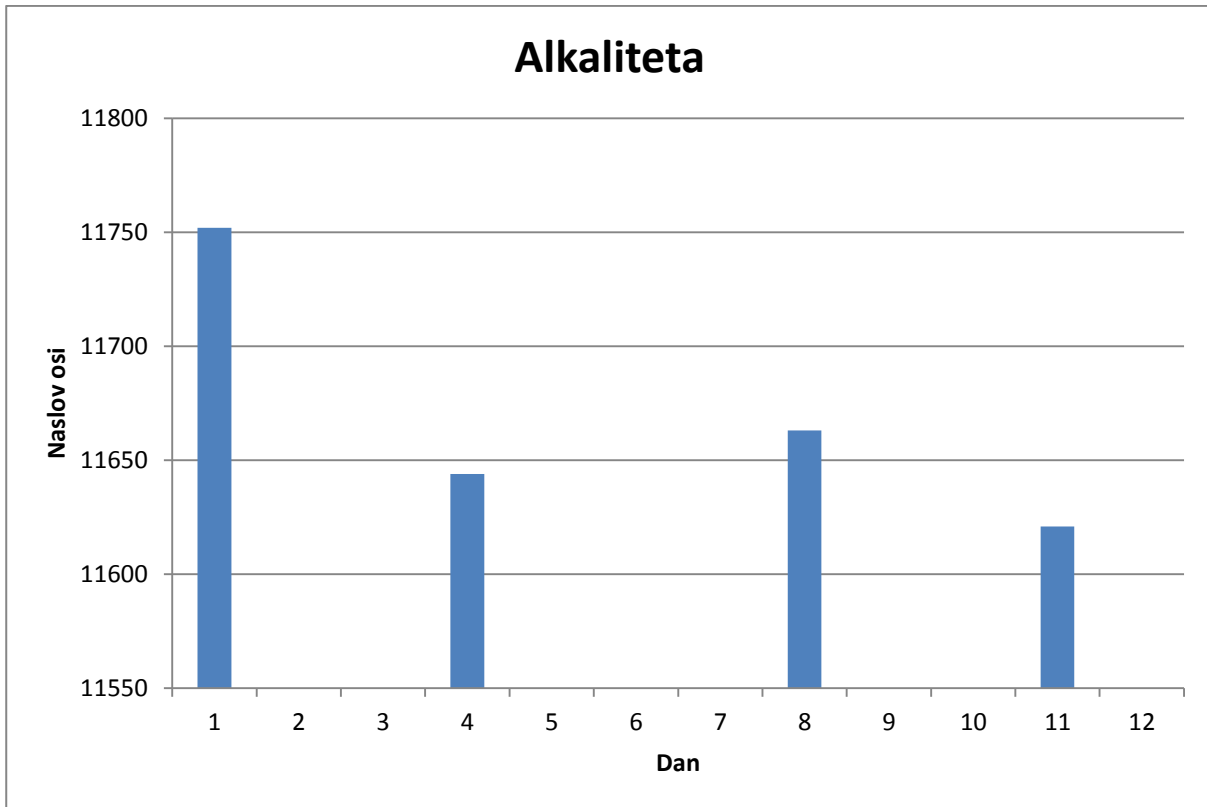
Grafikon 17: Nastajanje metana glede na OLR



Grafikon 18: Hlapne maščobne kisline po dnevih



Grafikon 19: Vrednost pH po dnevih



Grafikon 20: Alkaliteta po dnevih

Grafikon 18 prikazuje hlapne maščobne kisline med eksperimentom 3. Grafikon 19 prikazuje vrednost pH med eksperimentom 3. Grafikon 20 prikazuje alkaliteto med eksperimentom 3.

8.4 Diskusija

Namen eksperimentov je bil določiti bioplinski potencial silaže, ga izboljšati s predobdelavo in kombinacijami z odpadnim blatom. V prvem eksperimentu smo ugotovili, da dobimo iz 1 tone silaže 83,12 m³ metana. V primerjavi z drugim eksperimentom smo ugotovili, da ima mleta silaža nekoliko večji metanski potencial, saj so rezultati pokazali, da iz 1 tone mlete silaže dobimo 89,85 m³ metana. Bioplin, ki smo ga pridobivali iz silaže in mlete silaže, je imel zelo podobno sestavo. V povprečni vsebnosti metana je bila razlika samo za 1,27 %, v vsebnosti ogljikovega dioksida pa za 2,27 %. V vsebnosti kisika praktično ni bilo razlike. Prav tako se vrednost pH mešanice v reaktorju ni bistveno razlikovala med prvim in drugim eksperimentom. Po preračunu donosov bioplina in vsebnosti metana ugotovimo, da mleta silaža da več metana na gram organske snovi. Donos metana na gram organske snovi običajne silaže je bil v povprečju 227,55 ml, mlete silaže pa 251,48 ml dnevno. Razlika je 23,93 ml CH₄/g OS. Neureiter (2005) je silaži določil donos metana 338 ml/g OS, Dubrovskis (2009) 295 ml/g OS, Pubeheim (2010) 335–370 ml/g OS in Luna-delRisco 307 ml/g OS. V primerjavi s temi raziskavami ugotovimo, da je bil naš donos nekoliko manjši. Razlog je v sami sestavi in kvaliteti silaže. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da mleta silaža poveča količino nastalega bioplina in s tem tudi količino metana. Pri tem je treba upoštevati dodatne stroške zaradi mletja silaže. Za potrebe diplomske naloge je za mletje silaže zadostoval mini sekljalnik, s katerim smo uspešno zmleli potrebno silažo. Za večje količine silaže, kot jo rabi za obratovanje Bioplinarne Nemščak, pa ta mini sekljalnik nikakor ne bi zadostoval. Ob neprestanem mletju bi namreč v 24 urah lahko zmleli največ 576 kg silaže. Za obratovanje bioplinarne v povprečju potrebujejo 30 ton silaže dnevno. Vprašanje je, kako dolgo bi zdržal ta mini sekljalnik, če bi deloval brez ustavitve.

S kuhinjskim sekljalnikom smo za mletje ene tone silaže porabili 15,84 kWh energije. Če primerjamo z industrijskim mlinom, ki porabi 11,6 kWh (Mönch-Tegeder, 2014) energije ugotovimo, da industrijski mlin porabi veliko manj energije in silažo zmelje hitreje. Mlin znamke MEBA cross-flow na raziskovalni bioplinarni v Unterer Lindenhofu, na katerem je eksperimente izvajal Mönch-Tegeder, ima kapaciteto enkratnega mletja 340 kg. Dnevno lahko mletje ponovijo 12 krat in tako dosežejo dnevno kapaciteto mletja 4080 kg. Za potrebe Bioplinarne Nemščak bi potrebovali vsaj 7 takih mlinov. Mönch-Tegeder je še ugotovil, da se v večini primerov mletja energijska bilanca ne izide. Torej za mletje porabimo več energije, kot jo pridobimo v primerjavi z neobdelano silažo. Donosi bioplina in metana so bili določeni v stekleničkah z volumnom 2000 ml.

Iz rezultatov tretjega eksperimenta smo ugotovili, da dobimo iz ene tone odpadnega blata 0,338 m³ metana. Bioplin, ki je pri tem nastajal, ima zelo podobno sestavo kot bioplin iz silaže oziroma mlete silaže (59,18 % CH₄, 39,36 % CO₂, 0,49 % O₂). Količina nastalega bioplina je kot pričakovano zelo majhna v primerjavi s silažo. Zelo majhen je tudi donos metana na gram organske snovi (povprečno 22,35 ml). Nizki donosi bioplina in metana so posledica nizke vsebnosti suhe in organske snovi, kar je

pričakovano, saj je blato iz KČN odpadek. Glede na to, da je blato odpadki ter Mestna občina Murska Sobota plačuje za odlaganje, je vsak izplen metana iz odpadka dober. Iz podatkov o količini nastalega blata na KČN Murska Sobota sklepamo, da je blata za doziranje v fermentorje več kot dovolj. Bioplinarna Nemščak je v januarju 2015 povprečno porabila 23,35 m³ prašičje gnojevke za polnjenje fermentorjev na dan. Na KČN Murska Sobota pa proizvedejo v povprečju 72,94 m³ odpadnega blata na dan. Če primerjamo donos blata s prašičjo gnojevko, ki ga je določil Campos (1999) ugotovimo, da lahko v primeru pomanjkanja prašičje gnojevke le-to nadomestimo z odpadnim blatom iz komunalne čistilne naprave.

9 ZAKLJUČEK

V Sloveniji se je zgradilo veliko bioplinarn, ki za svoje delovanje potrebujejo ogromne količine substratov. Bioplinarne ukrepajo tako, da poskušajo koruzno silažo nadomestiti s silažo iz sirka ali silažo iz tritikale in podobno. Zaradi zmanjšanja števila prašičev na prašičerejski farmi Nemščak, od koder bioplinarna dobiva prašičjo gnojevko, grozi Bioplinarni Nemščak poleg pomanjkanja substrata, še pomanjkanje gnojevke. Zato smo se odločili, da z eksperimenti in raziskavami v tej diplomski nalogi poskusimo povečati izplen bioplina iz koruzne silaže. Za pridobivanje bioplina in nadomestilo za prašičjo gnojevko, je primerno odpadno blato iz komunalne čistilne naprave, saj Mestna občina Murska Sobota plačuje za odlaganje le-tega blata.

Eksperimente smo izvajali na Bioplinarni Nemščak v Ižakovcih na pilotnem reaktorju za preizkušanje novih in obstoječih substratov. Volumen reaktorja je 2500 litrov, od tega je 500 litrov plinohrama. Reaktor smo krmilili računalniško. Računalnik je sproti beležil tudi količino nastalega bioplina, za kontrolo pa smo količino bioplina odčitavali in beležili tudi ročno.

Nepredelani silaži smo določili donos metana $83,12 \text{ m}^3$ na tono silaže. Mleti silaži pa donos $89,85 \text{ m}^3$ metana na tono mlete silaže. Tako smo dokazali, da mleta silaža poveča količino nastalega metana za $6,73 \text{ m}^3$ na tono doziranega substrata. Sestava bioplina je bila v obeh primerih skoraj enaka. Če upoštevamo porabljeno energijo za mletje in pridobljeno energijo mlete silaže ugotovimo, da smo porabili več energije kot smo je pridobili. To je najverjetneje razlog, zakaj se mletje silaže za pridobivanje bioplina še ne uporablja na nobeni bioplinarni.

Kljub temu, da je odpadno blato odpadek in je namenjeno za odlaganje, ima v sebi še nekaj potenciala za pridobivanje metana. Odpadnemu blatu smo določili donos metana $0,338 \text{ m}^3$ na tono doziranega blata. Iz rezultatov sklepamo, da lahko odpadno blato uporabimo pri pridobivanju bioplina tako, da nadomestimo del prašičje gnojevke z odpadnim blatom. S tem bi v primeru pomanjkanja gnojevke zmanjšali njeno porabo, zmanjšali pa bi tudi strošek odlaganja blata na deponiji.

VIRI

Al Seadi, T. 2003. Good practice in quality management of AD residues from biogas production. University of Southern Denmark, Esbjerg, str. 1-32.

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. Agencija za prestrukturiranje energetike, Ljubljana, 145 str.

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. Washington, USA, American Public Health Association.

Bernik, R., Zver, A. 2009. Introduction pilot biogas reactors and application to define biogas potential of basic substrat, swine slurry. Acta agriculturae Slovenica 94/2, 167–172.

Bernjak, A., 2013. Možnosti uporabe blata iz Centralne čistilne naprave Murska Sobota. Diplomski naloga. UL FGG, Ljubljana (samozaložba A. Bernjak): 82 str.

Bioplinarna Nemščak. 2010. Dobra inženirska praksa. <http://www.izs.si/dobra-praksa/primeri-dobre-prakse/industrijski-objekti/bioplinarna-nemscak/> (Pridobljeno 05. 01. 2015)

Campos, E., Palatsi, J., Flotats, X. 1999. Codigestion of pig slurry and organic wastes from food industry. University of Lleida, Lleida, str. 1-4.

Centralna čistilna naprava. 2013. [http://www.komunalams.si/sl/informacija.asp?id meta type=48&id informacija=213](http://www.komunalams.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=48&id_informacija=213) (Pridobljeno 06. 01. 2015)

Deublein, D., Steinhauser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. Weinheim, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co, 450 str.

Energetska bilanca Pomurja. 2014. Lokalna energetska agencija za Pomurje, Martjanci, 58 str.

Harasek, M., 2011. Biogas: Characteristics, Clean-up Technologies and Upgrading. Institute of Chemical Engineering, Vienna.

Kanalizacija in čistilna naprava Beltinci. Občina Beltinci. 2012. <http://www.dolinska-kanalizacija.si/si/obcina-beltinci/kanalizacija-in-cistilna-naprava-beltinci> (Pridobljeno 06. 01. 2015)

Kolbl, S., Stres, B. 2013. Določanje bioplinkega potenciala peletov pšenične slame na laboratorijskem modelnem merilu in njihov vpliv na proces anaerobne presnove. Ljubljana, Acta hydrotechnica 26/44, str. 1-11.

Kolbl, S. 2014. Izboljšava anaerobne presnove blata iz komunalnih čistilnih naprav in lignoceluloznih substratov pri pridobivanju bioplina. Doktorska disertacija. UL FGG (samozaložba S. Kolbl): 206 str.

Kranjc, N. 2012. Okoljski vidiki bioplinske naprave Jezera. Gozdarski Inštitut Slovenije, Ljubljana, str. 1-2.

Luna-delRisco, M., Normak, A., Orupold, K. 2011. Biochemical methane potential of different organic waste and energy crops from Estonia. Estonian University of Life Sciences, Tartu, str. 331-342.

McCarty, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. Public Works. Stanford University, str. 107-126.

Mönch-Tegeder, M., Lemmer, A., Jungbluth, T., Oechsner, H. 2014. Effects of full-scale substrate pretreatment with a cross-flow grinder on biogas production. University of Hohenheim, Hohenheim, str. 138-147.

Nekrep, F., V. 2008. Anaerobna obdelava odpadne vode in odpadkov. http://www.bfro-uni-lj.si/zoo/pers/fnekrep/sas_anaerob.htm (Pridobljeno 13. 01. 2015)

Ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka za podjetje Petrol d.d., 2014. ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o., Velenje, 18 str.

Opis delovanja centralne čistilne naprave. 2000
https://www.petrol.si/sites/www.petrol.si/files/opis_delovanja_cistilne_naprave_murska_sobota.pdf
(Pridobljeno 22. 01. 2015)

Packer, N. 2011. Uvedba biometana iz anaerobne presnove v plinsko omrežje. Univerza v Staffordshiru, Združeno kraljestvo.

Panvita Ekoteh d.o.o. Poslovnik za obratovanje Bioplinarne Nemščak. 2008. Rakičan.

Program čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode za obdobje 2015–2018 za območje Mestne občine Murska Sobota, 2014. Petrol, Slovenska energetska družba, d.d., Ljubljana, str. 1-12.

Proizvodnja obnovljive energije iz kmetijskih virov. 2011. Kazalci okolja v Sloveniji, Arso, Ljubljana. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=467 (Pridobljeno 16. 01. 2015)

Razlaga osnovnih izrazov pri bioplinu. Kmetijski inštitut Slovenije. <http://arhiv.kis.si/pls/kis/kis.web?m=170&j=SI> (Pridobljeno 07. 01. 2015)

Ropoša, B., Karba, K. 2011. Trg bioplina v Sloveniji in finančno ocenjevanje bioplinarn v Sloveniji. Razvojna agencija Sinergija, Vučja vas, str. 1-52.

Sorensen B., 2000. Renewable energy. Its physics, engineering, use, enviromental impacts, economy and planning aspects. San Diego, Academic Press. str. 912.

Štumpf, A., 2014. Optimizacija kogeneracijskih enot v bioplinarni. Magistrsko delo. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor (samozaložba A. Štumpf): 119 str.

The Official Information Portal on Aerobic Digestion. 2015. <http://www.biogas-info.co.uk/>
(Pridobljeno 07. 01. 2015)

Uredba o odpadkih. UL RS št. 103/2011: 13935.

Wellinger A., Murphy J., Baxter D. 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 501 str.

Zver, A., 2009. Uporaba nekaterih vrst iz rodu sirkov in japonskega dresnika za proizvodnjo bioplina v Sloveniji. Magistrsko delo. Biotehniška fakulteta, Ljubljana (samozaložba A. Zver): 66 str.

PRILOGE

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: HRT, OLR in količina bioplina za Bioplinarno Nemščak	ii
PRILOGA B: Ocena nevarnosti odpadka s klas.št. 19 08 05	iii
PRILOGA C: Seznam organskih odpadkov, ki so primerni za biološko obdelavo z anaerobno razgradnjo za pridobivanje bioplina	iv
PRILOGA D: Rezultati meritev eksperimenta 1	v
PRILOGA E: Rezultati meritev eksperimenta 2	vii
PRILOGA F: Rezultati meritev eksperimenta 3	ix

PRILOGA A: HRT, OLR in količina bioplina za Bioplinarno Nemščak

Preglednica A: HRT, OLR in količina bioplina za Bioplinarno Nemščak (Podatki delovanja Bioplinarne Nemščak, 2015)

Datum	Vnos [m ³]	HRT [dni]	Vnos [kg]	OLR [kg OS/m ³ .dan]	Količina bioplina [m ³]
1.1.2015	131	62,60	26100	1,11	8112
2. 1.2015	150	54,67	42300	1,80	8160
3.1.2015	133	61,65	26100	1,11	8088
4.1.2015	123	66,67	40500	1,73	7968
5.1.2015	183	44,81	35100	1,50	8064
6.1.2015	149	55,03	48600	2,07	8016
7.1.2015	152	53,95	44100	1,88	8568
8.1.2015	169	48,52	24300	1,04	8616
9.1.2015	134	61,19	38700	1,65	8256
10.1.2015	139	58,99	35100	1,50	8064
11.1.2015	152	53,95	29700	1,27	7992
12.1.2015	139	58,99	36000	1,53	8304
13.1.2015	142	57,75	29700	1,27	8520
14.1.2015	85	96,47	27900	1,19	8328
15.1.2015	111	73,87	40500	1,73	6912
16.1.2015	291	28,18	70200	2,99	11304
17.1.2015	252	32,54	54900	2,34	11472
18.1.2015	277	29,60	46800	1,99	11616
19.1.2015	184	44,57	65700	2,80	9600
20.1.2015	131	62,60	32400	1,38	8424
21.1.2015	154	53,25	29700	1,27	8496
22.1.2015	163	50,31	29700	1,27	9120
23.1.2015	166	49,40	51300	2,19	9624
24.1.2015	169	48,52	37800	1,61	9552
25.1.2015	165	49,70	57600	2,46	9264
26.1.2015	169	48,52	35100	1,50	8592
27.1.2015	153	53,59	50400	2,15	9096
28.1.2015	176	46,59	35100	1,50	9768
29.1.2015	167	49,10	51300	2,19	10152
30.1.2015	159	51,57	49500	2,11	9720
31.1.2015	154	53,25	7200	0,31	9600

PRILOGA B: Ocena nevarnosti odpadka s klas. št. 19 08 05

Preglednica B: Ocena nevarnosti odpadka s klas. št. 19 08 05 (vir: Ocena vrednotenja nevarnih lastnosti odpadka za podjetje Petrol d.d., 2014)

Opis nevarne lastnosti	Ugotovitev - vrednotenje nevarnih lastnosti
H1 - eksplozivno	odpadek ni eksploziven, ne eksplodira ob izpostavitvi plamenu in ni razvrščen v 1. razred blaga v cestnem prometu
H2 - oksidativno	odpadek ni oksidativen, ni razvrščen v 5.1 in/ali 5.2 razred nevarnega blaga po predpisih na področju prevoza nevarnega blaga
H3-A - lahko vnetljivo	odpadek ni lahko vnetljiv, ob stiku z zrakom se ne vname pri sobni temperaturi
H3-B - vnetljivo	odpadek ni vnetljiv
H4 - dražilni	odpadek predvidoma ni dražljiv, ne vsebuje 10 % ali več ene ali več dražilnih snovi z oznako R41, odpadki ob stiku s kožo ne povzročajo vnetja
H5 - škodljivo	odpadek ni zdravju škodljiv, ne vsebuje 25 % ali več ene ali več snovi, ki so zdravju škodljive
H6 - strupeno	odpadek ni strupen
H7 - rakotvorno	odpadek ni rakotvoren
H8 - jedko	odpadek ni jedek
H9 - infektivno	odpadek ni infektiven (vsebnost salmonelle v vzorcu je negativna)
H10 - strupeno za razmnoževanje	odpadek ni strupen za reprodukcijo, ne vsebuje 0,5 % ali več ene ali več snovi, ki so strupene za reprodukcijo
H11 - mutageno	odpadek ni mutagen, ne vsebuje 0,1 % ali več ene ali več mutagenih snovi
H12 - /	odpadek ne sprošča strupenih plinov ob stiku z zrakom, vodo ali kislino
H13 - povzročajo preobčutljivost	odpadek pri vdihavanju ali prodiranju skozi kožo ne sproži reakcije preobčutljivosti
H14 - ekotoksično	odpadek ni ekotoksičen, naj ne bi vseboval ozonu škodljivih snovi
H15 - /	nobeden od parametrov ne presega predpisane mejne vrednosti, skladno z Uredbo o odpadkih, U.I. RS št. 103/11

PRILOGA C: Seznam organskih odpadkov, ki so primerni za biološko obdelavo z anaerobno razgradnjo za pridobivanje bioplina (vir: EWC - European waste catalogue)

Preglednica C: Seznam organskih odpadkov, ki so primerni za biološko obdelavo z anaerobno razgradnjo za pridobivanje bioplina.

Koda odpadkov	opis odpadkov	podskupina odpadkov
02 00 00	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture (vzrejevodnih organizmov), gozdarski, lovski in ribiški odpadki, odpadki od priprave in predelave hrane	kmetijski, vrtnarski, odpadki iz akvakulture (vzrejevodnih 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 pekarn in slaščičarn
		odpadki iz mlekarn
		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 embalažo iz komunalnih odpadkov)
19 00 00	odpadki iz prostorov za obdelavo odpadkov, stranski odpadki, naprav za obdelavo odplak ter pitne vode in vode za industrijsko rabo	odpadki 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 podobni 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

PRILOGA D: Rezultati meritev eksperimenta 1

Preglednica D: Rezultati meritev eksperimenta 1

dan	čas doziranja	količina doziranja [kg]	čas odčitka	količina plina [dcl]	VFA	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	H ₂ S [ppm]	pH	alkaliteta	plina /dan [dcl]	m ³ / tonu	metana/dan [dcl]	metana/dan [ml]	CH ₄ /g OS [ml]
16.11.2014																
1	8:30	9,0	8:00	0	1490	48	48	1,4	46	7,86	9734	0	0	0	0	0
2	8:05	8,5	8:00	10950		52	47	0,9	56			10950	121,6667	5694	569400	407,2961
3	8:05	9,0	8:00	23370		52	45	0,8	80			12420	146,1176	6458,4	645840	461,9742
4	8:30	9,0	8:00	33103		53	46	0,5	76			9733	108,1444	5158,49	515849	368,9907
5	8:30	8,5	8:00	42018	2077	50	49	0,3	144	7,74	9379	8915	99,05556	4457,5	445750	318,8484
6	8:05	4,0	8:00	52199		44	55	0,2	142			10181	119,7765	4479,64	447964	320,432
7	8:30	4,0	8:00	62621		51	34	0,5	96			10422	260,55	5315,22	531522	380,2017
8	8:10	4,0	8:00	70930	2507	46	43	0,2	32	7,56	8299	8309	207,725	3822,14	382214	273,4006
9	8:05	4,0	8:00	81085		45	41	0,3	120			10155	253,875	4569,75	456975	326,8777
10	8:10	4,0	8:00	91380		48	51	0,1	180			10295	257,375	4941,6	494160	353,4764
11	8:10	4,0	8:00	98373		46	52	0,4	140			6993	174,825	3216,78	321678	230,0987
12	8:30	4,0	8:00	103587	2056	45	52	0,3	212	7,64	8257	5214	130,35	2346,3	234630	167,8326
13	8:05	4,0	8:00	108633		50	48	0,2	96			5046	126,15	2523	252300	180,4721
14	8:30	3,0	8:00	112096	1381	57	42	0,5	120	7,67	8208	3463	86,575	1973,91	197391	141,1953
15	8:10	3,0	8:00	117251	1274	58	36	0,5	104	7,84	8698	5155	171,8333	2989,9	298990	213,8698
16	8:05	3,0	8:00	120625	1296	61	36	0,4	100	7,88	9134	3374	112,4667	2058,14	205814	147,2203
17	8:05	4,0	8:00	124998		62	37	0,3	70			4373	145,7667	2711,26	271126	193,9385
18	8:05	4,0	8:00	128150		63	36	0,3	60			3152	78,8	1985,76	198576	142,0429
19	8:05	4,0	8:00	133547	1364	64	35	0,2	52	8,10	10349	5397	134,925	3454,08	345408	247,073
20	8:10	4,0	8:00	138896		61	37	0,4	64			5349	133,725	3262,89	326289	233,397

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice D

20	8:10	4,0	8:00	138896		61	37	0,4	64			5349	133,725	3262,89	326289	233,397
21	8:15	4,0	8:00	145205		61	38	0,3	66			6309	157,725	3848,49	384849	275,2854
22	8:05	4,0	8:00	149714		63	35	0,5	70			4509	112,725	2840,67	284067	203,1953
23	8:05	4,0	8:00	154036		59	35	0,6	74			4322	108,05	2549,98	254998	182,402
24	8:05	4,0	8:00	158712	1411	57	38	0,7	76	8,08	10702	4676	116,9	2665,32	266532	190,6524
25	8:05	4,0	8:00	163239		61	35	0,8	74			4527	113,175	2761,47	276147	197,53
26	8:15	4,0	8:00	168400		60	36	0,8	80			5161	129,025	3096,6	309660	221,5021
27	8:10	4,0	8:00	175677		59	39	0,5	88			7277	181,925	4293,43	429343	307,1123
28	8:10	4,0	8:00	183832		59	39	0,4	92			8155	203,875	4811,45	481145	344,1667
29	8:10	4,0	8:00	190924	1456	58	35	0,7	88	8,05	10855	7092	177,3	4113,36	411336	294,2318
30	8:05	4,0	8:00	197695	1398	60	38	0,6	86	8,01	10914	6771	169,275	4062,6	406260	290,6009
31	8:05	4,0	8:00	204105		59	37	0,5	90			6410	160,25	3781,9	378190	270,5222

kg/dan
3,8

plina/dan [dcl]
5304

POVPREČNE VREDNOSTI:											
60,11	36,89	0,5	80,78	7,947	9837,143	5304	138,5731	3181,178	318117,8	227,5521	

skupaj [kg]
69,0

skupaj plina [m ³]
9,5472

Dosežena količina plina:

138,365	m ³ /tono
---------	----------------------

PRILOGA E: Rezultati meritev eksperimenta 2

Preglednica E: Rezultati meritev eksperimenta 2

dan	čas doziranja	količina doziranja [kg]	čas odčitka	količina plina [dcl]	VFA	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	H ₂ S [ppm]	pH	alkalitet	plina/dan [dcl]	m ³ /tono	metana / dan [dcl]	metana / dan [ml]	CH ₄ /g OS [ml]
23.12.2014																
1	8:45	4	8:45	0	1110					8,18	10601	0	0	0	0	0
2	8:45	4	8:00	5223	1096	61	34	0,9	70	8,08	10787	5223	130,575	3186,03	318603	227,8991
3	8:45	4	8:00	11595		62	37	0,8	98			6372	159,3	3950,64	395064	282,5923
4	8:45	4	8:00	17225	1381	62	36	0,8	104	7,95	11031	5630	140,75	3490,6	349060	249,6853
5	8:45	3	8:00	25504	1463	54	42	0,6	132	7,9	10990	8279	206,975	4470,66	447066	319,7897
6	10:00	4	8:00	28265		59	40	0,3	100			2761	92,0333	1628,99	162899	116,5229
7	10:15	4	8:00	34500		62	37	0,3	110			6235	155,875	3865,7	386570	276,5165
8	8:45	4	8:00	44610	1420	50	45	0,7	150	7,93	11535	10110	252,75	5055	505500	361,588
9	8:30	4	8:00	50859		57	42	0,5	132			6249	156,225	3561,93	356193	254,7876
10	8:30	4	8:00	56403		58	41	0,3	126			5544	138,6	3215,52	321552	230,0086
11	10:30	4	8:00	62161		52	46	0,4	136			5758	143,95	2994,16	299416	214,1745
12	8:30	4	8:00	67566		58	40	0,4	120			5405	135,125	3134,9	313490	224,2418
13	8:30	4	8:00	73230		62	37	0,2	120			5664	141,6	3511,68	351168	251,1931
14	8:45	4	8:00	79851		60	38	0,5	116			6621	165,525	3972,6	397260	284,1631
15	8:30	4	8:00	85623	1391	59	40	0,4	106	8,09	11213	5772	144,3	3405,48	340548	243,5966
16	8:30	4	8:00	91704		60	39	0,3	100			6081	152,025	3648,6	364860	260,9871
17	8:45	4	8:00	96413		60	38	0,5	102			4709	117,725	2825,4	282540	202,103
18	8:45	4	8:00	102441	1406	61	37	0,6	108	8,03	11155	6028	150,7	3677,08	367708	263,0243
19	8:30	4	8:00	108050		62	36	0,5	110			5609	140,225	3477,58	347758	248,7539
20	8:30	4	8:00	114366		59	39	0,4	114			6316	157,9	3726,44	372644	266,5551

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice E

kg/dan	plina na dan [dcl]
3,95	5718,3

skupaj kg	skupaj plina [m ³]
79	11,4366

POVPREČNE VREDNOSTI										
58,84	39,16	0,495	113,4	8,023	11044,6	5718,3	144,108	3339,95	333995	251,4833

Dosežena količina plina: 144,77 m³/tono

PRILOGA F: Rezultati meritev eksperimenta 3

Preglednica F: Rezultati meritev eksperimenta 3

dan	čas doziranja	količina doziranja [kg]	čas odčitka	količina plina [dcl]	VFA	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	H ₂ S [ppm]	pH	alkalitet	plina/dan [dcl]	m ³ /tono	metana / dan [dcl]	metana / dan [ml]	CH ₄ /g OS [ml]
19.1.2015																
1	8:30	7	8:30	0	664					8,06	11752	0	0	0	0	0
2	8:30	8	8:00	22		60	39	0,4	60			22	0,3143	13,2	1320	8,8
3	8:30	10	8:00	70		61	38	0,5	82			48	0,6	29,28	2928	19,52
4	8:30	10	8:00	109	880	59	39	0,6	78	8,15	11644	39	0,39	23,01	2301	15,34
5	8:30	10	8:00	211		60	39	0,4	68			102	1,02	61,2	6120	40,8
6	8:30	10	8:00	253		60	38	0,4	48			42	0,42	25,2	2520	16,8
7	8:30	10	8:00	317		62	37	0,2	40			64	0,64	39,68	3968	26,4533
8	8:30	10	8:00	357	950	60	39	0,3	38	7,88	11663	40	0,4	24	2400	16
9	8:30	10	8:00	387		59	40	0,6	32			30	0,3	17,7	1770	11,8
10	8:30	10	8:00	458		57	42	0,6	96			71	0,71	40,47	4047	26,98
11	8:30	10	8:00	524	823	56	40	0,7	54	7,93	11621	66	0,66	36,96	3696	24,64
12				626		57	42	0,7	72			102	1,02	58,14	5814	38,76
		kg/dan	plina/dan [dcl]		POVPREČNE VREDNOSTI											
		9,54545	56,90909		59,182	39,36	0,491	60,727	8,005	11670	56,9091	0,5886	33,5309	3353,1	22,3539	
		skupaj [kg]	skupaj plina [m ³]													
		105	0,0626													
Dosežena količina plina:			0,5962 m ³ /tono													