
**BIOJÄTE-LIETESEOKSEN BIOKAASUTUS
KOEREAKTORILLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka

Visamäki, 10.11.2009

Laura Kannisto



Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Hämeenlinna

Työn nimi Biojäte-lieteseoksen biokaasutus kooreaktorilla

Tekijä Laura Kannisto

Ohjaava opettaja Maritta Kymäläinen

Hyväksytty _____ . _____ .20 _____

Hyväksyjä

VISAMÄKI

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Ympäristöbiotekniikka

Tekijä

Laura Kannisto

Vuosi 2009**Työn nimi**

Biojäte- lieteseoksen biokaasutus kooreaktorilla

TIIVISTELMÄ

Työ on tehty Hämeen ammattikorkeakoululle (HAMK) yrityksen toimeksiannosta. Kirjallisessa osuudessa selvitettiin erilaisten biojätteiden koostumusta ja ominaisuuksia. Työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin biojätelieteseoksen biokaasun ja metaanin tuottoa sekä prosessin tilaa jatkuva- toimimisessa biokaasutuksessa.

Kirjallisuusselvityksen perusteella eri tavoin ja eri vuodenaikoina kerättyjen biojätteiden vertailussa biojätteen ominaisuuksiin ei vaikuttanut niin paljon vuodenaika vaan mistä ja miten jäte oli kerätty. Tarkastelussa mukana olleista biojätteistä tasalaatuisinta oli ruokaloista kerätty biojäte ja huonolaatuisinta biologiseen käsittelyyn oli mekaanisesti sekajätteestä erotettu biojäte.

Työn kokeellinen osio toteutettiin HAMK:n Visamäen yksikössä sijaitsevalla 200 l:n kooreaktorilla. Reaktorin tilaa seurattiin poisteesta tehdyin analyysein: pH, alkaliteetti, haihtuvat rasvahapot, ammonium- ja kokonaistyyppi, kemiallinen hapenkulutus ja poisteen kuiva-aineen sekä orgaanisen aineen määrä. Lisäksi mitattiin biokaasun tuottoa ja metaanipitoisuutta.

Prosessi saavutti koejakson aikana tasapainoisen tilan kuormituksella 2,5 kgVS/m³d. Tämä todennettiin prosessista tehdyin mittauksin ja analyysein. Tasalaatuisella syöteseoksella syötettäessä biokaasun tuotto oli n. 430 l/kgVS ja metaanipitoisuus n. 60 %. Kirjallisuuden perusteella tämä biokaasun tuotto on hieman erilliskerättyjen biojätteiden tuottoja alhaisempi. Syöteseoksen jätevesilietejakeet alentavat biokaasutuottoa verrattuna biojätteistä saatavaan tuottoon.

Avainsanat Biojäte- lieteseos, biokaasutus, biokaasu, biojäte**Sivut**

33 s. + liitteet 3 s.

HÄMEENLINNA

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Environmental Technology

Author

Laura Kannisto

Year 2009

Subject of Bachelor's thesis Anaerobic Digestion of Biowaste Sludge Mix with Pilot Reactor

ABSTRACT

This thesis was commissioned by HAMK University of Applied Sciences based on a company commission. The literature part of the thesis analysed the consistencies of different kinds of biowaste. The experimental part examined the production of biogas and methane from biowaste sludge mix and followed the state of the process.

On the basis of the literature part, it could be concluded that the change of seasons did not have as big an effect on biowaste consistency as how the waste was collected. Of the examined biowaste, the biowaste collected separately from canteens was the most homogenous, whereas the mechanically sorted organic fraction of municipal solid waste had the worst quality for biological treatment.

The experimental part of the thesis was carried out by the 200 l pilot reactor situated in HAMK Visamäki unit. The state of the reactor was monitored by the following analyses: pH, alkalinity, volatile fatty acid, ammonium and total nitrogen, chemical oxygen demand, total solid and organic solid. In addition, biogas production and methane concentration were also measured.

In the trial period, the process achieved a balance with the load 2.5 kgVS/m³d. This was verified from the analyses and measurements made from the process in the reactor. With a homogenous input, the production of biogas was ca. 430 l/kgVS and gas methane concentration ca. 60 %. On the grounds of literature, this biogas production was somewhat lower than biogas production from separately collected biowaste. Sewage sludge in the feed decreased biogas production compared to pure biowaste.

Keywords Biowaste sludge mix, anaerobic digestion, biogas, biowaste

Pages 33 p. + appendices 3 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	BIOJÄTTEEN OMINAISUUDET	2
2.1	Biojätteen koostumus ja ominaisuudet	2
2.1.1	Sekajätteestä mekaanisesti erotettu biojäte	2
2.1.2	Erilliskerätty biojäte	3
2.1.3	Eri tavoin kerättyjen biojätteiden vertailua	4
2.2	Vuodenajan vaikutukset biojätteen koostumukseen ja ominaisuuksiin	5
3	KOEJÄRJESTELYT	7
3.1	Kooreaktori	7
3.2	Reaktorin syötemateriaalit	9
3.2.1	Biojäte	9
3.2.2	Jätevedenpuhdistamolietteet	9
3.2.3	Rasvaliete	9
3.3	Reaktorin syöttö ja kuormitus	9
3.4	Reaktorin lämpötila	11
4	SYÖTEMATERIAALIEN ANALYYSITULOKSET	13
4.1	Ympin analyysitulokset	13
4.2	Syötekomponenttien analyysitulokset	13
4.2.1	Biojäte	14
4.2.2	Liete A	14
4.2.3	Liete B	15
4.2.4	Rasvaliete	15
5	BIOKAASUN JA METAANIN TUOTTO	17
5.1	Biokaasun tuotto	17
5.2	Metaanin tuotto	19
5.3	Biokaasun tuotto profiilit	21
6	PROSESSIN TILA	23
6.1	pH	23
6.2	Alkaliteetti ja haihtuvat rasvahapot (VFA)	24
6.3	VFA/alkaliteetti-suhde	26
6.4	Ammoniumtyppi	26
6.5	Kokonaistyyppi	27
6.6	Ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä	27
6.7	Kemiallinen hapenkulutus (COD)	28
6.8	Kuiva-aine (TS) ja orgaaninen aines (VS)	28
6.9	TS- ja VS-reduktiot	29
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
	LÄHTEET	32

-
- LIITE 1 Syötekomponenttien analyysitulokset
 - LIITE 2 Koejakson biokaasun ja metaanin tuotot
 - LIITE 3 Poisteanalysien tulokset

1 JOHDANTO

Biohajoavan jätteen määrä kasvaa kokoajan, ja sen käsittelyn vaatimukset kiristyvät. Yksi vaihtoehto biohajoavan jätteen käsittelyyn on biokaasutus. Jätteen hajottamisen lisäksi biokaasutuksessa saadaan kerättyä hajotuksessa syntyvää biokaasua ja sen sisältämää metaania hyödynnettäväksi lämmön ja sähkön tuotantoon tai jalostettavaksi liikennepolttoainekäyttöön. Myös biokaasutuksessa hajoamaton aines voidaan hyötykäyttää: lannoitteena tai maanparannusaineena.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta: kirjallisuustiedon pohjalta tehdystä biojätteiden ominaisuuksia vertailevasta osasta sekä biojäte-lieteseoksen kokeellisesta biokaasutuksesta ja sen tuloksista kertovasta osasta. Molemmat osiot on tehty Hämeen ammattikorkeakoululla yrityksen toimeksiannosta.

Kirjallisuuden perusteella tehdyssä biojätteiden ominaisuuksien vertailussa on mukana kolmella eri tavalla kerättyjä jätteitä: mekaanisesti sekajätteestä eroteltu sekä ruokaloista ja kotitalouksista erilliskerätty biojäte. Näiden biojätteiden ominaisuuksia vertaillaan toisiinsa niiden kuiva- ja orgaanisenaineen sekä COD:n (kemiallinen hapenkulutus) ja kokonaistyypen osalta. Kirjallisessa osuudessa verrataan myös eri vuoden aikoina kerätyn biojätteen ominaisuuksia.

Kokeellisen osuuden raportoinnissa kerrotaan biojäte-lieteseoksen biokaasutuksessa käytetystä kooreaktorista, sen ylläpidosta ja koejaksolla käytetyistä kuormituksista. Näiden lisäksi kerrotaan hieman tarkemmin biokaasutuksessa käytetyistä neljästä syötekomponentista. Syötemateriaaleista kerrotaan niille sekä ympärille tehtyjen analyysien tuloksia sekä vertaillaan eri aikoina saapuneiden jätejäte-erien tuloksia.

Työssä esitetään toimeksiantajan kiinnostuksen kohteena olleen biokaasun ja metaanin tuottoa sekä tuoton kehitystä syöteseoksen koostumusvaihtelun mukaan. Lisäksi kerrotaan koejakson aikana reaktorista otetulle poistelle tehdyistä analyyseista ja niiden tuloksista. Näiden analyysien perusteella tarkastellaan hajotusprosessin tilaa ja vakautta.

2 BIOJÄTTEEN OMINAISUUDET

Euroopan unionin määrittelyn mukaan biojätteellä tarkoitetaan biohajoavaa puutarha- ja puistojäätettä, kotitalouksista, ravintoloista, catering-palveluista ja vähittäisliikkeistä peräisin olevaa elintarvike- ja keittiöjätettä sekä vastaavaa elintarviketeollisuuden jätettä. Saman määritelmän mukaan biojätteeksi ei lueta maa- ja metsätalouden jätettä, karjanlanta- tai puhdistamolietettä tai muuta biohajoavaa jätettä, kuten luonnontekstiilejä, jalostettuja puutuotteita tai elintarviketeollisuuden sivutuotteita. (Vihreä kirja: Biojätehuolto Euroopan unionissa 2008, 1.)

2.1 Biojätteen koostumus ja ominaisuudet

Tässä kirjallisuuden perusteella tehdyssä, biojätteiden Koostumusta ja ominaisuuksia vertailevassa osassa käsitellään mekaanisesti sekajätteestä erotettua biojätettä sekä ravintolasta ja hedelmätorilta erilliskerättyä biojätettä. Mukana on myös kotitalouksista erilliskerättyjen biojätteiden analyysituloksia. (Cecchi, Traverso, Pavan, Bolzonella & Innocenti 2003, 149). Vertailussa ei ole mukana teollisuudessa syntyviä biohajoavia jätteitä.

2.1.1 Sekajätteestä mekaanisesti erotettu biojäte

Mekaanisesti erotettu biojäte kerätään yhdessä muiden yhdyskuntajätejakeiden kanssa. Tämän jälkeen sekajätteestä erotetaan mahdollisimman hyvin erilleen niin metallit, lasit, muovit kuin muutkin osat. Biohajoamattomien ja palamattomien osien erottamisen jälkeen, jäljelle jääneestä jätteestä voidaan valmistaa RDF-polttoainetta (Refuse Derived Fuel). RDF:n lisäksi erottelussa on mahdollista saada erotettua biologiseen käsittelyyn kelpavaa jätettä. (Cecchi ym. 2003, 142 .)

Cecchi ja muut (2003, 142) esittelevät kolme sekajätettä mekaanisesti erottelevaa laitostyyppiä: yksinkertaisen (Simplified), keskivaikean (Medium complex) ja monimutkaisen (Complex) käsittelyprosessin. Mitä monimutkaisempi mekaaninen käsittely on, sitä tasalaatuisempia jättejakeita sillä saadaan erotettua. Taulukossa 1 on esitetty mekaanisessa erotuksessa saadun biojätteen ominaisuuksia kuiva-aineen (TS), orgaanisen aineen (VS), kemiallisen hapenkulutuksen (TCOD), Kjeldalh-menetelmällä tutkitun kokonaistypen (TKN) ja fosforin (P) analyysien osalta. Tulokset edustavat monimutkaiseksi luokitellun, sekajätettä mekaanisesti erottelevan, laitosmallin biojätettä.

TAULUKKO 1 *Mekaanisesti erotellun yhdyskuntajätteen biojäteosan analyysituloksia. (Cecchi ym. 2003, 144)*

	TS %	VS %TS	TCOD gO ₂ /gTS	TKN %TS	P %TS
keskiarvo	76,3	43,9	0,6	2,2	0,11
vaihteluväli	51,3 – 95,2	29,1 - 57,4	0,2 – 0,9	1,2 - 3,4	0,05 - 0,22

Sekajätteestä lajiteltuun biojätteeseen jää kaikesta huolimatta mukaan myös biohajoamattomia osia, kuten lasia ja metallia, mikä vaikuttaa osaltaan kaikkiin siitä tehtyihin analyysihin. Kaikkiansa yli 40 % mekaanisesti sekajätteestä erotetusta biojätteestä on kelpaamatonta anaerobiseen käsittelyyn. (Cecchi ym. 2003, 145 .)

2.1.2 Erilliskerätty biojäte

Erilliskerättyä biojätettä tarkastellaan kahden erityyppisen kohteen osalta. Elintarvikealanpalveluyrityksistä (ruokakaupat, kahvilat, ravintolat yms.) kerättyjen biojätteiden osalta, nämä biojätteet koostuvat suurelta osin ruokajätteestä sekä pilaantuneista ruoka-aineksista. Toisena osana mukana on kotitalouksista erilliskerätty biojäte, jossa on ruokajätteen lisäksi myös puutarhajätettä, kuten kuolleita lehtiä ja kukkia.

2.1.2.1 Elintarvikealanpalveluyritysten biojäte

Elintarvikealanpalveluyrityksiin lukeutuvista kohteista kerätty biojäte sisältää vain harvoin ylimääräisiä osia, kuten muovia, metallia tai lasia, sillä yritysillä on yksityishenkilöitä paremmat tiedot ja pidempiaikainen kokemus jätteen lajittelusta (Cecchi ym. 2003, 148). Näissä paikoissa keskitytään useasti ainoastaan yhdenlaisen biojättemateriaalin käsittelyyn. Taulukossa 2 on esitetty ruokalasta erikseen kerätyn biojätteen analyysituloksia ja taulukossa 3 hedelmä- ja vihannestorilta kerättyjen biojätteiden analyysituloksia.

TAULUKKO 2 *Ruokalasta erikseen kerätyn biojätteen analyysituloksia. (Cecchi, Pavan & Mata-Alvarez 1997)*

	TS %	VS %TS	TCOD gO ₂ /gTS	TKN %TS	P %TS
keskiarvo	25,6	96,5	1,2	3,2	0,2
vaihteluväli	21,4 - 27,4	91,3 - 99,7	1,2 - 1,3	2,6 - 3,7	0,13 - 0,28

TAULUKKO 3 *Hedelmä- ja vihannestorilta erikseen kerätyn biojätteen analyysituloksia. (Pavan, Battistoni, Mata-Alvarez & Cecchi 2002)*

	TS %	VS %TS	TCOD gO ₂ /gTS	TKN %TS	P %TS
keskiarvo	8,2	81,9	1,0	2,1	2,8
vaihteluväli	5,4 - 13,2	78,2 - 92,0	0,7 - 1,5	1,4 - 3,3	1,3 - 3,3

Suurimmat poikkeavuudet ruokalasta sekä hedelmä- ja vihannestorilta kerättyjen biojätteiden osalta on kuiva-ainepitoisuuksissa. Hedelmä- ja vihannestorilta kerätty biojäte on selvästi nestemäisempää.

Biojätteiden COD ja Kjeldahl-kokonaistypen osalta ruokalasta ja torilta kerätyt biojätteet eivät eroa suuresti toisistaan. Taulukoissa 2 ja 3 esitetyistä tuloksista on kuitenkin selvästi nähtävissä vihannesten ja hedelmien suurempi fosforipitoisuus.

Kaikkienensa ruokalasta kerätty biojäte vaikuttaa vihannes- ja hedelmätorilta kerättyä biojätettä tasalaatuisemmalla analyysitulosten vaihteluvälillä tarkasteltaessa.

2.1.2.2 Kotitalousbiojäte

Kotitalousbiojäte koostuu suurelta osin ruuanjätteistä, hedelmistä ja vihanneksista sekä viljatuotteista (Kim, Choi, Kim, Kim & Chung 2004, 21; Veeken & Hamerles 2001, 88). Näistä kolme jälkimmäistä (hedelmät, vihannekset ja viljatuotteet) kattavat jopa 75 % kotitalouksissa syntyvästä biojätteestä (Kim ym. 2004, 21). Loput, 25 %, muodostuvat muista ruuanjätteistä sekä huone- ja pihakasvien kukista ja lehdistä (Veeken ym. 2001, 88). Taulukossa 4 on esitetty kahden eritutkiimuksessa erilliskerätyn kotitalousbiojätteen analyysituloksia.

TAULUKKO 4 *Erilliskerätyn kotitalousbiojätteen analyysitulokset.*
Biojäte A (Cecchi, Pavan, Mata-Alvarez & Vallini 1989)
Biojäte B (Sans, Mata-Alvarez, Cecchi, Pavan, & Bassetti 1995)

kotitalousbiojäte	TS %	VS %TS	TCOD gO ₂ /gT S	TKN %TS	P %TS
Biojäte A	20,0	88,0	1,1	3,2	0,4
Biojäte B	16,4	90,0	1,1	2,1	2,6

Molemmat kotitalousbiojätteiden analyysitulokset vastaavat kuiva-ainepitoisuuksiltaan paremmin ravintolabiojätettä kuin hedelmistä ja vihanneksista koostuvaa jätettä. Korkeampi kuiva-ainepitoisuus on todennäköisin peräisin kotitalousbiojätteessä mukana olevista puutarhajätteistä (Cecchi ym. 2003, 149).

Kotitalousbiojätteiden fosfori- ja kokonaistyyppipitoisuutta lukuun ottamatta biojätteiden koostumukset vastaavat toisiaan. Kotitalousbiojäte B:n hieman matalamman TS-pitoisuuden, korkeamman fosforipitoisuuden ja alhaisemman kokonaistyyppipitoisuuden perusteella se sisältää enemmän vihanneksia kuin biojäte A (taulukko 2 ja 3).

2.1.3 Eri tavoin kerättyjen biojätteiden vertailua

Koostumukseltaan mekaanisesti sekajätteestä eroteltu biojäte on kaikista heikkolaatuisinta biologiseen käsittelyyn. Mekaanisesti erotetussa biojätteessä kiintoaineen osuus on selvästi korkeampi kuin muissa edellä esitetyissä biojätetyypeissä. Kuitenkin sen orgaanisen aineksen määrä on kaikista pienin. Tämä johtuu biojätteeseen jääneistä epäorgaanisista jakeista. Kaikista eniten vettä sisältää vihanneksista ja hedelmistä koostuva biojäte.

Edellä esitettyjen tulosten perusteella eri biojätetyyppien tyyppipitoisuudet ovat hyvin vastaavia, vaihdellen biojätetyypistä riippuen välillä 2,1 - 3,2 % kuiva-aineesta. Suurimmat tyyppipitoisuudet (3,2 % TS:stä) on saatu ruokalabiojätteestä ja kotitalousbiojäte A:lle tehdyistä tuloksista. Hedelmä- ja vihannestorilta kerätty biojäte on taas sisältänyt vähiten tyyppiä (2,1 % TS:stä).

Fosforipitoisuuksissa on tyypeä suuremmat eroavaisuudet. Fosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,11 - 2,8 % kuiva-aineesta. Näistä alhaisimmat tulokset (0,11 % TS:stä) on saatu mekaanisesti erotetusta biojätteestä. Eniten fosforia on ollut hedelmiä sisältävässä biojätteessä (n. 2,8 % TS:stä).

Tämän selvityksen perusteella koostumukseltaan laadukkainta biojätettä, biologiseen käsittelyyn, saadaan ruokaloista ja ravintoloista, joiden biojäte koostuu ainoastaan ylijääneestä tai pilalle menneestä ruuasta. Laatu on hyvä erityisesti silloin, kun kyseisen biojätteen keräily suoritetaan ainoastaan näistä kohteista. Kyseisellä biojätettä tuottavilla kohteilla on usein pidempiaikaista kokemusta biojätteiden lajittelusta ja näin ollen biojäte on tasaisempaa kuin muuten kerätty biojäte (Cecchi 2003, 148).

2.2 Vuodenajan vaikutukset biojätteen koostumukseen ja ominaisuuksiin

Vuodenajan vaihtelut vaikuttavat ilmastoon, sen lämpötilaan ja ilman kosteuteen, mutta myös ihmisten ruokailutottumuksiin. Taulukkoon 5 on koottu erilliskerätyn biojätteen ominaisuuksien muutoksia vuodenaikojen vaihteluiden mukaan (Zorzi 1997).

TAULUKKO 5 *Erilliskerätyn yhdyskuntajätteen biohajoavan osan ominaisuudet vuodenaikojen vaihteluina. (Zorzi 1997)*

	loka- tammi	helmi- touko	touko- kesä	kesä- heinä	heinä- elo	elo- syys	syys- marras	marras- joulu	joulu- helmi
T, °C	12,6	7,5	21,4	22,2	24,5	23,1	15,1	8,8	7,1
pH	4,7	4,9	5,0	4,7	4,0	4,32	4,3	4,3	5,0
TS, %	9,5	9,4	9,6	9,5	8,9	10,6	10,3	10,3	9,7
VS, %TS	91,5	94,5	89,2	88,9	90,0	92,2	90,6	90,9	91,2
TCOD, g/kg	99,2	101,3	100,4	88,7	95,5	108,6	106,7	108,5	101,7
TKN, g/kg	-	-	-	-	23,2	23,4	23,1	23,2	21,5
P, g/kg	-	-	-	-	3,9	3,7	3,7	3,8	3,5

Suurin vaihtelu tapahtuu biojätteen lämpötilan kohdalla, joka kesäkuukausina on selvästi yli 20 °C ja talvikuukausina vain hieman yli 7 °C. Lähteen (Zorzi 1997) kielen perusteella seuranta on tehty Italiassa. Tarkasteltaessa Italian eri alueiden vuoden lämpötiloja sijoittuu seuranta Pohjois-Italiaan (Numminen & Lehtinen 1978, 328).

Biojätteen pH-arvoon vuodenaikojen vaihtelulle ei näytä olevan suurta vaikutusta. Taulukkoon 5 kerättyjen pH-lukujen perusteella vaihtelu tapahtuu välillä pH 4 - 5, ollen kesäkuukausina hieman alhaisempi kuin talviaikaan.

Vuodenaikojen vaihtelusta huolimatta biojätteen TS-pitoisuus vaihtelee 1,7 %-yksikön sisällä, ollen suurimmillaan (10,6 %) syksyn ja alkutalven kuukausina ja alimmillaan kevään ja kesän kuukausina (8,9 %). Kuiva-aineen orgaanisen aineksen vaihtelu on hieman suurempaa, vaihtelun tapahtuen 5,6 %-yksikön (88,9 - 94,5 %) sisällä. Sekä biojätteen kuiva-aineen että orgaanisen aineen vaihtelua selittää osaltaan ruokailutottumusten vaihtelu vuoden aikojen mukaan, sekä kotitalousbiojätteen mukaan kerä-

tävät huonekasvien ja mahdollisesti myös puutarhakasvien kuolleet oksat ja lehdet.

Lämpötilan vaihtelun jälkeen suurinta vaihtelua vuodenaikojen välillä tapahtuu biojätteen COD:n kohdalla, joka taulukon 5 perusteella vaihtelee n. 20 g/kg sisällä (88,7 - 108,6 g/kg). COD:n tulosten pienin arvo (88,7 g/kg) on kesä-heinäkuun ajalta, suurimmat arvot (yli 100 g/kg) ovat syys- ja talvikuukausilta.

Taulukkoon 5 kerättyjen kokonaistyyppianalyysien kohdalta vaihtelu tapahtuu 1,9 g/kg sisällä. Biojätteen kokonaistypen osalta analyysituloksia on kuitenkin vain syys- ja talvikuukausien sekä yhden kesäkuukauden jakson osalta. Näistä tuloksista kaikista pienin arvo (21,5 g/kg) sijoittuu talvikuukausien (joulukuusi-helmikuusi) kohdalla. Kaikki muut syys- ja alkutalvikuukausien ajalta, taulukossa 5 olevat, kokonaistypen luvut ovat yli 23 g/kg.

Kokonaistypen tavoin fosforistakin on olemassa taulukossa 5 tuloksia ainoastaan syys- ja talvikuukausien ja yhden kesäajalle menevän kuukausijakson kohdalla, joten täydellistä vertailua vuoden aikojen vaihtelun vaikutuksista ei pystytä tekemään. Kuitenkin näiden kuukausijaksojen fosforin tulosten vaihtelu tapahtuu alle 0,5 g/kg sisällä, joten se on pientä.

Kaikissa kolmessa biojätteen ominaisuuksia määrittelevissä analyyseissä (TS, VS, COD), joita on suoritettu talvikuukausien lisäksi useammilta kesäkuukausijaksoilta, on huomattavissa arvojen aleneminen kesäkuukausien kohdalla. Tämä voi selittyä sillä, että kesäkuukausien aikana biojätteen lämpötila on korkeampi kuin talvikuukausina. Näin ollen lämpötila on otollisempi mikrobiologiselle toiminnalle jo ennen jätteen keräilyä ja analysointia.

Edellä esitettyjen biojätteen analyysitulosten perusteella voidaan sanoa, ettei vuodenajan vaihtelu aiheuta kuin muutamien prosentti yksiköiden muutosta biojätteen koostumuksessa ja ominaisuuksissa.

3 KOEJÄRJESTELYT

Biokaasutuskoejakso suoritettiin Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) Visamäen toimipisteen läheisyydessä sijaitsevassa hallissa, 200 litran koereaktorissa ns. hallireaktori. Reaktorin nestetilavuus oli 150 litraa. Koejaksolla reaktorin lämpötila pidettiin termofiilisellä (53 - 55 °C) alueella, reaktorin syötteenä käytettiin kahden eri jätevedenpuhdistamolietteen, rasvalietteen ja biojätelietteen seosta laimennettuna vedellä.

Reaktoria syötettiin 77 vuorokautta kestäneen koejakson aikana päivittäin, aamuisin n. klo 8:00 - 8:30 ja iltapäivisin n. klo 15:00 - 15:30. Viikonloppuisin reaktorin syöttö tapahtui ainoastaan aamusta.

3.1 Kooreaktori

Hallireaktori (kuva 1) sijaitsee n. 200 metrin päässä HAMK Visamäen kampusalueen B-rakennuksesta, jossa ympäristölaboratoriossa valmistettiin reaktorin syötteen sekä suoritettiin poisteanalyysit. Reaktorin tilavuus on 200 litraa ja sen nestetilavuutena oli tällä koejaksolla 150 litraa.



KUVA 1 Koejaksolla käytetty 200 litran kooreaktori.

Kooreaktorissa syntyvä kaasu johdettiin kaasukellolle (kaasun kumulatiivinen tilavuuslukema kirjattiin syöttöjen yhteydessä) ja jatkuvatoimiselle metaanimittarille. Reaktorista seurattiin jatkuvatoimisesti myös lämpötilaa, jonka arvot kirjautuivat metaaniarvojen kanssa tietokoneelle viiden toista minuutin välein. Reaktorissa on automatisoitu sekoitus, joka käynnistyi kahden tunnin välein ja sekoitti reaktorin sisältöä kerrallaan puoli tuntia.

Poiste otettiin ennen kooreaktorin syöttöä. Ensimmäiseksi reaktorin sisältö sekoitettiin, tulevan poisteen homogenisoimiseksi. Kaasumittarille johtava linja suljettiin, jottei poisteen otto tai sitä seuraava syöttö vääristäisi kaasukellon lukemaa. Reaktoria ei kuitenkaan jätetty suljetuksi tilaksi, vaan poisteen korvaamiseksi tarvittava kaasu tuli kaasupussista, jonne linja oli avattu syötön ajaksi. Kaasupussissa oli koejakson alussa edellisiltä reaktorin käyttökerroilta sinne kertynyttä biokaasua.

Syöttö tapahtui heti poisteen oton jälkeen viereisessä tilassa olevan syöttösuppilon ja letkupumpun avulla (kuva 2). Laboratoriossa punnittu syöte kaadettiin syöttösuppiloon ja pumpattiin reaktoriin. Syöttösuppilo huuhdeltiin syötön jälkeen vähäisellä vesimäärällä, joka päättyi lopulta reaktoriin.

Syöttösuppilon ja reaktorin välinen letku oli pituudeltaan noin viisi metriä ja tilavuudeltaan n. 1,6 litraa. Yksittäisen syöttökerran syötteen olivat yleensä 2 - 3 kg. Näin ollen vain osa syöttestä saavutti reaktorin syöttökerran yhteydessä, loput vasta seuraavan syötön myötä.



KUVA 2 *Hallireaktorin syötössä käytettävä syöttösuppilo sekä letkupumppu, syöttöputki (\varnothing 2cm, l=5m) kulkee seinän aukosta styroksilla vuorattiin koppiin, jossa sijaitsee kuvassa 1 esitetty reaktori.*

3.2 Reaktorin syötemateriaalit

Koejaksolla käytettiin syötteenä neljästä eri syötekomponentista koostuvaa seosta; murskattua ja seulottu erilliskerättyä yhdyskuntabiojätettä, kahden eri yhdyskuntajätevedenpuhdistamon lietteitä, jotka olivat kuljetuksen helpottamiseksi kuivattu, sekä rasvalietettä. Syöte valmistettiin laskemalla haluttu kuorma ($\text{kgVS}/\text{m}^3\text{d}$) syötemateriaalien VS- analyysien perusteella ja toimeksiantajan toivomien jätejakoosuuksien mukaisesti (lietteen A 30 %, lietteen B 55,5 %, rasvaliete 5,6 % ja biojätteen 9 % syötteen VS:stä), laimentamalla syötettä kuumalla kraanavedellä haluttuun, ja letkukupulle mahdolliseen TS-pitoisuuteen (alle 10 %). Laimennuksessa käytetty kraanavesi oli mahdollisimman lähellä reaktorin toimintalämpötilaa.

3.2.1 Biojäte

Syötekomponenttina käytetty biojäte oli erilliskerättyä yhdyskuntabiojätettä, joka oli murskattu, seulottu ja lietetty jätteenhoitoyhtiön toimesta. Saapuneet biojäte-erät pakastettiin, jotta niiden mahdollinen käyttöaika pitenee ja biojätteen vaihtuvuus väheni.

3.2.2 Jätevedenpuhdistamo lietteet

Molemmat jätevedenpuhdistamo lietteet tulivat yhdyskuntajätevettä käsitteleviltä puhdistamoilta, kahdelta eri puhdistamolta. Toisella puhdistamolla (liete B) käsitellään ainoastaan yhdyskuntajätevettä, toisella puhdistamolla (liete A) käsittelyssä on mukana myös paperiteollisuuden jätevesiä.

3.2.3 Rasvaliete

Rasvaliete tuli teollisuusjätevedenpuhdistamolta, jossa käsitellään teollisuudessa syntyviä likavesiä. Nimensä mukaisesti tämä liete sisälsi paljon rasvaa.

3.3 Reaktorin syöttö ja kuormitus

Koejakson valmistelut aloitettiin 6.4.2009 ympin hakemisella ja sijoittamisella kooreaktoriin. Ympinä käytettiin termofiilisen biokaasureaktorin aktiivista mikrobimassaa. Reaktori täytettiin tilavuuteen n. 120 litraa.

Lopulliseen koetilavuuteensa reaktori täytettiin käyttäen biojätteen ja veden seosta. Tällä seoksella reaktorin kuormitus oli n. $1 \text{ kgVS}/\text{m}^3\text{d}$. Reaktorin varsinaisen seuranta aloitettiin 18.4.2009, kun reaktori oli täytetty koetilavuuteensa 150 litraan.

Reaktorin ensimmäinen kuormitus oli $1,5 \text{ kgVS}/\text{m}^3\text{d}$, jossa reaktori oli 18.4.2009 - 24.5.2009 välisen ajan. Nosto lopulliseen kuormaan $2,5 \text{ kgVS}/\text{m}^3\text{d}$ tapahtui 25.5.2009. Reaktorin viimeinen syöttö tapahtui 3.7.2009 ja viimeinen näyte otettiin seuraavana aamuna. Lopullinen

kuormitus tavoite oli 2,5 kgVS/m³d. Tässä kuormituksessa reaktori oli hieman vajaat kuusi viikkoa.

Kooreaktoria syötettiin päivittäin; arkisin kahdesti, aamuisin yleensä n. klo 8:00 - 8:30 ja iltapäivisin useimmiten n. klo 15:00 - 15:30, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Viikonloppuisin reaktorin syöttö tapahtui kerran aamusta n. klo 8:00, tästä kuitenkin poikkeuksena viikonloppu 25.4.2009 - 26.4.2009 sekä seuraava maanantai 27.4.2009. Kyseisenä viikonloppuna reaktori jätettiin syöttämättä edeltävien poisteanalyyysien korkeiden VFA-tulosten takia, jolloin pääteltiin, ettei ympäristö ollut vielä enää täysin adaptoitua uuteen reaktoriinsa.

Syötteen määrä laskettiin syötekomponenteille (4 kpl) tehtyjen TS- ja VS-analyyysien perusteella kuormitustasojen mukaisiksi laskemalla syötettävän orgaanisen aineen määrä (kgVS), reaktorin nestetilavuutta (m³) ja vuorokautta (d) kohti toimeksiantajan antaman reseptin VS-osuuksien mukaan. Syötekomponenttien osuudet olivat toimeksiantajan antaman reseptin mukaiset.

Punnittujen syötekomponenttien seosta laimennettiin vedellä TS-pitoisuuteen 9 %. Laimennus tehtiin, sillä syötössä käytetyn letkupumpun maksimi TS-pitoisuus oli n. 10 %. Laimentamisessa käytettiin kuumaa vettä, jottei syöttö laskisi reaktorin lämpötilaa.

TAULUKKO 6 Koejakson (18.4.2009 - 4.7.2009) bioreaktorin kuormitustaulukko ja syötekomponenttien vaihtumiset.

Pvm	Kuormitus, kgVS/m ³ d	Syöte, kg	Syötteen koostumus, kg	Syy koostumuksen vaihtumiseen	Viiptymä, d
18.4.2009 – 1.5.2009	1,5	3,45	biojäte 1,52 vesi 1,94		43,43
2.5.2009 – 13.5.2009	1,5	3,73	biojäte 1,19 vesi 2,54	Uusi biojäte	40,20
14.5.2009 – 19.5.2009 ap	1,5	3,95	A liete 0,69 B liete 1,28 biojäte 0,34 vesi 1,65	Mukaan lietteet A ja B sekä uusi biojäte	37,93
19.5.2009 ip – 20.5.2009 ap	1,5	4,78	A liete 1,69 biojäte 0,29 vesi 2,81	Liete B loppui	31,36
20.5.2009 ip – 22.5.2009 ap	1,5	3,93	A liete 0,56 B liete 1,13 biojäte 0,17 vesi 2,08	Uusi liete A, rasva liete, jota nimen perusteella oletettiin liete B:si	38,12
22.5.2009 ip – 24.5.2009	1,5	4,21	A liete 1,17 rasva 0,08 biojäte 0,12 vesi 2,84	Liete B:si rasvaliete rasvalietteenä	35,66
25.5.2009 – 1.6.2009	2,5	7,01	A liete 1,95 rasva 0,13 biojäte 0,20 vesi 4,73	Kuormitus nosto	21,4
2.6.2009 ap	2,5	4,94	rasva 0,11 biojäte 1,79 vesi 3,05	Liete A loppui	30,39
2.6.2009 ip – 3.6.2009 ap	2,5	8,32	A liete 2,67 rasva 0,18 biojäte 0,28 vesi 5,19	Uusi liete A	18,03

Pvm	Kuormitus, kgVS/m ³ d	Syöte, kg	Syötteen koostumus, kg	Syy koostumuksen vaihtumiseen	Viipymä, d
3.6.2009 ip – 5.6.2009	2,5	6,41	A liete 0,82 B liete 1,52 rasva 0,15 biojäte 0,25 vesi 3,67	Liete B mukaan	23,41
6.6.2009 – 12.6.2009	2,5	8,28	A liete 2,66 rasva 0,17 biojäte 0,28 vesi 5,17	Liete B loppui	18,11
13.6.2009 – 30.6.2009	2,5	7,10	A liete 1,00 B liete 1,85 rasva 0,19 biojäte 0,30 vesi 3,76	Liete A ja liete B uusina	21,13
1.7.2009 – 3.7.2009	2,5	6,04	B liete 3,74 rasva 0,25 biojäte 0,39 vesi 1,66	Liete A loppui	24,85

Reaktorin kuormitus vaihteli paikoitellen jopa päivittäin (esim. kesäkuun alussa), jätekomponenttien loppumisen tai puuttumisen johdosta. Nopeata vaihtelua syötteen koostumuksessa aiheutti myös epämääräisellä merkinnällä tullut rasvaliete ja merkinnästä tehdyn oletuksen osoittautuminen vääräksi.

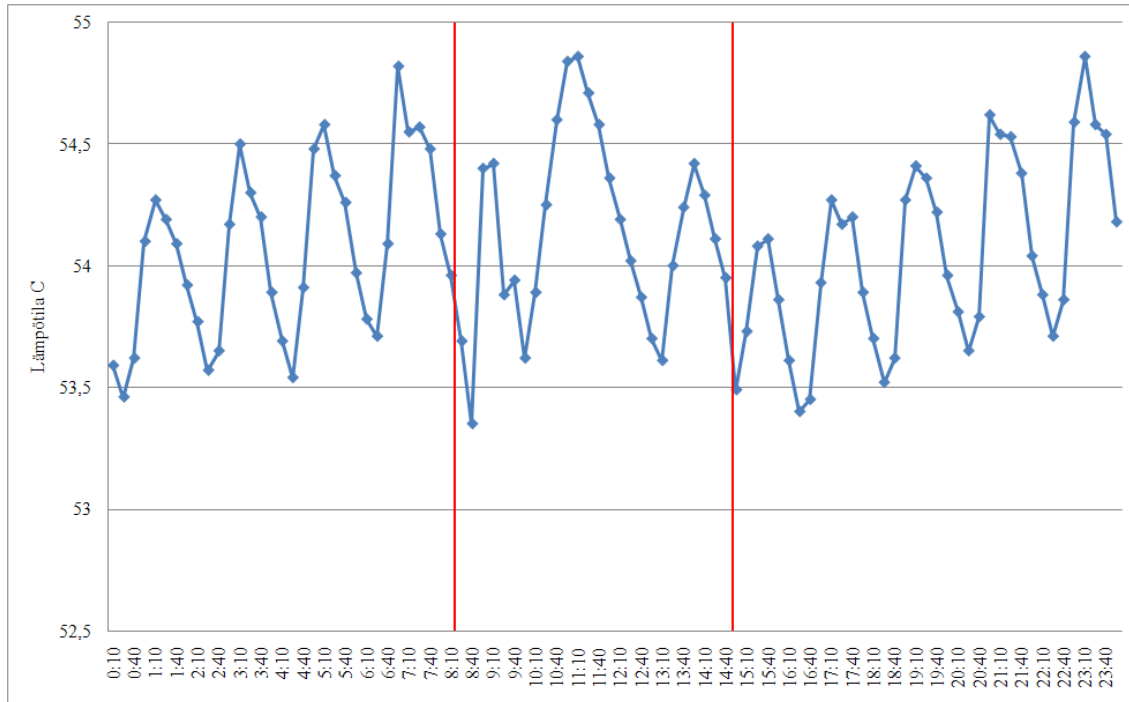
Saapuessaan rasvalietteen merkintänä oli ”Rasvapaska mix”, jonka perusteella oletettiin kyseisen säiliön sisältävän lietteen B ja rasvalietteen seosta. Tämän oletuksen perusteella sitä käytettiin syötteessä lietteen B ja rasvalietteen yhteen laskettuna prosenttimääränä (61,1 %). Jäte-erän todellisen sisällön selvittäminen rasvalietteeksi kesti useamman päivän väliin tulleen pyhän vuoksi.

3.4 Reaktorin lämpötila

Koejakson alussa reaktorin lämpötila säädettiin n. 50 °C, jotta mikrobisto pystyi rauhassa adaptoitumaan uuteen ympäristöönsä samassa lämpötilassa, joka vallitsi sen ns. kotireaktorissa. Puolentoista viikon päästä (29.4.2009) reaktorin lämpötilaa alettiin nostaa hitaasti muutaman päivän sisällä niin, että lopullinen lämpötilan vaihteluväli oli 53 - 55 °C.

Lämmitys oli automatisoitu, mutta sijaitti reaktorissa niin, että ulkoilman ja sitä kautta hallin lämpötilat vaikuttivat reaktorin lämpötilaan. Reaktorin ympäröivän hallin lämpötilan noustessa selvästi yli 20 °C:n laski reaktorin sisälämpötila lähelle vaihteluvälin alarajaa ja jopa sen alle. Lopulta koko koejakson lämpötilakeskiarvoksi saatiin n. 53 °C.

Ilman lämpötilan lisäksi reaktorin sekoitus aiheutti lämpötilassa heilahtelua. Sekoituksen käynnistyttyä ja nesteiden lähdettyä liikkeelle laski reaktorissa olevan anturin antama lämpötila-arvo. Neste asetettua taas paikoilleen kohosi lämpötila reaktorissa. Sekoitus kytkeytyi päälle joka toinen tunti toimien kerralla puoli tuntia. Kuvassa 3 näkyy sekoittajan aiheuttamaa vaihtelua lämpötilakäyrässä yhden esimerkki vuorokauden (3.6.2009) osalta. Käyrän (kuva 3) pienimmät arvot kuvaavat reaktorin lämpötilaa ennen sekoittajan käynnistymistä.



KUVA 3 3.6.2009 bioreaktorin lämpötilakäyrä, jossa näkyy sekoittajan aiheuttama lämpötilavaihtelu. Syöttöjen ajan kohdat kuvajassa pystyviivoina.

Syöttöjen ei todettu aiheuttavan havaittavaa muutosta reaktorin lämpötilassa. Kyseisen päivän (3.6.2009, kuva 3) kohdalla piirretyssä viivakuvaajassa aamupäivänkohdalla syötön jälkeinen piikki on hieman loivempi kuin muut sekoituksen aiheuttamat piikit. Samaa ei ole kuitenkaan näkyvissä iltapäiväsyötön kohdalla.

4 SYÖTEMATERIAALIEN ANALYYSITULOKSET

Syötteenä käytettävistä kaikista eri biojäte- ja liete eristä sekä ympistä analysoitiin TS- ja VS-pitoisuudet (SFS 3008), kokonaistyyppi (Kjeltec) ja COD_{tot} (Lange LCK 514). Näiden analyysien lisäksi ympistä tehtiin myös poistelle suoritettavat analyysit COD_{liu} (Lange LCK 514), ammoniumtyppi (Kjeltec), alkaliteetti (titraus) ja VFA (titraus).

4.1 Ympin analyysitulokset

Reaktoriin syötetystä termofiilisestä ympistä tehtiin kaikki samat analyysit kuin syötekomponentteistakin: TS- ja VS-pitoisuudet (SFS 3008), kokonaistyyppi (Kjeltec) ja COD_{tot} (Lange LCK 514). Näiden lisäksi tehtiin myös poisteen analyysit COD_{liu} (Lange LCK 514), ammoniumtyppi (Kjeltec), alkaliteetti (titraus) ja VFA (titraus). Ympin analyysitulokset ovat taulukossa 7.

TAULUKKO 7 Kooreaktorin käynnistyksessä käytetyn, 6.4.2009 haetun, termofiilisen ympin analyysitulokset.

TS, %	VS, %	COD _{tot} , g/g TS	COD _{liu} , g/l	Ammoniumtyppi, gN/l	kokonaistyyppi, gN/kg TS	Alkaliteetti, mg CaCO ₃ /l	VFA, mg/l
4,87	2,66	0,95	13,02	4,518	120,83	14345,00	2831,25

Kaikki ympille tehty poisteanalyysija vastaavat analyysit antoivat korkeimmat tulokset, kuin koejakson aikana poistelle tehtyinä..

4.2 Syötekomponenttien analyysitulokset

Koejaksolla 18.4.2009 - 4.7.2009 käytetyt syötekomponentit, biojäte, lieteteet ja rasvaliete toimitettiin HAMK:lle työn toimeksiantajan toimesta. Komponenteille tehtävistä analyyseistä ainoastaan TS- ja VS-analyysi oli välttämätöntä suorittaa ennen kuin jätejakeita voitiin käyttää syötössä, mutta muut analyysit suoritettiin muutaman päivän sisällä jätejakeiden saapumisesta. Kaikkien syötekomponenttien analysointitulokset vaihteluneen löytyvät taulukosta 8. Tarkemmat tulokset ovat liitteessä 1.

TAULUKKO 8 Syötekomponenttien analyysitulosten vaihtelut koejaksoilta (18.4.2009 - 4.7.2009), TS:n, VS:n, COD_{tot} ja kokonaistypen osalta.

	TS, %	VS, %	VS/TS	COD _{tot} , g/g TS	gN/kg TS
Biojäte	17,45 - 24,09	14,85 - 20,38	0,83 - 0,85	1,10 - 1,31	22,65 - 26,04
Liete A	21,43 - 33,19	9,87 - 16,55	0,46 - 0,57	0,14 - 0,80	16,90 - 23,07
Liete B	8,79 - 19,56	5,74 - 14,36	0,65 - 0,73	0,84 - 1,17	46,58 - 67,27
Rasvaliete	11,25	8,77	0,78	1,57	58,08

Komponenteista valmistetun syötteen laskennallinen TS-pitoisuus vakioitiin arvon 9 %, syötössä käytetyn letkupumpun tukkeutumisen estämiseksi. Syötteen laskennallinen VS-pitoisuus kuitenkin vaihteli syötekom-

ponenttien mukana n. 4,5 - 7,5 %:n välillä. Reaktorin kuormituksen kuitenkin pidettiin vakiona: koejakson alussa 1,5 kgVS/m³d ja kuormitustason (25.5.2009) jälkeen 2,5 kgVS/m³d.

4.2.1 Biojäte

Seulottua ja murskattua yhdyskuntabiojätettä käytettiin kaikkiaan kolme erää, joista jokainen pakastettiin käyttöön pidentämiseksi. Syötettäessä reaktoriin ainoastaan biojätteen ja veden seosta (18.4.2009 - 14.5.2009) oli käytössä liitteessä 1 mainitut nestemäisempi ja kiinteämpi biojäte. Molemmat kuuluivat tällä välillä loppuun, joten loppu koejaksolla käytettiin kolmatta ja kaikista kiinteintä biojäte-erää. Taulukossa 8 esitetään syötekomponentteina käytettyjen biojätteiden analyysitulosten vaihteluita, TS:n, VS:n, COD_{tot} ja kokonaistypen osalta. Kaikki analyysitulokset löytyvät liitteestä 1.

Toinen alussa saapuneista biojäte-eristä oli jopa silmämääräisesti paljon nestemäisempää kuin samaan aikaan saapunut toinen biojäte tai noin kuu-kautta myöhemmin saapunut biojäte-erä. Kyseinen biojäte-erä laskee taulukossa 8 esitettyjen TS- kuin VS-prosenttien vaihteluvälin alarajaa, aiheuttaen molempiin prosenttilukuihin yli viiden prosenttiyksikön vaihtelua.

Kuiva-ainepitoisuuteensa nähden nestemäisimmässä biojäte-erässä on kuitenkin eniten COD:tä (1,31 gCOD/ gTS). COD:n tai kokonaistypen kohdalla ei kuitenkaan mikään biojäte-eristä erotu selvästi poikkeavalla arvolla, COD:n osalta vaihtelu tapahtuu 0,21 gCOD/gTS välillä ja kokonaistypen kohdalla 3,4 gN/kgTS välillä.

Koska koejaksolla käytetyt biojäte-erät saapuivat veteen lietettyinä analysoitavaksi, niitä ei pystytä suoranaisesti vertaamaan kirjallisuustietojen biojätteiden ominaisuuksiin. Tämä vaikuttaa kuiva-ainepitoisuuksien vertailuun, sillä muut analyysit on määritetty kuiva-ainetta kohti. Kaikki käytetyn biojätteen analyysitulokset sijoittuvat ruokalabiojätteen sekä vihanne- ja hedelmätorin biojätteiden välimaastoon, ollen kuitenkin lähempänä ruokalabiojätettä.

4.2.2 Liete A

Liete A tuli yhdyskuntajätevetä käsittelevältä puhdistamolalta, jossa käsitellään myös paperiteollisuuslaitoksen jätevesiä. Liete saapui suurissa tynnyreissä kaikkiaan neljä kertaa. Tynnyreitä säilytettiin kylmähuoneessa. Tynnyreistä tarkkailtiin jokaisen syötteen valmistuksen yhteydessä lietteden kuntoa (homehtumista yms.), jottei erän lopun liete eroaisi suurelta määrin alun lietteelle tehdyistä analyyseistä.

Koejaksolla käytetty liete A tuli kuljettamisen helpottamiseksi kuivattuna. Kuivauksen laadussa oli kuitenkin jonkin verran vaihtelua, liete-erille tehtyjen TS-analyyseiden perusteella yli kymmenen prosenttiyksikköä. Organisten aineiden vaihteluiltaan liete A oli hieman kuiva-aineen vaihtelua tasaisempi. Lietteen A eri erien orgaanisen aineksen analyyseiden suu-

rimman ja pienimmän analyysituloksen välillä oli yli 6 prosenttiyksikön ero. TS- ja VS-analyysitulosten vaihtelut lietteen A osalta näkyvät taulussa 8, samoin kuin COD_{tot} ja kokonaistypen vaihtelut. Kaikki analyysitulokset löytyvät liitteestä 1.

Syötekomponenteista lietteen A kohdalla COD_{tot} arvot vaihtelivat suuresti, pienimmän ja suurimman tuloksen välillä oli n. 0,66 gCOD/gTS, pienimmän arvon ollessa alle 0,14 gCOD/gTS ja suurimman n. 0,78 gCOD/gTS. Suureen COD:n arvoon saattaa vaikuttaa puhdistamolle saapuvan paperiteollisuuslaitoksen jäteveden laatu. Kuiva-ainetta kohden lasketun kokonaistypen osalta lietteen A analyysitulosten vaihtelu tapahtui 6,2 gN/kgTS välillä.

4.2.3 Liete B

Toinen puhdistamolietteistä liete B tuli ainoastaan yhdyskuntajättevettä käsittelevältä laitokselta. Liete saapui kahden erän osalta suurissa tynnyreissä, kuitenkin ensimmäinen erä saapui n. 10 litran astiassa ja toinen erä pakasterasioissa. Näiden pienempien erien takia liete B oli useimmiten puuttuva syötekomponentti.

Pakastettuna saapunut erä oli kaikista kiintein erä. Pakasterasiat siirrettiin suurempaan säiliöön sulamaan, ja niiden sisältö homogenisoitiin mahdollisimman hyvin, ennen analysointia. Syötössä tämä erä oli kaikista lyhimpään, vain muutaman päivän.

Jätejakeen kolmas ja neljäs erä saapuivat samanaikaisesti (liitteessä 1, liete B nestemäisempi ja liete B kiinteämpi), ja niitä käytettiin syötössä rinnakkain. Tämä siksi, että suurien tynnyreiden sisältöä oli mahdoton sekoittaa tasaisesti toisiinsa, mutta käsittelemällä molempia säiliötä päivittäin ehkäistiin lietteiden homehtumista ja muita koostumukseen vaikuttavia tekijöitä. Näistä kahdesta lietteestä nestemäisempää käytettiin aamun syötössä ja kiinteämpää iltapäivällä.

Lietteen kiintoainepitoisuus vaihteli hieman yli kymmenen prosenttiyksikön välillä ja silmämääräisestikin lietteen koostumus erosi selvästi eri erien välillä. Taulukossa 8 on esitetty lietteen B TS:n, VS:n, COD_{tot} sekä kokonaistypen analyysitulosten vaihtelut. Kaikki analyysitulokset ovat liitteessä 1.

Lietteen B osalta orgaanisen aineen pitoisuuden vaihtelu oli suurempaa kuin muiden syötekomponenttien, hieman vajaat yhdeksän prosenttiyksikköä. Suurta vaihtelua liete-erien välillä oli myös kokonaistypen arvoissa, jonka analyysitulosten vaihtelu tapahtui yli 20 gN/kgTS välillä. COD:n osalta vaihtelu oli vähäisempää, tapahtuen n. 0,34 gCOD/gTS välillä.

4.2.4 Rasvaliete

Rasvalietettä tuli ainoastaan yksi erä, joka pakastettiin. Kyseisen lietteen kohdalla tämä riitti, sillä rasvalietteen osuus reaktorin syötteestä oli vähäi-

nen, vain 5,6 % syötteen VS:stä. Osa tästä 19.5.2009 saapuneesta erästä käytettiin tuoreeltaan muutaman viikon ajan ja sen jälkeen pakastettuna. Rasvalietteestä tehtyjen analyysien tulokset ovat TS:n, VS:n, COD_{tot} ja kokonaistypen osalta taulukossa 8 sekä muiden analyysitulosten osalta liitteessä 1.

5 BIOKAASUN JA METAANIN TUOTTO

Biokaasun muodostumista reaktorissa seurattiin kirjaamalla jokaisen syötön yhteydessä kaasumittarin (V, m^3) lukema ylös, ja laskemalla näistä vuorokauden aikana muodostuneet biokaasutuotot. Biokaasun metaanipitoisuutta ($CH_4, \%$) mittaamassa oli jatkuvatoiminen mittalaitteisto, joka keräsi automaattisesti metaanipitoisuudet viidentoista minuutin välein kirjaten ne tietokoneohjelmaan.

Kaasun tuotosta tehtiin myös muutamia kaasun tuottoprofiliseurantoja, joissa kirjattiin kaasumittarin lukema tiheämpään, kahden tunnin välein. Nämä seurannat aloitettiin aamusyötöstä, jotka toimivat seurantojen nollahetkinä, ja jatkettiin kahdeksan tuntia muutamassa tapauksessa kymmenen tuntia eteenpäin.

5.1 Biokaasun tuotto

Kooreaktorissa muodostuneen biokaasun tuottoa seurattiin kirjaamalla syöttöjen yhteydessä kaasulinjassa olleen mittarin lukema ylös. Syöttö ja kaasumittarin lukeminen yritettiin tehdä mahdollisimman samanaikaisesti joka päivä ettei ajankohdan vaihtelu vaikuttaisi lukemaan, poikkeuksena yhden päivän (28.5.2009) ja yhden viikonlopun (25.4.2009 - 26.4.2009) seurannat.



KUVA 4 Kooreaktorin kaasumittari

28.5.2009 syöttö suoritettiin vasta n. klo 10:30, syöttöjen tapahduttua muuten tasaisesti n. klo 8:00 - 9:00 välillä. Tämä näkyy myös kuvan 5 kuvaajassa numerolla 6, joka on selvästi poikkeava edeltävien ja seuraavien

riin päätyi runsaasti rasvalietettä. Ensimmäisen liiallisen rasvansyöttökerän jälkeen biokaasuntuotto laski nopeasti, mutta kohosi kuitenkin nopeasti rasvan alettua hajoamaan (kuva 5, numero 4). Rasvan syötön aiheuttamien voimakkaiden biokaasun tuotto vaihteluiden jälkeen kaasun tuotto palautui n. 650 l/kgVS, niiksi muutamaksi päiväksi joiden aikana reaktorin kuormitus oli vielä 1,5 kgVS/m³ d.

Reaktorin kuormitusnosto tapahtui 25.5.2009. Heti noston jälkeen biokaasun tuotto laski n. 400 l/kgVS. Tämän ajanjakson osalta kuvaajassa (kuva 5) näkyy numerolla 6 merkitty piste, joka johtuu yli tunnin tavallista myöhäisemmästä kaasumittarin lukemisesta. Jos 28.5.2009 kaasumittarin lukema olisi otettu ylös suurin piirtein samaan aikaan kuin muinakin päivinä olisi päivän kaasulukema alhaisempi kuin mitä se näyttää kuvassa 5 sekä liitteessä 2 olevan.

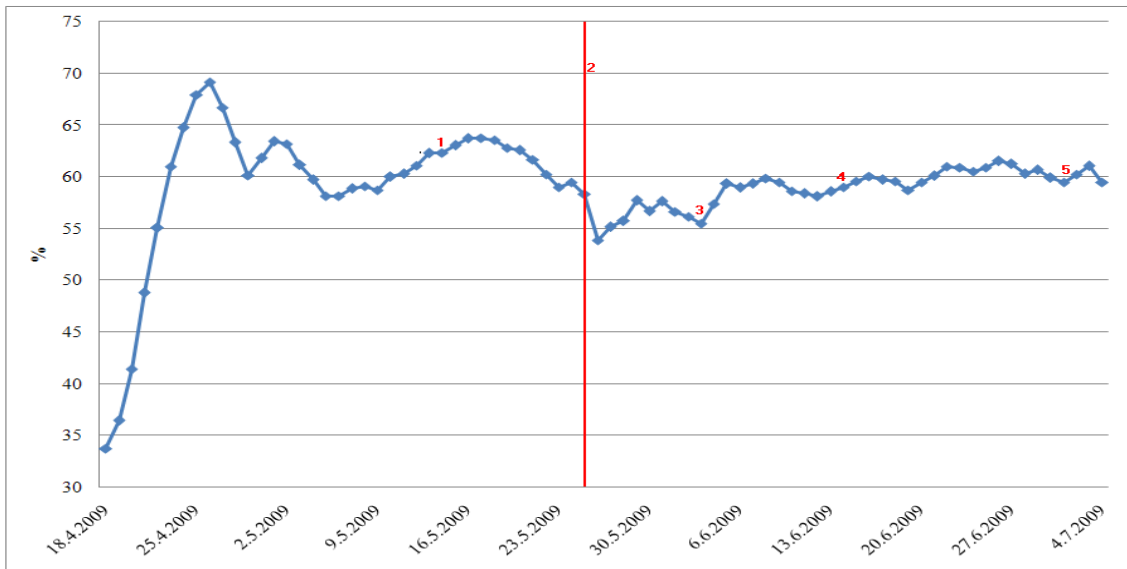
Jos oletetaan että biokaasua olisi syntynyt tasaisesti koko vuorokauden ympäri – ja tämän oletuksen perusteella lasketaan 28.5.2009 edellisen vuorokauden biokaasun tuottolukemaa – saadaan luku, joka on hieman yli 400 l/kgVS. Tällöin myös seuraavana päivänä 29.5.2009 kirjattu edellisen vuorokauden biokaasun tuotto lukema on päälle 400 l/kgVS. Näin lasketut biokaasun tuotot tasoittavat selvästi kuormitusnoston jälkeisten päivien vaihteluita.

Myöhäisen mittarin lukemisen aiheuttamien virheellisten biokaasun tuottolukujen jälkeen kaasun tuottokuvaaja (kuva 5) ehti osoittaa pienimuotoista tasaantumista ennen kesäkuun alkua, jolloin syöteseos vaihteli toistuvasti (kuva 5, numero 7) Syöteseoksen jatkuva toistuva vaihtelu (2.6.2009 - 6.6.2009) johtui syötekomponenttien loppumisesta ja epätasaisesta saatavuudesta. Vaihtelujakson alussa yhden aamusyötön ajan mukana oli ainoastaan rasvaliete, biojäte sekä vesi, puhdistamolietteiden puuttumisen takia. Saman päivän iltapäivänä mukana oli uusi liete A ja 3.6.2009 - 5.6.2009 mukana oli niin liete A kuin liete B, joka kuitenkin loppui näiden muutaman päivän jälkeen. Tästä eteenpäin (6.6.2009 - 12.6.2009) syöte oli vakioidumpaa, mutta ilman lietettä B.

Kesäkuun puolesta välistä (13.6.2009) alkaen kuun loppuun syöte pysyi vakiona. Tällöin syöte koostui kaikista tutkimuksessa mukana olleista syötekomponenteista (4 kpl). Tämä näkyy kuvaajana kuvassa 5 numeroiden 8 ja 9 välillä. Syöteseoksen ollessa tasainen pysyi biokaasun tuotto tasaisena, keskiarvoltaan 429 l/kgVS. Tarkemmat biokaasun tuottolukemat (l/kgVS) löytyvät liitteestä 2.

5.2 Metaanin tuotto

Biokaasun metaanipitoisuus kirjautui automaattisesti viidentoista minuutin välein tietokoneelle, samoin kuin reaktorin lämpötilatiedot. Metaanipitoisuuden osalta näistä tiedoista lasketut vuorikausikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvassa 6 ja prosenttiluvut löytyvät myös liitteestä 2. Samassa liitteessä on myös vuorokauden biokaasutuoton ja metaaniprosenttien mukaan lasketut metaanin vuorokausituotot (l/kgVS).



KUVA 6 Koejakson 18.4.2009 - 4.7.2009 metaanin vuorokausikeskiarvopitoisuudet
 1. lietteet mukaan syöttöön (14.5.2009)
 2. kuormitus nosto kuormasta $1,5 \text{ kgVS/m}^3 \text{d}$ kuormaan $2,5 \text{ kgVS/m}^3 \text{d}$ (25.5.2009)
 3. syöte vaihteli tiheästi komponenttien uupumisen takia (2.6.2009 - 6.6.2009)
 4. 13.6.2009 eteenpäin kesäkuun ajan kaikki neljä syötekomponenttia
 5. syöttö ilman toista lietettä (liete A) muutaman päivän ajan (1.7.2009 - 3.9.2009).

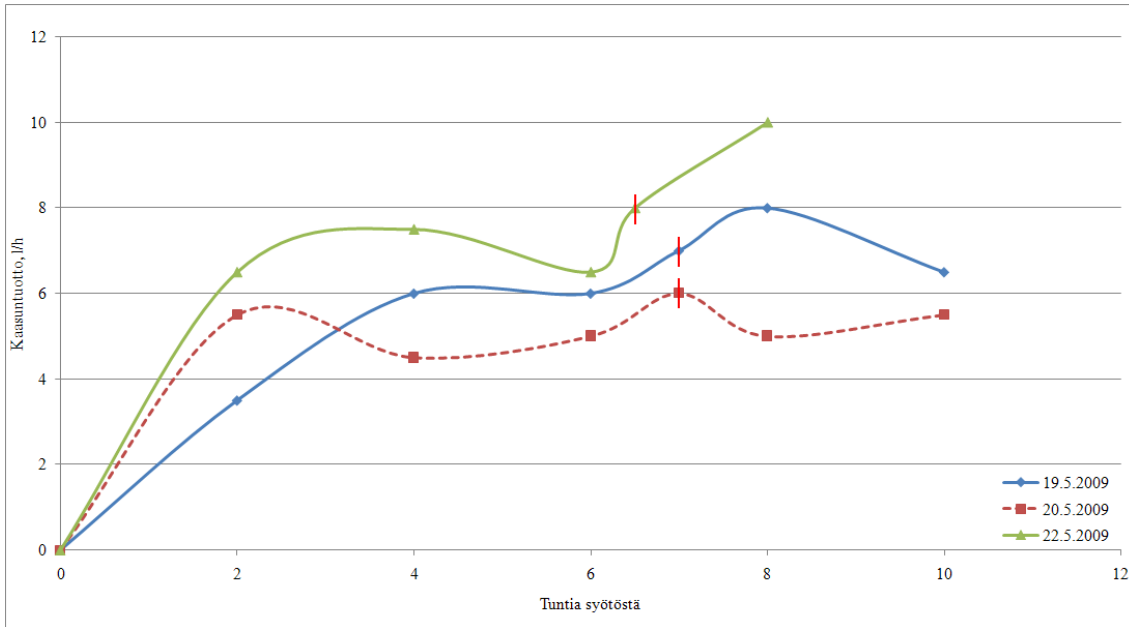
Tarkasteltaessa biokaasun metaaniprosentteja ainoastaan biokaasun tuoton tasaista jaksoa 13.6.2009 - 4.7.2009 (kuvassa 6 numerosta 4 kuvaajan loppuun) on kaasun metaanipitoisuus keskiarvoltaan 60 %. Koko koejakson keskiarvo ei poikkea lopun jaksosta maksimissaan noin yhden prosenttiyksikön.

Alussa syötettäessä ainoastaan biojätteen ja veden seoksella metaanin osuus biokaasusta oli, ympin adaptoitumisen jälkeen, jopa yli 60 %, huipparvona 69,18 %, tasaantuen kuitenkin kuuteenkymmeneen prosenttiin. Kuormitusnoston jälkeen (kuva 6, numero 2) biokaasun metaanipitoisuus sai pienimmät arvonsa 53,84. Metaanipitoisuus palautui kuitenkin viikossa takaisin n. 60 %:iin, mutta ei paljoakaan sen yläpuolelle, missä metaanipitoisuus oli ollut ennen kuormitusnostoa.

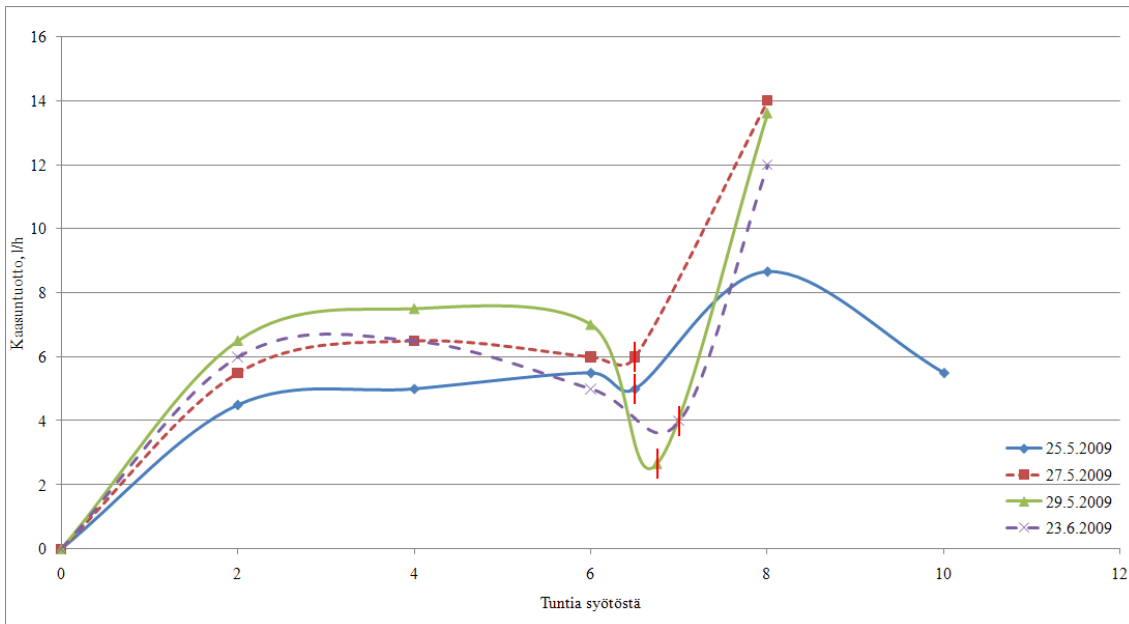
Yksittäisen päivän aikana biokaasun metaanipitoisuus vaihteli suurimmaksi osaksi n. 57 % - 61 % välillä. Viidentoista minuutin välein kerättyihin prosenttilukuihin mahtui mukaan myös muutamia n. 50 % olevia arvoja. Syötöt eivät aiheuttaneet biokaasun metaanipitoisuuteen heittäilyä, joissain tapauksissa yhden prosenttiyksikön muutoksen, mutta usein ei tätäkään. Syöttöjä enemmän vaihtelua metaanipitoisuuteen aiheutti reaktorin sisälämpötilan vaihtelu (kohta 3.4). Reaktorin lämpötilan laskiessa ulkoilman lämpötilan vaihteluiden johdosta laski myös biokaasun metaanipitoisuus.

5.3 Biokaasun tuottoprofiilit

Kaasuprofiilinseurantoja suoritettiin kaikkiaan seitsemän, kolme seuranta kuormasta 1,5 kgVS/m³d (kuva 7) ja neljä kuormasta 2,5 kgVS/m³d (kuva 8). Seurannoissa kaasumittaria luettiin syöttöjen yhteydessä, kuten muina-kin päivinä, ja tämän lisäksi aamusyötöstä lähtien kahden tunnin välein. Osa seurannoista suoritettiin kahdeksassa tunnissa ja osaa jatkettiin aina kymmenen tuntia eteenpäin syötöstä.



KUVA 7 Kuvaaja kaasuprofiilin seurannoista kuormalta 1,5 kgVS/m³d. Käyrät leikkaavat pystyviivat toisen syötön kohdalla.



KUVA 8 Kuvaaja kaasuprofiilin seurannoista kuormalta 2,5 kgVS/m³d. Käyrät leikkaavat pystyviivat toisen syötön kohdalla.

Molemmissa kaasuprofiileja kuvaavista käyristä, kuormalta 1,5 kgVS/m³d (kuva 7) ja kuormalta 2,5 kgVS/m³d (kuva 8), profiiliviivat alkavat niin ajallisesti kuin kaasun tuotannolta arvosta nolla. Nolla hetki tarkoittaa aamun syöttöä, n. klo 8:30. Kaasuntuoton osalta luku nolla vuorokauden ensimmäisen syötön kohdalla ei vastaa todellisuutta, sillä syötön hetkellään reaktorissa syntyi biokaasua. Kuvaajat esittävät biokaasun tuoton kehitystä syötön jälkeen, jolloin syöttöajankohta on tässä esitystavassa noltilanne myös biokaasun osalta.

Kummankin kuvaajan pisteet on laskettu kahden tunnin välein luetuista kaasumittarin lukemista, jakamalla tänä aikana muodostunut kaasumäärä tuntia kohti, oletuksena, että kaasua olisi muodostunut koko kahden tunnin ajan tasaisesti. Molemmissa kuvissa (kuva 7 ja kuva 8) poikkeuksena kahden tunnin kaasun tuoton jakamiseen tuntia kohti on toisen syötön ajan kohta. Kuormalla 1,5kgVS/m³ d toinen syöttö tapahtui n. 7 tuntia ensimmäisestä ja kuormalla 2,5 kgVS/m³ d n. 6,5 tuntia syötöstä, toisen syötön ajan kohta on merkitty kuviin 7 ja 8 käyrät pystysuunnassa leikkaavilla viivoilla.

Sekä kuormasta 1,5 kgVS/m³d että kuormasta 2,5 kgVS/m³d piirretyistä kaasuprofiilikuvaajista näkyy selvästi kuinka biokaasuntuotto lähti nousuun heti aamun syötön jälkeen. Kaasuntuotto ehti tasaantua ennen seuraavaa syöttöä. Toisen syötön jälkeen kuvaajat lähtevät uuteen nousuun. Kuormalla 1,5 kgVS/m³d kaasuntuottokäyrien uusi kohoaminen on kuitenkin loivempaa kuin 2,5 kgVS/m³d kuormalla. Pidemmässä seurannoissa (10 h) näkyy myös tuottokäyrien uudet tasaantumiset ja laskut.

Kaikki 1,5 kgVS/m³d:n käyrät (kuva 7) ovat kuormitusnostoa edeltävältä viikolta. Käyristä ajallisesti viimeinen (22.5.2009) seuraa päiviä jolloin reaktoriin syötettiin ylimäärin liikaa rasvaa.

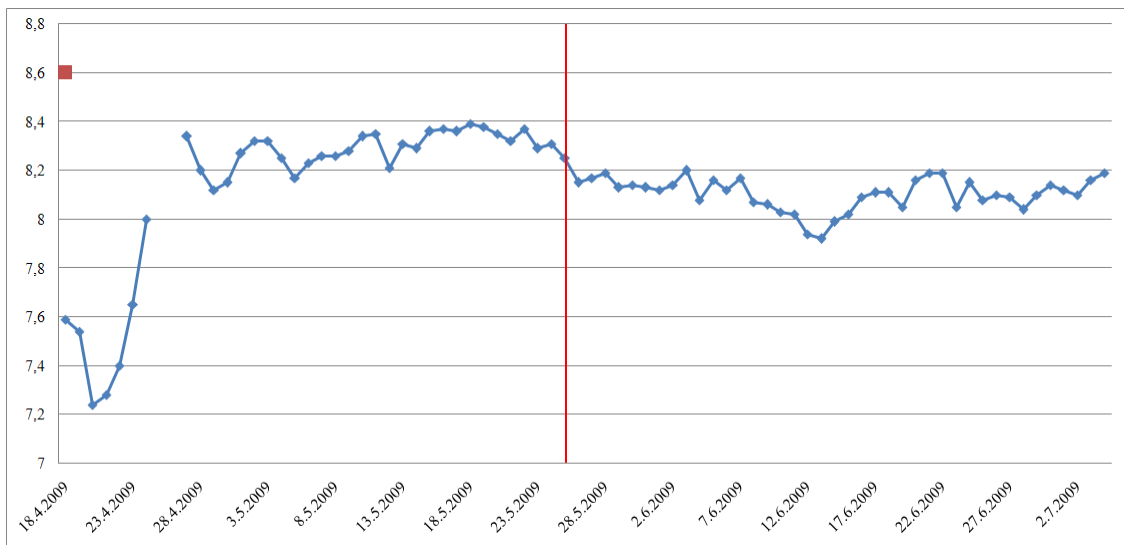
Kuormituksen 2,5 kgVS/m³d osalta 25.5.2009 päivän käyrä on päivältä jolloin reaktoriin syötettiin ensimmäisen kerran korkeampi kuorma orgaanista ainetta. Käyristä seuraava on saman viikon keskiviikko, muutama päivä kuormitusnoston jälkeen ja kolmas on kyseisen viikon perjantai neljä päivää kuormitusnostosta. Kuvan 7 neljäs käyrä (23.6.2009) on biokaasun tasaiselta tuottojaksolta koejakson loppupuolelta, jolloin reaktorin päiväkuorma oli ollut 2,5 kgVS/m³d jo noin kuukauden.

6 PROSESSIN TILA

Aamusyöttöjen yhteydessä otetusta poisteesta mitattiin päivittäin pH-arvo, tämän lisäksi reaktorin poisteesta otettiin kahdesti viikossa (tiistaisin ja perjantaisin) näyte reaktorin tilan seuranta varten. Poistenäytteistä tutkittiin viikon sisällä TS- ja VS-pitoisuus (SFS 3008), COD_{liu} (Lange LCK 514), ammoniumtyppi (Kjeltec), alkaliteetti (titraus) ja VFA (titraus). Kokonaistyyppiä (Kjeltec) analysoitiin poisteesta muutaman kerran koejakson aikana, kaikkiaan neljästi: kahdesti kuormasta 1,5 kgVS/m³d ja kaksi kertaa kuormasta 2,5 kgVS/m³d. Kokonaistyyppien analysointikerrat sijoituivat uusien syötekomponenttien kokonaistyyppien määrittämisen yhteyteen.

6.1 pH

Reaktorin poisteen pH-arvo mitattiin jokaisen päivän poisteesta. Poistetta ei kuitenkaan otettu 25.4.2009 - 26.4.2009, joten näiltä päiviltä ei ole olemassa pH-arvoja. Reaktorin yli viisikymmenasteinen poiste jäähdytettiin huoneenlämpöön (n. 24 °C) ennen pH:n mittaamista. Reaktorista otettuna poisteen lämpötila oli yli 50 °C, kuljettaessa poistetta hallireaktorilta laboratorioon (n. 200 m) oli mahdollista että poiste jäähtyisi matkalla, ainakin osittain. Tämä jäähtyminen olisi kuitenkin ollut epäsäännöllistä, lämpötiloista riippuvaa, mistä syystä reaktorin poisteelle valittiin yksiselitteinen lämpötila pH:n mittaamista varten.



KUVA 9 Koko koejakson (18.4.2009 - 4.7.2009) pH-arvo huoneenlämmössä, pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5 kgVS/m³d:ä. Neliö kuvaa ympin pH-arvoa (8,6)

Vaikka ympin ehti olla reaktorissa hieman vajaat kaksi viikkoa (12 päivää), ennen kuin varsinaisen koejakso aloitettiin (18.4.2009), näkyy pH-arvoissa (kuva 9) selvä putoaminen ensimmäisten lukujen kohdalla (reaktoriin tuodun ympin pH oli 8,6). pH-arvot alkavat kuitenkin kohoaa lähemmäksi lopullisia arvoja, jo hieman ennen syöttämättä jäänyttä viikonloppua 25.4.2009 - 26.4.2009 (näky viivakuvaajassa tyhjänä aukkona).

Kuvassa 9 olevan viivakuvaajan lisäksi pH-mittausten tulokset ovat liitteessä 3.

Reaktorin tasaantumisen (1.5.2009) jälkeen pH-arvot vaihtelivat 8,2 - 8,4 välillä kuormitusnostoon (24.5.2009) asti. pH:n keskiarvo oli tänä aikana 8,3. Kuormitusnoston jälkeen pH ei missään vaiheessa noussut keskiarvoltaan yhtä korkeaksi, kuormitusnoston jälkeen pH:n keskiarvo oli 8,1.

Kuormitusnoston jälkeinen (11.6.2009 - 15.6.2009) kuoppa pH-arvoissa sijoittuu aikaan, jolloin syöteseos vaihteli tiheästi. Tästä eteenpäin syöteseos pysyi vakiona. Lopun tasaisen kaasuntuoton jaksolla pH-arvo vaihteli 8 - 8,2 välillä.

6.2 Alkaliteetti ja haihtuvat rasvahapot (VFA)

Sekä alkaliteetin että VFA:n titraus suoritettiin jokaisesta kahdesti viikossa otetusta poistenäytteestä sekä alussa myös tiheämmin. Titrauksia suoritettiin tiheämpään koejakson 18.4.2009 - 4.7.2009 alussa muutaman viikon ajan (18.4.2009 - 8.5.2009) ympin sopeutumisen varmistamiseksi.

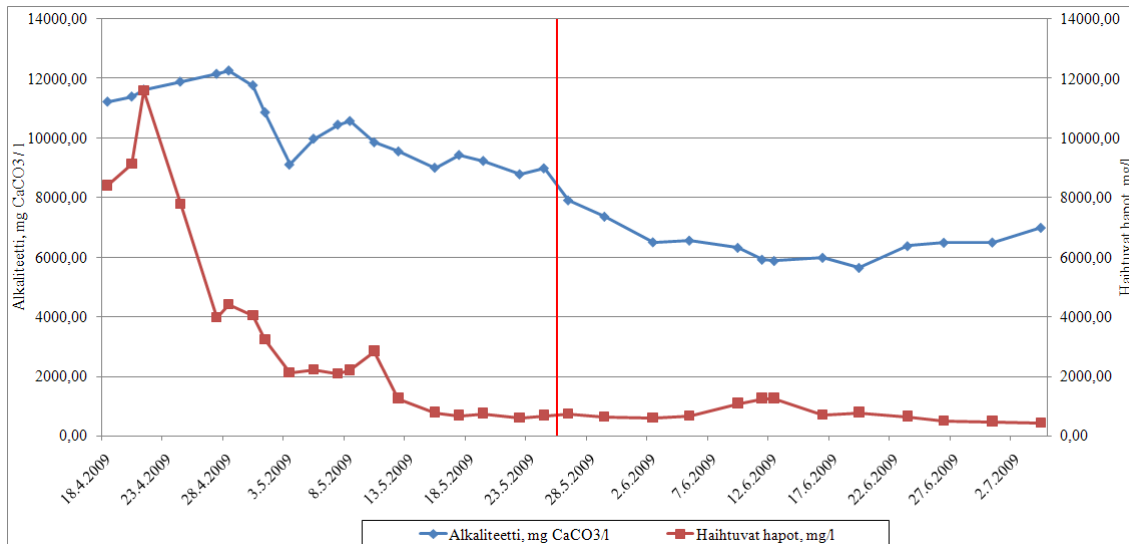
Koejakson 18.4.2009 - 4.7.2009 ensimmäiset alkaliteettitulokset olivat laskeneet ympille tehdystä alkaliteetin määräyksestä n. 3 000 mg CaCO₃/l, ollen 11 000 mg CaCO₃/l ja laskivat edelleen koko koejakson ajan päätyen lopulta arvoon n. 6 000 mg CaCO₃/l. Lopussa kuitenkin syötteen pysyttyä pitkään tasaisena lähtivät alkaliteetin arvot pienoiseen nousuun. Alkaliteetin osalta korkeat arvot ovat hyviä, tyypilliset alkaliteetin arvot mädätyksessä liikkuvat 2 000 - 4 000 mg CaCO₃/l välillä (Cecchi ym. 2003, 158)

Koejakson alusta 18.4.2009 koko huhtikuun ajan kooreaktorin poisteiden alkaliteettilukemat pysyttelivät yli 10 000 mg CaCO₃/l, pudoten toukuun alussa ensimmäisen kerran tämän arvon alle, kuten kuvassa 10 olevasta kuvaajasta ilmenee. Lietteiden tultua mukaan syöttöön 14.5.2009 lähti alkaliteettilukemat tasaiseen laskuun.

Alkaliteettilukemien lasku kiihtyi heti 25.5.2009 tapahtuneen kuormitusnoston jälkeen, tasaantuen kuitenkin hetkellisesti hieman yli 6 000 mg CaCO₃/l. Alimman arvonsa alkaliteetti sai hieman tasaisen syötön aloittamisen jälkeen tiheästi vaihdelleen syöteseoksen seurauksena 19.6.2009, jolloin alkaliteettilukemat putosivat arvoon 5 640 mg CaCO₃/l.

Saavutettuaan pohjalukemansa ja syötteen oltua jo pidempään tasalaatuinen poisteesta määritetyt alkaliteettiarvot lähtivät tasaiseen nousuun päätyen koejakson lopulla n. 6 5000 mg CaCO₃/l.

Koejakson aikana alkaliteetti ei ehtinyt tasaantua täydellisesti mihinkään tasoon, kuitenkin tasaisen syöteseoksen aikana alkaliteetin keskiarvo oli n. 6 300 mg CaCO₃/l, joka pysyttelee stabiilinprosessin kannalta hyvien alkaliteettiarvojen yläpuolella. Tyypilliset alkaliteetin arvot biokaasutuksessa vaihtelevat välillä 2 000 - 4 000 mgCaCO₃/l välillä (Cecchi ym. 2003, 158). Kaikki poisteiden alkaliteetti määritysten tulokset ovat liitteessä 3 sekä kuvajana kuvassa 10.



KUVA 10 Koejakson (18.4.2009 - 4.7.2009) alkaliteetti ja VFA tulokset viivakuvaajana. Pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5 kgVS/m³d:ä.

Haihtuvien rasvahappojen arvot olivat koejakson alussa erittäin suuria, jopa yli 11 000 mg/l (kuvassa 10 piikki, joka ulottuu alkaliteettikäyrään). Näiden korkeiden VFA-arvojen perusteella reaktori jätettiin syöttämättä yhtenä viikonloppuna (25.4.2009 - 26.4.2009) ja sitä seuranneena maanantaina (27.4.2009), jotta reaktorin biomassassa saisi hajotettua sinne kertynyttä orgaanista ainesta. VFA-arvojen viivakuvaaja on alkaliteettikuvaajan kanssa kuvassa 10 sekä lukuarvoina liitteessä 3.

Kun reaktori oli jätetty syöttämättä parina päivänä, laskivat VFA-arvot nopeasti 4 000 mg/l, josta arvojen lasku jatkui hieman hitaampana. VFA-arvot laskivat alle 1 000 mg/l 15.5.2009 mennessä, jossa lähtien ne pysyivät 600 - 750 mg/l välillä kuormitusnoston yli aina kesäkuun alkua asti.

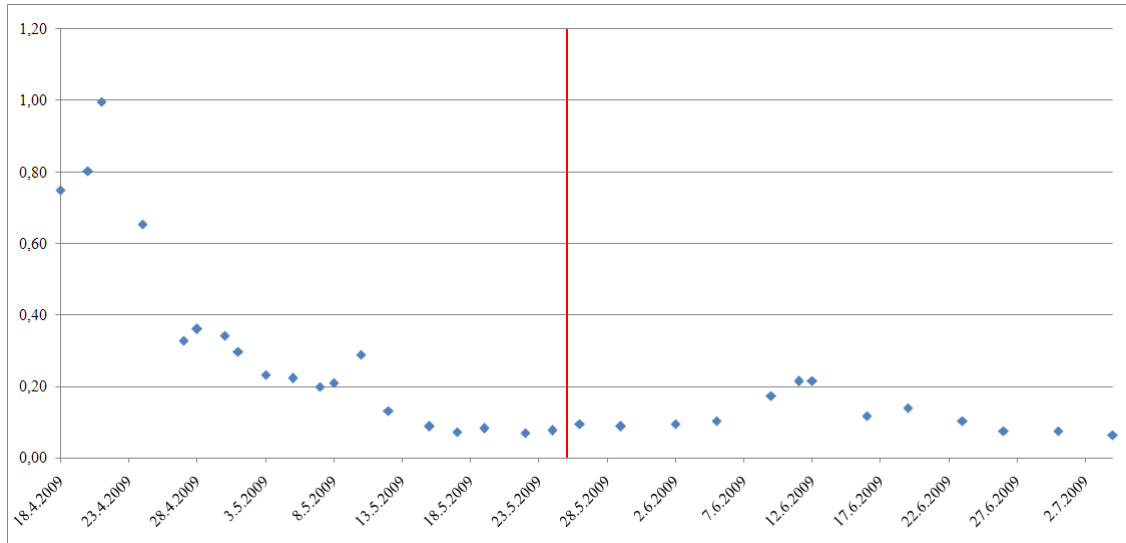
Kesäkuun alkupuolella (9.6.2009 - 12.6.2009) VFA-arvot nousivat lyhytaikaisesti yli 1 000 mg/l. Tämä hetkellinen arvojen kohoaminen johtui syöteseoksen edeltävien päivien (2.6.2009 - 5.6.2009) aikana tapahtuneesta tiheästä vaihtelusta, joka tasaantui lopullisesti vasta 13.6.2009 aloitetun kesäkuun loppuun asti kestäneen syöteseoksen käyttöön ottamisella. Syöteseoksen tasaannuttua VFA-arvot laskivat nopeasti takaisin alle 1 000 mg/l.

Syöteseoksen tasaannuttua VFA-arvot eivät kuitenkaan ehtineet täysin vakioitua koejakson lopussa. Lyhytaikaisen arvojen hypähtämisen jälkeen VFA-arvot laskivat tasaisesti niin, että koejakson viimeiset VFA-analyysit antoivat hieman 400 mg/l yli olevia tuloksia.

Näin ollen syöteseoksen pysyessä tasaisena reaktorin VFA oli hallinnassa. Tasaisen syöteseoksen aikana (13.6.2009 - 4.7.2009) VFA:n keskiarvo oli n. 590 mg/l.

6.3 VFA/alkaliteetti-suhde

Koejakson alussa haihtuvien rasvahappojen titrauksella saadut arvot olivat korkeita, tästä johtuen VFA/alkaliteetti-suhde oli jopa 1,0 tuntumassa. Tämä suhdeluku laskeutui kuitenkin kuukauden kuluessa n. 0,1:een, VFA-tulosten hetkellistä, syöteseoksen toistuvasta vaihtelusta johtunutta, nousemista lukuun ottamatta (9.6.2009 - 19.6.2009). Koejakson viimeisimpien alkaliteetti ja VFA-tulosten perustella laskettu suhdeluku oli jo lähempänä 0,05. VFA/alkaliteetti-suhteen arvot stabiilissa tilanteessa liikkuu n. 0,3 tätä korkeammat arvot ovat huonoja (Cecchi 2003, 160). Kuvassa 11 on VFA/alkaliteetti suhde pistekuvaajana.

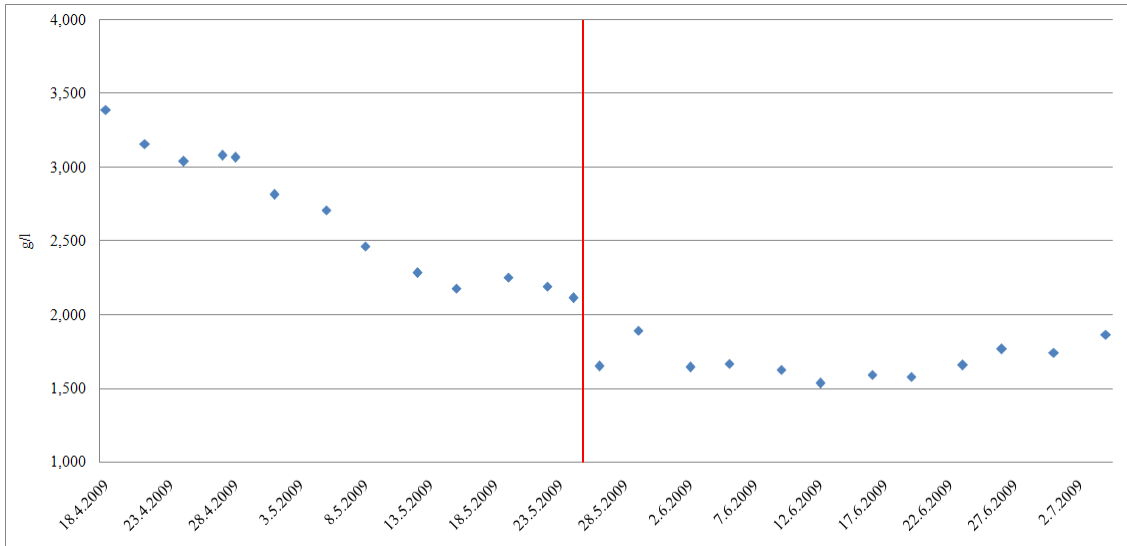


KUVA 11 Koejakson (18.4.2009 - 4.7.2009) aikana kerätyjen alkaliteetti ja VFA tulokset pohjalta laskettu VFA/alkaliteetti-suhde. Pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5 kgVS/m³d:ä.

6.4 Ammoniumtyppi

Ammoniumtypeä tutkittiin kaksi kertaa viikossa, tiistaisin ja perjantaisin. Ammoniumtyypin määrä poisteesta oli laskenut ympin tuloksesta 4,5 gN/l puolentoista viikon aikana jolloin reaktoria täytettiin biojätevesiseoksella lopulliseen koetilavuuteensa (tänä aikana ei otettu poistetta). Nämä ensimmäiset poisteesta tehdyt ammoniumtyypin määritykset antoivat tuloksia jotka olivat yli 3 gN/l. Ammoniumtyypin määrä laski tasaisesti ensimmäisen kuormitustason 1,5 kgVS/m³d aikana tasaisesti päätyen ennen kuormitusnostoa hieman yli 2 gN/l tasoon. Tulokset eivät ehtineet kuitenkaan tasaantua täydellisesti ennen 25.5.2009 tapahtunutta kuormitusnostoa.

Kuormitusnostoa 25.5.2009 (kuva 12, pystyviiva) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5kgVS/m³d:ään seurasi yksittäisen ammoniumtyppi analyysin korkeampi tulos, joka johtuu todennäköisimmin neljä vuorokautta aikaisemmin tehdystä kuormitusnostosta. Yksittäisen korkeamman ammoniumtyppituloksen jälkeen tulokset tasoittuivat noin kolmeksi viikoksi (2.6.2009 - 23.6.2009) 1,5 - 1,6 gN/l välille. Yksittäinen piste, näkyy kuormitusnostoa kuvaavan pystyviivan jäljessä kuvassa 12. Ammoniumtyypin tulokset ovat kuvaajan lisäksi myös liitteessä 3.



KUVA 12 Koejakson (18.4.2009 - 4.7.2009) ammoniakkimäärittysten tulokset. Pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³ d:tä 2,5 kgVS/m³ d:ä.

Kun reaktoriin syötettiin 13.6.2009 alkaen koejakson loppuun 4.7.2009 asti samalla syöteseoksella, lähtivät ammoniumtypen tulokset lievään nousuun. Tasaisella kaasutuoton jaksolla (13.6.2009 - 4.7.2009) ammoniumtypen analyysitulokset vaihtelivat 1,6 - 1,9 gN/l välillä.

6.5 Kokonaistyyppi

Kokonaistyyppiä analysoitiin poisteesta neljä kertaa, samalla kun uusista syötemateriaaleista tutkittiin tyyppiä. Poisteen typpianalyysistä kaksi sijoittui kuormalle 1,5 kgVS/m³ d ja kaksi kuormalle 2,5 kgVS/m³ d. Kokonaistyyppien kohdalla ennen kuormitusnostoa määritetyt pitoisuudet ovat lähempänä 3 mgN/g, kun taas kuormitus noston jälkeiset määritykset jäävät 3 mgN/g alle.

TAULUKKO 9 Koejaksolta 18.4.2009 - 4.7.2009 tehtyjen kokonaistyyppi analyysien tulokset.

pvm	kuormitus (kgVS/m ³ d)	KokN, mgN/g
12.05.2009	1,5	2,974
19.05.2009	1,5	3,22
29.05.2009	2,5	2,88
12.06.2009	2,5	2,59

6.6 Ammoniumtypen osuus kokonaistypestä

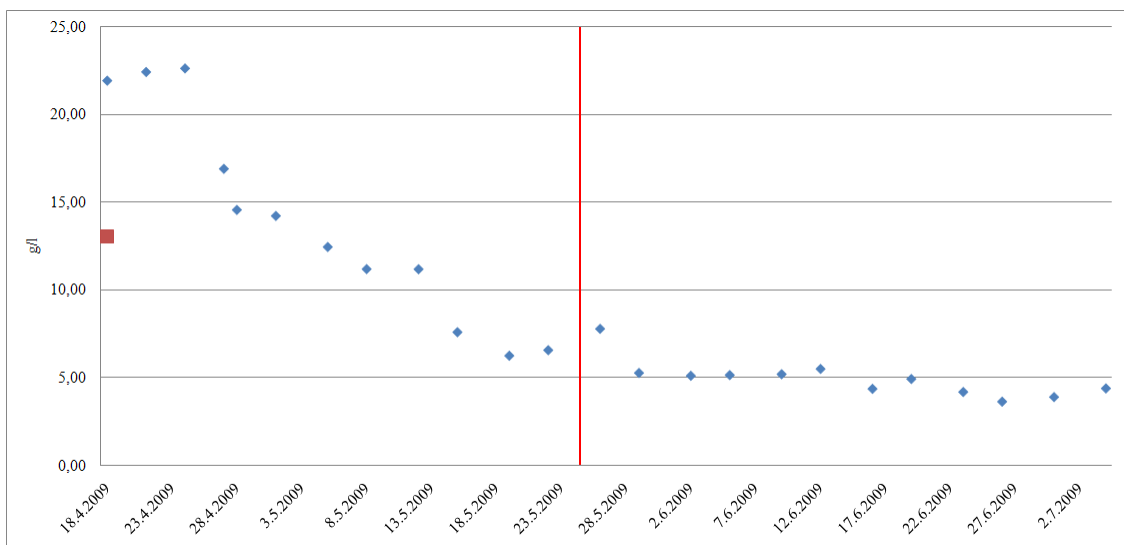
Ammoniumtypen osuus kokonaistypestä on laskettu taulukkoon 10, jokaisen kokonaistyyppien analysointi kerran osalta. Ammoniumtypen osuus poisteen tyyppistä oli koko koejakson ajan yli 0,6. Kuormituksella 1,5 kgVS/m³ d tehtyjen kokonaistyyppianalyysien osalta tulokset olivat 0,7 ja sen yli. Korkeammalla kuormalla (2,5 kgVS/m³ d) ammoniumtypen osuus kokonaistypestä oli alhaisempi n. 0,65 ja sen alle.

TAULUKKO 10 Koejaksolla 18.4.2009 - 4.7.2009 tehtyjen analyysien perusteella laskettu ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä

pvm	kuormitus (kgVS/m ³ d)	NH ₄ -N/N _{tot}
12.05.2009	1,5	0,76
19.05.2009	1,5	0,69
29.05.2009	2,5	0,65
12.06.2009	2,5	0,59

6.7 Kemiallinen hapenkulutus (COD)

Liukoista COD:tä tutkittiin viikoittain otetuista kahdesta näytteestä. Ensimmäiset liukoisen COD:n pitoisuudet olivat korkeita, jopa korkeampi kuin ympärille alussa tehdyn analyysin tulos 13,02 g/l (kuva 13, neliö). Aluksi COD:n tulokset olivat korkeita yli 20 g/l, mutta heti syöttämättä jätetyn viikonlopun (25.4.2009 - 26.4.2009) jälkeen arvot lähtivät laskuun. COD:n analyysitulosten arvot laskivat toistuvasti ja ennen kuormitusnostoa (25.5.2009) muutamien peräkkäisten analyysien keskiarvo oli n. 6,8 g/l. Kemiallisen hapenkulutuksen pistekuvaaja on kuvassa 13 ja tulokset liitteessä 3.



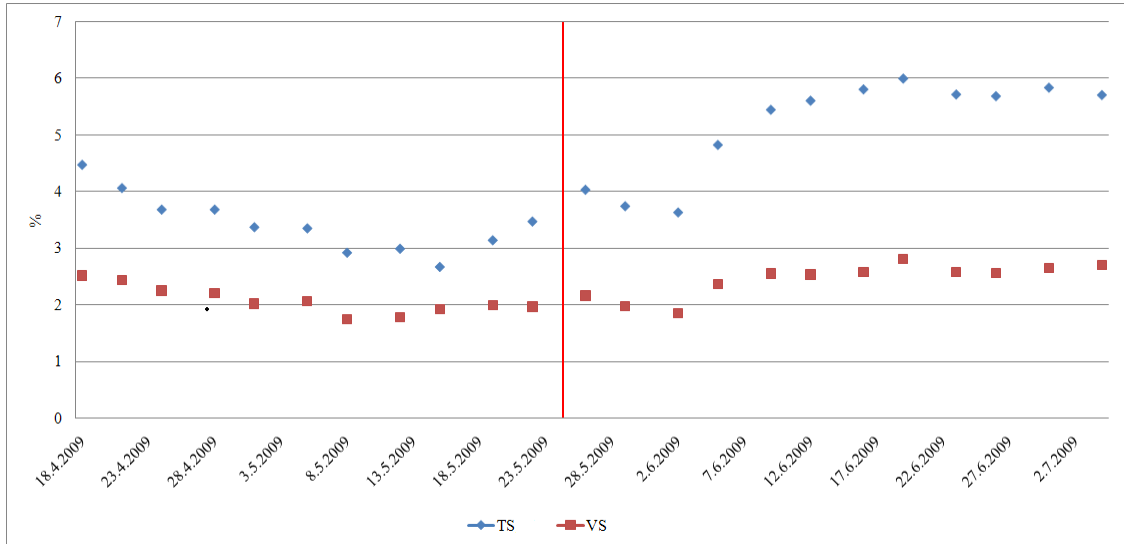
KUVA 13 Pistekuvaaja liukoisen COD:n tuloksista koko koejaksolta (18.4.2009 - 4.7.2009). Pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³ d:tä 2,5 kgVS/m³ d:ä. Kuvassa neliö kuvaa ympin COD arvoa (13,02 g/l)

Kuormitusnoston (25.5.2009) jälkeen liukoisen COD:n arvot tasaantuivat aluksi n. 5 g/l ja syötteen pysyttyä pidemmän aikaa tasaisena 13.6.2009 lähtien myös alle 5 g/l. Tasaisen syötteen aikana kemiallisen hapenkulutuksen arvot vaihtelivat 3,6 - 5 g/l välillä, keskiarvon ollessa n. 4,2 g/l.

6.8 Kuiva-aine (TS) ja orgaaninen aines (VS)

Syötettäessä alussa ainoastaan biojätteen ja veden seoksella poisteen TS-pitoisuus oli n. 4 % laskien koko ajan ennen lietteiden mukaan tulemistä n.

2,5 %:iin. Kun syötteeseen lisättiin lietteitä (14.5.2009), poisteen TS-pitoisuus lähti selvään nousuun. Ennen kuormitusnostoa 1,5 kgVS/m³d kuormasta 2,5 kgVS/m³d:ään poisteen TS-pitoisuus oli noussut takaisin n. 4 %:iin. Kuormitusnoston 25.5.2009 jälkeen TS-pitoisuudet jatkoivat nousemistaan n. 6 %:iin (kuva 14).



KUVA 14 TS- ja VS-pitoisuudet poisteesta koejakson 18.4.2009 - 4.7.2009 ajalta. Pysyvä viiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5 kgVS/m³d:ä.

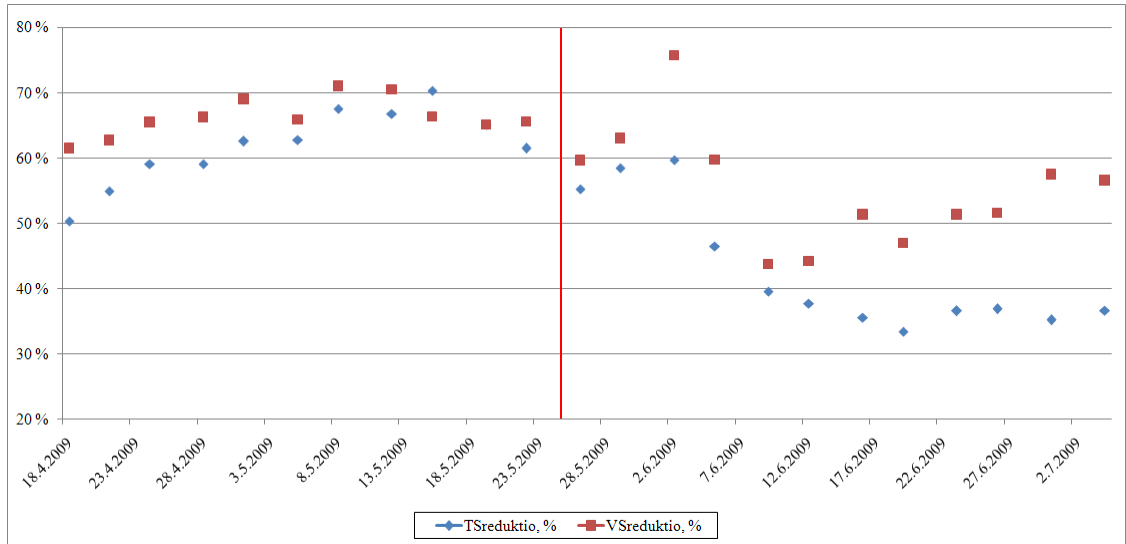
Poisteen VS-pitoisuus pysytteli alusta alkaen koko jakson ennen kuormitusnostoa (18.4.2009 - 24.5.2009) enimmäkseen n. 2 %:ssa. Toisin kuin TS-pitoisuuteen ei syötteeseen mukaan tulleet puhdistamolietteet vaikuttaneet poisteen VS-pitoisuuteen, joka pysyi melko tasaisena koko 1,5 kgVS/m³d kuorman ajan. Kuormitusnoston (25.5.2009) jälkeen myös poisteen VS-pitoisuus nousi hieman pysyen kuitenkin koko ajan 3 % alla.

Alussa poisteen orgaanisen aineksen osuus kiintoaineesta oli n. 60 %. Kuitenkin lietteiden tultua mukaan syötteeseen laski kiintoaineen orgaanisen aineksen osuus alle 50 %. Tämä johtuu suoraa lietteistä, joissa jo itsessään orgaanista ainetta on vähemmän kuin pelkässä biojätteessä, jossa orgaanisen aineen osuus kiintoaineesta analyysien perusteella oli jopa yli 80 %.

6.9 TS- ja VS-reduktiot

Koejaksolla (18.4.2009 - 4.7.2009) käytettyjen syötesosteiden TS-pitoisuus pidettiin koko ajan n. 9 %, jotta syötössä käytettävä letkupumppu ei tukkeutuisi. Lopullisen syötteen VS-pitoisuus kuitenkin vaihteli 4,5 - 7,5 % välillä syötekomponenttien ja tätä kautta syötteenkoostumuksen vaihdellessa.

Poisteesta kerättyjen TS- ja VS-tuloksista lasketuista TS- ja VS-reduktioista näkyy selvä pudotus 25.5.2009 tehdyn kuormitusnoston jälkeen (Kuva 15). Tällöin reaktorin mikrobisto ei ole ehtinyt hajottamaan syötteen kiintoainesta yhtä hyvin kuin pienemmällä vuorokausi kuormalla.



KUVA 15 TS- ja VS- reduktiot koejakson ajalta (18.4.2009 - 4.7.2009). Pystyviiva kuvaa kuormitusnostoa (25.5.2009) 1,5 kgVS/m³d:tä 2,5 kgVS/m³d:ä.

Ennen kuormitusnostoa TS-reduktio oli keskiarvoisesti 62 %, 25.5.2009 tapahtuneen kuormitusnoston jälkeen TS-reduktio kuitenkin laski n. 40 % keskiarvoon. VS-reduktio oli ennen kuormitusnostoa (25.5.2009) keskiarvoisesti n. 65 % laskien kuormituksen noustua n. 55 %. Ajanjaksolla (13.6.2009 - 4.7.2009), jolloin syöteseos pysyi vakiona, noin viipymäkierron ajan, oli TS-reduktio n. 36 % ja VS-reduktio n. 57 % (kuvaajan käyrien kaksi viimeistä pistettä).

Kuvan 15 kuvaajassa näkyvän pisteiden muodostaman linjan notkahdukset sijoittuvat syöteseoksen vaihtumista seuraavien analysointipäivien kohdille.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koejakson aikana saavutettiin tasapainoinen ja hyvä prosessitilanne reaktorin kuormituksella 2,5 kgVS/m³d. Tämän osoittivat useat prosessista tehdyt mittaukset ja analyysit. Tutkittu syöteseos (liete A 30 %, liete B 55,5 %, rasvaliete 5,6 % ja biojäte 9 % syötteen VS:stä) asettui koejakson lopulla vakiintuneeseen tilaan, mitä vastaavat prosessiarvot on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 11 *Koejaksolla saavutettua vakiintunutta prosessitilaa kuvaavat prosessi-arvot.*

pH	COD liuk, g/l	NH ₄ ⁺ , gN/l	Alkaliteetti, mg CaCO ₃ /l	VFA, mg/l	T Sreduktio, %	VSreduktio, %
8,04 - 8,19	3,62 - 4,91	1,578 - 1,863	5640 - 6988	439 - 782	33,4 - 36,9	47,0 - 57,5

Prosessin tasaisessa tilanteessa biokaasun tuotto oli n. 430 l/kgVS, josta metaanin osuus oli n. 60 % eli n. 260 l/kgVS. Vertailuksi esitetään muutamia erilaisten biojätteiden biokaasun tuottoja: mekaanisesti eroteltu biojäte 290 - 660 l/kgVS, erilliskerätty biojäte 670 - 890 l/kgVS (Cecchi 2003, 151). Käytetyllä syöteseoksella ei päästä aivan samoihin tuloksiin kuin erilliskerätyllä biojätteellä. Ennen kuin syöteseokseen lisättiin lietteitä, oli biokaasuntuotto samoissa luvuissa kuin kirjallisuudesta löydetty tuotot (n. 820 l/kgVS)

Syöteseoksen vaihtelut näyttäisivät vaikuttavan nopeasti biokaasun tuottoon sekä sen metaanipitoisuuteen. Analyysitulokset seuraavat muutosta muutaman päivän viiveellä.

LÄHTEET

- Cecchi, F., Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process. Teoksessa Mata-Alvarez, J. (toim.) *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Cornwall, UK: IWA Publishing, 141–177.
- Kim, H. J., Choi, Y. G., Kim, D. Y., Kim, D. H. & Chung, T. H. 2004. Effect of pretreatment on acid fermentation of organic solid waste. *Proceedings of 10th World Congress Anaerobic Digestion 2004*. Montreal, Canada. 20–26.
- Mata-Alvarez, J. 2003. Fundamentals of the anaerobic digestion process. Teoksessa Mata-Alvarez, J. (toim.) *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Cornwall, UK: IWA Publishing, 1–20.
- Veeken, A. & Hamelers, B. 2001. Sources of Cd, Cu, Pb and Zn in bio-waste. *The Science of the Total Environment* 300 (2002), 87-98.
- Vihreä kirja; Biojätehuolto Euroopan unionissa. KOM(2008)811. 2008. Bryssel: Euroopan yhteisöjen komissio. Saatavilla: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:FI:PDF>
- Cecchi, F., Pavan, P. & Mata-Alvarez, J. 1997. Kinetic study of the thermophilic anaerobic digestion of the fresh and pre-composted mechanically selected organic fraction of MSW. Lähteessä Cecchi, F., Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process.
- Pavan, P., Battistoni, P., Mata-Alvarez, J. & Cecchi, F. 2002. Performance of thermophilic semi-dry anaerobic digestion process changing the feed biodegradability. Lähteessä Cecchi, F., Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process.
- Cecchi, F., Pavan, P., Mat-Alvarez, J. & Vallini, G. 1989. Anaerobic mesophilic digestion – co-composting research in Italy. Lähteessä Cecchi, F., Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process.
- Sans, C., Mata-Alvarez, J., Cecchi, F., Pavan, P. & Bassetti, A. 1995. Volatile fatty acids production by mesophilic fermentation of mechanically sorted urban organic wastes in a plug flow reactor. Lähteessä Cecchi, F., Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process.
- Zorzi, G. 1997. Influenza delle condizioni operative sul processo di fermentazione anaerobica della FORSU, tesi di laurea. Lähteessä Cecchi, F.,

Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D. & Innocenti, L. 2003. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process.

Numminen, M. (toim) & Lehtinen, L. (toim) 1978. Spectrum tietokeskus 1 – 16. 4 osa. toinen painos. Porvoo: WSOY.

SYÖTEKOMPONENTTIEN ANALYYSITULOKSET

	pvm.	TS, %	VS, %	VS/TS	COD kokonais, g/l	COD kokonais, g/g kuiva-ainetta	kokonaistyyppi gN/kg	gN/kg kuiva-ainetta
ympäri	6.huhti	4,87	2,66	0,55	46,07	0,95	5,88	120,83
biojäte, kiinteämpi	14.huhti	22,57	18,91	0,84	281,73	1,25	5,11	22,65
biojäte, nestemäisempi	14.huhti	17,45	14,85	0,85	228,93	1,31	4,54	26,04
Biojäte	11.touko	24,09	20,38	0,85	265,93	1,10	6,23	25,84
Liete A	11.touko	21,43	9,87	0,46	29,80	0,14	4,94	23,07
Liete A	19.touko	29,15	16,55	0,57	232,10	0,80	6,73	23,07
Liete A	1.kesä	24,75	11,38	0,46	132,67	0,54	4,18	16,90
Liete A	10.kesä	33,19	15,89	0,48	186,43	0,56	7,27	21,91
Liete B	11.touko	9,93	6,91	0,70	116,43	1,17	6,43	64,75
Liete B	1.kesä	19,56	14,36	0,73	176,17	0,90	10,66	54,50
Liete B, nesteämpi	10.kesä	8,79	5,74	0,65	92,60	1,05	5,91	67,27
Liete B, kiinteämpi	10.kesä	14,84	9,58	0,65	124,13	0,84	6,91	46,58
Rasvaliete	19.touko	11,25	8,77	0,78	176,90	1,58	6,53	58,08

KOEJAKSON BIOKAASUN JA METAANIN TUOTOT

pvm	Kaasua vrk	Kaasua vko l/kgVS	Metaani %	Metaania vkr l/kgVS	Metaania vko l/kgVS
18.4.2009	302	4453	33,7	102	2401
19.4.2009	338		36,4	123	
20.4.2009	431		41,4	179	
21.4.2009	516		48,8	252	
22.4.2009	738		55,0	406	
23.4.2009	1009		61,0	615	
24.4.2009	1120		64,7	725	
25.4.2009	662	5658	68,0	450	3635
26.4.2009	662		69,2	458	
27.4.2009	662		66,7	441	
28.4.2009	493		63,3	312	
29.4.2009	658		60,1	396	
30.4.2009	1236		61,8	763	
1.5.2009	1284		63,4	814	
2.5.2009	1258	6396	63,2	794	3837
3.5.2009	973		61,1	595	
4.5.2009	796		59,7	475	
5.5.2009	782		58,1	455	
6.5.2009	907		58,1	527	
7.5.2009	836		58,9	492	
8.5.2009	844		59,1	499	
9.5.2009	840	6289	58,7	493	3846
10.5.2009	862		60,0	517	
11.5.2009	884		60,3	533	
12.5.2009	907		61,1	554	
13.5.2009	951		62,3	592	
14.5.2009	933		62,3	582	
15.5.2009	911		63,0	574	
16.5.2009	778	4622	63,7	495	2898
17.5.2009	716		63,8	456	
18.5.2009	689		63,6	438	
19.5.2009	658		62,8	413	
20.5.2009	627		62,6	392	
21.5.2009	516		61,6	318	
22.5.2009	640		60,2	385	
23.5.2009	813	3733	59,0	480	2142
24.5.2009	649		59,5	386	
25.5.2009	551		58,4	322	
26.5.2009	464		53,8	250	

pvm	Kaasua vrk	Kaasua vko l/kgVS	Metaani %	Metaania vkr l/kgVS	Metaania vko l/kgVS
27.5.2009	384		55,1	212	
28.5.2009	491		55,7	273	
29.5.2009	381		57,7	220	
30.5.2009	472	3427	56,7	267	1953
31.5.2009	445		57,6	257	
1.6.2009	477		56,6	270	
2.6.2009	451		56,2	253	
3.6.2009	576		55,5	319	
4.6.2009	512		57,4	294	
5.6.2009	493		59,3	293	
6.6.2009	408	2640	59,0	241	1556
7.6.2009	419		59,3	248	
8.6.2009	381		59,8	228	
9.6.2009	360		59,4	214	
10.6.2009	352		58,6	206	
11.6.2009	352		58,4	206	
12.6.2009	368		58,1	214	
13.6.2009	384	3131	58,6	225	1857
14.6.2009	469		59,0	277	
15.6.2009	523		59,6	312	
16.6.2009	429		60,1	258	
17.6.2009	448		59,7	268	
18.6.2009	435		59,5	259	
19.6.2009	443		58,7	260	
20.6.2009	403	2907	59,5	240	1762
21.6.2009	427		60,1	256	
22.6.2009	411		61,0	251	
23.6.2009	392		60,9	239	
24.6.2009	419		60,5	253	
25.6.2009	424		60,9	258	
26.6.2009	432		61,5	266	
27.6.2009	435	2908	61,2	266	1757
28.6.2009	451		60,3	272	
29.6.2009	371		60,7	225	
30.6.2009	389		59,9	233	
1.7.2009	394		59,5	235	
2.7.2009	429		60,2	258	
3.7.2009	440		61,0	269	
4.7.2009	437		59,5	260	

POISTEANALYYSIEN TULOKSET

Pvm	Kuormitus, kgVS/m ³ d	Syöte, TSpit. %	Syöte, VSpit. %	pH	TS, %	VS, %	COD liukoinen, g/l	NH4+, gN/l	Alkaliteetti, mg CaCO ₃ /l	VFA, mg/l	KokN, mgN/g	TSreduktio, %	VSreduktio, %
Ymppi				8,60	4,87	2,66	13,02	4,518	14345,00	2831,25			
18.4.2009	1,5	9	6,51	7,59	4,47	2,51	21,88	3,386	11225,00	8415,00		50 %	61 %
19.4.2009	1,5	9	6,51	7,54									
20.4.2009	1,5	9	6,51	7,24					11395,00	9142,50			
21.4.2009	1,5	9	6,51	7,28	4,06	2,43	22,38	3,156	11630,00	11595,00		55 %	63 %
22.4.2009	1,5	9	6,51	7,40									
23.4.2009	1,5	9	6,51	7,65									
24.4.2009	1,5	9	6,51	8,00	3,68	2,25	22,58	3,038	11895,00	7781,25		59 %	65 %
25.4.2009													
26.4.2009													
27.4.2009	1,5	9	6,51	8,34			16,84	3,080	12160,00	3982,50			
28.4.2009	1,5	9	6,51	8,20	3,68	2,20	14,52	3,068	12270,00	4421,25		59 %	66 %
29.4.2009	1,5	9	6,51	8,12									
30.4.2009	1,5	9	6,51	8,15					11775,00	4035,00			
1.5.2009	1,5	9	6,51	8,27	3,37	2,02	14,19	2,813	10865,00	3232,50		63 %	69 %
2.5.2009	1,5	9	6,03	8,32									
3.5.2009	1,5	9	6,03	8,32					9110,00	2115,00			
4.5.2009	1,5	9	6,03	8,25									
5.5.2009	1,5	9	6,03	8,17	3,35	2,06	12,42	2,707	9980,00	2220,00		63 %	66 %
6.5.2009	1,5	9	6,03	8,23									
7.5.2009	1,5	9	6,03	8,26					10450,00	2081,25			
8.5.2009	1,5	9	6,03	8,26	2,92	1,75	11,16	2,462	10575,00	2208,75		68 %	71 %
9.5.2009	1,5	9	6,03	8,28									
10.5.2009	1,5	9	6,03	8,34					9860,00	2842,50			
11.5.2009	1,5	9	6,03	8,35									
12.5.2009	1,5	9	6,03	8,21	2,99	1,78	11,16	2,282	9555,00	1256,25	2,97	67 %	70 %
13.5.2009	1,5	9	6,03	8,31									
14.5.2009	1,5	9	5,69	8,29									
15.5.2009	1,5	9	5,69	8,36	2,67	1,92	7,57	2,176	9005,00	791,25		70 %	66 %
16.5.2009	1,5	9	5,69	8,37									
17.5.2009	1,5	9	5,69	8,36					9435,00	682,50			
18.5.2009	1,5	9	5,69	8,39									
19.5.2009	1,5	9	5,69	8,38	3,14	1,99	6,23	2,251	9235,00	757,50	3,22	65 %	58 %
20.5.2009	1,5	9	4,70	8,35									
21.5.2009	1,5	9	5,72	8,32									
22.5.2009	1,5	9	5,72	8,37	3,47	1,97	6,55	2,191	8785,00	607,50		61 %	63 %
23.5.2009	1,5	9	5,35	8,29									
24.5.2009	1,5	9	5,35	8,31				2,110	8985,00	682,50			
25.5.2009	1,5	9	5,35	8,25									
26.5.2009	2,5	9	5,35	8,15	4,03	2,16	7,76	1,647	7910,00	746,25		55 %	60 %
27.5.2009	2,5	9	5,35	8,17									
28.5.2009	2,5	9	5,35	8,19									
29.5.2009	2,5	9	5,35	8,13	3,74	1,98	5,25	1,891	7360,00	645,00	2,88	58 %	63 %
30.5.2009	2,5	9	5,35	8,14									
31.5.2009	2,5	9	5,35	8,13									
1.6.2009	2,5	9	5,35	8,12									
2.6.2009	2,5	9	7,60	8,14	3,63	1,85	5,09	1,642	6500,00	611,25		60 %	76 %
3.6.2009	2,5	9	4,51	8,20									
4.6.2009	2,5	9	5,85	8,08									
5.6.2009	2,5	9	5,85	8,16	4,82	2,36	5,13	1,667	6557,50	680,63		46 %	60 %
6.6.2009	2,5	9	4,53	8,12									
7.6.2009	2,5	9	4,53	8,17									
8.6.2009	2,5	9	4,53	8,07									
9.6.2009	2,5	9	4,53	8,06	5,44	2,55	5,18	1,623	6315,00	1093,13		40 %	44 %
10.6.2009	2,5	9	4,53	8,03									
11.6.2009	2,5	9	4,53	8,02					5915,00	1263,75			
12.6.2009	2,5	9	4,53	7,94	5,60	2,53	5,48	1,532	5872,50	1263,75	2,59	38 %	44 %
13.6.2009	2,5	9	5,28	7,92									
14.6.2009	2,5	9	5,28	7,99									
15.6.2009	2,5	9	5,28	8,02									
16.6.2009	2,5	9	5,28	8,09	5,80	2,57	4,35	1,591	5980,00	697,50		36 %	51 %
17.6.2009	2,5	9	5,28	8,11									
18.6.2009	2,5	9	5,28	8,11									
19.6.2009	2,5	9	5,28	8,05	5,99	2,80	4,91	1,578	5640,00	781,88		33 %	47 %
20.6.2009	2,5	9	5,28	8,16									
21.6.2009	2,5	9	5,28	8,19									
22.6.2009	2,5	9	5,28	8,19									
23.6.2009	2,5	9	5,28	8,05	5,71	2,57	4,17	1,655	6370,00	650,63		37 %	51 %
24.6.2009	2,5	9	5,28	8,15									
25.6.2009	2,5	9	5,28	8,08									
26.6.2009	2,5	9	5,28	8,10	5,68	2,56	3,62	1,764	6485,00	489,38		37 %	52 %
27.6.2009	2,5	9	5,28	8,09									
28.6.2009	2,5	9	5,28	8,04									
29.6.2009	2,5	9	5,28	8,10									
30.6.2009	2,5	9	6,21	8,14	5,83	2,64	3,88	1,739	6492,50	483,75		35 %	57 %
1.7.2009	2,5	9	6,21	8,12									
2.7.2009	2,5	9	6,21	8,10									
3.7.2009	2,5	9	6,21	8,16									
4.7.2009	2,5	9	6,21	8,19	5,70	2,70	4,37	1,863	6987,50	438,75		37 %	57 %