
SIIRRETTÄVÄN BIOKAASULAITOKSEN TOIMINNAN MONITOROINTI

Harri Manu

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Harri Manu	
Työn nimi Siirrettävän biokaasulaitoksen toiminnan monitorointi	
Päiväys 9.2.2011	Sivumäärä/Liitteet 54/11
Ohjaaja(t) yliopettaja Merja Tolvanen, projekti-insinööri Teija Rantala	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikka Kuopio	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Savonia-ammattikorkeakoulun siirrettävän biokaasulaitteiston toimintaa. Laitteistoa oli aikaisemmin koekäytetty, mutta laitoksen toiminnasta haluttiin kerätä lisää käyttökokemuksia tulevia koejärjestelyjä varten. Laitoksen toiminnassa ja käytössä esiintyviin ongelmiin pyrittiin löytämään ratkaisuja, jotta vastaavat ongelmatilanteet pystyttäisiin jatkossa välttämään. Lisäksi koetettiin löytää sellaisia työtapoja ja -menetelmiä, jotka helpottaisivat laitoksen käyttöä ja parantaisivat laitoksessa työskentelevien työturvallisuutta. Käyttökokemusten perusteella laitoksen laitevalmistajan laatimaa käyttöohjetta pyrittiin päivittämään ja täydentämään.</p> <p>Työ on osa esiselvityshanketta, jossa tarkasteltiin keskitetyn yhteismädätyslaitoksen toteutettavuutta Pieksämäen jätevedenpuhdistamon yhteyteen. Siirrettävällä biokaasulaitoksella suoritettavissa kokeissa käytettiin samantyyppisiä syöttömateriaaleja, joita keskitetty laitos tulisi toteutuessaan käyttämään ja saatuja tuloksia voidaan käyttää keskitetyn laitoksen kannattavuuden arviointiin.</p> <p>Siirrettävällä laitteistolla saavutettuja tuloksia verrattiin laboratorio-olosuhteissa samoilla materiaaleilla suoritettujen panoskokeiden tuloksiin. Lisäksi panoskokeilla haluttiin selvittää, kuinka paljon siirrettävän laitoksen käsittelyjäännöksestä on mahdollista tuottaa biokaasua. Siirrettävän laitoksen toimintaa verrattiin myös muualla Suomessa toimivien ja vastaavia syöttömateriaaleja käyttävien biokaasulaitosten toimintaan. Laitteistolla käytetyillä syöttömateriaaleilla saavutetut kaasuntuotokset vastasivat kirjallisuudessa esiintyviä arvoja ja laitoksen kaasun- ja metaanintuotto olivat samaa luokkaa kuin muilla vastaavilla laitoksilla, joten laitoksen toimintaa voidaan pitää luotettavana. Laitoksen teknisessä toiminnassa esiintyi kuitenkin jonkin verran häiriöitä, joiden alkuperä ei kokeiden aikana selvinnyt. Tästä johtuen laitoksen toimintaa on syytä tarkkailla jatkossakin, jotta laitteistoa voidaan käyttää luotettavasti ja turvallisesti myös tulevissa tutkimus- ja kehityshankkeissa.</p>	
Avainsanat biokaasu, bioenergia, mädätys	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Harri Manu			
Title of Thesis Experimental Procedures for Mobile Biogas Plant and Evaluation of Results			
Date	9 February 2011	Pages/Appendices	54/11
Supervisor(s) Mrs Merja Tolvanen, Principal Lecturer, Ms Teija Rantala, B.Sc			
Project/Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to monitor the operation of Savonia University's mobile biogas plant. There had been some test runs with the plant before but the purpose was to gain more experience for future experiments. Problems and malfunctions encountered were tried to be fixed so that similar issues could be avoided in the future. Operating methods and practices were also attempted to be improved for easy and safe use of the plant. On the basis of the practices the plant manual was updated.</p> <p>The thesis is a part of a preliminary project, which examined the feasibility of a centralised biogas installation in the city of Pieksämäki. In the experiments the same biomass types were used as the centralised plant would use if implemented. The results can be used in the evaluation of the profitability of a centralised plant.</p> <p>Another part of the thesis was to study the batch-type digestion of the same materials under laboratory conditions. The achieved results were compared to the results achieved from the mobile biogas plant. Batch-type tests were also carried out to find how much biogas it is possible to produce from the digestate of the mobile plant. The plant's functionality was also compared to similar biogas plants operating in Finland. Biogas and methane production were in-line with figures found in literature and they did not significantly differ from the compared plants' figures and therefore the plant's functionality can be considered reliable. There were, however, a number of malfunctions the origin of which remained undiscovered. For this reason further study is required to ensure the plant's stable and safe use in future research and development projects.</p>			
Keywords biogas, bioenergy, anaerobic digestion			

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikölle. Työn käytännön osuudessa tehtiin paljon yhteistyötä MTT:n kanssa ja työssä pääsinkin tutustumaan biokaasualaan sekä alalla vaikuttaviin toimijoihin. Työ tarjosi runsaasti haasteita ja haluankin kiittää kannustavasta opastuksesta Savonia-ammattikorkeakoulusta työni ohjaajaa yliopettaja Merja Tolvasta sekä tilaajan edustajaa projekti-insinööri Teija Rantalaa. Lisäksi kiitokset ansaitsevat Savonia-ammattikorkeakoulusta projekti-insinöörit Tero Kuhmonen ja Ari Jääskeläinen. Avustuksesta työn käytännön osuuden kanssa haluan kiittää MTT:n tutkija Ville Pyykköstä. Suuret kiitokset myös kotijoukoille ja opiskelutovereille tuesta ja kannustuksesta.

Kuopiossa 9.2.2011

Harri Manu

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	BIOKAASU ENRGIALÄHTEENÄ	9
2.1	Biokaasun koostumus ja ominaisuudet	9
2.2	Biokaasun tuotantomahdollisuudet.....	9
2.3	Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet	12
3	ANAEROBINEN HAJOAMISPROSESSI.....	15
3.1	Prosessin raaka-aineet	15
3.2	Prosessityypit.....	15
3.3	Hajoamisprosessin mikrobiologia	16
3.4	Prosessiin vaikuttavat tekijät	18
4	BIOKAASUTOIMINTAA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ	20
4.1	Euroopan unionin lainsäädäntö	20
4.2	Suomen lainsäädäntö	21
5	KOKEET SIIRRETTÄVÄLLÄ BIOKAASULAITOKSELLE	22
5.1	Laitoksen pääosat ja toiminnan kuvaus.....	22
5.2	Koejärjestelyjen esivalmistelut.....	27
5.3	Kokeiden suoritus mobiililaitoksella	30
5.4	Tulokset	34
6	PANOSKOKEET	37
6.1	Panoskokeiden syötteet	37
6.2	Kokeiden suoritus.....	38
6.3	Tulokset	40
7	TULOSTEN ARVIOINTI	44
7.1	Yleinen arvio kokeiden onnistumisesta.....	44
7.2	Kokeiden arviointi ja tulosten vertailu	44
7.3	Mobiililaitoksen vertailu vastaaviin laitoksiin	46
7.4	Mobiililaitoksen käytössä esiintyneet ongelmat ja parannusehdotukset.....	48
8	YHTEENVETO	50
	LÄHTEET	52

LIITTEET

Liite 1 Siirrettävän biokaasulaitoksen PI-kaavio

Liite 2 Esimerkki mobiililaitoksen SMS-datasta

Liite 3 Panoskokeiden mittauspöytäkirjat

Liite 4 Ohje syötteiden käsittelyyn siirrettävässä biokaasulaitoksessa

1 JOHDANTO

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on yksi suurimmista Euroopan unionin haasteista. Keskeisiä tavoitteita ovat energiatehokkuuden parantaminen ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Maaliskuussa 2007 kokoontunut Eurooppa-neuvosto hyväksyi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuuden nostamiseksi 20 prosenttiin energian kokonaiskulutuksesta vuoteen 2020 mennessä pakolliseksi tavoitteeksi yhteisön alueella.

Biokaasu on uusiutuva ja ympäristöystävällinen polttoaine. Biokaasulla voidaan tuottaa sähköä, lämpöä ja mekaanista energiaa suhteellisin pienin kustannuksin. Biokaasua on myös mahdollista jalostaa liikenteen polttoaineeksi. Energian saannin lisäksi biokaasun käytöllä on myös ympäristönsuojelullisia etuja. Biokaasun sisältämä metaani on hiilidioksidia yli 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu, joten sen hyötykäytöllä voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonepäästöjä. Samasta syystä biokaasun ylijäämäpoltto (soihutpoltto) on tärkeää, mikäli hyötykäyttö ei ole mahdollista. Biokaasua syntyy orgaanisen eli eloperäisen aineen hajotessa mikrobien vaikutuksesta hapettomissa olosuhteissa. Yleisesti käytettävä nimitys hapettomissa olosuhteissa tapahtuvasta hajoamisprosessista on mädätys. Biokaasua muodostuu luonnossa esimerkiksi eläinten suolistossa, valtamerten ja muiden vesistöjen pohjissa sekä suoalueilla. Hallitusti biokaasua voidaan tuottaa ja kerätä esimerkiksi kaatopaikoilla tai biokaasureaktorissa. (Suomen biokaasuyhdistys 2010.)

Tämän työn tavoitteena on arvioida Savonia-ammattikorkeakoulun siirrettävän biokaasulaitoksen toimintaa ja kerätä käyttökokemuksia laitoksella myöhemmin suoritettavia koekteita varten. Tarkoituksena on verrata laitoksen toimintaa vastaavien laitosten toimintaan ja löytämään keinoja laitoksen toiminnassa esiintyvien ongelmien ratkaisemiseksi. Käyttökokemusten perusteella päivitetään myös biokaasulaitoksen laitevalmistajan laatimaa käyttöohjetta. Tarkasteltavia asioita työssä ovat laitoksen tekninen toiminta ja laitokseen syötettävien materiaalien määrät ja ominaisuudet. Lisäksi arvioidaan laitoksen käytettävyyteen liittyviä työturvallisuusseikkoja sekä pyritään löytämään työtapoja ja menetelmiä, jotka helpottavat biokaasulaitoksen käyttöä tulevissa koejärjestelyissä.

Työ on osa esiselvityshanketta, jossa tutkitaan keskitetyn biokaasulaitoksen rakentamismahdollisuuksia Pieksämäelle. Koelaitteistolla tehtävissä kaasutuskokeissa käytetään samoja materiaaleja kuin keskitetty laitos tulisi toteutuessaan käyttämään. Työstä

saatujen tulosten perusteella voidaan laatia alustavia arvioita siitä, kuinka suuria määriä biokaasua keskitetty biokaasulaitos pystyisi mahdollisesti tuottamaan.

2 BIOKAASU ENRGIALÄHTEENÄ

2.1 Biokaasun koostumus ja ominaisuudet

Biokaasu on kaasuseos, joka muodostuu pääasiassa metaanista (CH₄) ja hiilidioksidista (CO₂). Lisäksi kaasussa voi esiintyä pieniä pitoisuuksia typpeä, rikkivetyä ja kloori- ja fluoriyhdisteitä. Taulukossa 1 on esitetty eri biokaasun keskimääräinen koostumus. Biokaasun suurin ero fossiiliseen maakaasuun on sen metaanipitoisuus. Biokaasun CH₄-pitoisuus voi vaihdella välillä 45 – 75 % ja CO₂-pitoisuus välillä 30 – 55 %, maakaasun metaanipitoisuuden ollessa luokkaa 98 %. (Latvala 2005, 10.)

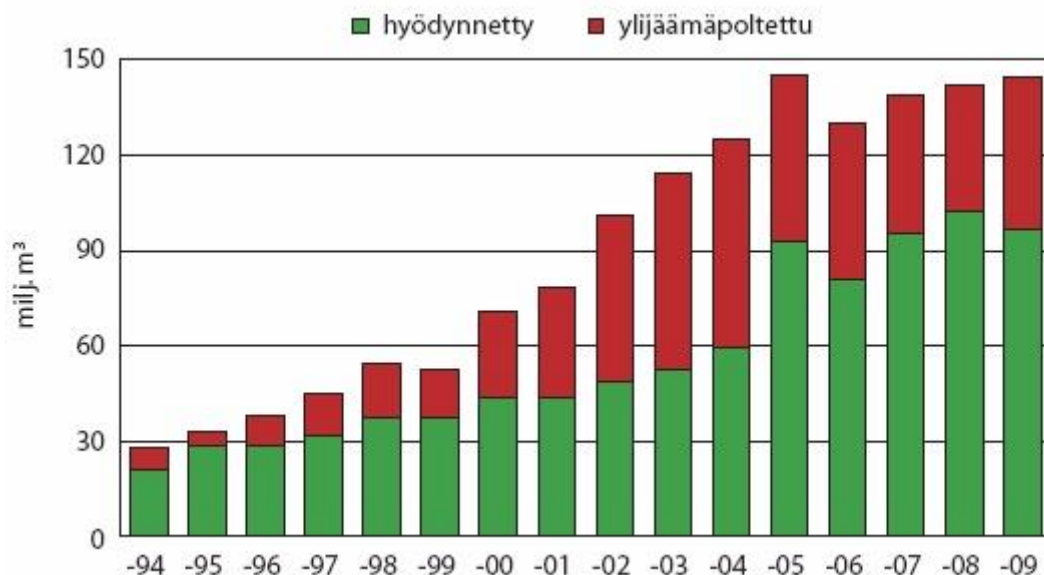
TAULUKKO 1. Eri aineiden ja yhdisteiden tyypillinen osuus (%) biokaasusta (Hatsala & Raimovaara 2004)

Aine	Osuus [%]
Metaani	55 - 75
Hiilidioksidi	25 - 45
Hiilimonoksidi	0 - 0,3
Typpi	1 - 5
Vety	0 - 3
Rikkivety	0,1 - 0,5
Happi	jälkiä

Biokaasu on väritön ja hajuton kaasuseos, jonka tiheys on n. 1,22 kg/m³ ja itsesyttymispiste 650-750 °C. Sen tehollinen lämpöarvo on luokkaa 14,4 – 21,6 MJ/m³ eli kuutiometristä biokaasua on mahdollista saada energiaa 4 – 6 kWh. Palamistuotteina biokaasun poltossa syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä. (Alakangas 2000, 144-146.)

2.2 Biokaasun tuotantomahdollisuudet

Suomessa biokaasua tuotetaan ja kerätään talteen maatiloilla, jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikoilla sekä yhteiskäsittelylaitoksissa. Vuonna 2009 biokaasua tuotettiin yhteensä n. 144,5 miljoonaa m³ ja kaasulla tuotettiin energiaa yhteensä 436,4 GWh. Tuotetusta energiasta n. 87% oli lämpöä ja 13% sähköä. Kuviossa 1 on esitetty biokaasun tuotannon kehitys sekä ylijäämäpoltetun kaasun osuus tuotetusta kaasusta Suomessa vuosina 1994 - 2009. (Kuittinen, Huttunen & Leinonen 2010, 13.)



KUVIO 1. Suomessa tuotettu ja ylijäämäpoltettu biokaasu vuosina 1994 - 2009 (Kuittinen ym. 2010)

Karkeasti biokaasun tuotantolaitokset voidaan jakaa reaktorilaitoksiin ja kaatopaikkalaitoksiin. Reaktorilaitoksissa biokaasu tuotetaan tarkoitusta varten rakennetuissa reaktoreissa kun taas kaatopaikoilla biokaasua muodostuu yhdyskuntajätteen hajotessa pengerrakenteissa. Suomessa reaktorilaitoksia oli vuoden 2009 lopussa 16 yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla, 3 teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla, 10 maataloilla ja 4 yhteismädätyslaitoksilla. Kaatopaikoilta kaasua kerättiin 35 paikassa. (Kuittinen ym. 2010, 15-28.)

Jätevedenpuhdistamot

Jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimivat laitokset käyttävät syöttömateriaalina puhdistusprosessissa muodostuvia lietteitä. Pääasiassa laitokset käsittelevät suuria lietemääriä eikä pienten kaupunkien puhdistamoille ole ollut kustannustehokasta laitoksia rakentaa. Puhdistamojen yhteydessä toimivat biokaasulaitokset ovat Suomessa olleet luotettavia eikä niiden toiminnassa ole esiintynyt merkittäviä ongelmia. Tuotettua kaasua käytetään tyypillisesti CHP-tuotannossa (*combined heat and power, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto*). (Latvala 2009, 11.)

Maatilakohtaiset laitokset

Maatilakohtaiset laitokset tuottavat kaasua pääasiassa maatalouslietteistä sekä bio-, sokeri- ja perunajätteestä. Tuotettua kaasua käytetään maatilojen tarvitseman sähkön ja lämmön tuotantoon. Maatilat käyttävät yleensä tiloilla muodostuvat lietteet lannoitteena,

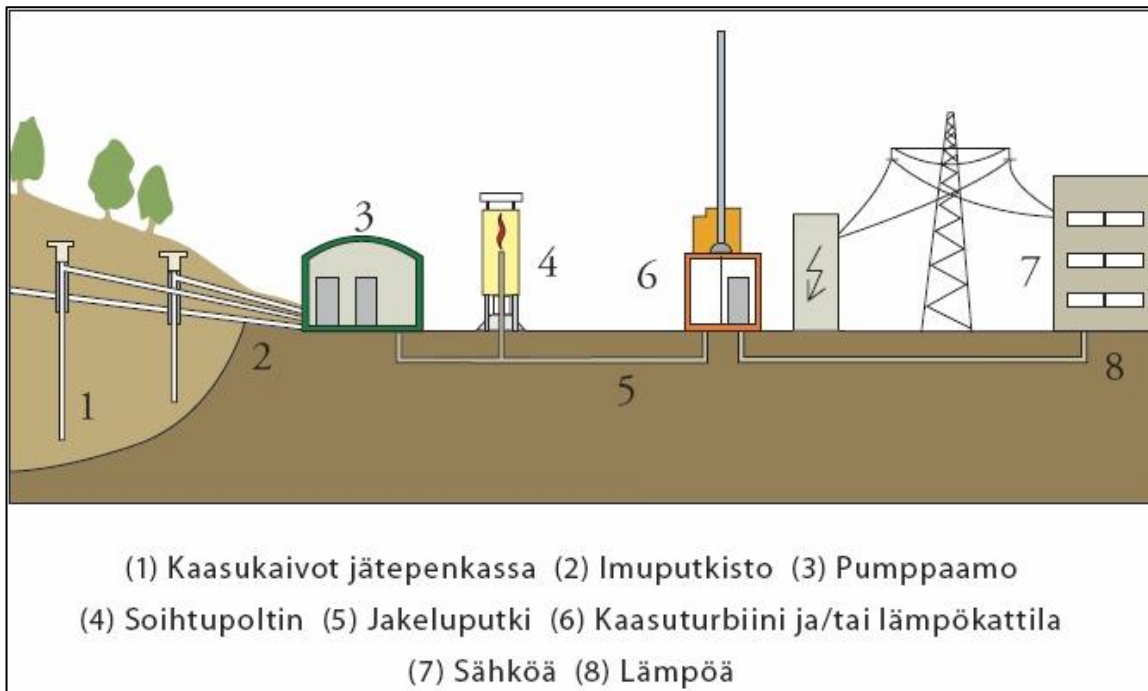
mistä aiheutuu usein hajuhaittoja ympäristöön. Biokaasulaitoksessa käsittely vähentää lietteen hajuhaittoja ja liete on edelleen peltolevitettävissä. (Latvala 2009, 12.)

Yhteiskäsittelylaitokset

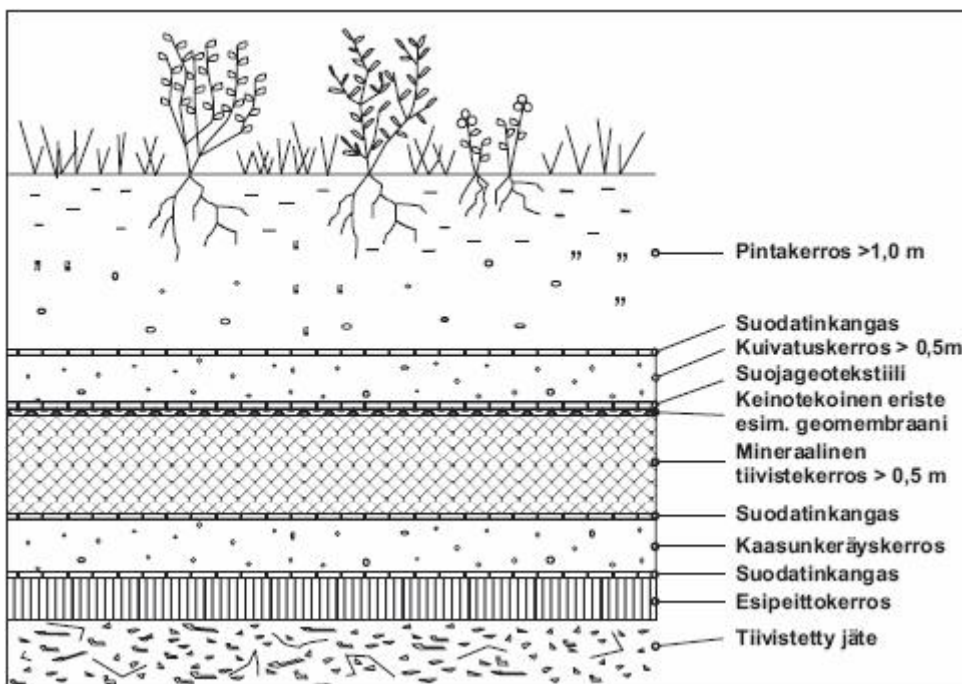
Yhteiskäsittelylaitoksissa käsitellään tyypillisesti biojätteitä ja kasvibiomassoja yhdessä puhdistamo-, teollisuus- ja maatalouslietteiden kanssa. Yhteiskäsittelyprosessissa syötettävät materiaalit voivat myös vaihdella. Eri aineiden yhteisvaikutus voi lisätä kaasun tuotantoa jopa 50 % ja yhteiskäsittely voi tuoda kuljetus- ja kapasiteettietuja. Yhteismädätykseen liittyy kuitenkin tiettyjä laitoksen toimintaa koskevia riskejä, kuten vedenpoisto- ja hajuongelmia. Lisäksi prosessissa esiintyvät orgaaniset piiyhdisteet, halogeenit ja rikkiyhdisteet voivat aiheuttaa laitteistoissa korroosiota. (Arnold 2010, 27; Latvala 2009, 13; Myllymaa ym. 2008, 111.)

Kaatopaikat

Kaatopaikoilla jätepenkereissä muodostuva biokaasu kerätään imukaivojen tai salaojaputkistojen avulla ja johdetaan pumppaamolle (kuvio 2). Pumppaamo muodostaa kaasun keräyksen kaivo- ja putkijärjestelmän alipaineen sekä nostaa kerätyn kaasun paineen hyötykäyttöön tai soih tupolttoon sopivaksi. Muodostuvan kaasun määrä ja ominaisuudet riippuvat jätteen koostumuksesta, kaatopaikan olosuhteista, jätepenkereen tiivistämis- ja peittämistavoista sekä jätekerroksen syvyydestä, kosteudesta ja lämpötilasta. Kuviossa 3 on esitetty kaatopaikan pintaeristyksen kerrosrakenteet. Tiiviillä pintaeristykseällä tehostetaan kaatopaikkakaasun talteenottoa vähentämällä vuotokohtia penkereessä. Lisäksi pintaeristys vähentää likaantuneen suotoveden muodostumista estämällä sadeveden suotautumisen jätepenkereen läpi. (Tuhkanen 2002, 12-13.)



KUVIO 2. Kaatopaikkakaasun keräysjärjestelmän toimintaperiaate ja pääosat (Kuittinen ym. 2010, 29)



KUVIO 3. Kaatopaikan pintaeristyksen rakennekerrokset (Saarela 2001, 33)

2.3 Biokaasun hyödyntämismuutokset

Tuotetun biokaasun hyödyntämistavan valintaan vaikuttaa eniten laitoksen sijainti suhteessa kaasulla tuotetun energian loppukäyttäjien. Ensisijaisesti kaasua pyritään hyödyntämään biokaasulaitoksen läheisyydessä. Esimerkiksi kaatopaikoilla tuotettua biokaasua ei aina voida edes hyödyntää pitkistä välimatkoista ja kaatopaikkojen vähäisestä energi-

antarpeesta johtuen. Biokaasulaitoksen oma energiantarve on tyypillisesti 10 - 40 % biokaasulla tuotetusta energiasta. Kaasun hyödyntämismuotoja ovat:

- Lämmön tuotanto
- Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)
- Mekaaninen energia
- Ajoneuvopolttoaine

Lämmön tuotanto

Mikäli laitoksella tuotetaan ainoastaan lämpöä, täytyy laitoksen läheisyydessä olla kohde, joka käyttää tuotettua lämpöä ympärivuotisesti. Maatilakohtaisissa laitoksissa tuotetulla biokaasulla lämmitetään tyypillisesti eläinsuojia. Lämmöntuotannon investointikustannukset ovat pienet ja se on toimintavarma vaihtoehto. Käytännössä tuotetusta kaasusta erotetaan vain vesi, jonka jälkeen kaasu voidaan polttaa kaasukattilassa. Lämmöntuotannon hyötysuhde on yleensä korkea, jopa 95 % eli vain pieni osa kaasulla tuotetusta energiasta jää hyödyntämättä. (Latvala 2009, 44-45.)

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) päästään myös korkeaan hyötysuhteeseen ja suurimmilla laitoksilla on mahdollista saavuttaa jopa 90 %:n hyötysuhde. Vedenerotuksen jälkeen kaasu johdetaan kaasumootorille (otto-mootori) tai mikroturbiineille. Kaasumootorien kokonaisteho on tyypillisesti luokkaa 0,1 - 2 MW. Mikroturbiinit ovat yleensä teholtaan kaasumootoreita pienempiä (alle 1 MW), mutta niitä voidaan asentaa useita rinnakkain, jolloin voidaan saavuttaa sama kokonaisteho kuin kaasumootorillakin. Mikroturbiinit ovat investointikustannuksiltaan kalliimpia kuin kaasumootorit, mutta niiden käyttö- ja huoltokustannukset ovat pienemmät kuin kaasumootoreilla. Kaasumootoreita voidaan käyttää myös mekaanisen energian tuottamiseen esimerkiksi jätevedenpuhdistamoilla, jossa mekaanista energiaa tarvitaan mm. jäteveden ilmastusprosessissa. (Latvala 2005, 12; Latvala 2009, 45-46.)

Ajoneuvopolttoaine

Biokaasun käyttö liikennepolttoaineena vaatii, että kaasu jalostetaan vastaamaan ominaisuuksiltaan maakaasua. Käytännössä tämä tarkoittaa hiilidioksidin sekä mahdollisten rikkiyhdisteiden pesua kaasusta jalostuskolonnissa, jossa em. yhdisteet sidotaan veteen tai kemikaaliliuokseen. Puhdistettu kaasu kuivataan ja paineistetaan 200 - 300 barin

paineeseen, jonka jälkeen se varastoidaan paineastioihin. Jalostettu liikennebiokaasu sopii yleensä sellaisenaan käytettäväksi nykyaikaisissa bensiinimoottoreissa, mutta ras-
kaissa ajoneuvoissa on tyypillisesti kaasumoottorit. Huolimatta liikennebiokaasun yh-
teensopivuudesta nykyisten polttomoottorien kanssa, sen käyttö liikennepolttoaineena ei
toistaiseksi ole yleistynyt Suomessa. Osasyynä tähän on harva jakeluverkosto sekä ajo-
neuvojen vaatima polttoainesäiliö paineistetulle kaasulle. (Latvala 2005, 14-16; Latvala
2009, 47.)

Käsittelyjäännöksen loppukäyttö

Käsittely- eli mädätejäännös sisältää runsaasti ravinteita, joten yleensä se pyritään hyö-
dyntämään lannoitteena. Tämä kuitenkin edellyttää, että lopputuote on hygienisoitu ja
sillä on lain edellyttämä tyyppinimi. Lannasta tuotettu biokaasun käsittelyjäännös sovel-
tuu sellaisenaan lannoitteeksi, mutta puhdistamolietteen maatalouskäyttö vaatii mädäte-
jäännöksen käsittelyn. Soveltuvia käsittelymenetelmiä ovat mm. kalkkistabilointi, termi-
nen kuivaus ja kemiallinen hydrolyysi. Yleensä yhdyskuntalietteen mädätejäännös kui-
tenkin kuivataan mekaanisesti ja kompostoidaan aumoissa, jonka jälkeen sitä voidaan
käyttää esimerkiksi viherrakentamisessa. (Latvala 2009, 24.)

3 ANAEROBINEN HAJOAMISPROSESSI

Mädätysprosessissa mikro-organismit hajottavat hiilyhdisteitä hapettomissa olosuhteissa, jonka seurauksena prosessissa vapautuva energia sitoutuu lopputuotteena muodostuvaan metaaniin. Syntynyttä biokaasua voidaan käyttää polttoaineena energiantuotannossa. (Taavitsainen, Kapuinen & Survo 2002, 14.)

3.1 Prosessin raaka-aineet

Biokaasuprosessin raaka-aineina voivat toimia eläintuotannon jätteet, peltobiomassat, yhdyskuntien biojäte jätevedenpuhdistamoiden ja sakokaivojen lietteet sekä teollisuuden biohajoavat jätteet. Eläintuotannon jätteitä voivat olla esimerkiksi teurastamojäte sekä lehmän ja sian lanta. Peltobiomassat pitävät sisällään kasvintuotannon jätteet ja sivutuotteet sekä energiantuotantoon erityisesti viljellyt energiakasvit. Taulukossa 2 on esitetty eri syötteiden metaanintuottopotentialit. (Paavola 2007)

TAULUKKO 2. Eri syöttömateriaalien metaanintuottopotentialit (Paavola 2007)

Syöttömateriaali	CH ₄ m ³ /t org.ainetta	CH ₄ m ³ /t märkäpaino
Teurastamojäte	570	150
Biojäte	500 - 600	100 - 150
Peltobiomassat	300 - 500	30 - 150
Puhdistamoliete	200 - 400	5 - 12
Sianlanta	300 - 400	17 - 22
Lehmänlanta	100 - 250	7 - 14

3.2 Prosessityypit

Anaerobisen hajoamisprosessin luonne määräytyy käytettävän mädätyslämpötilan ja syötteen tai syöteseoksen kuiva-ainespitoisuuden (*TS, total solids*) mukaan. Biokaasuprosessi voidaan toteuttaa panostyyppisenä tai jatkuvatoimisena prosessina. Panosreaktorit ovat kertatäytteisiä eli niihin syötetään koko syötemäärä kerralla. Mikäli panosprosessista halutaan keskeytymätön kaasuntuotto, täytyy käyttää rinnakkain useampaa reaktoria. Jatkuvatoimiset prosessit tuottavat biokaasua keskeytyksettä ja ne perustuvat jatkuvaan ja säännölliseen syötteen lisäykseen. Syötteen lisäyksen yhteydessä reaktio-

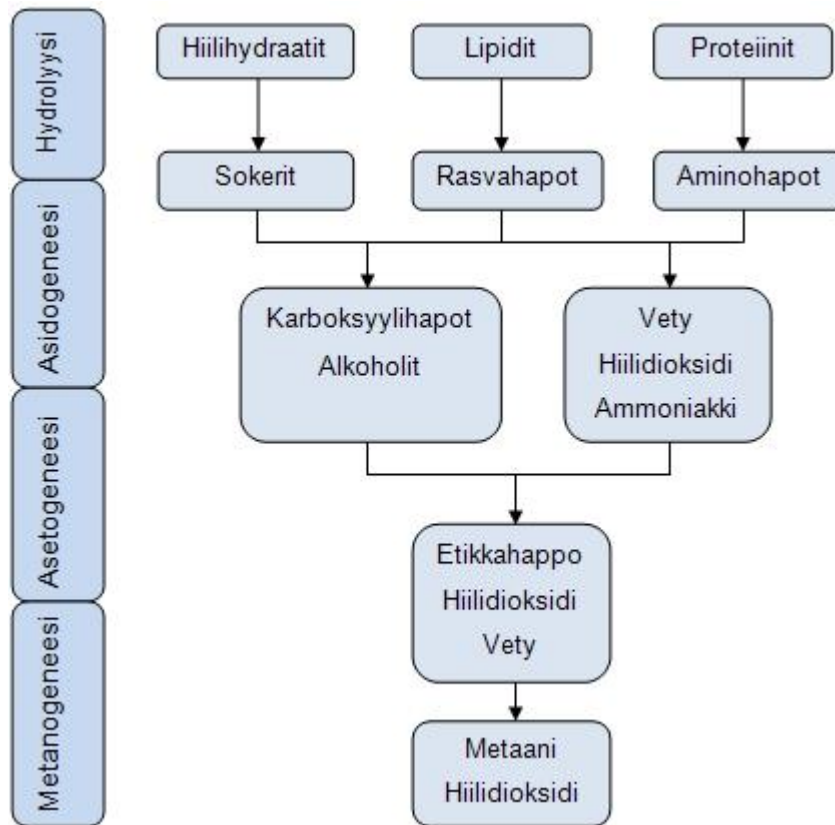
rista poistetaan lisätyn syötteen määrää vastaava määrä mädätejäännöstä. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 34.)

Tyypillisesti käytettyjä biokaasuprosesseja ovat mesofiilisella tai termofiilisella lämpötila-alueella toimivat prosessit. Mesofiilisessa prosessissa optimaalinen lämpötila-alue on 35 - 37 °C ja termofiilisessa 50 – 55 °C. Mesofiilinen prosessi ei ole herkkä prosessihäiriöille ja lisälämmityksen tarve on pienempi termofiiliseen prosessiin verrattuna. Kaasuntuotto mesofiilisessa prosessissa on yleensä hyvä ja vakaa sekä viipymäaika reaktorissa kohtuullinen (20 – 30 vrk). Termofiilisen prosessin etuja ovat täydellisempi hygienisoituminen ja nopeampi hajoaminen sekä tästä johtuva lyhyt viipymäaika (n. 10 – 18 vrk). Termofiilinen prosessi on herkempi pH:n ja lämpötilan vaihteluille, sillä mikrobitoiminta voi häiriintyä jo asteenkin lämpötilavaihtelusta. Harvemmin käytetty, psykrofiilinen mädätys toimii lämpötila-alueella 0 – 15 °C ja sille on ominaista suuret reaktoritilavuudet, vähäinen kaasuntuotto ja pitkä viipymäaika (60 vrk). (Hatsala & Raimovaara 2004, 4-5.)

Mikäli syötteen tai syöteseoksen kuiva-ainespitoisuus on välillä 5 – 15 %, on kyseessä märkäprosessi. Märkäprosessille tyypillistä on syötteiden ja mädätejäännöksen siirtely pumppaamalla. Lisäksi märkäprosessissa mekaaninen sekoitus on järjestettävissä helposti. Kuiva-ainespitoisuuden ollessa välillä 20 – 50 %, on kyseessä kuivaprosessi. Tällöin syötteiden pumppaus ei onnistu vaan siirrot täytyy suorittaa esimerkiksi ruuvi- tai hihnakuljettimilla. (Latvala 2009, 29.)

3.3 Hajoamisprosessin mikrobiologia

Hajotettavia orgaanisia yhdisteitä ovat proteiinit, hiilihydraatit ja lipidit. Hajoamisprosessissa on neljä päävaihetta: hydrolyysi, happokäyminen (asidogeneesi), etikkahapon muodostuminen (asetogeneesi) ja metaanin muodostuminen (metanogeneesi). Kuviossa 4 on esitetty hajoamisprosessin lähtöaineet, päävaiheet sekä muodostuvat lopputuotteet. (Al Seadi 2008, 21.)



KUVIO 4. Anaerobinen hajoamisprosessi. (Al Seadi 2008, 21.)

Hydrolyysi

Hajoamisprosessin ensimmäisessä vaiheessa, hydrolyysissa, orgaaniset yhdisteet hajoavat veden avulla liukoiseen muotoon. Haponmuodostajabakteerit katalysoivat erityisesti pitkäketjuisten molekyylien hajoamista erittämiensä entsyymien avulla. Vaiheen lopputuotteena syntyy aminohappoja, sokereita ja rasvahappoja. Metaanin muodostus on tässä vaiheessa vielä suhteellisen vähäistä. (Taavitsainen ym. 2002, 14.)

Hydrolyysin edellytyksenä on yli 50 prosentin vesipitoisuus. Usein vesi on mukana syöttömateriaalissa eli ns. syötteessä, kuten jätevedessä tai eläinten lietelannassa. Mikäli syötteen kuiva-ainepitoisuus on yli 15 %, on kyseessä kuivaprosessi, jolloin vettä on lisättävä prosessiin. Hydrolyysi toimii parhaiten pH:n ollessa 5 – 6. (Luostarinen 2009)

Asidogeneesi

Happokäymisvaiheessa eli asidogeneesissa hydrolyysituotteet hajoavat lyhytketjuisiksi karboksyylihapoiksi, kuten etikka-, propioni- ja voihapsiksi. Lisäksi yksinkertaiset sokerit, aminohapot ja rasvahapot hajoavat hiilidioksidiksi, vedyksi ja alkoholeiksi. Vaiheen tyyppisiä välituotteita ovat butyraatti ja propionaatti. Kunkin hydrolyysituotteen hajoamista edistävät niihin erikoistuneet bakteerit. (Al Seadi 2008, 22; Lampinen 2004, 4.)

Asetogeneesi

Kolmannessa vaiheessa asetogeneettiset bakteerit pilkkovat karboksyylihappoja ja alkoholeja etikkahapoksi (asetaatiksi), hiilidioksidiksi ja vedyksi. Pitkaketjuiset haihtuvat rasvahapot ja alkoholit hapettuvat asetaatiksi ja vedyksi. Asetogeneesin pH:n optimaalinen alue on hydrolyysivaiheen tavoin 5 – 6, mutta toimii myös alueella 7 – 8. (Luostarinen 2009)

Metanogeneesi

Viimeisessä vaiheessa metanogeneettiset bakteerit muodostavat metaania asetaatti-ioneista sekä vedystä ja hiilidioksidista reaktioyhtälöiden (3.1) ja (3.2) mukaisesti. Prosessissa n. 70 % metaanista muodostuu asetaatista ja 30 % hiilidioksidista ja vedystä. Prosessissa syntyy metaanin lisäksi lopputuotteena hiilidioksidia ja vettä. (Lampinen 2004, 5.)



3.4 Prosessiin vaikuttavat tekijät

Biokaasuprosessiin vaikuttavat pH, lämpötila, kosteus, ravinteet ja inhibitot. Suuri merkitys on myös syöttömateriaaleilla, niiden syöttösuhteilla, viipymällä reaktorissa (*HLR*, *hydraulic retention time*) ja orgaanisella kuormituksella (*OLR*, *organic loading rate*). Näiden parametrien seuranta ja hallinta on tärkeää prosessin toimivuuden kannalta.

Biokaasuprosessin eri vaiheissa toimivat eri bakteeriryhmät, joilla on omat optimaaliset pH-alueensa. Esimerkiksi metaanibakteerit toimivat parhaiten pH:n ollessa 6,5 – 7,5, kun taas haponmuodostajabakteerien optimaalinen alue on välillä 5,2 – 6,3. Liiallinen pH:n nousu tai lasku voi pahimmassa tapauksessa pysäyttää koko hajoamisprosessin. Laskua aiheuttaa yleensä liiallinen orgaaninen kuormitus eli prosessiin on syötetty liikaa raaka-ainetta. Toisaalta liian vähäinen syöttö voi nostaa pH:ta. Liiallinen haihtuvien rasvahappojen (VFA) kertyminen reaktoriin happokäymisvaiheessa voi laskea pH:n haitalliselle tasolle. (Latvala 2009, 34-35.)

Anaerobinen hajoamisprosessi voi toimia kolmella eri lämpötila-alueella. Lämpötilan vakaus on ratkaisevaa prosessin toimivuuden kannalta. Lämpötilan muutos voi hävittää koko mikrobikannan ja pysäyttää prosessin. Lisäksi lämpötila vaikuttaa ainakin ammoniakkin myrkyllisyyteen ja prosessissa muodostuvien yhdisteiden liukoisuuteen. Kosteus vaikuttaa lähinnä syötteiden ja syöteseosten liikuteltavuuteen ja sekoitettavuuteen. (Al Seadi 2008, 23-24.)

Anaerobisille bakteereille välttämättömiä ravinteita ovat fosfori, typpi, hiili, rikki, vitamiinit ja hivenaineet. Liiallinen ravinteiden määrä voi kuitenkin inhiboida eli häiritä prosessia. Inhiboivia aineita ovat mm. antibiootit, puhdistusaineet ja ammoniakki. Inhibitioiden estämiseksi prosessia voidaan laimentaa vedellä ja säätää prosessin happotasapainoa lisäaineiden avulla. Inhiboivat yhdisteet tulee myös poistaa prosessista, mikäli se on mahdollista. (Mykkänen 2008, 12; Latvala 2009, 36.)

Eri syöttömateriaaleilla on erilaiset metaanintuottopotentialit. Metaanintuottopotentiaaliin vaikuttaa syöttömateriaalin koostumus ja palakoko. Myös esikäsitellyllä ja varastoinnilla voi olla vaikutusta materiaalin metaanintuottoon. Materiaalin koostumus ja siinä olevan orgaanisen kiintoaineen (*VS, volatile solids*) määrä vaikuttavat myös viipymäaikaan reaktorissa. Viipymäaika on termofiilisessä mädätyksessä yleensä noin puolet lyhyempi verrattuna mesofiiliseen mädätykseen eli lämpötilalla on suuri merkitys syötteen viipymään reaktorissa. Käytettävän mädätyslämpötilan lisäksi myös muut reaktorin ominaisuudet vaikuttavat viipymään. Vaikuttavia tekijöitä ovat reaktorin koko sekä sekoituksen toimivuus. Sekoituksella varmistetaan kontakti mikrobien ja syötemateriaalin välillä. (Taavitsainen ym. 2002, 21-22; Latvala 2009, 31.)

Orgaaninen kuormitus tarkoittaa syötteiden orgaanisen aineen määrää aikayksikköä ja reaktorin tilavuusyksikköä kohden. Tavallisesti orgaaninen kuormitus ilmaistaan yksikössä $\text{kg VS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Kuormitus on tärkeä parametri hajoamisprosessin hallinnassa ja liiallinen kuormitus voi aiheuttaa metaanintuoton romahtamisen prosessissa. (Al Seadi 2008, 27-28.)

4 BIOKAASUTOIMINTAA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Suomen ja Euroopan unionin lainsäädäntö on toiminut pohjana biokaasutoiminnan edistämiseksi. Kiristyvät käsittelyvaatimukset ovat tuoneet biokaasusektorille uusia toimijoita ja lisännyt liiketoimintaa alalla runsaasti. Toisaalta kiristynyt lainsäädäntö voi aiheuttaa toiminnan kannattamattomuutta. Vuoden 2011 alusta voimaan tullut energiaverouudistus muuttaa energiaverotuksen ympäristöperusteiseksi. Uudistus pitää sisällään käyttövoimaveron käyttöönoton biokaasulla toimiville henkilö- ja pakettiautoille. Lisäksi valmisteilla on useita säädöksiä, joiden vaikutusta on vaikea arvioida. Valmisteilla ovat mm. syöttötariffilaki tuulivoimalla ja biokaasulla tuotetulle sähköenergialle ja biojätteen käsittelydirektiivi.

4.1 Euroopan unionin lainsäädäntö

EU:n direktiivi uusiutuvan energian käytön edistämisestä (2009/28/EY) eli ns. RES-direktiivi (*renewable energy sources, uusiutuvat energialähteet*) määrää, että Euroopan yhteisön alueella 20 % energian loppukulutuksesta ja 10 % liikennepolttoaineesta tulee olla peräisin uusiutuvista energialähteistä. Kokonaistavoite on jaettu jäsenvaltiokohtaisiksi tavoitteiksi.

Neuvoston direktiivin kaatopaikoista (1999/31/EY) mukaisesti biohajoavan jätteen kaatopaikalle sijoittamista vähentävillä toimenpiteillä on pyrittävä myös edistämään biohajoavan jätteen erillistä keräämistä, lajittelua yleensä, hyödyntämistä ja kierrätystä. Direktiivi edellyttää, että jäsenvaltiot vähentävät biohajoavan jätteen sijoittamista kaatopaikoille 35 prosenttiin vuoden 1995 tasosta vuoteen 2016 mennessä.

Neuvoston direktiivi puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyssä (86/278/ETY) määrää, että liete on käsiteltävä ennen sen käyttöä maanviljelyssä. Varsinkin termofiilinen biokaasuprosessi on hygienisoiva käsittelymenetelmä. Usein pelkkä biokaasutus ei kuitenkaan riitä, vaan tarvitaan lisäksi jokin muu hygienisointimenetelmä. Käsitellessä eläinperäisiä sivutuotteita, on noudatettava Euroopan parlamentin ja neuvoston sivutuoteasetuksen (1774/2002/EY) mukaisia käsittelymenetelmiä. Käytännössä tämä tarkoittaa lämpökäsittelyä vähintään 70 °C:ssa.

4.2 Suomen lainsäädäntö

Suomessa biokaasun tuottaminen ja kerääminen on yleensä luvanvaraista toimintaa. Biokaasulaitoksen rakentaminen vaatii maankäyttö- ja rakennuslain (MRL 132/1999) mukaiset, yleensä kunnan rakennusviranomaisen myöntämät rakennusluvut. Biokaasulaitoshankkeen toteuttaminen vaatii myös ympäristönsuojelulain (86/2000) tai -asetuksen (169/2000) mukaisen ympäristöluvan. Luvan myöntää aluehallintovirasto tai pienille laitoksille (käsittelykapasiteetti alle 10 000 t/a) kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Luvan saanti edellyttää isommilla laitoksilla (käsittelykapasiteetti yli 20 000 t/a) ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. Valvova viranomainen arviointimenettelyssä ja lupaehtojen noudattamisessa on alueen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Ympäristönsuojelulaki edellyttää myös parhaan käyttökelpoisen tekniikan (*BAT, best available techniques*) käyttämistä toiminnassa, josta voi aiheutua ympäristön pilaantumisen vaaraa.

Jätelain (1072/1993) mukaan jätteestä on pyrittävä hyödyntämään ensisijaisesti sen sisältämä materiaali ja toissijaisesti sen sisältämä energia. Biokaasuntuotannossa tavallisesti molemmat ehdot toteutuvat, vaikkakin päinvastaisessa järjestyksessä. Mikäli käsittelyjäännöksestä valmistetaan lannoitetta, sovelletaan lannoitevalmistelakia (539/2006).

Valtioneuvoston asetusta maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (551/2009) sovelletaan biokaasun talteenottoon (kaatopaikat), siirtoon ja jakeluun. Biokaasun tuotantoon reaktoreissa asetusta ei siis sovelleta. Biokaasu luokitellaan koostumuksensa perusteella erittäin helposti syttyväksi kaasuksi, joten sen tuotantoon sovelletaan asetusta vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista (59/1999).

5 KOKEET SIIRRETTÄVÄLLÄ BIOKAASULAITOKSELLA

Metener Oy:n suunnittelema ja rakentama, Savonia-ammattikorkeakoulun siirrettävä biokaasulaitos eli mobiililaitos valmistui syksyllä 2009. Laitos on pilot-mittakaavainen ja se on tarkoitettu koulutus- ja tutkimuskäyttöön eikä se sovellu biokaasun kaupalliseen tuotantoon. Biokaasulaitoksen nykyinen sijainti on Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Pohjois-Savon tutkimusasema Maaningalla, mutta on tarvittaessa siirrettävissä eri käyttökohteisiin. Tulevaisuudessa laitteistoa voidaan siirrellä tutkimus- ja kehittämiskäyttöön muualle. Samalla kiinteistöllä, aivan mobiililaitoksen vieressä sijaitsee MTT:n Mansikki-biokaasulaitos, joka tuottaa biokaasua lietelannasta ja kasvibio-massasta.

Koejärjestelyt laitteistolla suoritettiin kevään-kesän 2010 aikana yhteistyössä MTT:n kanssa. Erityishuomiota kokeissa kiinnitettiin laitteiston tekniseen toimintaan, koska laitteiston käytöstä ei juuri ollut käyttökokemuksia lukuun ottamatta laitteiston koekäyttöä lehmän lannalla. Kokeet toteutettiin jatkuvatoimisena ja niillä tutkittiin biojätteen ja jätevesilietteen yhteismädätystä. Kokeiden kestoksi valittiin 75 vuorokautta, jotta laitoksen arvioidulla viipymällä (HRT, n. 25 vrk) syöttömateriaalit ehtisivät vaihtua ainakin 2-3 kertaa.

Kokeet olivat osa Savonia-ammattikorkeakoulun, Jättekukko Oy:n ja Savon Voima Oyj:n esiselvityshanketta, jossa selvitettiin keskitetyn biokaasulaitoksen toimintaedellytyksiä Pieksämäen jätevedenpuhdistamon yhteydessä. Kokeissa käytettiin samantyyppisiä materiaaleja, mitä keskitetty laitos tulisi toteutuessaan käyttämään raaka-aineinaan. Keskitetty laitos tulisi siis olemaan yhteiskäsittelylaitos, joka käyttäisi syöttömateriaaleina Jättekukon toiminta-alueelta erilliskerättyä biojätettä sekä puhdistamolietettä.

5.1 Laitoksen pääosat ja toiminnan kuvaus

Biokaasulaitos on rakennettu merikontin (kuva 1) sisään, mikä mahdollistaa laitteiston helpon liikuteltavuuden. Laitosta on mahdollista käyttää sekä panos- että jatkuvatoimisena ja se on automatisoitu siten, että myös etäkäyttö on mahdollista. Laitoksen PI-kaavio on esitetty liitteessä 1.



KUVA 1. Savonia-ammattikorkeakoulun liikuteltava biokaasulaitos. Taustalla MTT:n Mansikki-biokaasulaitoksen kaasuväri.

Mobiililaitoksessa on kaksi 3 m³:n kokoista reaktoria (kuva 2), joiden toimintalämpötilat ovat säädeltävissä. Tämä mahdollistaa sen, että sekä mesofiilinen että termofiilinen mädätys on laitteistolla mahdollista. aikana. Reaktoreissa on automaattiset sekoittimet, joiden pyörimisnopeus on säädettävissä. Reaktoreita lämmitetään laitoksella tuotetun biokaasun avulla, mutta laitoksessa on myös sähkövastukset kaasuuntumisprosessien toimintalämpötilojen ylläpitämiseksi.

a)



b)



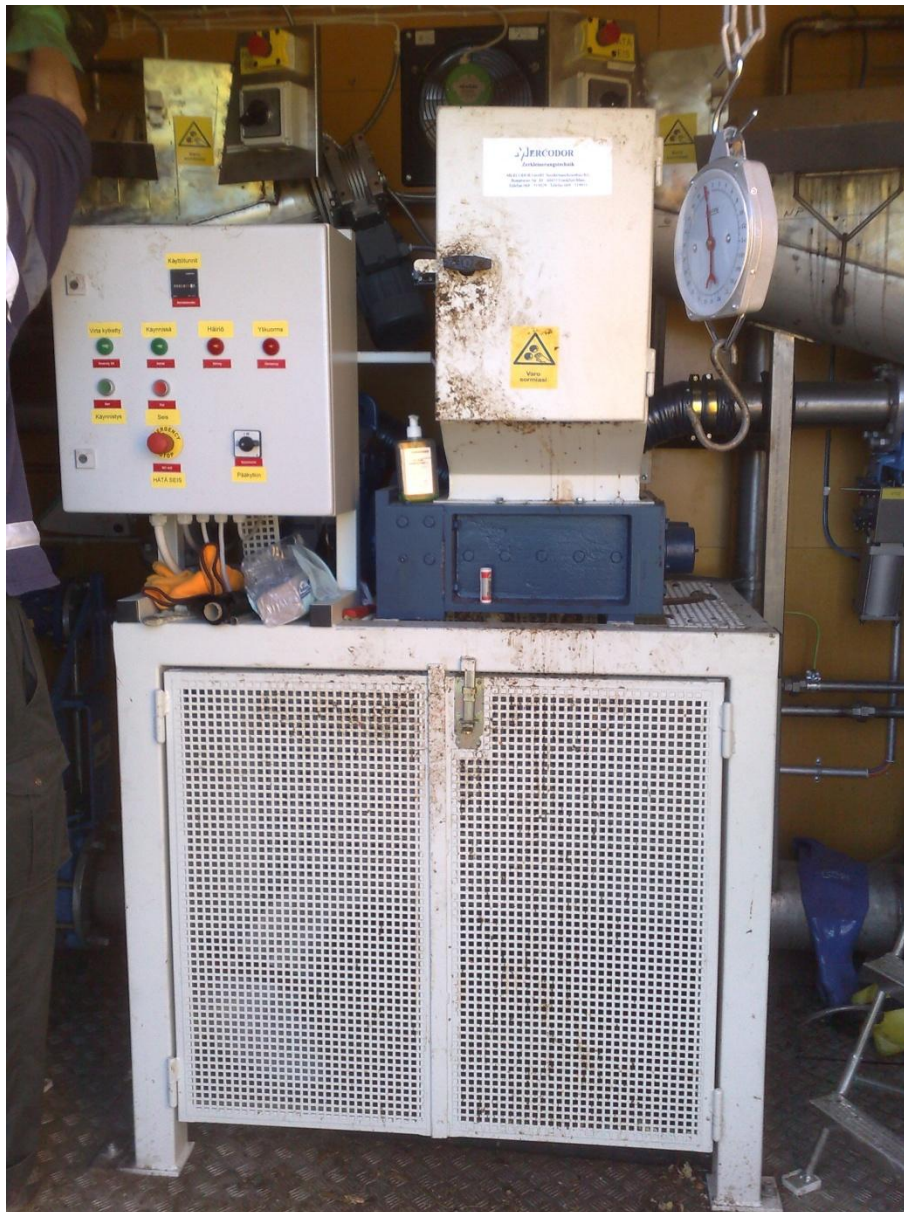
KUVA 2. Biokaasulaitoksen reaktorit. a) Reaktori 1. b) Reaktori 2.

Reaktoreilla tuotettu kaasu kerätään laitoksen katolla sijaitsevaan, 1 m³:n kokoiseen kaasuvaraustoon, joka näkyy myös kuvassa 1. Kaasuvarauston täytyttyä, kontissa oleva, 2 kW:n tehoinen kaasukattila (kuva 3) käynnistyy automaattisesti ja polttaa kaasun. Poltin sammuu kaasuvarauston tyhjennyttyä. Kaasukattilassa on vesivaraaja



KUVA 3. Kaasukattila.

Biokaasulaitoksessa on kaksi syöttöjärjestelmää. Nestemäiset syötteen johdetaan reaktoreihin uppopumpun avulla ja kiinteässä muodossa olevalle materiaalille käytetään ruuvikuljettinta. Laitoksessa ei ole kiinteästi integroituna varastoa syötteille, vaan jokaisessa käyttökohteessa täytyy syötteiden varastointiin varata tilaa laitoksen läheisyyteen. Nestemäiset syötteen voidaan pumpata laitteiston automatiikan avulla suoraan säiliöstä tai altaasta, mutta kiinteä materiaali täytyy nostaa manuaalisesti ruuvikuljettimelle. Mikäli kiinteät syötteen eivät ole tarpeeksi pienessä palakoossa, voidaan ne murskata laitoksessa olevalla murskausyksiköllä (kuva 4). Yksikössä on leikkuri, jonka vastakkaisiin suuntiin pyörivät terät hienontavat syötetyn materiaalin.



KUVA 4. Kiinteän materiaalin murskausyksikkö.

Laitteistoa käytetään ja sen toimintaa seurataan hallintapaneelista ja -ohjelmasta (kuva 5). Ohjelmasta on nähtävissä mm. sekoittimien, ruuvikuljettimien, syöttöpumpun, reaktio-

rien lämmityspiirien, syöttö- ja poistoventtiilien sekä kattilan tilatiedot, hälytystiedot, tuotetun kaasun metaanipitoisuus, kaasuvaraston täyttöaste sekä syöttöasetukset. Hallintaohjelmasta prosessi voidaan tarvittaessa ajaa alas ja käynnistää uudelleen. Syötteiden pumppaus tai kuljetus reaktoreihin voidaan hoitaa automatisoidusti ohjelmasta käsin jopa haluttuna kellonaikana. Hallintaohjelmaan voidaan asettaa matkapuhelinnumerot, joihin laitos lähettää SMS-viestinä raportit ja hälytykset. Liitteessä 2 on esimerkkitaulukko laitoksen SMS-datasta.



KUVA 5. Mobiililaitoksen hallintapaneeli.

5.2 Koejärjestelyjen esivalmistelut

Kokeet biokaasulaitoksella oli suunniteltu toteutettavaksi siten, että molempiin reaktoreihin syötettäisiin sama määrä syötteitä päivittäin, mutta reaktorit toimisivat eri lämpötila-alueilla. Mädätys reaktorilla 1 toteutettiin termofiilisenä prosessina ja reaktorilla 2 mesofiilisenä prosessina. Mobiililaitoksella ei ole varsinaisia säilytystiloja syötteitä eikä mädätejäännöstä varten. Mädätejäännös pumpattiin kokeiden aikana umpisäiliöihin, mutta jätevesilietesäiliöt olivat päältä avoimia johtuen säiliöihin upotettujen pumppujen letkujen vaatimasta tilasta. Jätevesilietesäiliöille rakennettiin eristetyt säilytyskontit (kuva 6), jotta säiliöt olisivat suojassa säältä ja epäpuhtauksilta.



KUVA 6. Jätevesilietteen säilytyskontti.

Mobiililaitoksella suoritettujen kokeiden ympyrinä käytettiin MTT:n Mansikki-biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä. Mansikki-biokaasulaitos tuottaa biokaasua mm. lannasta ja sipulirehusta ja se sijaitsee aivan mobiililaitoksen välittömässä läheisyydessä. Biojätettä kokeita varten kerättiin aluksi Maaningalta 4 eri kohteesta:

- Halola (MTT:n tutkimusasema)
- Palvelutalon asunnot
- Palvelutalon keittiö
- Koulu

Biojäte kerättiin siten, että jokaisesta kohteesta haettiin pakettiautolla biojätteen keräysastia ja vietiin tyhjä astia tilalle. Kokeen aikana biojätettä säilytettiin astioissaan mobiililaitoksen piha-alueella. Biojäte ei kuitenkaan sellaisenaan soveltunut kaasutettavaksi, vaan se murskattiin pienempään palakokoon murskausyksikössä ja siitä poistettiin biohajoamaton materiaali ennen reaktoreihin syöttämistä.

Jätevesiliete tuotiin Siilinjärven jätevedenpuhdistamolta loka-autolla. Jätevesiliete imettiin autoon puhdistamon sakeutusaltaasta (kuva 7) ja Maaningalla se pumpattiin säilytyskonteissa oleviin kahteen 1 m³:n kokoiseen säiliöön (kuva 6).



KUVA 7. Jätevesilietteen imu sakeutusaltaasta loka-autoon Siilinjärven jätevedenpuhdistamolla.

Murskatusta biojätteestä ja jätevesilietteestä otettiin näytteet, joiden perusteella määritettiin laboratoriossa syötteiden kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet. Määritykset suoritettiin SFS 3008 mukaisesti. Kummastakin syötteestä tehtiin kolme rinnakkaisista määrittystä, joista laskettiin keskiarvo. Biojätteen kuiva-ainepitoisuudeksi määritettiin n. 31 % ja hehkutusjännökseksi 8,4 % eli kuivasta biojätteestä orgaanista ainetta oli 91,6 %. Jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuudeksi määritettiin n. 6,3 % ja hehkutusjännökseksi 37,8 %. Jätevesilietteellä orgaanisen aineksen osuus kuiva-aineesta oli siis

62,6 %. Biokaasulaitoksen korkein suositeltu kuormitus on laitevalmistajan mukaan 3 kg_{VS} reaktori-m³ kohden vuorokaudessa.

Jätevesilietteen pumppaus reaktoreihin suoritettiin uppopumpun avulla (kuva 8). Lietteen sisältämä kiintoaine painuu painovoiman vaikutuksesta ajan kuluessa säiliön pohjalle eikä näin ollen ole tasalaatuista, joten pumpun imuputkeen hitsattiin haara, jotta jätevesiliete sekoittuisi pumppauksen aikana. Pumppu upotettiin toiseen säiliöön ja siitä tehtiin tarvittavat kytkennät laitoksen sähkökeskukseen ja reaktoreihin (kuva 9). Pumpun kiinnitettiin myös köysi, jotta pumppu saataisiin tarvittaessa nostettua säiliöstä pois. Toiseen jätevesisäiliöön upotettiin myös pumppu, jonka tehtävänä oli pumpata jätevesilietettä varasäiliöstä säiliöön, josta varsinainen pumppaus reaktoreihin suoritettiin.



KUVA 8. Uppopumppu ennen säiliöön upottamista ja laitokseen kytkemistä. Etualalla pumpun imuputki ja siihen hitsattu sekoitushaarakappale.



KUVA 9. Pumppujen putki- ja sähkökytkennät mobiililaitokseen.

5.3 Kokeiden suoritus mobiililaitoksella

Varsinaiset kokeet liikuteltavalla biokaasulaitoksella suoritettiin 26.4. - 13.7.2010 välisenä aikana. Reaktorit oli käynnistetty ja biokaasutusprosessi aloitettu ympin avulla jo aikaisemmin, mutta syötteiden lisäys reaktoreihin aloitettiin vasta 26.4. Ennen kokeiden aloittamista MTT:n henkilökunta oli määrittänyt laitoksen maksimikuormituksen ja syötteiden orgaanisen kiintoaineen pitoisuuksien perusteella, kuinka paljon syötteitä lisättäisiin reaktoreihin päivittäin. Kokeen alussa biojätteen päivittäiseksi määräksi oli arvioitu n. 23 kg/reaktori ja jätevesilietteen määräksi noin 100 - 130 l/reaktori. Kokeiden edetessä syötteiden orgaanisen kiintoaineen määrää tarkkailtiin ja syöttöä lisättiin tai vähennettiin sen mukaisesti. Biojätettä syötettiin reaktoreihin kerran ja jätevesilietettä kaksi kertaa vuorokaudessa maanantaista perjantaihin. Viikonloppuisin reaktoreihin ei lisätty syötteitä.

Biojätettä murskattiin 1 - 2 kertaa viikossa. Ennen murskausta biojätteestä pyrittiin poistamaan mahdollisimman paljon biohajoamatonta materiaalia. Biojätteen seasta poistettiin mm. aterimia, muovipusseja ja voinappeja. Myös puutarhajäte poistettiin, koska puun sisältämä ligniini on hitaasti hajoavaa. Murskauksen jälkeen biojäte sekoitettiin lapiolla

homogeeniseksi ja annosteltiin muovipusseihin 23 kg:n annoksina. Punnitus suoritettiin sankojen ja koukkuvaa'an avulla (kuva 10).



KUVA 10. Biojätteen punnituksessa käytetty koukkuvaaka.

Muovipussit nostettiin ja tyhjennettiin ruuvikuljettimille ja kuljettimet käynnistettiin. Ruuvauksista jatkettiin yleensä 1 - 2 minuuttia, jotta kaikki biojäte varmasti kulkeutuisi reaktoreihin. Ruuvauksen aikana syntyi jonkin verran oikovirtausta reaktoreista ruuvikuljettimille, mutta sen ei katsottu haittaavan prosessia.

Jätevesilietteen automaattipumppaus ei kokeiden ensimmäisinä päivinä toiminut kunnolla. Pumppaus ei joko toiminut ollenkaan tai automatiikka pumppasi hieman virheellisen määrän lietettä reaktoriin. Esimerkiksi 28.4 hallintapaneelista asetettiin 60 litran automaattipumppaus, mutta todellinen määrä virtausmittarin mukaan oli 66 litraa. Myöhemmin todettiin, että virhe on hyväksyttävissä rajoissa eikä manuaalipumppauksella saatu pumpattua haluttuja määriä sen tarkemmin. Tärkeämpänä pidettiin sitä, että molempiin reaktoreihin saatiin pumpattua sama määrä lietettä, jotta saadut tulokset olisivat vertai-

lukelpoisia. Kokeiden edetessä syötettävät määrät vaihtelivat jonkin verran sekä biojäteteellä että jätevesilietteellä. Automaattipumppausongelmasta oltiin yhteydessä laitevalmistajaan, joka neuvoi säätämään kompressorin täydelle teholle. Tämän jälkeen automaattipumppaus toimi hieman paremmin.

Kun jätevesilietesäiliö oli pumpattu ensimmäisen kerran tyhjäksi ja varasäiliöstä pumpattu uusi liete säiliöön, havaittiin, ettei uppopumppu enää käynnistynyt. Pumppu oli ilmeisesti säiliön tyhjennyttyä imenyt ilmaa, joka esti käynnistymisen. Ongelma ratkaistiin ravistelemalla pumppua siihen kiinnitetystä narusta niin, että liete pääsi virtaamaan pumpun imupuolelle. Jatkossa säiliötä päätettiin olla pumpaamatta tyhjäksi, jotta ongelma ei toistuisi. Myös varasäiliön pumppu lakkasi toimimasta hieman yli viikko kokeiden alkamisesta. Pumppu nostettiin pois säiliöstä ja kävi ilmi, että se oli imenyt sisäänsä tekstiilejä, jotka olivat tukkineet pumpun. Tekstiilit olivat peräisin jätevedenpuhdistamolta, missä ne olivat päässeet läpi puhdistamon välipistä. Pumppuun rakennettiin isommat siivet ja pohjan tilalle jalat, jotta pumppu ei enää imisi säiliön pohjalle laskeutuneita tekstiilejä. Pumppausongelma kuitenkin toistui vielä useita kertoja, joten lietesäiliöiden välille rakennettiin 110 mm yhdysputki (kuva 11), jota pitkin liete valui varasäiliöstä pumppaus-säiliöön. Yhdysputken haarakappaleessa ollut tulppaus kuitenkin petti ja maastoon pääsi valumaan säiliöistä n. 1 m³ jätevesilietettä. Jätevesi ei aiheuta maaperän pilaantumista, mutta laitoksen välittömässä läheisyydessä sijaitsee laidun. Ihmisperäinen jätevesi sisältää taudinaiheuttajia, joten karjan sairastumisen välttämiseksi loka-auto kutsuttiin imeämään maaperään imeytymätön liete pois. Maaperä myös desinfioitiin natriumhypokloriitilla.



KUVA 11. Jätevesilietesäiliöiden välille asennettu yhdysputki.

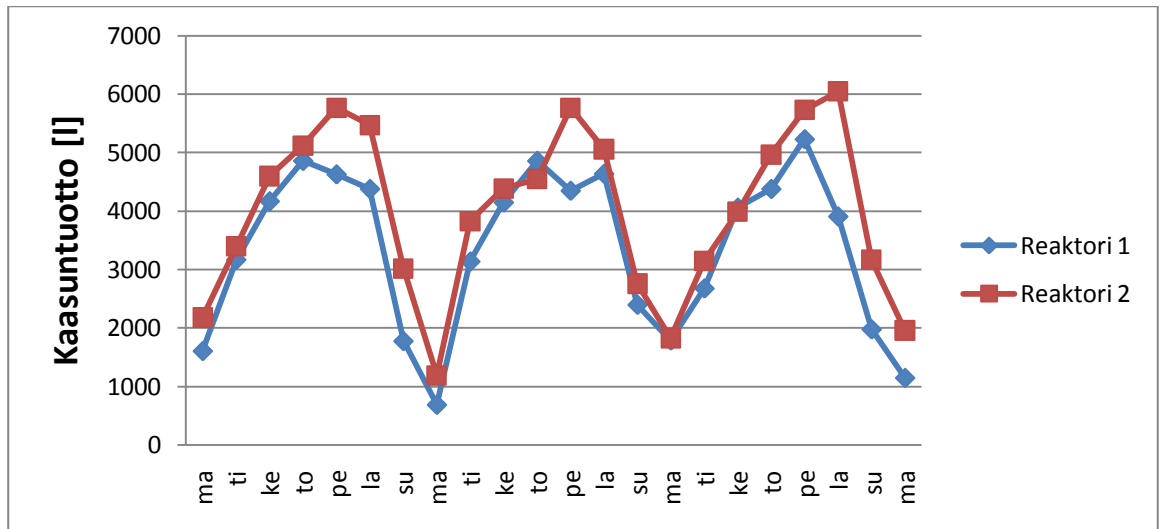
Loka-auto toi uutta jätevesilietettä noin 3 viikon välein, kun säiliöt oli pumpattu lähes tyhjiksi. Samalla loka-auto imi ja vei pois reaktoreista poistetun mädätejäännöksen ja kuljetti sen Siilinjärvelle kompostoitavaksi. Biojätettä ei riittänyt enää tarpeeksi kokeita varten, joten biojätettä alettiin kerätä myös paikallisesta kaupasta ja asunto-osakeyhtiöstä sekä Siilinjärveltä. Murskattua biojätettä ei enää punnittu 23 kg:n pusseihin vaan se jaettiin pienempiin eriin sankoihin (kuva 12), jotka olivat helpompia nostaa ruuvikuljettimelle.



KUVA 12. Biojäte punnittiin sankoihin, jotka olivat muovipusseja helpompia nostaa ruuvikuljettimille. Lämpimässä säilytetyyn biojätteen pinnalle ilmaantui nopeasti homekasvustoa.

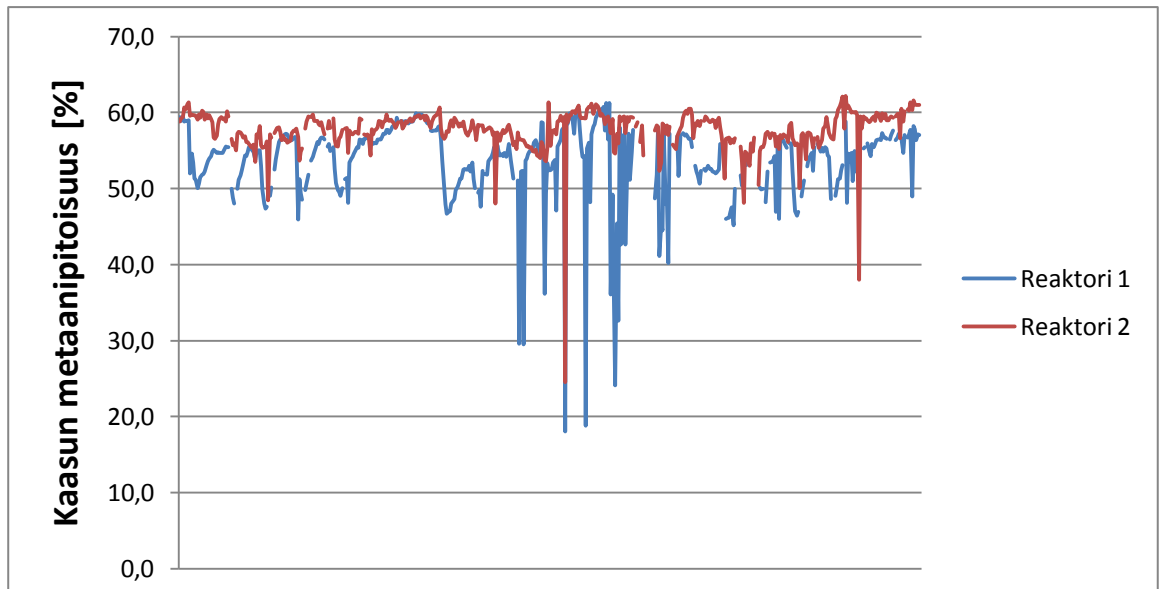
5.4 Tulokset

Tässä esitellään kokeiden pätevimmät tulokset, jotka ovat kokeiden kolmelta viimeiseltä viikolta (21.6.2010 - 12.7.2010). Tässä vaiheessa kaasutus oli kestänyt jo niin kauan, että ympin vaikutus tuloksiin on häviävän pieni. Kuviossa 5 on esitetty mobiililaitoksen kaasuntuotto ko. ajanjaksolta. Kuvioista on nähtävissä, kuinka syötteiden lisäyksen lopettaminen viikonlopuksi vaikuttaa kaasuntuottoon. Tuotto muuttuu yllättävänkin nopeasti syötteiden lisäyksen alkamisesta ja lopettamisesta. Tasaisen kaasuntuoton varmistamiseksi reaktoreihin tulisi siis lisätä syötteitä mahdollisimman säännöllisin väliajoin. Yhteensä reaktori 1 (termofiilinen mädätys) tuotti biokaasua kolmen viikon aikana n. 74 000 litraa ja reaktorin 2 (mesofiilinen mädätys) tuotto samana ajanjaksona oli n. 88 000 l. Yhteensä biokaasua tuotettiin siis 162 000 l. Organista kuivaainemassayksikköä kohden metaania tuotettiin keskimäärin $235 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/t_{\text{VS}}$ (termofiilinen) ja $302 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/t_{\text{VS}}$ (mesofiilinen). Toteutunut viipymä jaksolla oli 26 vrk.



KUVIO 5. Mobiililaitoksen kaasuntuotto kokeiden kolmella viimeisellä viikolla 21.6 - 12.7.2010.

Biokaasun metaanipitoisuus ajanjaksolla oli reaktorilla 1 keskimäärin 53,6 % ja reaktorilla 2 keskimäärin 57,7 %. Kuviossa 6 on esitetty reaktoriensa metaanipitoisuuksien vaihtelu. Kuviossa on havaittavissa piikkejä, jotka osoittaisivat metaanipitoisuuden romahtaneen ja nousseen nopeasti. 28.6 metaanipitoisuus laski hetkellisesti reaktorissa 1, johdun tukoksesta ylivaluntalaatikon yläosassa lietteenpumpppauksen yhteydessä. Todennäköisesti kuvion osoittamat piikit johtuvat pääasiassa kuitenkin laitteiston mittauksessa tapahtuneista virheistä ja todellisuudessa metaanipitoisuus on pysynyt melko tasaisena.



KUVIO 6. Mobiililaitoksella tuotetun biokaasun metaanipitoisuus kokeiden kolmella viimeisellä viikolla 21.6 - 12.7.2010.

Metaanin osuus tuotetusta biokaasusta saadaan kertomalla päivittäin tuotetun kaasun määrä vastaavalla metaanipitoisuudella. Reaktorilla 1 tuotettiin biokaasua n. 74 m³, josta metaania oli n. 40,5 m³. Keskimäärin reaktorilla 1 tuotettiin päivässä 3,4 m³ biokaasua, josta metaania oli n. 1,8 m³. Reaktorilla 2 biokaasua tuotettiin n. 88 m³, josta metaania oli n. 50,5 m³. Päivittäinen tuotto reaktorilla 2 oli 4,0 m³, josta metaania oli n. 2,4 m³.

Reaktoreihin lisättiin syötteitä arkipäivisin maksimikuormituksella. Koska viikonloppuisin syötteitä ei lisätty, viikoittaisella tasolla kuormitus jäi laitevalmistajan ilmoittamasta maksimikuormituksesta. Molemmilla reaktoreilla kuormitus oli keskimäärin 51,1 kg_{VS}/vk (maksimikuormitus 63 kg_{VS}/vk). Keskimäärin kuormitus jakaantui tasan biojätteen ja jätevesilietteen kesken.

6 PANOSKOKEET

Panoskokeet suoritettiin 19.7. – 28.8.2010 välisenä aikana Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön laboratoriossa. Kokeilla pyrittiin selvittämään mobiililaitoksen tulosten oikeellisuutta ja yleensäkin laitoksen toimivuutta. Lisäksi haluttiin tietää biojätteen ja jätevesilietteen osuudet mobiililaitoksella tuotetusta biokaasusta.

6.1 Panoskokeiden syötteen

Syötteinä panoskokeissa käytettiin murskattua biojätettä, jätevesilietettä, mädätejäännöstä sekä ymppiä. Biojätteenä käytettiin samaa murskattua biojätettä kuin Maaningan mobiililaitoksen kokeessakin. Mädätejäännökset olivat mobiililaitoksen mädätejäännöstä. Sekä mesofiilisen ja termofiilisen prosessin mädätejäännöksistä haluttiin selvittää niiden metaanintuottopotentiaali. Jätevesiliete oli peräisin Pieksämäen kaupungin jätevedenpuhdistamolta. Näyte otettiin puhdistusprosessin jälkeisestä linkoukseen johtavasta putkesta. Ympä oli MTT:n Mansikki-biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä.

Ennen varsinaisten kokeiden aloitusta määritettiin syötteen ja mädätejäännösten TS- ja VS-pitoisuudet standardin SFS 3008 mukaisesti (Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen). Taulukossa 3 on esitetty syötteen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet.

TAULUKKO 3. Panoskokeiden syötteen TS- ja VS-pitoisuudet

Syöttömateriaali	TS [%]	VS [%]	VS/TS [%]
Ympä	4,21	2,96	70,24
Biojäte	26,74	21,36	79,88
Jätevesiliete	3,61	2,67	73,90
Mesof. mädätejäännös	4,69	2,89	61,62
Termof. mädätejäännös	3,79	2,36	62,27

6.2 Kokeiden suoritus

Panoskokeet aloitettiin mittaamalla 4000 g syötettä jokaiseen panoskoepulloon. Ympin, jätevesilietteen ja mädätejäännösten kohdalla koepullot oli mahdollista täyttää täysin ko. syötteellä, mutta biojätteen kohdalla panoskoepulloon täytyi lisätä ympppiä, koska biojätteesä ei ollut valmiina tarvittavaa bakteerikantaa hajoamisprosessin käynnistämiseksi tarpeeksi nopeasti. Taulukosta 4 käy ilmi panoskoepulloihin täytetyt määrät.

TAULUKKO 4. Panoskoepulloihin täytetyt syötemäärät.

Syöttömateriaali	Koepullon massa [g]	Syötteen massa [g]	Ympin massa [g]	Yhteenlaskettu massa [g]
Ymppi 1	1480	-	4000	5480
Ymppi 2	1600	-	4000	5600
Biojäte + ymppi 1	1580	173	3827	5580
Biojäte + ymppi 2	1650	173	3827	5650
Jätevesiliete 1	1702	3998	-	5700
Jätevesiliete 2	1490	4000	-	5490
Mesof. mädätej. 1	1530	4000	-	5530
Mesof. mädätej. 2	1550	4000	-	5550
Termof. mädätej. 1	1650	4000	-	5650
Termof. mädätej. 2	1680	4000	-	5680

Panoskoepullot ja silikoniset letkut typpihuhdeltiin (kuva 13) epäpuhtauksien poistamiseksi ja pulloihin kiinnitettiin silikoniletkuilla teflonkaasupussit, joihin muodostuva kaasu kerättiin.



KUVA 13. Koepullojen ja -letkujen tyyppihuuhtelu. Valokuva Jukka Kervinen 2010

Pullot asetettiin kaasupusseineen lämpökaappiin (kuva 14), jonka lämpötila oli säädetty vastaamaan mesofiilista lämpötila-aluetta. Kaikki panoskokeet suoritettiin mesofiilisinä prosesseina, joten tulokset eivät ole suoraan verrattavissa mobiililaitoksen termofiilisen reaktorin metaanintuotantoon.

Panoskokeiden etenemistä ja kaasuntuotantoa seurattiin ja dokumentoitiin muutaman päivän välein kuuden viikon ajan Savonia-ammattikorkeakoulun henkilökunnan ja kesäharjoittelijan toimesta. Kaasuntuoton ja kaasun metaanipitoisuuden lisäksi seurattiin happi-, hiilidioksidi-, ammoniakki- ja rikkivetypitoisuuksia, joiden perusteella pystyttiin arvioimaan kokeiden toimivuutta. Mittaukset suoritettiin Geotechnical Instrumentsin GA 2000Plus kannettavalla kaasuanalysaattorilla. Kaasupussien letkut liitettiin analysaattoriin ja analysaattorin imu- ja mittaustoiminto kytkettiin päälle. Mittausta jatkettiin kunnes pitoisuuslukemat tasoittuivat ja tulokset dokumentoitiin.

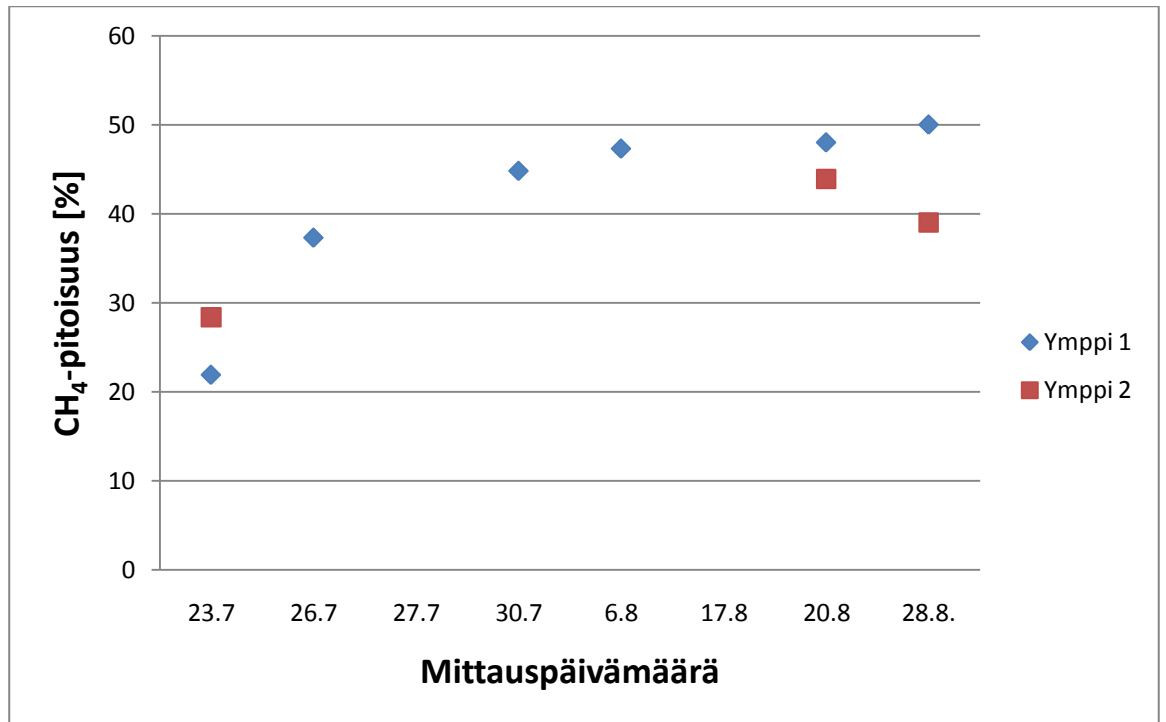


KUVA 14. Panoskoepullot lämpökaapissa. Valokuva Jukka Kervinen 2010

6.3 Tulokset

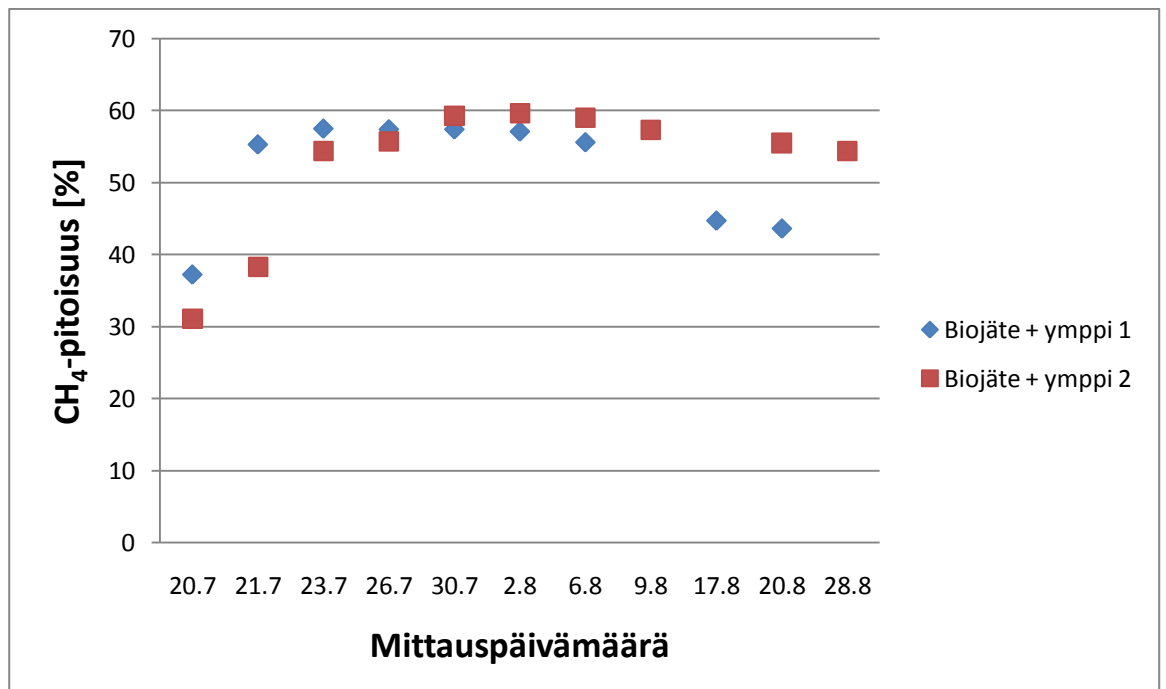
Tässä esitetään panoskoekoiden keskeisimmät tulokset. Lähinnä tarkastellaan muodostuneen kaasun määrää ja sen metaanipitoisuutta. Tarkemmat tulokset (mittauspöytäkirjat) on esitetty liitteessä 3.

Ympin 1-näytteestä biokaasua muodostui kokeen keston aikana yhteensä 10,5 litraa. 2-näytteessä oli ilmeisesti vuotokohta joko pussissa, koepullossa tai letkuissa ja tästä johtuen kaasua saatiin kerättyä pussiin yhteensä vain 3,8 litraa. Pienestä kaasutilavuudesta johtuen 2-näytteen mittaukset epäonnistuivat usein. Kaasuanalysaattori vaatii vähintään parin minuutin jatkuvan mittauksen ja vähäisestä kaasumäärästä johtuen kaasupussi tyhjeni usein jo puolen minuutin kuluttua mittauksen aloittamisesta. Kaikkien koepullojen silikoniletkut vaihdettiin PVC-letkuihin kesken panoskoekoiden. Metaanipitoisuus oli 1-näytteessä korkeimmillaan 50 % ja 2-näytteessä 43,9 %. Kuviossa 7 on esitetty ympin 1- ja 2-näytteiden metaanipitoisuuksien kehitys ajan funktiona.



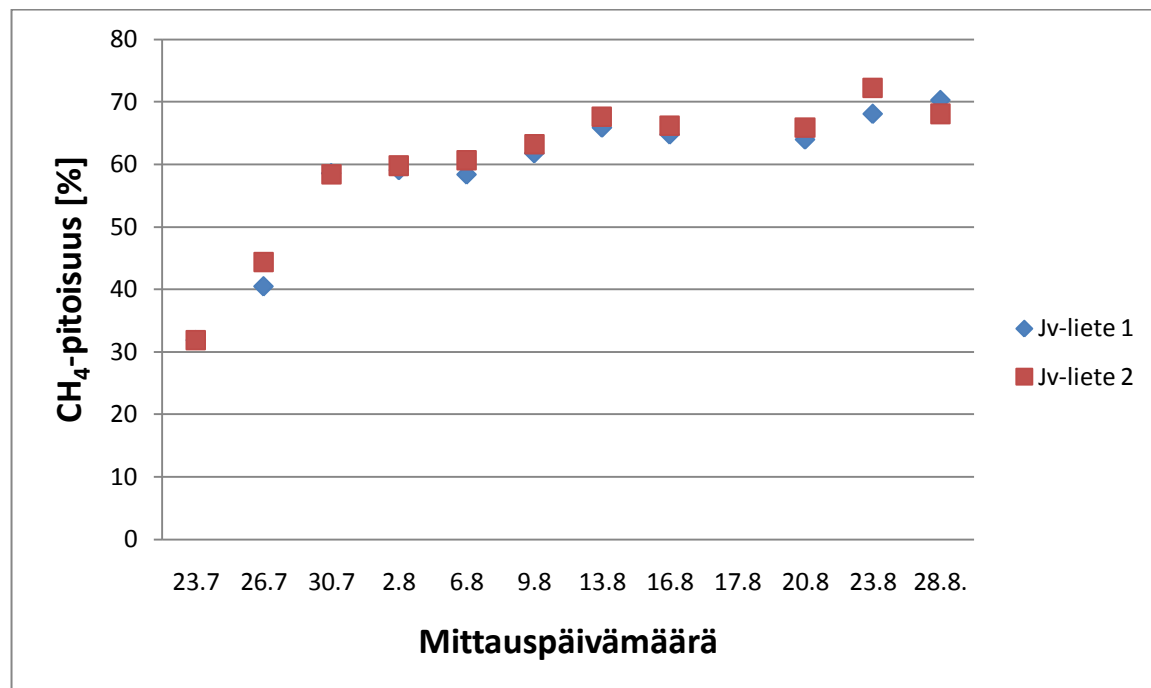
KUVIO 7. Ympin 1- ja 2-näytteiden metaanipitoisuuksien kehitys ajan funktiona.

Biojätteen ja ympin sekoituksen 1-näytteestä kaasua muodostui kokeen keston aikana yhteensä 27,6 litraa. Metaanipitoisuus nousi nopeasti 55 %:iin ja pysyi tasaisena koko kokeen keston ajan käyden korkeimmillaan jopa 58 %:ssa. 2-näytteestä muodostui bio-kaasua enemmän kuin 1-näytteestä, 34,5 litraa. 2-näytteen metaanipitoisuus nousi hitaammin kuin 1-näytteen, mutta nousi korkeimmillaan jopa lähes 60 %:iin. Kuviossa 8 on esitetty näytteiden metaanipitoisuuksien kehitys ajan funktiona.



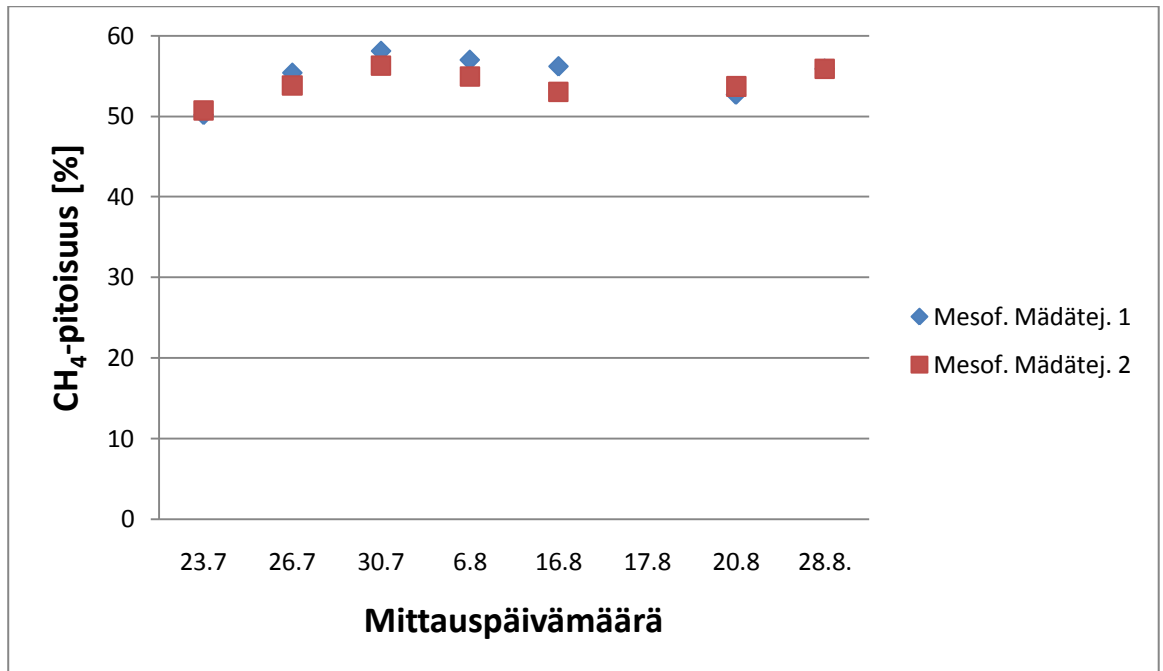
KUVIO 8. Biojätteen ja ympin sekoituksen metaanipitoisuuksien kehitys.

Jätevesilietenäytteiden metaanipitoisuudet kokeen keston aikana olivat lähes identtiset (kuvio 9). Metaanipitoisuudet kohosivat molemmilla näytteillä koko kokeen ajan eikä varsinainen laskuvaihe ehtinyt edes alkaa. Molemmilla näytteillä metaanipitoisuudet nousivat parhaimmillaan jopa yli 70 %:n, mikä on lähellä biokaasun maksimimetaanipitoisuutta. Kaasun tuotto oli myös molemmilla näytteillä hyvä kokeen aikana; 1-näytteellä 42,7 litraa ja 2-näytteellä 34,7 litraa.



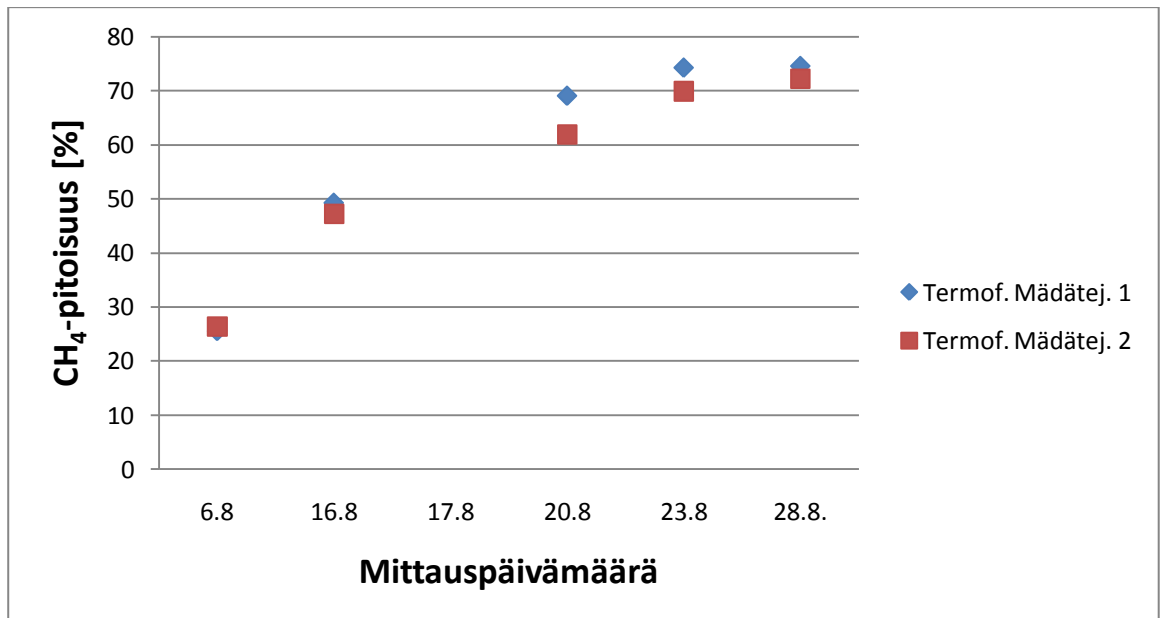
KUVIO 9. Jätevesilietenäytteiden metaanipitoisuuksien kehitys.

Mesofiilisen mädätejäännösten näytteiden kaasuntuotot ja metaanipitoisuuksien kehitys olivat myös hyvin yhdenmukaiset (kuvio 10). 1-näytteen kaasuntuotto kokeen aikana oli 17 litraa ja metaanipitoisuus korkeimmillaan 58,1 %. 2-näytteen kaasuntuotto oli 16 litraa ja korkeimmillaan metaanipitoisuus oli 56,3 %.



KUVIO 10. Mesofiilisen määdätejäännösnäytteiden metaanipitoisuuksien kehitys kokeen aikana.

Termofiilisen määdätejäännösnäytteiden kaasuntuotto oli vähäisempää kuin mesofiilisten määdätejäännösnäytteiden. 1-näyte tuotti kaasua kokeen aikana 12,1 litraa ja 2-näyte 9,1 litraa. Metaanipitoisuudet sen sijaan olivat korkeammat kuin mesofiilisten määdätejäännösnäytteiden. Molemmilla näytteillä pitoisuudet nousivat yli 70 %:iin (kuvio 11).



KUVIO 11. Termofiilisen määdätejäännösnäytteiden metaanipitoisuuksien kehitys kokeen aikana.

7 TULOSTEN ARVIOINTI

7.1 Yleinen arvio kokeiden onnistumisesta

Mobiililaitoksella suoritettuja kokeita voidaan pitää onnistuneina. Kaasuuntumisprosessi toimi hyvin eikä hajoamisprosessi keskeytynyt missään vaiheessa. Pieniä häiriöitä (sähkökatkoksia, pumppausongelmia, mittausepä tarkkuuksia yms.) laitoksen toiminnassa esiintyi ajoittain, mutta kaiken kaikkiaan ongelmat jäivät vähäisiksi.

Häiriöt, kuten sähkökatkoksista johtunut sekoituksen pysähtyminen, saattavat kuitenkin selittää, miksi mesofiilisen mädätyksen kaasuntuotto ja metaanipitoisuus olivat hieman paremmat kuin termofiilisen mädätyksen. Termofiilinen mädätys on herkempi prosessi-häiriöille ja voi häiriintyä esimerkiksi pH:n ja lämpötilan vaihteluista.

7.2 Kokeiden arviointi ja tulosten vertailu

Yksi panoskokeiden tavoite oli määrittää biojätteen ja jätevesilietteen osuudet mobiililaitoksella tuotetusta biokaasusta sekä selvittää mobiililaitoksen mädätejäännösten metaanintuottopotentiaalit. Panoskokeiden ympin 2-näytteen vuodon takia se täytyi jättää pois vertailusta. Ympin 1-näyte tuotti kaasua kokeen aikana 10,5 litraa ja biojätteen ja ympin sekoitukset 27,6 litraa (1-näyte) ja 34,5 litraa (2-näyte). Ympin 1-näytteen massa oli 4000 g ja ympin ja biojätteen sekoituksessa ymppeä oli 3827 g ja biojätettä 173 g. 4000 g ymppeä tuotti siis 10,5 litraa kaasua keskimäärin metaanipitoisuudella 41,6 %, joten metaania näyte tuotti n. 4,4 l. Ympin osuus biojätteen ja ympin sekoituksesta on siis:

$$\frac{3827 \text{ g}}{4000 \text{ g}} \cdot 4,4 \text{ l} \approx 4,2 \text{ l}_{\text{CH}_4}$$

Biojätteen ja ympin sekoituksen 1-näyte tuotti biokaasua kokeen aikana 27,6 litraa keskimäärin metaanipitoisuudella 51,8 % ja 2-näyte 34,5 litraa keskimäärin metaanipitoisuudella 52,3 %. 1-näyte tuotti metaania siis n. 14,3 l ja 2-näyte 18,0 l. Kun näistä arvoista vähennetään ympin osuus, saadaan selville, kuinka paljon 173 g (märkäpaino) biojätettä tuotti metaania:

14,3 l - 4,2 l = 10,1 l (biojäte+yymppi 1)

18,0 l - 4,2 l = 13,8 l (biojäte+yymppi 2)

Kun saadut arvot muutetaan yksikköön $\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ (*FM, fresh matter/mass, tuorepaino*), saadaan märän biojätteen metaanintuottopotentiaaliksi n. $58 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ (1-näyte) ja $80 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ (2-näyte). Arvot vastaavat hyvin kirjallisuusarvoja ($100 - 150 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$, taulukko 2), kun huomioidaan kaasutuskokeiden lopettaminen kesken hajoamisprosessin.

Jätevesilietteen panoskokeet tuottivat kaasua 42,7 l (1-näyte) ja 34,7 l (2-näyte) korkealla metaanipitoisuudella. Näytteiden massat olivat 4000 g ja 3998 g, joten yksikkömuunnoksella ja metaanipitoisuudella kerrottuna märän lietteen metaanintuottopotentiaalit olivat 1-näytteellä $6,4 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ ja 2-näytteellä $5,1 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$. Ottaen huomioon kaasutuksen lopettamisen kesken hajoamisprosessin, tuloksia voidaan pitää kirjallisuusarvoihin ($5 - 12 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$, taulukko 2) verrattuna luotettavina.

Kaasutuksen lopettaminen kesken hajoamisprosessin osoittaa, että käsittelyjäännöksestä olisi mahdollista tuottaa biokaasua jälkimädätyksellä. Jälkimädätyksellä pyritään hyödyntämään syötteiden energiasisältö mahdollisimman tarkasti. Panoskokeilla haluttiin myös selvittää mobiililaitoksen mädätejäännösten metaanintuottopotentiaalit. Mesofiilisen mädätejäännöksen panoskokeet tuottivat kaasua 17 l (1-näyte) ja 16 l (2-näyte). Näytteiden massat olivat 4000 g. Yksikkömuunnoksella ja metaanipitoisuudella kerrottuna märän mesofiilisen käsittelyjäännöksen metaanintuottopotentiaalit olivat 1-näytteellä $4,3 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ ja 2-näytteellä $4 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$. Termofiilisen mädätejäännöksen panoskokeet tuottivat kaasua 12 l (1-näyte) ja 9 l (2-näyte). Tuotto oli odotettavasti pienempi kuin mesofiilisen mädätejäännöksen, koska termofiilisessä mädätyksessä hajoaminen on täydellisempää. Lisäksi prosessi käynnistyi hitaammin termofiilisillä mädätejäännöksillä, koska näytteissä olevien termobakteerikantojen täytyi ensin vaihtua mesofiilisiin bakteereihin. Märän termofiilisen mädätejäännöksen metaanintuottopotentiaalit olivat 1-näytteellä $3 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$ ja 2-näytteellä $2,3 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{FM}}$.

Panoskokeiden toinen tavoite oli verrata laboratorio-olosuhteissa saatuja tuloksia mobiililaitoksen tuloksiin ja arvioida tulosten perusteella laitoksen toimintaa. Kaikki panoskokeet suoritettiin mesofiilisinä prosesseina, joten lähinnä tuloksia verrattiin mobiililaitoksen 2-reaktorilla saavutettuihin tuloksiin. Mobiililaitoksen 2-reaktorin (mesofiilinen mädätys) keskimääräinen biokaasuntuotto koejakson kolmella viimeisellä viikolla oli n. $4 \text{ m}^3/\text{d}$. Metaania laitos tuotti samalla ajanjaksolla keskimäärin n. $2,3 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{d}$ eli $16,1 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{vk}$. Yhteensä metaania tuotettiin ajanjaksolla n. $50,5 \text{ m}^3$. Reaktoriin syötettiin ajanjaksolla yhteensä 1518 litraa jätevesilietettä ja 369 kilogrammaa biojätettä. Kerrottuna massat

(oletetaan jätevesilietteen tiheydeksi n. 1,0 t/m³) panoskokeilla määritetyillä metaanintuottopotentiaalien keskiarvoilla saadaan:

$$\text{Biojäte: } 0,369 \text{ t} \cdot \frac{(58 + 80) \text{ m}^3_{\text{CH}_4} / \text{t}}{2} = 25,5 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}$$

$$\text{Jv-liete: } 1,518 \text{ t} \cdot \frac{(6,4 + 5,1) \text{ m}^3_{\text{CH}_4} / \text{t}}{2} = 8,7 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}$$

Yhteismädätyksessä em. määrällä biojätettä ja jätevesilietettä olisi panoskokeilla määritetyillä metaanintuottopotentiaalien arvoilla mahdollista tuottaa metaania n. 34 m³. Todellisuudessa mobiililaitoksella toteutunut metaanintuotto oli kuitenkin lähes 1,5-kertainen. Mobiililaitoksella tuotettu metaanimäärä syötteiden painoyksikköä kohden oli siis suurempi kuin panoskokeilla määritetyt metaanintuottopotentiaalit. Osasyynä tähän voi olla mobiililaitoksella suoritettujen kokeiden jatkuvaluonteisuus eli reaktoreihin lisättiin syötteitä päivittäin. Lisäksi mobiililaitoksen reaktoreita sekoitettiin jatkuvatoimisesti, mikä edesauttaa hajoamista. Myös eri syötemateriaalien yhteisvaikutus mobiililaitoksen kokeissa voi olla syynä hyvään kaasuntuottoon. Joka tapauksessa mobiililaitoksella saavutettuja tuottoja voidaan pitää erinomaisina, koska panoskokeillakin saavutetut tulokset olivat lähellä kirjallisuusarvoja.

7.3 Mobiililaitoksen vertailu vastaaviin laitoksiin

Tässä vertaillaan mobiililaitoksesta saatuja tuloksia vastaavanlaisten laitosten tuloksiin. Tarkasteltavia asioita ovat kaasuntuotto sekä kaasun metaanipitoisuus. Mobiililaitoksella tarkastelujaksolla (n. 3 viikkoa) tuotettu biokaasumäärä oli n. 162 m³ keskimäärin metaanipitoisuudella 55,7 % (keskiarvo 1- ja 2-reaktorien metaanipitoisuuksista) eli puhdasta metaania tuotettiin jaksolla n. 90 m³. Mobiililaitoksen reaktorien yhteenlaskettu tilavuus on 6 m³ ja tarkasteluajanjakson pituus 22 päivää eli kaasua tuotettiin päivässä reaktori-m³ kohden:

$$\text{Biokaasu: } 162 \text{ m}^3 / 22 \text{ d} / 6 \text{ m}^3_{\text{R}} = 1,23 \text{ m}^3 / \text{d} / \text{reaktori-m}^3$$

$$\text{Metaani: } 90 \text{ m}^3_{\text{CH}_4} / 22 \text{ d} / 6 \text{ m}^3_{\text{R}} = 0,68 \text{ m}^3_{\text{CH}_4} / \text{d} / \text{reaktori-m}^3$$

BioKymppi Oy, Kitee

Biokymppi Oy:n yhteiskäsittelylaitoksen Kiteellä on määrä aloittaa tuottamaan vuonna 2011 bio- ja kaatopaikkakaasua: Lisäksi mädätejäännös pyritään myymään ja käyttämään lannoitteena. Laitos käyttää mm. raaka-aineinaan erilliskerättyä biojätettä, teuras-

jätettä, karjanlantaa, puutarhajätteitä ja peltobiomassaa. Myöhemmin laitoksella on tarkoitus alkaa käsittelemään myös jätevesilietteitä. (Juvonen 2009, 8.)

Laitoksella on ympäristölupa ottaa vastaan ja käsitellä 19 000 t raaka-ainetta vuodessa. Maksimituotantokapasiteetti on 1 000 000 m³ (arvio) metaania vuodessa. Tuotantokapasiteetista 800 000 m³ on peräisin reaktorikaasutuksesta ja loput kaatopaikkakaasusta. Reaktorien kokonaistilavuus on 3000 m³. (BioKymppi Oy:n Kiteen Sopensuon biokaasulaitosta koskeva ympäristölupa 2008.)

Laitos voi siis maksimikuormituksella tuottaa metaania päivässä reaktoritilavuutta kohden:

$$\frac{800000 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}}{365 \text{ d} \cdot 3000 \text{ m}^3_{\text{R}}} = 0,73 \frac{\text{m}^3_{\text{CH}_4}}{\text{d} \cdot \text{m}^3_{\text{R}}}$$

Tulos on hieman parempi kuin mobiililaitoksella saavutettu tuotto. Laitoksessa käytettävien raaka-aineiden metaanintuottopotentiaaleja on vaikea vertailla, koska ei ole tiedossa, kuinka BioKymppin laitoksessa käytettävät raaka-aineet jakautuvat. Tiedossa ei myöskään ole, kuinka suuri on laitoksella tuotetun biokaasun metaanipitoisuus.

Lakeuden Etappi Oy, Ilmajoki

Lakeuden Etapin biokaasulaitoksen toiminta alkoi vuonna 2007 ja se käyttää raaka-aineinaan puhdistamolietteitä sekä erilliskerättyä biojätettä. Yhteensä laitoksessa käsitellään n. 52 000 t raaka-ainetta vuodessa ja laitoksen reaktorikapasiteetti on 2 x 3200 m³. Tuotettua kaasua käytetään lopputuotteen, hygienisoidun lieterakeen kuivaamiseen. Vuonna 2009 laitoksella tuotettiin biokaasua 2,272 miljoonaa kuutiometriä biokaasua metaanipitoisuudella 65 %. Metaania tuotettiin siis n. 1477 miljoonaa m³. (Lakeuden Etappi Oy 2011; Kuittinen ym. 2009, 26; Latvala 2009, 13.)

Reaktoritilavuuskohtainen tuotanto laitoksella on siis ollut:

$$\frac{1477000 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}}{365 \text{ d} \cdot 6400 \text{ m}^3_{\text{R}}} = 0,63 \frac{\text{m}^3_{\text{CH}_4}}{\text{d} \cdot \text{m}^3_{\text{R}}}$$

Tulos on samaa luokkaa kuin mobiililaitoksella saavutettu tuotto. Lakeuden Etapin laitoksen biokaasun metaanipitoisuus on n. 10 % korkeampi kuin mobiililaitoksella saavutettu pitoisuus.

Laihian kunnan biokaasulaitos

Vuodesta 2003 toiminut Laihian kunnan biokaasulaitos käyttää raaka-aineinaan mm. kunnan jätevedenpuhdistamolietettä, sakokaivolietettä, biojätettä ja mallaslietettä. Laitoksen reaktoritilavuus on 300 m³ ja vuonna 2009 laitoksella tuotettiin biokaasua 194 000 m³ metaanipitoisuudella 59 %. Tuotetusta kaasusta hyödynnettiin 24 % prosessihöyryn tuotannossa ja loppu poltettiin soih tupolttimessa. (Laihian kunnan biokaasulaitosta koskeva ympäristölupa 2003.)

Vuonna 2009 metaanintuotanto reaktoritilavuusyksikköä kohden on ollut:

$$\frac{0,59 \cdot 194000 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}}{365 \text{ d} \cdot 300 \text{ m}^3_{\text{R}}} = 1,05 \frac{\text{m}^3_{\text{CH}_4}}{\text{d} \cdot \text{m}^3_{\text{R}}}$$

Tulos on lähes kaksinkertainen mobiililaitokseen verrattuna. Ero voi johtua esimerkiksi syötteiden ominaisuuksista tai prosessin paremmasta hallinnasta. Reaktorikoko Laihian kunnan laitoksella on verrattain pieni, joten myös vuodot ja häviöt jäävät prosessissa vähäisemmäksi.

7.4 Mobiililaitoksen käytössä esiintyneet ongelmat ja parannusehdotukset

Ensimmäinen ongelma laitteiston käytössä oli automaattipumppauksen toimimattomuus. Automaattipumppaus ei toiminut ollenkaan tai ohjelmaan syötetty pumpattava määrä ei vastannut todellisuutta. Ongelmasta oltiin yhteydessä laitevalmistajaan, jonka opastuksella kompressori säädettiin täydelle teholle.

Lietesäiliön uppopumppu ei käynnistynyt sen jälkeen kun säiliöihin oli tuotu uusi lieteerä. Pumppu oli imenyt ilmaa säiliön tyhjennyttyä eikä liete päässyt virtaamaan pumpun imupuolelle. Ongelma voidaan jatkossa estää lisäämällä varasäiliöstä lietettä pumpaussäiliöön ennen sen tyhjenemistä. Varasäiliön uppopumppu puolestaan oli imenyt sisäänsä säiliön pohjalle painuneita tekstiilejä. Pumppuun rakennettiin jalat, jotta imu ei tapahtuisi aivan säiliön pohjalta. Tulevissa koejärjestelyissä säiliöihin kannattaa asentaa jonkinlaiset seulat, jotka keräävät lietteen seassa olevat tekstiilit. Jäteveden sisältämä kiinteä aines painuu myös säiliön pohjalle, joten säiliötä kannattaa sekoittaa säännöllisin väliajoin. Pumppu ei välttämättä jaksa pumpata liian paksua lietettä. Lietesäiliöistä haihtuu ajan kuluessa vettä, joten kuiva-ainepitoisuuden tarkkailu on tärkeää. Tarvittaessa lietettä täytyy laimentaa puhtaalla vedellä.

Lietesäiliöiden välille asennettiin yhdysputki, jotta varasäiliöstä virtaisi tasaisesti lietettä syöttösäiliöön. Yhdysputkessa olevan haarakappaleen tulppaus kuitenkin petti, jonka seurauksena n. 1 m³ jätevesilietettä pääsi valumaan maastoon. Loka auto kävi imemässä maaperään imeytymättä jääneen lietteen ja maa käsiteltiin desinfiointiaineella. Tulevissa koejärjestelyissä kannattaa harkita turva-altaan rakentamista lietesäiliöiden alle, jotta vuototapauksissa liete ei pääsisi valumaan maastoon.

Sähkökatkokset aiheuttavat usein vikavirtasuojan laukeamisen ja sekoittimien pysähtymisen. Tällöin sekoitus ja prosessi täytyy käynnistää uudelleen tietokoneelta. Myös tietokoneen voi joutua käynnistämään uudelleen. Yksi syy sähkökatkoksiin voi olla vesi sähköpistokkeissa. Pistokkeet tulee tarkistaa päivittäin kosteuden varalta.

Kiinteiden syötteiden nosto ruuvikuljettimille täytyy tehdä tikkaiden avulla. Tästä johtuen syötteiden nosto kannattaa tehdä pienissä erissä putoamisvaaran pienentämiseksi. Ruuvikuljettimissa on myös teräviä särmiä, jotka voivat aiheuttaa loukkaantumisvaaran syötteitä lisättäessä. Tulevaisuudessa särmät kannattaa pyöristää tai pehmustaa loukkaantumisten välttämiseksi.

Kiinteiden syötteiden murskaus ja punnitus aiheuttaa roiskeita laitoksen lattialle ja muualle ympäristöön. Varsinkin biojättemurska voi aiheuttaa liukastumisvaaran, joten lattian puhtaanapito on tärkeää. Roiskeista johtuen myös suojavaatetuksen käyttö on suositeltavaa. Tulevia koejärjestelyjä varten laitokselle kannattaa hankkia ainakin suojakäsineitä ja -laseja. Myös silmä- ja kasvosuihkun hankkimista ja asentamista kannattaa harkita.

8 YHTEENVETO

Biokaasu on uusiutuva polttoaine, jonka tuotanto ja hyötykäyttö säästävät ympäristöä ja tuovat taloudellista hyötyä. Biokaasun käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja kaatopaikalle loppusijoitettavan jätteen määrää. Monet Euroopan maat ovat riippuvaisia Venäjän ja Lähi-idän fossiilisista polttoaineista. Hyödyntämällä kotimaisia biomassoja energian tuotannossa voidaan tätä riippuvuutta pienentää ja luoda uusia työpaikkoja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli seurata Savonia-ammattikorkeakoulun siirrettävän biokaasulaitoksen teknistä toimintaa ja arvioida laitoksella saavutettuja tuloksia. Laitoksen käytöstä haluttiin kerätä käyttökokemuksia sekä kehittää työtapoja, jotka helpottaisivat laitoksella suoritettavia koejärjestelyjä tulevaisuudessa. Käyttökokemusten perusteella tavoitteena oli täydentää laitoksen laitevalmistajan laatimaa käyttöohjetta. Laitoksen toiminnassa mahdollisiin esiintyviin ongelmiin tavoitteena oli löytää ratkaisuja, jotta vastaavat tilanteet pystyttäisiin jatkossa välttämään. Työ oli osa esiselvityshanketta, jossa tutkittiin keskitetyn yhteiskäsittelylaitoksen toteutettavuutta. Siirrettävällä laitoksella suoritetuissa kokeissa biokaasua tuotettiin samoista materiaaleista, joita keskitetty laitos tulisi toteutuessaan käyttämään.

Siirrettävällä laitoksella suoritettavat kaasuntumiskokeet suoritettiin mädättämällä jätevesilietettä ja biojätettä jatkuvatoimisesti 75 päivän ajan. Koejärjestelyissä käytettiin laitoksen molempia reaktoreita, joista toinen toimi termofiilisella ja toinen mesofiilisella lämpötila-alueella. Kokeiden aikana laitoksen toiminnan lisäksi seurattavia parametreja olivat mm. kaasuntuotto ja kaasun metaanipitoisuus.

Laitoksen toiminnan luotettavuutta haluttiin arvioida biokaasuttamalla samoja syötemateriaaleja laboratorio-olosuhteissa. Laboratoriokokeet suoritettiin panostyypisinä ja mesofiilisinä prosesseina. Panoskokeilla selvitettiin eri syötemateriaalien osuus siirrettävällä laitoksella tuotetusta biokaasusta ja ko. materiaalien metaanintuottopotentialit. Lisäksi selvitettiin siirrettävän laitoksen käsittelyjäännösten mahdolliset metaanintuottopotentialit.

Panoskokeilla määritetyt syötemateriaalien metaanintuottopotentialit olivat samaa luokkaa kirjallisuudessa esiintyvien arvojen kanssa. Mobiililaitoksella suoritetuissa kokeissa toteutunut metaanintuotto oli kuitenkin parempi kuin panoskokeilla saavutetut tuotot. Mobiililaitoksella saavutetut tulokset olivat pääasiassa samaa luokkaa kuin muualla Suomessa toimivilla, kaupallisilla yhteiskäsittelylaitoksilla. Tulosten perusteella voi-

daan siis päätellä, että biokaasulaitos toimii hyvin ja sillä saavutettuja tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Biokaasulaitoksen käytössä esiintyi joitain ongelmatilanteita, joihin pääasiassa löydettiin ratkaisut. Lisäksi kehitettiin teknisiä ratkaisuja sekä työtapoja, jotka helpottavat laitoksen käyttöä jatkossa. Laitoksen käyttöohjetta päivitettiin ja täydennettiin pääasiassa syötteiden käsittelyn osalta. Ohje syötteiden käsittelystä on esitetty liitteessä 4.

LÄHTEET

Al Seadi, T. 2008. *Biogas handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg.

Alakangas, E. 2000. *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Espoo: Ota-media Oy.

Arnold, M. 2010. Jätevesi hyötykäyttöön. *VTT impulssi*. 2010 nro 2, 24-29.

Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista A 29.1.1999/59. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

BioKymppi Oy:n Kiteen Sopensuon biokaasulaitosta koskeva ympäristölupa. 29.2.2008.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveyssäännöistä 3.10.2002/1774/EY. EUR-Lex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/fi/>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä 23.4.2009/29/EY. EUR-Lex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/fi/>.

Euroopan unionin neuvoston direktiivi kaatopaikoista 26.4.1999/31/EY. EUR-Lex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/fi/>.

Euroopan unionin neuvoston direktiivi ympäristön, erityisesti maaperän, suojelusta käytettäessä puhdistamolietettä maanviljelyssä 12.6.1986/278/ETY. EUR-Lex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/fi/>.

Hatsala, A. & Raimovaara, M. 2004. *Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä*. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Juvonen, M. 2009. *Jätteistä energiaa ja lannoitetta - biokaasulaitos Kiteelle* [online]. Biokymppi Oy [viitattu 23.1.2011]. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/28740F4A-90B3-4A21-A9A0-B37D5D3E252E/9773/BioKymppiOyMikaJuvonen.pdf>

Jätelaki L 3.12.1993/1072. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

Kuittinen, V., Huttunen, M. & Leinonen, S. 2010. *Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 13*. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.

Laihian kunnan biokaasulaitosta koskeva ympäristölupa. 12.2.2003.

Lakeuden Etappi Oy:n www-sivu [viitattu 23.11.2011]. Saatavissa: <http://www.etappi.com/>

Lampinen, A. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. *Dimensio*. 2004 nro 3, 4-9.

Lannoitevalmistelaki L 29.6.2006/539. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

Latvala, M. 2005. *Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö* [verkkojulkaisu]. Motiva Oy [viitattu 28.11.2010]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/julkaisut/>

Latvala, M. 2009. *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä* [verkkojulkaisu]. Suomen ympäristökeskus [viitattu 17.11.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>

Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen - raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet [verkkojulkaisu]. Jyväskylän yliopisto [viitattu 30.11.2010]. Saatavissa: <http://www.biokaasufoorumi.fi/>.

Luostarinen, Sari. 2009. Filosofian tohtori. Biokaasuprosessi: prosessiin vaikuttavat tekijät ja eri teknologiat. Biokaasukoulutus. Lahti 3.6.2009. Luento.

Maankäyttö- ja rakennuslaki L 5.2.1999/132. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

Mykkänen, E. 2008. *Biokaasun tuottaminen säilörehusta lehmänlantaa käsittelevällä biokaasulaitoksella* [verkkojulkaisu]. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Pro gradu -tutkielma [viitattu 23.11.2011]. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/>.

Myllymaa, T., Moliis K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset - jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Helsinki: Edita Prima Oy.

Paavola, Teija. 2007. Filosofian maisteri. Biokaasuprosessi - raaka-aineet, tuottokyky, käsittely, prosessi. Maakunnallinen biokaasuseminaari. Seinäjoki 27.3.2007. Luento.

Saarela, J. 2001. *Ympäristöopas 89: Kaatopaikkojen lopettamisopas*. Helsinki: Edita.

SFS 3008 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määräitys.

Suomen biokaasuyhdistyksen www-sivu [viitattu 30.11.2010]. Saatavissa:

<http://www.biokaasuyhdistys.net/>.

Taavitsainen, T., Kapuinen, P. & Survo, K. 2002. *MaLLa-hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus* [verkkójulkaisu]. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu [viitattu 17.11.2010]. Saatavissa: http://gate.savonia-amk.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Malla_loppuraportti.pdf.

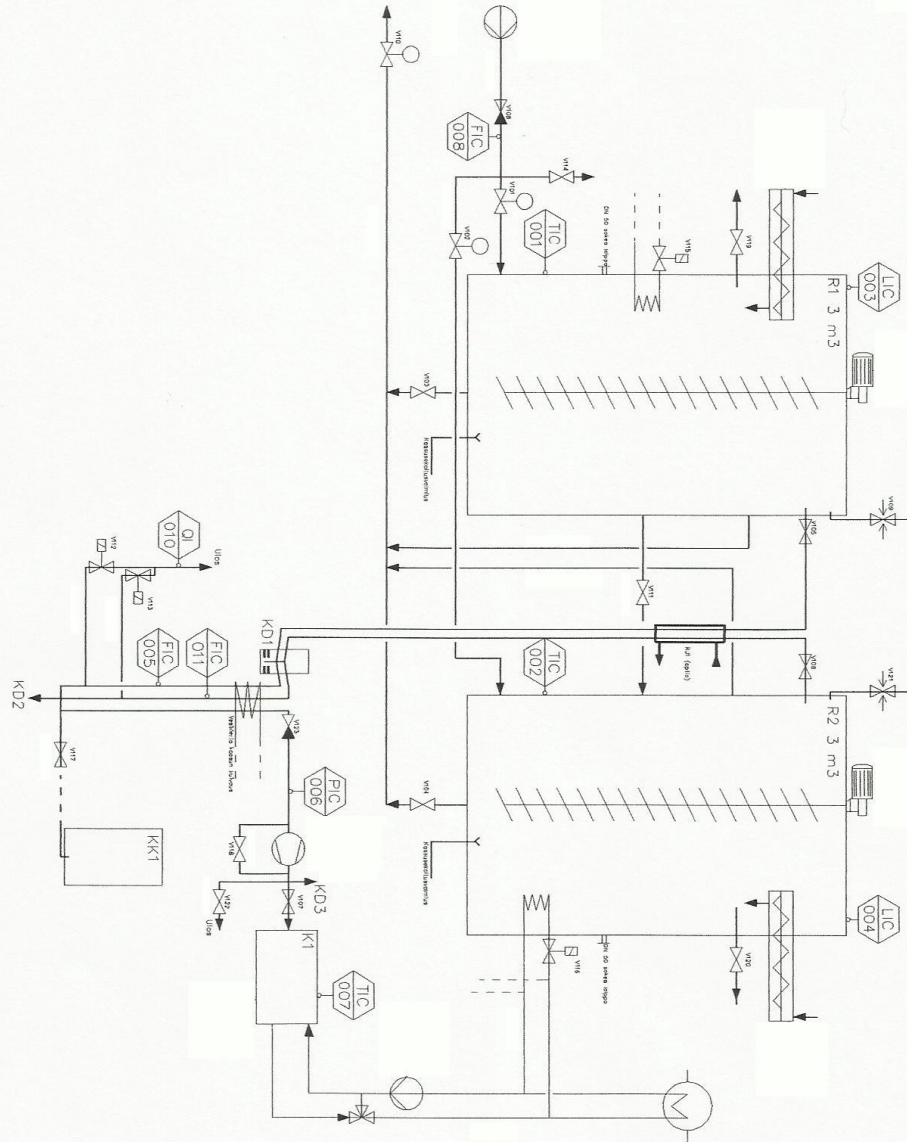
Tuhkanen, S. 2002. *Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto* [verkkójulkaisu]. VTT [viitattu 17.1.2011]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>.

Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta A 9.7.2009. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

Ympäristönsuojeluasetus A 18.2.2000/169. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

Ympäristönsuojelulaki L 4.2.2000/86. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 28.1.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/>.

SIIRRETTÄVÄN BIOKAASULAITOKSEN PI-KAAVIO



Sovionia mobiililaitos		Suuden	Osoitettiin Piir. n:o	
Pi-kaavio biokaasulaitos		02	ei	
Juho Luostarinen		Suun.	02.09.2009	
METENER OY		Tark.		
		Hyy.		
Käyttöohje n:o				
Tyyli n:o				

Metener Oy:n käyttöohje n:o 1001
 Piirustuksen tekijä: Juho Luostarinen
 Piirustuksen tarkastaja: Juho Luostarinen

ESIMERKKI MOBIILILAITOKSESTA SAATAVASTA SMS-DATASTA

Klo	R1 tuotto	R1 Lämpötila	R1 Metaanipitoisuus	R2 tuotto	R2 Lämpötila	R2 Metaanipitoisuus	Kaasukattilan lämpötila
21,06 - 10:00	82,6	53,5	59,4	224,2	36,2	58,8	61,0
21,06 - 11:00	86,9	53,7	58,9	225,7	36,8	59,2	58,0
21,06 - 12:00	74,5	53,9	59,4	163,0	36,8	59,4	65,5
21,06 - 13:00	84,8	54,1	58,8	128,0	36,5	60,7	59,9
21,06 - 14:00	79,9	54,1	58,9	87,6	36,5	60,4	67,4
21,06 - 15:00	101,2	54,2	58,9	108,2	37,0	61,1	69,8
21,06 - 16:00	96,8	54,4	59,0	78,4	36,8	61,3	58,7
21,06 - 17:00	249,3	54,1	52,0	283,0	36,8	59,6	73,1
21,06 - 18:00	185,4	54,7	54,6	213,1	36,4	59,7	62,9
21,06 - 19:00	201,8	55,0	53,4	203,3	36,6	59,6	63,3
21,06 - 20:00	194,0	54,9	51,3	176,8	36,5	59,7	70,9
21,06 - 21:00	173,1	55,2	51,2	131,2	36,7	59,6	57,7
21,06 - 22:00	165,3	55,2	50,1	122,5	36,6	59,1	63,1
21,06 - 23:00	154,9	55,1	50,7	108,9	36,7	59,8	60,4
22,06 - 00:00	124,9	54,9	51,5	79,4	37,1	59,3	63,1
22,06 - 01:00	89,9	54,9	51,8	51,1	37,0	60,2	65,5
22,06 - 02:00	147,6	55,4	51,9	97,0	37,1	60,1	65,4
22,06 - 03:00	133,4	55,2	52,3	90,5	36,9	59,1	61,7
22,06 - 04:00	125,3	55,2	53,1	71,8	36,9	59,7	65,3
22,06 - 05:00	115,5	55,2	53,6	84,2	36,8	59,2	59,2
22,06 - 06:00	113,6	55,2	53,9	77,0	36,8	59,7	64,0
22,06 - 07:00	105,3	55,2	54,3	61,1	36,6	59,1	65,6
22,06 - 08:00	61,5	53,7	54,9	68,0	35,7	58,7	64,3
22,06 - 09:00	145,6	54,0	55,1	271,9	36,7	56,7	59,0
22,06 - 10:00	165,1	54,1	55,0	286,9	36,9	56,5	71,6
22,06 - 11:00	138,4	54,5	54,7	217,8	36,6	57,0	61,2
22,06 - 12:00	134,4	54,7	54,8	195,5	37,0	58,5	67,5
22,06 - 13:00	116,7	54,9	54,7	139,5	36,9	59,1	58,9
22,06 - 14:00	141,7	55,0	54,7	141,3	36,7	59,4	63,0
22,06 - 15:00	130,1	55,1	54,7	119,1	36,8	59,2	59,8
22,06 - 16:00	144,1	55,3	55,1	120,5	36,9	59,3	69,7
22,06 - 17:00	132,8	55,4	55,5	148,7	36,6	58,8	60,0
22,06 - 18:00	135,9	55,5	55,4	124,8	36,7	60,2	68,3
22,06 - 19:00	268,1	55,1	55,5	330,6	36,5	59,5	62,6
22,06 - 20:00	349,2	55,4		345,1	36,8		79,3
22,06 - 21:00	281,7	56,1	50,0	330,5	36,7	56,6	67,4
22,06 - 22:00	228,2	56,4	48,8	253,0	36,8	55,7	63,9
22,06 - 23:00	232,0	56,5	48,1	238,0	36,6	56,0	63,1
23,06 - 00:00	218,2	56,4		201,6	36,7	55,0	68,2
23,06 - 01:00	186,6	56,0	49,9	174,7	36,5	57,2	59,2
23,06 - 02:00	158,0	56,0	51,2	146,5	37,0	57,5	62,5
23,06 - 03:00	166,7	55,9	51,8	153,3	36,8	57,4	59,2
23,06 - 04:00	189,6	55,9	52,4	168,4	36,7	57,1	69,8
23,06 - 05:00	144,1	55,9	53,2	138,5	36,6	56,7	60,1
23,06 - 06:00	122,7	55,7	54,3	122,1	37,3	56,9	60,1
23,06 - 07:00	145,0	56,0	54,3	147,2	37,0	56,1	68,8
23,06 - 08:00	137,6	55,9	54,7	134,5	37,1	56,1	61,3
23,06 - 09:00	108,7	55,9	55,5	147,4	37,1	55,9	63,8
23,06 - 10:00	206,4	54,3	55,6	340,6	36,9	55,6	69,2
23,06 - 11:00	180,8	55,0	55,0	275,5	36,7	55,4	66,1
23,06 - 12:00	174,2	55,2	55,0	253,3	36,5	55,8	66,6
23,06 - 13:00	183,3	55,4	53,8	230,6	37,6	53,5	70,9
23,06 - 14:00	157,6	55,5	54,9	183,8	37,5	57,2	61,3
23,06 - 15:00	166,9	55,6	55,0	165,4	37,2	56,7	64,1
23,06 - 16:00	151,2	55,7	55,0	124,3	37,1	58,3	58,2
23,06 - 17:00	383,8	55,4	53,0	416,2	37,0	55,7	62,7
23,06 - 18:00	312,5	55,9	49,9	304,1	36,9	55,3	64,3
23,06 - 19:00	309,0	56,2	48,1	302,0	36,8	55,4	68,5
23,06 - 20:00	290,8	56,4	47,4	276,1	36,8	55,6	68,3
23,06 - 21:00	271,5	56,6	47,6	241,5	36,8	56,2	68,6

Kokeen tiedot													
Näyte:	Savonlinn mobilin biokaasureaktorin Siliinjärven jätevedenpuhdistamon laiteen ja biolaitteen biokaasutuksen mesofilinen mädäytysjäätös												
Näyteottopvm:	7.7.2010												
Näyteottolapa:	Maaninnan reaktorin näyteputkesta suoraan otettu 30 l kanisteriin												
Näytteen säilytys:	Kylmössä n. -5 asteessa												
Kokeen tyyppi:	Mesofilinen panoskoe												
Näytteenumerot:	5 ja 6												
Alotusaika:	19.7.2010 noin klo 15:00												
Lopetus aika:													
Kokeen kesto:													
Huomioita:	Kaasun keräys aloitettu 20.7.2010 noin klo 15												

Mittauspäiväkirja

Pvm	Klo	Hiokkeen alusta	Lämpötila/C	Ilmanpaine/hPa	Näyte 5														
					CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	BAL%	NH ₄ ppm	H ₂ Sppm	Tilavuus/l	CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	BAL%	NH ₄ ppm	H ₂ Sppm	Tilavuus/l	
23.7	13.30	94.5	26.4	1016.3	50.2	3.0	1.2	18.5	0	4	4.5	50.7	23.3	1.2	18.6	8	4	4.2	
26.7	13.15	166.5	26.6	1014.5	55.4	3.22	1.3	10.8	8	3	3.8	53.8	31.2	1.7	13.1	16	0	3.8	
30.7	10.30	293.5	26.9	1009.5	58.1	2.8	2.2	12.8	4	0	2.6	56.3	25.8	2.5	15.4	0	0	2.2	
6.8	12.10	429	26.9	1020.9	57	2.16	3.4	17.9	25	0	1.7	54.9	19.7	4.1	21.5	18	0	1.6	
16.8	11.55	669	23.3	1023.4	56.2	18.7	4.5	20.4	0	0	1	53	16.9	4.9	24.9	0	0	1	
17.8	8.00-9.00		218	1013.9	52.7	29.5	1.4	16.3	0	0	1.3	53.7	30.2	0.8	15.3	0	0	1.2	
20.8	11.10		215	1007.2	55.9	33	0.1	11	0	0	2.09	55.9	32.6	0.5	10.9	0	0	2.02	
28.8	10.30																		

Kokeen tiedot

Näyte: Savonlinn mobilin biokaasureaktorin Siliinjärven jätevedenpuhdistamon laiteen ja biolaitteen biokaasutuksen termofilinen mädäytysjäätös

Näyteottopvm: 7.7.2010

Näyteottolapa: Maaninnan reaktorin näyteputkesta suoraan otettu 30 l kanisteriin

Näytteen säilytys: Kylmössä n. -5 asteessa

Kokeen tyyppi: Mesofilinen panoskoe

Näytteenumerot: 11 ja 12

Alotusaika: 19.7.2010 noin klo 15:00

Lopetus aika:

Kokeen kesto:

Huomioita: Kaasun keräys aloitettu 20.7.2010 noin klo 15

Mittauspäiväkirja

Pvm	Klo	Hiokkeen alusta	Lämpötila/C	Ilmanpaine/hPa	Näyte 11														
					CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	BAL%	NH ₄ ppm	H ₂ Sppm	Tilavuus/l	CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	BAL%	NH ₄ ppm	H ₂ Sppm	Tilavuus/l	
6.8	12.30	430	26.9	1020.9	29.6	8.4	6	60	4	0	1.7	26.4	3.1	5	53.3	8	0	0.7	
16.8	11.45	669	23.3	1023.4	49.3	14.5	5	31.2	0	0	2.8	47.2	14.9	4	33.8	0	0	2	
17.8	8.00-9.00																		
20.8	11.40		218	1013.9	69.1	23.5	0.5	6.5	0	0	2.7	61.9	25	0.5	12.5	0	0	1.4	
23.8	12.30		214	993.8	74.3	23.1	0.1	2.6	0	0	2.5	69.9	23.9	0.1	6	0	0	1.9	
28.8	11.15		215	1007.2	74.6	23.5	0	2	43	0	2.39	72.2	23.6	0	4	0	0	3.07	

Huomioita

Pulloon vaihdettu leikkur silkkonista PVChen ja lisätty korkin tiivisteet

SAVONIA-AMK:N BIOKAASULAITOKSEN KÄYTTÖOHJE

Syötteiden käsittely

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	3
2	SYÖTEMATERIAALIEN KÄSITTELY JA LISÄÄMINEN BIOKAASULAITOKSEEN.....	4

1 JOHDANTO

Tämä käyttöohje käsittelee Savonia-ammattikorkeakoulun siirrettävän biokaasulaitoksen syötteiden käsittelyä, varastointia ja laitokseen lisäämistä. Lisäksi ohjeessa tarkastellaan syötteiden käyttöön liittyviä työturvallisuusasioita. Laitoksen huoltoon, kuljetukseen ja hallintaohjelman käyttöön on olemassa omat ohjeensa eikä niitä käsitellä tässä.

2 SYÖTEMATERIAALIEN KÄSITTELY JA LISÄÄMINEN BIOKAASULAITOKSEEN

Biokaasulaitoksessa on kaksi syöttöjärjestelmää. Nestemäiset syötteet johdetaan reaktoreihin uppopumpun avulla ja kiinteä materiaali ruuvikuljettimilla. Laitoksessa ei ole varsinaisia varastotiloja, joten syötteiden ja käsittelyjäännöksen säilytykseen tulee varata riittävästi tilaa laitoksen läheisyydestä. Syötemateriaalit tulee säilyttää suojassa säältä ja epäpuhtauksilta.

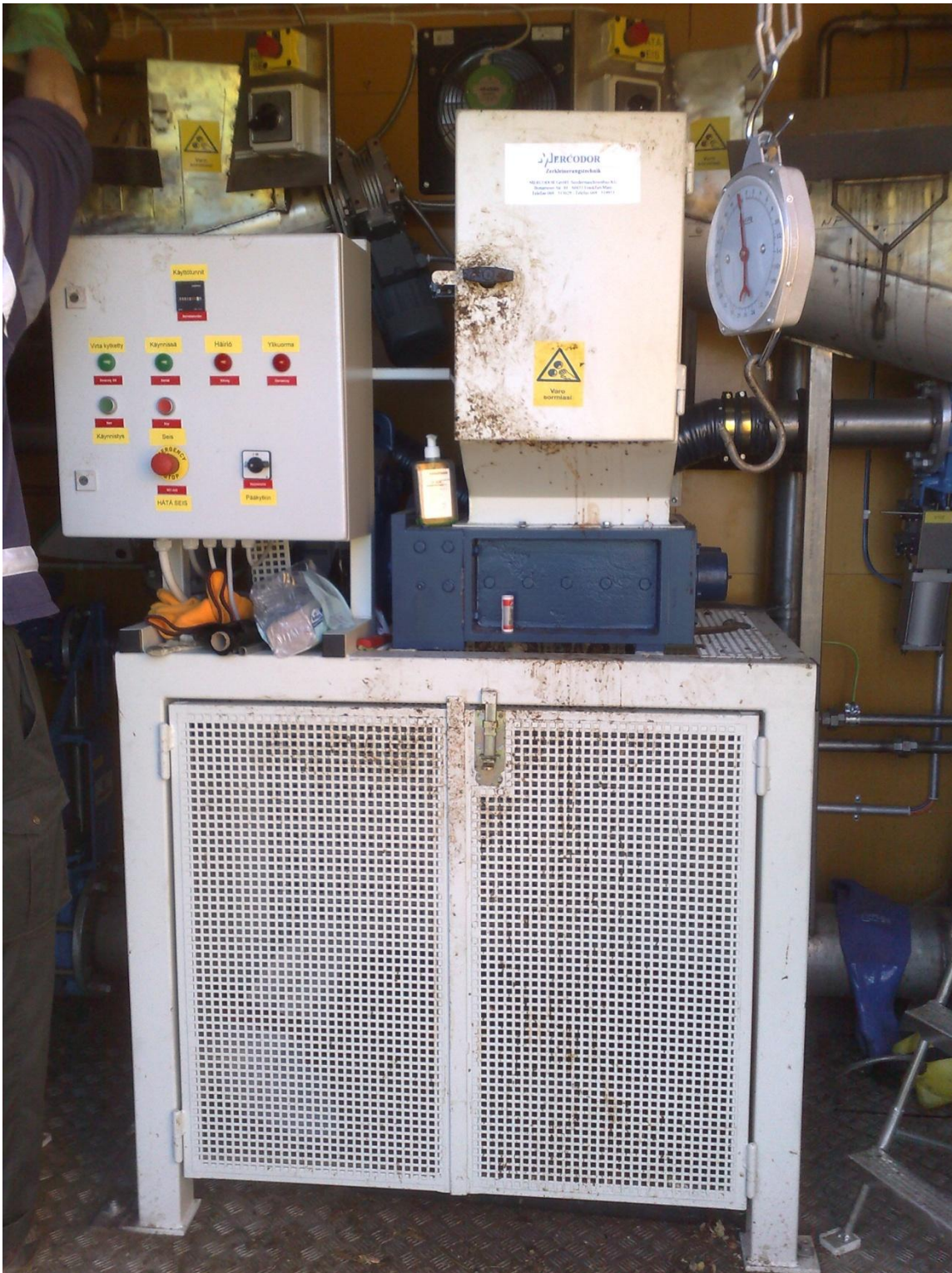
Laitoksen korkein suositeltu orgaaninen kuormitus on $3 \text{ kg}_{\text{VS}} \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Syötteiden sisältämä orgaaninen kiintoaine tulee määrittää ennen syötteiden lisäämistä reaktoreihin esimerkiksi standardin SFS 3008 1990 (*Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen*) mukaisesti. Laitoksen ylikuormittaminen voi johtaa metaanintuoton laskuun, jolloin syöttäminen on lopetettava tai sitä on vähennettävä.

Biokaasulaitokseen ei saa syöttää suuria määriä epäorgaanisia aineita, eikä huonosti hajoavaa orgaanista ainetta. Esimerkiksi puun sisältämä ligniini on hitaasti hajoavaa. Laitokseen ei myöskään saa syöttää mikro-organismeille haitallisia aineita, kuten antibiootteja. Syötemateriaalien tulee olla anaerobisissa olosuhteissa hyvin hajoavia ja syötesekoksen kuiva-ainepitoisuus prosessin jälkeen saa olla enintään 7-8 %. Käytettävien syöttömateriaalien tulee täyttää biokaasulaitoksia koskevat lait ja asetukset.

Nestemäisten syötteiden tulee olla juoksevia ja helposti pumpattavissa. Liian paksu materiaali voi aiheuttaa syöttöpumpun toimimattomuutta. Tällöin syötettävää materiaalia voidaan laimentaa puhtaalla vedellä. Nestemäisten syötteiden joukossa olevat partikkelit saavat olla korkeintaan 40 mm eikä ominaispainoltaan selvästi vedestä poikkeavia aineita saa lisätä syöttösäiliöön. Syöttösäiliössä olevan pumpun tulee olla kokonaan nesteen alla eikä syöttösäiliötä saa pumpata liian tyhjäksi. Säiliön tyhjäksi pumppaaminen voi aiheuttaa ilmantaskun pumpun imupuolelle jolloin pumpattava neste ei välttämättä pääse virtaamaan pumpun imuputkeen. Jos pumpun imupuolelle kuitenkin on päässyt ilmaa, voidaan pumppua yrittää ravistella, jotta neste pääsee virtaamaan pumppuun. Ennen pumpun upottamista syöttösäiliöön pumppuun kannattaa kiinnittää esimerkiksi naru tai kuormaliina, jotta pumppu saadaan tarvittaessa nostettua pois syöttösäiliöstä. Pumppaus reaktoreihin suoritetaan laitoksen hallintaohjelmasta. Syötön voi asettaa halutessa tapahtumaan automaattisesti haluttuna ajankohtana.

Kiinteät materiaalit syötetään reaktoreihin ruuvikuljettimilla. Laitoksen molemmille reaktoreille on omat kuljettimensa. Ennen reaktoriin syöttämistä syötteiden joukosta tulee poistaa biohajoamaton materiaali. Tarvittaessa kiinteämateriaali voidaan murskata pienempään palakokoon laitoksen murskausyksikössä. Murskausyksikön alle tulee varata astia, johon murskattu materiaali kerätään.

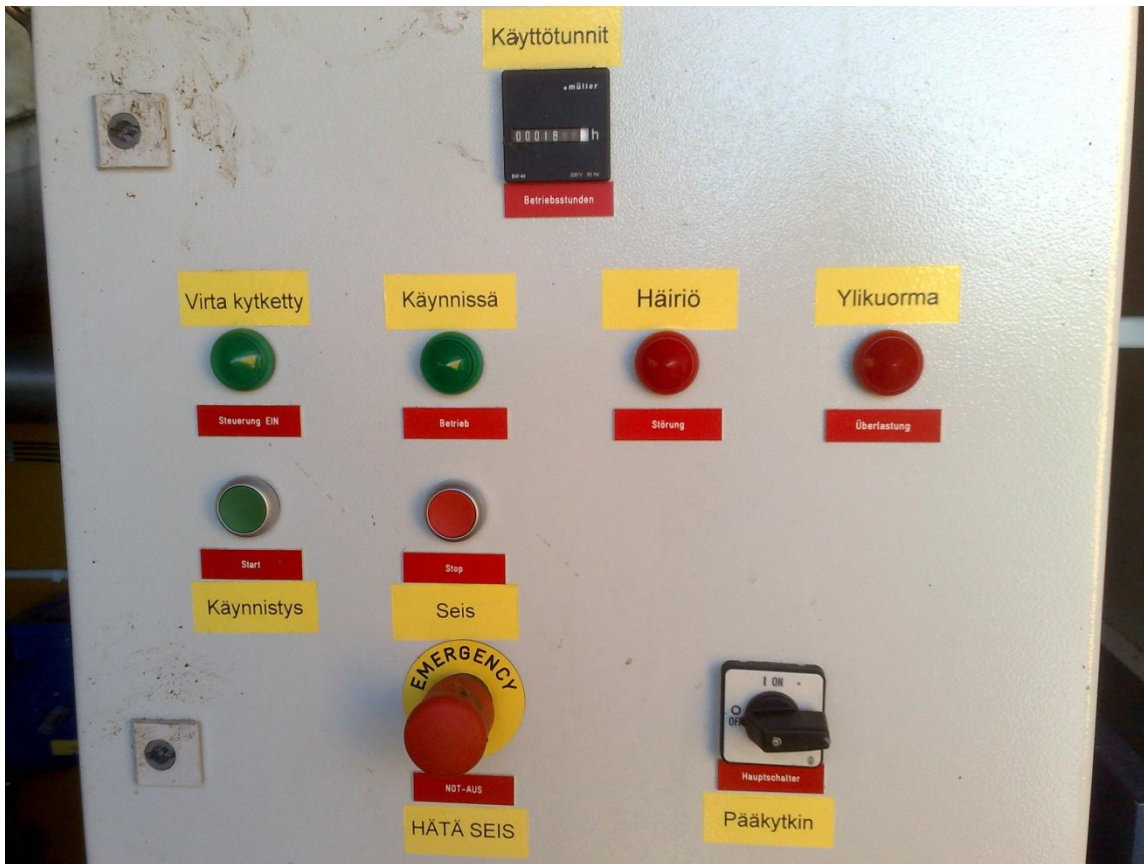
Murskattava materiaali asetetaan yksikön yläosaan. Murskainta ei saa täyttää liian täyteen yli-kuorman välttämiseksi.



KUVA 1. Biokaasulaitoksen murskaussyksikkö.

Ennen murskaimen käynnistämistä molemmat luukut tulee olla suljettuna. Murskaus käynnistetään kytkemällä pääkytkimestä virta ja painamalla START-painiketta (kuva 2). Murskaus pysäytetään SEIS-painikkeesta tai hätätapauksessa HÄTÄ SEIS-painikkeesta. Murskauksen yhteydessä syö-

temateriaaleja usein putoaa ja leviää laitoksen lattioille. Liukastumisvaaran välttämiseksi lattia tulee pitää puhtaana.



KUVA 2. Murskausyksikön ohjauspaneeli.

Kiinteä materiaali täytyy nostaa manuaalisesti ruuvikuljettimille. Mikäli nostossa käytetään apuna tikkaita, putoamisvaaran välttämiseksi kannattaa nosto suorittaa riittävän pienissä erissä ja varovaisuutta noudattaen. Ruuvikuljettimissa on teräviä reunoja, joita on varottava syötteitä nostettaessa. Kuljettimet käynnistetään hallintapaneelistä tai manuaalisesti kuljettimen kytkimestä. Kytkimen 2-asento kuljettaa materiaalin reaktoriin ja 1-asento reaktorista pois. Kuljetuksen ollessa käynnissä tulee kuljettimien läheisyydessä olemista välttää, jotta vaatteet, hiukset tms. eivät takertuisi niihin.

Syötemateriaaleja käsitellessä on suositeltavaa käyttää riittävää suojavaatetusta ja varustusta. Tärkeää on suojata ainakin kädet ja kasvot roiskeiden varalta. Esimerkiksi ulosteperäiset lietteet voivat sisältää patogeenisiä bakteereja, viruksia ja alkueläimiä.

www.savonia.fi

