

## Kuivafermentaatiolaitos broilertilalla

Jyväskylän yliopisto  
Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Ympäristötieteen ja -teknologian  
pro gradu tutkielma  
Pirjo Lonka-Huotari  
Toukokuu 2006

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

LONKA-HUOTARI, PIRJO HELI MARJATTA:

Pro gradu-tutkielma:

Työn ohjaaja:

Työn tarkastajat:

Toukokuu 2006

Kuivafermentaatiolaitos broilertilalla

59 s, 6 liitettä (7 s)

Prof. Jukka Rintala,

FT Sanna Marttinen

Prof. Jukka Rintala,

FT Esa Salminen

---

Avainsanat: kuivafermentaatio, anaerobinen kuivaprosessi, broilerin kuivalanta, maatalakohtainen biokaasulaitos, anaerobinen yhteiskäsittely

### **Tiivistelmä**

Energian hinnannousun ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteet ovat lisänneet kiinnostusta maatalakohtaisiin biokaasulaitoksiin. Broilerin kuivalannassa kuivikkeena käytetään yleensä turvetta. Kuivalannan kuiva-ainepitoisuus on korkea (50 % TS), joten perinteinen anaerobinen märkäprosessi ei sovellu käytettäväksi.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia kirjallisuuden perusteella panos-, yksivaiheisia jatkuvatoimisia ja monivaiheisia jatkuvatoimisia anaerobisia kuivaprosesseja ja valita broilerin kuivalannan käsittelyyn soveltuva kuivaprosessi toteutettavaksi tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa. Työssä tarkasteltiin lisämateriaaleina olkea, heinää ja saostus- ja umpikaivolietettä. Lisämateriaaleilla vaikutettiin syötettävän seoksen ominaisuuksiin mm. kuiva-ainepitoisuuteen sekä biokaasun tuottoon.

Anaerobisia kuivaprosesseja on maailmalla käytössä lähinnä yhdyskuntajätteiden käsittelyssä. Broilerin kuivalannan anaerobisesta käsittelystä kuivatekniikalla ei tiettävästi ole kokemusperäistä tietoa, joten työ pohjautui kirjallisuudesta saatuihin tietoihin sekä teoreettiseen laskentaan.

Työssä verrattiin laskennallisesti oljen, heinän tai saostus- ja umpikaivolietteen lisäysten vaikutusta seossuhteiden kuiva-ainepitoisuuksiin, C/N-suhteisiin, kokonaistypen osuuteen, ammoniumtyppipitoisuuteen, biokaasun määrään sekä lämpö- ja sähköenergiaan tuottoon. Laskennallisia tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina arvoina tarkempia laboratorio- ja pilottutkimuksia varten. Laskennallisten tulosten ja tilalla käytettävissä olevien lisämateriaalien perusteella valittiin mahdollisesti toteutettavat tilakohtaiset biokaasulaitosvaihtoehdot, joita tarkasteltiin käsittelyjäännöksen ominaisuuksien, laitoksen operointiparametrien ja talouden kannalta.

Kohdetilana oli 60 000 yksikön broilertila. Kuivalannan ja lisämateriaalin yhteiskäsittelyllä anaerobisessa kuivaprosessissa tuotettiin laskennallisesti tilan tarvitsema sähköenergia ja tilan lämpöenergian tarpeesta katettiin kolmannes. Energiasäästöjen lisäksi säästettiin käytämällä biokaasuprosessin käsittelyjäännöstä lannoitteena mineraalilannoitteiden sijaan.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Department of Biological and Environmental Sciences  
Environmental Science and Technology

LONKA-HUOTARI, PIRJO HELI MARJATTA: The dry fermentation plant in the broilerfarm

Master of Science thesis: 59 p., 6 appendices (7 p)

Supervisor: Professor Jukka Rintala,  
PhD Sanna Marttinen

Inspectors: Professor Jukka Rintala  
PhD Esa Salminen

May 2006

---

Keywords: dry fermentation, anaerobic dry process, broiler litter, farm-scale biogas plant, co-digestion

### **Abstract**

Interest in farm-scale biogas plant is increasing due to increase energy price and an aim to decrease the amount of produced greenhouse gases. Peat is commonly used as drying matter in broiler litter. The anaerobic sludge process is not considered suitable for digesting broiler litter, because the dry matter content of broiler litter is very high (50 % TS).

The objective of this study was to investigate the potential applicability of batch, single stage continuous and two stage continuous anaerobic dry processes in anaerobic treatment of broiler litter and to select dry process that could be carried out in a farm-scale biogas plant. Straw, hay and septic tank sludge were chosen as co-digestion materials. Co-digestion materials affect the characteristics of raw substances such as dry matter content and biogas yield.

Anaerobic dry processes are widely used around the world mainly in digesting municipal organic wastes. There is not empirical knowledge available of the dry fermentation of broiler litter and therefore this study is based on literature and theoretical calculations.

Theoretical calculations showed the impacts of adding straw, hay or septic tank sludge in the raw mixture on total solids, C/N, total nitrogen, ammonia nitrogen, biogas production and the production of heat and electric energy. Based on the calculations and co-digestion materials available on the farms, the biogas plant options were chosen. These biogas plants were then studied based on their digestate characteristics, operation parameters and economy.

The farm studied has 60 000 broilers. The results of theoretical calculations showed that the farm was self-sufficient in electricity and one third of the need for heat energy was covered with co-digestion in anaerobic dry process. Further savings were also achieved as farm gained nutrient rich fertilizer to be used instead of mineral fertilizers.

## **ESIPUHE**

Tämä työ on tehty Jyväskylän Yliopiston Bio- ja Ympäristötieteiden laitoksella. Työn aihe sai alkunsa broilertuottajilta ja Broileryhdistys ry:ltä. Heidän mielenkiintonsa kohdistui tiloilla muodostuvan kuivalannan hyödyntämiseen energiaksi biokaasulaitoksessa ja tuotetun energian käyttämiseen tilan lämpö- tai sähköenergiana. Idean koordinoijana toimi Satafood Kehittämisyhdistys ry, jonka toimeksiannosta tämä työ tehtiin.

Kiitän työni ohjauksesta Satafood Kehittämisyhdistys ry:n Sanna Marttista sekä Jyväskylän yliopiston professori Jukka Rintalaa. Myös perheeni ansaitsee kiitokset työni tukemisteni.

Jyväskylässä 14.5.2006

Pirjo Lonka-Huotari

## SANASTO

asidogeneesi	happokäyminen
CHP	lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos, lämpövoimakone (combined heat and power plant)
C/N	hiili-typpisuhde
HRT	aika, jonka käsiteltävä materiaali on reaktorissa (hydraulic retention time)
kuivaprosessi	materiaalin kuiva-ainepitoisuus (TS) yli 15 %
mesofiilinen prosessi	lämpötila n. 30-35 °C
metanogeneesi	metaaninmuodostajabakteerit tuottavat metaania asetaatista tai vedystä ja hiilidioksidista
märkäprosessi	materiaalin kuiva-ainepitoisuus (TS) alle 15 %
OLR	kuormitus, reaktoriin lisätyn orgaanisen aineen määrä reaktoritilavuutta kohti (organic loading rate)
OFMSW	orgaaninen yhdyskuntajäte (organic municipal waste)
Sebac (sequential batch process)	sarjaprosessi
termofiilinen prosessi	lämpötila n. 50-55 °C
TS	aineen kuiva-ainepitoisuus (total solid)
VFA	haihtuvat rasvahapot (volatile fatty acids)
VS	orgaanisen aineen pitoisuus (volatile solids)
ympäri	bakteeriat, jotka tarvitaan anaerobisen prosessin käynnistämiseen

# Sisältö

Tiivistelmä  
Abstract  
Esipuhe

1 JOHDANTO .....	3
2 BIOKAASUPROSESSI.....	5
2.1 Orgaanisen aineen anaerobinen hajoaminen.....	5
2.2 Biokaasuprosessin olosuhteet .....	6
2.2.1 Biokaasuprosessin käynnistys.....	6
2.3 Inhibitio.....	6
2.3.1 Ammoniakki .....	7
2.3.2 Haihtuvat rasvahapot .....	7
2.3.3 Rikkivety.....	8
2.4 Biokaasu.....	8
2.4.1 Kaasun käsittely ja hyödyntäminen .....	8
2.5 Biokaasuprosessin prosessiparametrit .....	9
2.5.1 Lämpötila .....	9
2.5.2 Viipymä .....	9
2.5.3 Kuormitus .....	10
2.7 Anaerobisen käsittelyn vaikutus materiaalin ominaisuuksiin.....	10
3 TILAKOHTAISEN BIOKAASULAITOKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET ..	11
3.1 Biokaasun ympäristövaikutukset .....	11
3.2 Lannan aiheuttamat ympäristövaikutukset .....	12
3.3 Anaerobisesti käsittelyn lannan ympäristövaikutukset.....	12
4 KUIVAFERMENTAATIOTEKNIIKAT .....	13
4.1 Panosprosessit.....	14
4.1.1 Yksivaiheisen panosprosessin esimerkkilaitoksia .....	15
4.1.2 Sarjapanosprosessin esimerkki .....	18
4.1.3 Panosprosesseja maatalouden orgaanisille materiaaleille.....	18
4.1.3.1 Ag-Bag prosessi.....	18
4.1.3.2 Nestekiertoprosessi maataloudessa.....	19
4.2 Jatkuvat toimiset yksivaiheiset prosessit .....	19
4.2.1 Dranco- prosessi .....	20
4.2.1.1 Dranco-prosessin esimerkkilaitoksia .....	21
4.2.2 Kompogas- prosessi.....	21
4.2.2.1 Kompogas-prosessin esimerkkilaitoksia.....	22
4.2.3 Valorga- prosessi .....	23
4.2.3.1 Valorga-prosessin esimerkkilaitoksia .....	23
4.2.4 Linde- prosessi.....	24
4.2.4.1 Linde-prosessin esimerkkilaitos .....	25
4.2.5 Anacom- prosessi.....	25
4.3 Kaksi- ja monivaiheiset jatkuvatoimiset prosessit.....	25
4.3.1 BRV- prosessi .....	26
4.3.2 Bioperkolaatioprosessi.....	26
4.3.2.1 Bioperkolaation esimerkkilaitoksia .....	27

5	SIIPIKARJA JA SIIPIKARJAN LANTA	28
5.1	Siipikarjan tuotanto Suomessa	28
5.2	Siipikarjan lanta	29
5.3	Ammoniikki-inhibitio siipikarjan lannan anaerobisessa käsittelyssä	30
5.4	Siipikarjan lannan anaerobinen käsittely	30
6	MENETELMÄT	31
6.1	Käsiteltävien materiaalien ominaisuudet	31
6.2	Käsiteltävien materiaalien määrät ja laskentaperusteet	33
6.3	Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitosesimerkin lähtötiedot	33
6.3.1	Esimerkkilaitoksen suunnittelun perusteet	34
7	TULOKSET	35
7.1	Seossuhteiden vaikutus kuiva-ainepitoisuuteen	35
7.2	Seossuhteiden vaikutus C/N suhteeseen	36
7.3	Seossuhteiden vaikutus kokonaistypen osuuteen kuivapainosta ja ammoniumtyppipitoisuuteen	37
7.4	Seossuhteiden vaikutus biokaasun tuottoon	38
7.5	Seossuhteiden vaikutus energian tuottoon	40
7.5.1	Pelkkä lämmön tuotto	40
7.5.2	Lämmön ja sähkön yhteistuotanto CHP -yksikössä	41
7.6	Tilakohtainen kuivafermentaatiolaitos esimerkki	43
7.6.1	Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitoksen prosessikuvaus	44
7.6.2	Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin syöttömateriaalien ominaisuudet	45
7.6.3	Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin käsittelyjäännöksen ominaisuudet	46
7.6.4	Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin lämpö- ja sähköenergian tuotto	47
7.6.5	Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin operointiparametrit	48
7.6.6	Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin taloudellinen hyöty	48
8	TULOSTEN TARKASTELU	49
8.1	Seossuhteiden laskennalliset ominaisuudet	49
8.2	Syötettävän seosmateriaalin valinta anaerobisen prosessin optimiolosuhteissa	51
8.3	Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitos esimerkin tarkastelu	52
	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHDELUETTELO	54

Liite 1. Viljavuuspalvelun tutkimustulokset

Liite 2. Laskennan esimerkki

Liite 3. Oljen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

Liite 4. Heinän ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

Liite 5. Lietteen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

Liite 6. Oljen/heinän, lietteen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

## 1 JOHDANTO

Kauppa- ja Teollisuusministeriön Energiaosaston laatiman Suomen Uusiutuvan Energian Edistämishojelman (UEO) 2003 - 2006 kokonaistavoitteet ovat uusiutuvien energialähteiden lisääminen vuoden 2001 tasosta 30 % vuoteen 2010 mennessä. Uusiutuvan energian käytön lisäämisen eräs tavoite on vähentää kasvihuonekaasuja. UEO:n toteutumistilanteen tilannekatsauksen mukaan biokaasun käytölle asetettuihin tavoitteisiin pääsemiseksi biokaasun käytön tulisi kuusinkertaistua vuoteen 2010 mennessä ja peltobiomassakäytön tulisi kahdeksankertaistua vuoden 2003 tasoon verrattuna (Suomi ym. 2004).

Maatilakohtaisten biokaasulaitosten rakentamisella lisätään biokaasun tuotantoa ja käyttöä. Maatilyrittäjien kiinnostus biokaasulaitosten rakentamiseen maatiloille lisääntyy jatkuvasti energian hinnannousun takia. Broilertilojen koko on viime vuosina kasvanut ja samalla tilojen energiankulutus on lisääntynyt. Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen energian tuotannolla pystyttäisiin säästämään tilan lämpö- ja sähköenergian kustannuksissa. Lannoiterikasta biokaasutettua lantaa voitaisiin käyttää korvaamaan mineraalilannoitteita. Aikaisemmin siipikarjatililla muodostuvaa kuivalantaa on käytetty tiloilla peltojen lannoitteena ja osa on myyty jatkojalostettavaksi lannoitteeksi.

Maatalouden aiheuttamia ympäristövaikutuksia voidaan pienentää lannan anaerobisella käsittelyllä. Lannan anaerobinen käsittely vähentää lannan aiheuttamia metaanipäästöjä ja lannan lannoitusarvo paranee typen muuntuessa kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Biokaasutekniikka parantaa mahdollisuuksia ravinteiden kiertäykseen sekä tarjoaa mahdollisuuden kesantomaiden sekä ylituotannon ja vuoroviljelyn peltobiomassan hyödyntämiseen energiantuotannossa. Lisäksi biokaasun tuotanto vähentää kasvihuonepäästöjä korvaamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Broilerin kuivalannan korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta johtuen perinteiset anaerobiset märkäprosessit eivät sovellu suoraan kuivalannan käsittelyyn biokaasulaitoksessa. Kuivalannan laimentaminen märkäprosessien vaatimiin kuiva-ainepitoisuuksiin ei myöskään ole taloudellisesti kannattavaa. Kuivafermentaatiotekniikka on viime vuosina lisääntynyt huomattavasti maailmalla, esimerkiksi Euroopassa kuivaprosesseja on 56 % anaerobisesta käsittelykapasiteetista. Euroopan kuivaprosessilaitoksissa käsitellään pääasiassa yhdyskuntajätteitä (de Baere 2005). Suomessa ei vielä ole kuivafermentaatioon perustuvia laitoksia. Broilerin kuivalannan käsittelemistä anaerobisesti kuivaprosessilla tai yhteiskäsittelyä kuivaprosessissa minkään muunkaan materiaalin kanssa ei tiettävästi ole aikaisemmin tutkittu maailmalla, joten kokemusperäistä tietoa ei ole käytettävissä.

Tässä työssä oli tavoitteena teoreettisella laskennalla selvittää broilertilalle soveltuvan kuivafermentaatioon perustavan biokaasulaitoksen kokoonpanoa ja toteutusta sekä laitoksen perustamisen edellytyksiä. Tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää laskennallisesti erilaisten lisämateriaalien vaikutusta seosten kuiva-ainepitoisuuksiin, hiili/typpi suhteisiin, kokonaistypen osuuteen kuivapainosta, ammoniumtypen pitoisuuteen, biokaasun määrään, sekä tuotetun lämpö- ja sähköenergian määrään ja verrata tuotettuja energiamääriä tilan tarpeeseen.



Tutkimuksen toisena tavoitteena oli valita laskennallisten tulosten ja tilalla käytettävissä olevien lisämateriaalimäärien perusteella biokaasulaitosvaihtoehtoja, jotka broiler tilalla voitaisiin toteuttaa. Biokaasulaitosvaihtojen arvioinnissa käytettiin syötetävän materiaaliseoksen ominaisuuksia ja kirjallisuustietoja. Biokaasulaitosvaihtojen arvioinnissa tavoitteena oli tutkia käsittelyjäännöksen ominaisuuksia, biokaasulaitoksen operointiparametreja, energian tuottoa sekä laitoksesta saatavia tuottoja säästyneen sähkön ja kevyen polttoöljyn oston kautta.

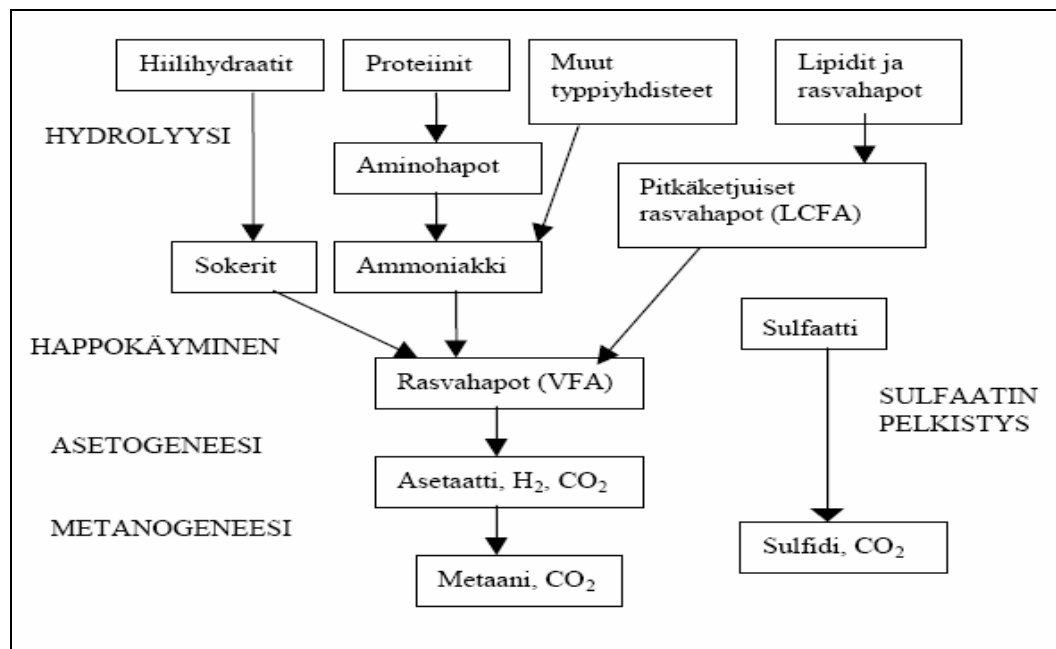
## 2 BIOKAASUPROSESSI

### 2.1 Orgaanisen aineen anaerobinen hajoaminen

Anaerobisessa hajoamisessa orgaaninen aine hajoaa metaaniksi ja hiilidioksidiksi usean bakteeriryhmän yhteistyönä. Orgaanisen materiaalin hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat hydrolysoituvat yksinkertaisimmiksi liukoiksi yhdisteiksi kuten sokereiksi, ammoniakiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Nämä hydrolyysituotteet hajoavat edelleen happokäymisessä (asidogeneesi) haihtuviksi rasvahapoiksi (VFA, volatile fatty acids), joita ovat asetaatti, propionaatti, isobutyraatti, butyraatti, isovaleriaatti, valeriaatti sekä kaproniaatti. Vetyä tuottavat bakteerit hajottavat asetogeneesissa rasvahapot asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi. Viimeisessä vaiheessa eli metanogeneesissa metaaninmuodostajabakteerit tuottavat metaania asetaatista tai vedystä ja hiilidioksidista (kuva 1) (Erickson ym. 2004, Monnet 2003, Schomaker ym. 2000).

Anaerobiprosessissa metaania muodostuu yleensä 70 % asetaatista ja 30 % vedystä (Hobson & Wheatley 1993). Kaikki prosessissa oleva vety ei kulu metanogeneesiin, vaan sitä käytetään monissa muissakin bakteeritoiminnoissa. Tämän vuoksi asetaatin merkitys on metaanintuotossa suurempi. Asetaatin muodostus on usein rajoittava vaihe metaanintuotossa (Hobson & Wheatley 1993).

Mikäli anaerobisessa hajoamisessa on läsnä sulfaattia, muodostuu lisäksi rikkivetyä eli vetysulfidia ( $H_2S$ ) sulfaatinpelkistäjäbakteereiden toiminnan seurauksena (Schomaker ym. 2000).



Kuva 1. Anaerobisen hajoamisen vaiheet (Erickson ym. 2004, Schomaker ym. 2000)

## 2.2 Biokaasuprosessin olosuhteet

Anaerobiseen hajoamisprosessiin vaikuttavat fysikaaliset ja kemialliset prosessiolosuhteet mm. kosteus, lämpötila, pH ja ravinteet.

Biokaasuprosessi voi olla joko märkä- (ns. lieteprosessi) tai kuivaprosessi. Märkäprosessissa käsiteltävä materiaali on pumpattavassa muodossa, kuivaprosessissa ei. Prosesseja määriteltäessä rajana pidetään kuiva-ainepitoisuutta (TS) 15 %, kuitenkin yleensä kuivaprosesseissa TS on 20 - 40 % (de Baere 2005, Vandevivere 2003, Williams & Vincent 2004).

Anaerobinen prosessi on yleensä joko mesofiilinen (30 - 35 °C) tai termofiilinen (noin 55 °C). Myös psykrofiilinen prosessi (< 20 °C) on mahdollinen (Monnet 2003, Wellinger 1999).

Anaerobisen hajoamisen optimi pH on 6,5 - 7,5. Bakteereiden on kuitenkin havaittu pystyvän hydrolysoimaan hiilihydraatteja myös pH:ssa 5 - 6. Erityisesti metanogeneesi on herkkä pH:n muutoksille. Tarvittaessa prosessin pH:ta voidaan säätää toiminnan varmistamiseksi (Hobson & Wheatley 1993).

Orgaaninen jäte sisältää yleensä kaikkia anaerobisten bakteereiden tarvitsemia ravinteita, kuten typpeä, hiiltä, fosforia, rikkiä, kalsiumia, magnesiumia, kaliumia, natriumia ja rautaa. Ravinteet eivät välttämättä ole määrällisesti oikeassa suhteessa, jotta anaerobinen hajoaminen olisi optimaalista (Hobson & Wheatley 1993).

Anaerobisen hajoamisen optimi C/N-suhdeluku on 20 - 30, jolloin anaerobiset bakteerit saavat ravinteita oikeassa suhteessa. Mikäli C/N-arvo on korkea, kuluttavat metaanintuotajabakteerit typen nopeasti loppuun proteiinitarpeidensa tyydyttämiseksi, jolloin ne eivät enää käytä jäljelle jäänyttä hiiltä ja seurauksena on vähäinen biokaasuntuotto. Toisaalta, jos C/N-suhde on pieni, typpeä vapautuu ammoniakkimuodossa, joka nostaa pH:ta. Mikäli ammoniakkin pitoisuus kasvaa liikaa, voi hajotusprosessi pysähtyä joko ammoniakkin inhibi-tiovaikutuksesta tai pH:n noususta yli 8,5:n. Jätteiden yhteiskäsittelyllä voidaan C/N- suhdetta säätää lisäämällä hiili- tai typpipitoista materiaalia syötteeseen (Gautam ym. 1996, Hobson ja Wheatley 1993, Monnet 2003).

### 2.2.1 Biokaasuprosessin käynnistys

Reaktorin käynnistämiseen tarvitaan alussa ulkopuolinen bakteeriatina, ympä. Ympäiksi soveltuu anaerobisesti käsitelty liete esim. jätevedenpuhdistamolta tai biokaasulaitoksesta. Myöhemmin ympäinä voidaan käyttää oman laitoksen käsiteltyä jäännöstä ja kierrätysnes-tettä. Tarvittavan ympin määrä on oltava vähintään 10 % käyttötilavuudesta (Hobson & Wheatley 1992).

## 2.3 Inhibitio

Inhibitio tarkoittaa kemiallisen tai fysikaalisen tekijän aiheuttamaa haittavaikutusta, mikä häiritsee prosessiorganismien normaalia toimintaa tai tappaa sen organismit. Inhibitiota voidaan välttää laimentamalla syötettävää materiaalia ei-inhiboivilla materiaaleilla ja vält-tämällä prosessin ylikuormitusta.

Anaerobisessa prosessissa inhibitio laskee tai estää metaanintuottoa käsiteltävän materiaa-lin hajoamisen hidastuessa, hajoamisen loppuessa vähitellen tai hajoamisen loppuessa ko-

konaan hyvin nopeasti. Inhibiittoreita on kahdenlaisia. Normaalin anaerobisen hajotustoiminnan välituotteet (kuten rasvahapot (VFA)) voivat kertyessään inhiboida anaerobista prosessia, tai prosessissa käsiteltävä aines voi sisältää orgaanisia tai epäorgaanisia aineita, jotka inhiboivat prosessia (Hobson & Wheatley 1993).

### 2.3.1 Ammoniakki

Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on yleinen inhibiittori aiheuttava yhdiste anaerobisessa prosessissa. Ammoniakki esiintyy joko ammoniumionina ( $\text{NH}_4^+$ ) tai ammoniakki-kaasuna ( $\text{NH}_3$ ) pH:sta ja lämpötilasta riippuen. Mitä korkeampi pH tai lämpötila on, sitä suurempi osuus ammoniumtyyppisestä on ammoniakki. Mikäli pH nousee 7:stä 8:aan, ammoniakkin pitoisuus prosessissa kasvaa 8-kertaiseksi. Ammoniakki on inhiboivampi olomuoto kuin ammoniumioni. Ammoniakkin inhibition vaikutus perustuu sen kykyyn diffuusioida bakteerisoluihin. Ammoniakkin akkumuloituminen inhiboi metaanintuottoa. Erityisesti metaania asetaatista tuottavien bakteerien kasvu häiriintyy korkeissa ammoniakkipitoisuuksissa. Bakteereiden on kuitenkin havaittu sopeutuvan melko korkeisiin ammoniakkipitoisuuksiin (Bujoczek ym. 2000, Hansen ym. 1998, Wellinger 1999).

Ammoniakkin inhibiittori on todettu pitoisuudessa 150 mg/l, mutta toisaalta on onnistuttu prosessoimaan 345 - 700 mg/l pitoisuudessa hyvin pitkää viipymää käyttäen. Ammoniumtyyppipitoisuuden 3 000 mg/l on todettu inhiboivan missä tahansa pH:ssa (Hobson ja Wheatley 1993, Tada ym. 2005). Toisaalta lehmänlannassa ammoniumtyypin kokonaispitoisuus ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) 4 000 mg-N/l on aiheuttanut inhibiittori termofiilisessä anaerobisessa prosessissa, mutta kun prosessin on annettu sopeutua riittävän kauan korkeisiin tyyppipitoisuuksiin, se on toiminut jopa 6 000 mg-N/l pitoisuudessa (Angelidaki & Ahring 1993).

### 2.3.2 Haihtuvat rasvahapot

Anaerobisen hajoamisen välituotteena muodostuvat haihtuvat rasvahapot voivat inhiboida anaerobista hajoamista. Jos käsiteltävä materiaali on helposti hajoavaa, haihtuvia rasvahappoja muodostuu nopeasti, jolloin liian suuri kuormitus aiheuttaa haihtuvien rasvahappojen kertymistä, koska metanogeenit kasvavat hitaammin kuin haponmuodostajabakteerit. Biokaasuprosessi ehtii sopeutua olosuhteisiin, mikäli käynnistysvaiheessa kuormitusta nostetaan vähitellen, eikä hajoaminen häiriinny. Haihtuvien rasvahappojen kertymistä pidetään merkinä epätasapainoisesta prosessista, jossa metaanintuotto laskee tai pysähtyy kokonaan. Erityisesti asetaatin, propionaatin ja butyraatin korkeita pitoisuuksia pidetään epätasapainoisen prosessin indikaattoreina, sillä ne kuvaavat prosessin asetogeeni ja metanogeeni bakteerilajien toimintaa (Björnsson ym. 1997).

Kertyessään haihtuvat rasvahapot alentavat prosessin pH:ta. pH alenee sitä enemmän, mitä pienempi prosessin alkaliteetti on (Hobson ja Wheatley 1993). Prosessin tasapainoa voidaan arvioida haihtuvien rasvahappojen (VFA) ja alkaliniteetin suhteella:

- < 0,4 prosessi on vakaa
- 0,4 - 0,8 epätasapainoisuutta tapahtuu
- 0,8 prosessi on epätasapainossa (Callaghan ym. 2002).

### 2.3.3 Rikkivety

Rikkivetyä eli vetysulfidia ( $H_2S$ ) muodostuu sulfaatin pelkistyksessä anaerobisessa hajoamisessa. Rikkivety aiheuttaa inhibiota korkeina pitoisuuksina. Lisäksi sulfaatinpelkistäjät ja metanogeenit kilpailevat aseenista ja vedystä. Sulfaatinpelkistäjät voivat syrjäyttää metanogeenit kokonaan, mutta metanogeenit voivat myös sopeutua korkeisiin rikkivetypitoisuuksiin. Anaerobisessa reaktorissa rikkivety aiheuttaa korroosiota, minkä vuoksi se pyritään puhdistamaan biokaasusta. Rikkivetyä poistetaan mm. lisäämällä biokaasureaktorin kaasutilaan pieni määrä ilmaa, jolloin rikkivety hapen kanssa reagoiessaan muodostaa alkuainerikkiä (Hobson & Wheatley 1993, Monnet 2003, Schomaker ym. 2000).

Muita mahdollisia inhibiittoreita käsiteltävässä materiaalissa suurina pitoisuuksina ovat esim. desinfiointi- ja puhdistusaineet, antibiootit, raskasmetallit ja ligniini (Hobson ja Wheatley 1993).

### 2.4 Biokaasu

Biokaasulaitoksessa tuotetun biokaasun määrä ja koostumus riippuvat syötettävästä materiaalista ja prosessin operointiparametreista. Biokaasun energiasisältö muodostuu metaanista, jonka lämpöarvo on  $35\ 600\ \text{kJ/m}^3$  eli  $9,9\ \text{kWh/m}^3$ . Metaani voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotannossa ja/tai polttoaineena. Biokaasussa on metaania noin 55 - 75 %, hiilidioksidia 30 - 45 %, pieniä määriä vetysulfidia ja ammoniakkia (Monnet 2003, Schomaker ym. 2000).

Biokaasuprosesseissa käytettävät materiaalit vaihtelevat koostumukseltaan ja biohajoavuudeltaan sekä biokaasupotentiaaliltaan huomattavasti toisistaan, kuten taulukon 1 esimerkit osoittavat (Schomaker ym. 2000, Steffen ym. 1998).

Taulukko 1. Eri materiaalien biokaasuntuottopotentiaalit (Schomaker ym. 2000, Steffen ym. 1998)

materiaali	biokaasun tuotto $\text{m}^3/\text{kg VS}$	metaanipitoisuus %	laskennallinen metaanin tuotto $\text{m}^3/\text{kg VS}$
sian lanta	0,25 - 0,50	70 - 80	0,18 - 0,40
lehmän lanta	0,20 - 0,30	55 - 75	0,11 - 0,23
kanan lanta	0,35 - 0,60	60 - 80	0,21 - 0,48
puutarhajäte	0,20 - 0,50	60 - 70*	0,12 - 0,35*
ruokajäte	0,50 - 0,60	70 - 80	0,35 - 0,48

\* arvio

#### 2.4.1 Kaasun käsittely ja hyödyntäminen

Prosessissa muodostuva biokaasu johdetaan reaktoreiden yläosassa olevia kaasulinjoja pitkin kaasusäiliöön. Kaasun varastoidaan kaasuväriössä, kaasusäikissä tai esim. katetussa väriössä, joka toimii samalla jälkikaasuuntumisyksikkönä. Kaasuväriöön suuruus määritellään esim. halutun väriökapasiteetin määrän mukaan.

Kaasun puhdistustarve riippuu kaasun käyttökohteesta. Kun biokaasua käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, biokaasusta poistetaan rikkivety esimerkiksi hapettamalla se

alkuainerikiksi. Biokaasun käyttäminen liikennepolttoaineena vaatii myös hiilidioksidin poistamisen sekä kompressoinnin (Schomaker ym. 2000).

Kaasun poistuessa reaktorista kaasun lämpötila laskee, jolloin vesihöyry alkaa tiivistyä putkistoihin. Veden erotus perustuu kaasun jäähtymiseen tai mekaaniseen vedenerotukseen (Schomaker ym. 2000).

Biokaasu voidaan polttaa lämpökattilassa tai johtaa pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokseen eli mikro- CHP -yksikköön. Kaasukattilan ja biokaasun polttoon soveltuvan polttimen hyötysuhde on noin 90 %. CHP -laitosten kokonaishyötysuhde on 85 %, josta sähkön osuus on noin 35 % ja lämmön osuus noin 50 %.

Mikro -CHP yksikkö on lämpövoimakone, jolla tuotetaan sähköä generaattorin avulla ja jonka hukkalämpö otetaan talteen ja käytetään mm. biokaasureaktorin lämmittämiseen, tilan sisälämmitykseen ja tilan lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Lämpöä voidaan käyttää myös kuivaukseen, viilennykseen, veden puhdistukseen ja kosteuden säätöön, jolloin korvataan sähkön käyttöä kyseisissä sovelluksissa (Rintala ym. 2002).

## 2.5 Biokaasuprosessin prosessiparametrit

Biokaasuprosessin prosessiparametreista tarkastellaan lämpötilaa, viipymää ja kuormitusta.

### 2.5.1 Lämpötila

Materiaalin anaerobisen hajoamisen nopeus riippuu lämpötilasta siten, että hajoamisnopeus kasvaa lämpötilan kasvaessa. Anaerobisessa prosessissa toimivat bakteerit voidaan jakaa psykrofiiliseen, mesofiiliseen tai termofiiliseen ryhmään kasvulle optimaaliseen lämpötilan mukaan. Kuivaprosessin lämpötila voi olla joko mesofiiliselä (30 - 35 °C) tai termofiiliselä (50 - 60 °C) alueella.

Mesofiilisen prosessin etuja ovat mm. prosessin vakaus, hyvä kaasuntuotto sekä kohtuullinen viipymäaika. Termofiilisen prosessin etuina verrattuna mesofiiliseen tai psykrofiiliseen prosessiin ovat mm. käsiteltävän materiaalin nopeampi hajoaminen, tehokkaampi hygienisoituminen, nopeampi kiinteän ja nestemäisen aineen erottuminen ja suurempi biokaasun tuotto. Termofiilistä prosessia pidetään kuitenkin herkempänä inhibiittoreille sekä lämpötilan ja pH:n muutoksille (Monnet 2003, Wellinger 1999).

Anaerobisesta käsittelylämpötilasta on Suomessa annettu myös lainsäädännöllisiä ohjeistuksia, joilla pyritään varmistamaan haitallisten mikrobien tuhoutuminen prosessissa (EY N:o 1774/2002). Jos biokaasulaitoksessa käsitellään pelkkää lantaa tai lannan ja heinän tai oljen seosta eikä käsittelyjäännöstä markkinoida, ei lainsäädännössä puututa käsittelylämpötilaan. Mikäli lannan kanssa käsitellään saostus- tai umpikaivolietettä prosessi tulee toteuttaa siten, että haitalliset mikrobit tuhoutuvat. Mikrobit tuhoutuvat sitä tehokkaammin mitä korkeampi käsittelylämpötila on ja mitä pidempään materiaali viipyy prosessilämpötilassa. Biokaasulaitoksiin liittyvä lainsäädäntö on parhaillaan muuttumassa, joten tarkempia vaatimuksia käsittelylämpötilasta ei käsitellä tässä.

### 2.5.2 Viipymä

Biokaasuprosessin viipymä (HRT = hydraulic retention time) tarkoittaa keskimääräistä aikaa, jonka käsiteltävä materiaali viipyy reaktorissa. Viipymä riippuu materiaalin koostu-

muksesta sekä lämpötilasta. Materiaalin hajoaminen nopeutuu seuraavassa järjestyksessä: selluloosa, hemiselluloosa, proteiinit, rasvat ja hiilihydraatit (Wellinger 1999).

Lehmänlannan keskimääräisenä viipymänä mesofiilisessa biokaasulieteprosessissa on käytetty 12 - 20 d ja runsaasti heinää sisältävän lannan 18 - 36 d (Wellinger 1999). Mesofiilisessa jatkuvatoimisissa lieteprosessitutkimuksissa kanan lannan käsittelyssä viipymä on ollut 22 - 24 päivää (Safley ym. 1987). Autotallityyppisessä Bioferm- kuivaprosessissa materiaalin keskimääräiseksi viipymäksi on arvioitu noin 28 päivää (Matzel 2006).

### 2.5.3 Kuormitus

Kuormitus (OLR = organic loading rate) tarkoittaa reaktoriin lisätyn orgaanisen aineen määrää reaktoritilavuutta kohti, ts. se on lisätty jätemäärä ( $m^3$ ) kertaa jätteen orgaanisen aineen pitoisuus kuutiometrissä jätettä ( $kg\ VS/m^3$ ) jaettuna reaktorin (neste)tilavuudella. Se ilmaistaan joko kemiallisena hapenkulutuksena (COD) tai orgaanisena aineena (VS) (Wellinger 1999).

Kuormituksen säätely on yksi tärkeimmistä keinoista valvoa biokaasureaktorin toimintaa anaerobisessa käsittelyssä. Mikäli kuormitus on liian suuri, prosessi voi mennä nk. hapoille eli prosessiin kertyy VFA -yhdisteitä. Tämän seurauksena prosessin metaanintuotto vähenee ja voi loppua kokonaan (Rintala ym. 2002).

Mesofiilisissa lehmänlantaa käsittelevissä täyssekoitteisissa lietereaktoreissa kuormitus on keskimäärin 2,5 - 3,5  $kg\ VS/m^3\ d$  ja lantaa sekä muuta orgaanista jätettä yhteiskäsitteleville keskimäärin 5,0 - 7,0  $kg\ VS/m^3\ d$  (Wellinger 1999).

Siipikarjan lannan anaerobisissa tutkimuksissa kuormituksena oli 1,95  $kg\ VS/m^3\ d$  mesofiilisessa märkäprosessissa, mutta samalla on raportoitu korkeista ammoniakkipitoisuuksista (Safley ym. 1987). Kanan ja karjan lannan yhteismädätyksessä on käytetty kuormituksena mesofiilisessa märkäprosessissa 3,19 - 4,74  $kg\ VS/m^3\ d$  (Callaghan ym. 2001). Biocel-kuivaprosessissa kuormitus biojätteelle oli 3,6  $kg\ VS/m^3\ d$  (ten Brummeler 2001).

## 2.7 Anaerobisen käsittelyn vaikutus materiaalin ominaisuuksiin

Anaerobisessa märkäprosessissa materiaalin kuiva-aineen vähenemä on keskimäärin 50 % ja orgaanisen aineen vähenemä 60 % (Monnet 2003). Lannan käsittelyssä märkäprosessissa keskimääräiseksi orgaanisen aineen vähenemäksi on arvioitu 25 - 40 % (Klinger 1999). Kuivaprosesseista ei vastaavia vähenemätietoja ole saatavilla. Kuivafermentaatiotekniikkaan perustuvalla Biocel-laitoksella käsittelyjäännöstä syntyy 78 % sisään syötettävästä biojättemäärästä (ten Brummeler 2000).

Anaerobinen käsittely pienentää materiaalin hiili/typpisuhdetta sekä kuiva-ainepitoisuutta ja tekee lopputuotteesta homogeenisemmän. Hajua aiheuttavia yhdisteitä hajoaa ja patogeenien määrä pienenee. Anaerobisessa prosessissa osa orgaanisesta tyyppistä muuttuu liukoiseksi ammoniumtyypeksi, mikä on kasvien käytettävissä heti käsittelyjäännöksen levittämisen jälkeen. Orgaanisen tyyppin täytyy ensin mineralisoitua maaperässä, ennen kuin se on kasvien käytettävissä. Näin ollen anaerobisesti käsitelty jäännöstuote on tehokkaampaa lannoitetta. Anaerobisesti käsitelty materiaali imeytyy maahan nopeammin, jolloin tyyppin haihtuminen vähenee ja hajut häviävät nopeasti levityksen jälkeen. Lisäksi anaerobinen käsittely hygienisoi materiaaleja, hajottaa rikkaruohosiemeniä ja tuholaisia. Muiden lannoitevaikutukseltaan tärkeiden aineiden kuten kaliumin, fosforin, kalsiumin, magnesiumin ja mikroravinteiden pitoisuudet eivät muutu anaerobisen käsittelyn aikana. Orgaaniset lan-

noitteet lisäävät maaperän humuspitoisuutta, joten niiden käyttö ei köyhdytä maaperää kuten mineraalilannoitteet (Klinger 1999, Ørtenblad 1999).

Anaerobinen käsittely nostaa käsitellyn materiaalin pH:ta. Anaerobisesti käsitellyn lannan pH on 7,4 - 8,0. Korkea pH lisää typen haihtumisen riskiä ammoniakkinä varastointivaiheessa (Ørtenblad 1999).

Biokaasulaitoksessa käsiteltävät materiaalit ja käsittelyjäännöksen typpi- ja fosforipitoisuudet määräävät sen, miten paljon jäännöstä saadaan levittää pelloille. Jos käsittelyjäännös sisältää saostus- tai umpikaivolietettä, sitä saadaan käyttää viljelysmaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta, öljykasveja tai sellaisia kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi. Nurmelle tällaista materiaalia saa levittää vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla liete huolellisesti. Viljelysmaalla, jolla on käytetyt saostus- ja umpikaivolietteitä sisältäviä materiaaleja saa viljellä perunaa, juureksia ja vihanneksia aikaisintaan viiden vuoden kuluttua lietteen käytöstä (VNp 282/1994).

Nitraattiasetuksen mukaan typpipitoista lannoitetta saa levittää pellolle lannoitteeksi sellaisen määrän joka vastaa enintään 170 kg/ha/vuosi typpeä, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. (VNa 931/2000). MMM:n asetuksessa ympäristötuesta (646/2000) on annettu myös sääöksiä peltokasvien peruslannoitukseen käytettävien typen ja fosforin määristä peltohehtaaria kohti.

### **3 TILAKOHTAISEN BIOKAASULAITOKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET**

Tilakohtaisen biokaasulaitoksen ympäristövaikutuksista käsitellään suppeasti biokaasun ympäristövaikutuksia sekä lannan että anaerobisen käsittelyjäännöksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

#### **3.1 Biokaasun ympäristövaikutukset**

Biokaasu on uusiutuva energialähde jota voidaan tuottaa erilaisista orgaanista raaka-aineista ja käyttää lämpö- ja sähköenergiana tai liikennepolttoaineena. Biokaasun tuotanto vähentää kasvihuonekaasupäästöjä korvaamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Jos biokaasua käytetään liikennepolttoaineena, voidaan vähentää myös liikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasu-, rikki- ja pienhiukkaspäästöjä (Klinger 1999, Lantz ym. 2005). Esimerkiksi yksi m<sup>3</sup> biokaasua vastaa 0,5 kg öljyä energian tuotannon tarkoituksessa, mikä vähentää 2,6 kg CO<sub>2</sub> päästöjä. CO<sub>2</sub> emissiot eri polttoaineilla ovat seuraavat (Klinger 1999):

- ruskohiili 0,40 kg/kWh,
- kivihiili 0,33 kg/kWh,
- mineraaliöljy 0,26 kg/kWh,
- maakaasu 0,2 kg/kWh (Klinger 1999: alkuperäinen lähde Cassada M.E, Safley L.M.Jr., 1990: Global Methane Emissions from Livestock and Poultry Manure).

Biokaasutekniikalla vähennetään myös lannan käsittelyn aiheuttamia metaanipäästöjä sekä eroosiota pitämällä viljelysmaat viljelyksessä (Lantz ym. 2005).



### 3.2 Lannan aiheuttamat ympäristövaikutukset

Lannasta vapautuu ilmaan metaania, dityppioksidia ja ammoniakkia varastoinnin ja peltolevityksen aikana. Metaanin määrä riippuu eläinlajista, ruokinnasta, käytetyistä kuivikkeista sekä lämpötilasta. Dityppioksidin määrä riippuu lannan sisältämän typen määrästä ja olosuhteista esim. lannankäsittelymenetelmästä. Lietelannasta vapautuu metaania enemmän ja dityppioksidia vähemmän kuin kuivikelannasta. Ammoniakki lisää dityppioksidipäästöjä välillisesti laskeuman kautta (Anonyymi1).

Maatalouden metaaniemissioiden on arvioitu aiheuttavan 33 % maailmanlaajuisesta kasvihuonevaikutuksesta. Noin 7 % on peräisin eläinten ulosteesta, mikä vastaa 20 - 40 miljoonaa tonnia metaania vuodessa. Eläinten ulosteiden aiheuttamista metaanipäästöistä voidaan noin puolet vähentää siirtymällä biokaasutekniikkaan (Klinger 1999).

### 3.3 Anaerobisesti käsitellyn lannan ympäristövaikutukset

Lannan anaerobisella käsittelyllä vähennetään lannan aiheuttamia metaani- ja dityppioksidipäästöjä ( $N_2O$ ) sekä parannetaan lannoitusominaisuuksia. Anaerobisessa käsittelyssä typen muuntuminen kasveille käyttökelpoisempaan muotoon voi vähentää typen huuhtoutumista (Klinger 1999). Myös lannan patogeenien määrää vähenee, jolloin torjunta-aineiden käyttötarve vähenee. Mitä korkeampi biokaasuprosessin lämpötila on, sitä tehokkaammin patogeenit tuhoutuvat. Bakteerit tuhoutuvat helpommin kuin virukset (Colleran 1999).

Typen oksidien vähenemisestä tiedetään vähän anaerobisessa prosessissa. Kuitenkin on osoitettu että anaerobinen käsittely vähentäisi typenoksidien määrää kun vältetään lannan varastoinnin aikaisia päästöjä ja anaerobisia olosuhteita maassa. Lisäksi kun huomioidaan typen käyttökelpoisuuden kasvaminen kasveille ja typen nopeampi absorptio sekä epäorgaanisten typpilannoitteiden käytön vähentyminen ja  $N_2O$ -päästöt lannoitetypen tuotannossa, niin  $N_2O$  vähentymäksi on arvioitu noin 10 % (Klinger 1999).

Anaerobisessa käsittelyssä torjunta-aineita voi hajota, jolloin torjunta-aineiden kulkeutuminen lannan mukana maaperään ja vesistöihin vähenee. Raskasmetallit eivät kuitenkaan vähene anaerobisessa käsittelyssä (Klinger 1999).

Anaerobisesti käsitellyn materiaalin käyttö lannoitteena mahdollistaa orgaanisen materiaalin ravinnekiertoa ja samalla vähennetään kemiallisten lannoitteiden tarvetta. Kemiallisten lannoitteiden käytön vähentäminen pienentää myös kasvihuonekaasupäästöjä, sillä niiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään keksimäärin noin 1,5 kiloa hiiltä yhtä sidottua typpikiloa kohti. Myös kemiallisten lannoitteiden valmistuksen aiheuttamat  $N_2O$ -päästöt vähenevät (Paustian ym. 1998).

Anaerobisessa käsittelyssä lannan pH nousee orgaanisten happojen hajotessa, jolloin suurempi osa lannan tpestä on helposti haihtuvana ammoniakkina (Klinger 1999). Ammoniakkaa voi haihtua myös käsitellyn lannan varastoinnin aikana. Varastoinnin aikaista haihtumista voidaan vähentää noin 96 % kattamalla varastointiallas. Ammoniakin haihtuminen lietelevityksessä pelloilla on 20 - 40 % ammoniakin kokonaisuudesta riippuen pH:sta. Sekoittamalla liete maahan levityksen jälkeen ammoniakin haihtuminen estetään lähes kokonaan, sillä haihtuminen on suurinta heti levityksen jälkeen (Ørtenblad 1999).

Anaerobisessa käsittelyssä voivat lannan ja lietteiden hajut vähentyä 80 %, sillä haihtuvien rasvahappojen (VFA) pitoisuus pienenee käsittelyssä. Myös  $BOD_7$  ja COD -pitoisuuksien

pienentyminen vähentää hajuja (Mattila 1985). Erityisesti asutusalueiden läheisyydessä lannan levityksen hajun vähenemisellä voi olla suuri merkitys (Klinger 1999).

Anaerobinen käsittely vähentää lannan fytotoksisten eli kasveille myrkyllisten yhdisteiden määrää. Käsiteltyä lantaa voi levittää myös kasvien päälle, jolloin mineraalilannoitteiden tarve vähenee. Käsitelty lanta sisältää myös humusta lisäävä materiaalia, joten sen käyttö ei köyhdytä maaperää kuten kemiallisen lannoitteet (Klinger 1999).

Lannan anaerobinen käsittely voi vähentää vesistöjen ravinnekuormituksia, koska kasvien typenoton tehostuessa typpeä kulkeutuu vähemmän rehevöittämään vesistöjä ja saastuttamaan pohjavesiä. Lisäksi maaperän mikrobit kykenevät immobilisoimaan vähemmän typpeä, jos lanta on anaerobisesti käsitelty. Immobilisoitunut typpi voi vapautua myöhemmin usean kasvukauden jälkeenkin ja voi aiheuttaa ilman ja vesistöjen saastumista. Anaerobisessa käsittelyllä lannan orgaaninen aines vähenee, joten immobilisaation määrä laskee. Anaerobinen käsittely parantaa myös kasvien fosforinottoa lannasta (Klinger 1999, Ørtenblad 1999).

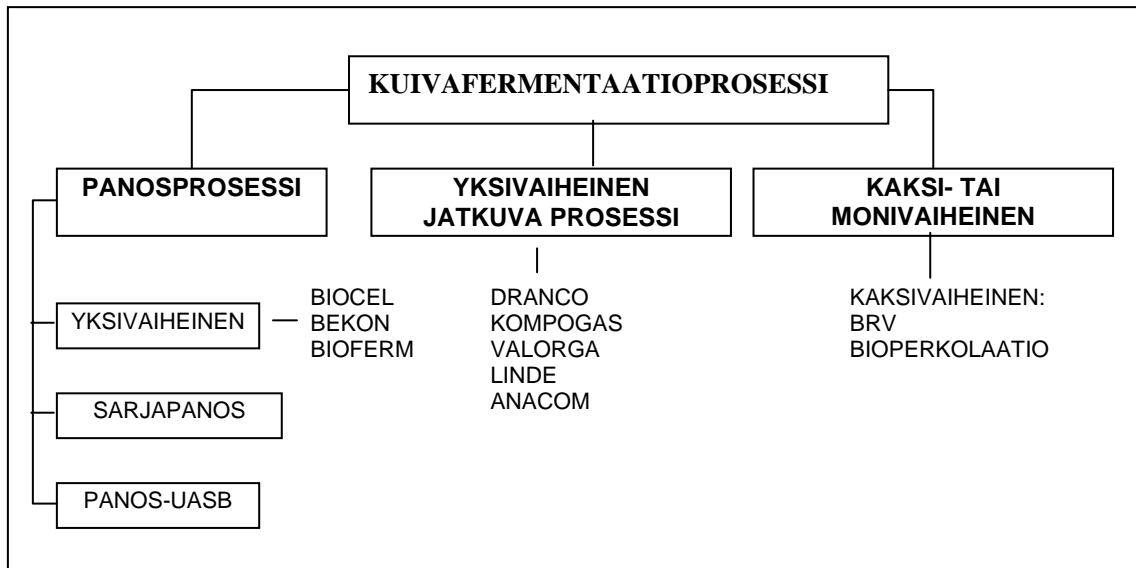
## 4 KUIVAFERMENTAATIOTEKNIIKAT

Kiinnostus kuivafermentaation käyttöön biokaasuteknologiassa on lisääntynyt anaerobisten kuivaprosessitekniikoiden kehittymisen myötä. Kuivafermentaatiotekniikat eroavat toisistaan reaktorin suunnan (vaaka- tai pystysuuntainen), sekoittamisen tai prosessin jatkuvatoimisuuden suhteen. Euroopassa olevat kuivafermentaatioon perustuvat biokaasulaitokset käsittelevät pääasiassa lajiteltua orgaanista yhdyskuntajätettä (de Baere 2005).

Kuivaprosessissa kuiva-ainepitoisuus on yleensä 20 - 40 %. Euroopassa kuivaprosesseja on 56 % anaerobisesta käsittelykapasiteetista ja Euroopan termofiilisistä anaerobista laitoksista noin 96 % on kuivaprosesseja. (de Baere 2005, Williams & Vincent 2004).

Jätteiden kuivaprosessin esikäsittelynä riittää yleensä suurimpien epäpuhtauksien poistaminen. Materiaalin kuljetus ja käsittely tehdään kuljettimilla (esim. ruuvikuljetin) ja korkean viskositeetin pumpuilla (Anonyymi 2000). Lannan ja kasvien yhteiskäsittelyssä kasvien pilkkominen pienimmiksi sekä sekoittaminen lannan joukkoon edistää biologista hajoamista (Mata-Alvarez ym. 2000).

Kuivafermentaatioprosessit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: 1) panosprosessit, 2) yksivaiheiset jatkuvatoimiset prosessit ja 3) kaksi- tai monivaiheiset jatkuvatoimiset prosessit (kuva 2). Eri tekniikoista on erilaisia sovellutuksia. Tekniikoita on käytetty pääsääntöisesti yhdyskunnan kiinteän orgaanisen materiaalin käsittelyyn. Maataloudessa on toistaiseksi muutamia sovelluksia.

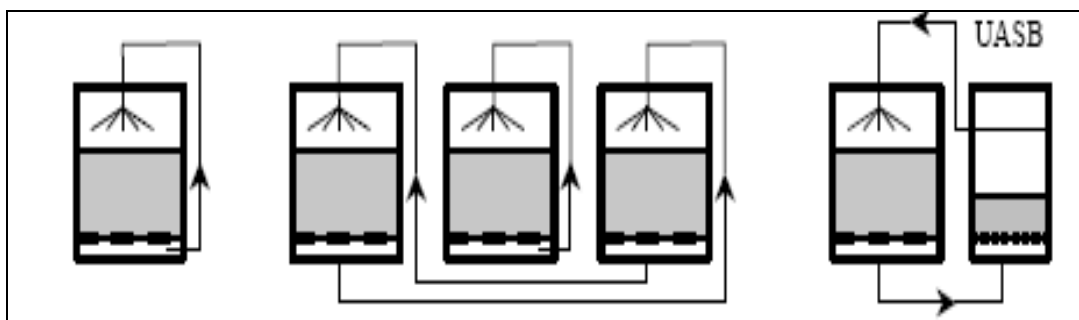


Kuva 2. Biokaasuteknologian eri kuivafermentaatioprosessit ja tässä työssä käsitellyt kuivaprosessit

#### 4.1 Panosprosessit

Panosprosesseja on kolme erilaista (kuva 3): yksivaiheinen prosessi (single-stage), sarjapanos prosessi (sequential batch ) ja panos-UASB-prosessi (upflow anaerobic sludge blanket) (Vandevivere ym. 2003).

Panosprosessin alussa prosessiin lisätään käsiteltävä materiaali ja ympä, joka yleensä on anaerobista käsittelyjäännöstä. Ympin lisäämisellä saadaan bakteerimassasta biomassa. Panosmateriaalin rakenne on tärkeää, jotta prosessivesi voi valua massan läpi. Tästä syystä tiiviiseen materiaaliin tai materiaaliseokseen lisätään karkeampaa tuki- tai rakennemateriaalia esim. olkia, kuorta tai puulastuja (Kottner 2002, Kusch 2005).



Kuva 3. Panosprosessin toimintaperiaatteet; yksivaiheinen prosessi, peräkkäispanosprosessi ja panos UASB-prosessi (Vandevivere ym. 2003)

Yksivaiheista panosprosessia käytetään 30 - 40 % TS materiaalille. Kaikki anaerobiset hajoamisvaiheet tapahtuvat samassa reaktorissa. Reaktorin pohjalta kierrätetään suodattua nestettä reaktorin yläpäähän (kuva 3). Kierrätettävän nesteen mukana ravinteita ja ympä leviää jätemassaan sekä samalla tapahtuu sekoittumista. Reaktorin tyhjentämisen

yhteydessä reaktorissa mahdollisesti jäljellä oleva metaani voi muodostaa räjähtävän seoksen ilman kanssa (Erickson ym. 2004, Vandevivere ym. 2003).

Sarjapanosprosessissa käytetään vähintään kolmea reaktoria. Käynnistysvaiheessa lähimmästä valmiista reaktorista neste kierrätetään uuteen raakajätteellä täytetyn reaktorin yläosaan. Uudessa reaktorissa käynnistysvaiheen aikana muodostuvat haihtuvat orgaaniset hapot siirtyvät nesteen mukana aktiiviseen reaktoriin, jossa ne muuttuvat metaaniksi ja hiilidioksidiksi (kuva 3). Käynnistysvaiheen jälkeen uusi reaktori muuttuu metanogeneesi vaiheeseen ja reaktori voi siirtyä sisäiseen nestekiertoon. Prosessin loppuvaiheessa kypsytetyn reaktorin nestettä käytetään käynnistämään uusi reaktori. Metanogeneesireaktorin neste sisältää vain vähän tai ei ollenkaan happoja ja se käsitellään pH-puskuri aineella ja kierrätetään ensimmäiseen tuoreen jätteen reaktoriin. Nesteen kierrättämistä käytetään tuomaan uudelle jätemassalle vettä, ravinteita ja bakteereita. Samalla eliminoidaan sekoittamisen ja ulkopuolisen ympin lisäyksen tarve (Chynoweth ym. 2003, Monnet 2003).

Panos -UASB prosessi koostuu kahdesta reaktorista, jossa ensimmäinen reaktori on panosreaktori (Monnet 2003) ja toinen reaktori on jätevesimallinen anaerobinen prosessi esim. lietepatjareaktori (UASB-reaktori) (kuva 3). UASB -reaktorissa anaerobinen mikrobikanta on granuloina (Vandevivere ym. 2003).

Panosprosessien etuina pidetään mm. niiden yksinkertaisuutta ja kestävyyttä (taulukko 2) (Vandevivere ym. 2003).

Taulukko 2. Panosprosesseista esitetyt edut ja haitat (Vandevivere ym. 2003)

<b>kriteeri</b>	<b>edut</b>	<b>haitat</b>
<b>tekninen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· yksinkertainen, kestävä</li> <li>· vähäinen tekniikka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· tukkeutuminen,</li> <li>· vaatii tukiaineen</li> <li>· räjähdysvaara reaktoria tyhjentäessä</li> </ul>
<b>biologinen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· luotettava prosessi →</li> <li>kokemuksia useista käytössä olevista reaktoreista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· huono biokaasun tuotto</li> <li>· alhainen kuormitus</li> </ul>
<b>taloudellinen ja ympäristö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· halpa, pienet investointi kulut</li> <li>· pieni veden kulutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· vaatii tilaa</li> </ul>

Sarjapanosprosessissa voidaan käyttää erikokoisia moduuleja, joita voidaan järjestää ja laajentaa sarjoihin tai rinnakkain (Chynoweth 2003). Moduulit yhdistetään nesteen jakeluun, biokaasun keräyksen ja lämmityssysteemiin.

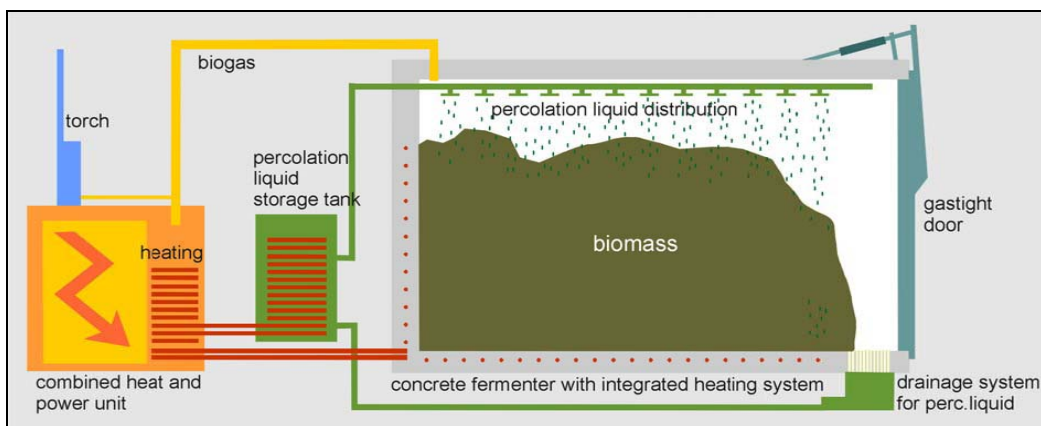
#### 4.1.1 Yksivaiheisen panosprosessin esimerkkilaitoksia

Kaupallisia yksivaiheisia kuivapanosprosesseja ovat Biocel-, Bekon- ja Bioferm- prosessit. Alankomaissa ensimmäinen ja tiettävästi maailman ainoa Biocel-laitos aloitti toimintansa vuonna 1997 ja käsittelee biojätettä (taulukko 3) (ten Brummeler 2000). Bekon- ja Bioferm-laitokset toimivat Saksassa ja ovat tarkoitettu yli 50 % TS materiaalien käsittelyyn. Bioferm- laitoksessa käsiteltävän materiaalin kuiva-ainepitoisuus voi olla 60 % TS asti. Biofermin laitoksia on kirjallisuuden perusteella suunnitteilla Japaniin (Anonyymi 2005, BioFerm GmbH, Vandevivere ym. 2003).

Taulukko 3. Biocel-, Bekon- ja Bioferm- kuivaprosessilaitosten tietoja (Anonyymi 2005, Bioferm GmbH, ten Brummeler 2000, Vandevivere ym. 2003)

laitos ja sijainti	käynnistysvuosi	jäte	jätömäärä t/a	viipymä d	prosessi	biokaasuntuotto m <sup>3</sup> /t
Biocel Lelystad, Hollanti	1997	biojäte	50 000	21	mesofiilinen	
Bekon, Munich, Saksa	2003	biojäte	8 000		mesofiilinen	100 - 180
Bioferm Waldmunchen Saksa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	n. 30	mesofiilinen	

Biocel-, Bekon- ja Bioferm- laitoksissa prosessien periaate on sama. Käsiteltävään materiaaliin lisätään ympä, mikä on anaerobisesti käsiteltyä ainetta. Materiaalista suodattuvaa nestettä kierrätetään massaan, jolloin samalla tapahtuu sekoittumista. Kierrätettävä neste lämmitetään lämmönvaihtimessa, reaktoreissa on yleensä myös lattia- tai seinälämmitys. Reaktorit täytetään ja tyhjenetään kaivinkoneilla, etu- tai takakuormaajilla. Käsitelty jäännös jae yleensä kompostoidaan. Reaktorit on valmistettu kaasun kestävästä betonista. Bekonin ja Biofermin reaktorit ovat autotallityyppisiä, jotka on varustettu isoilla ovilla (kuva 4) (Anonyymi 2005, Bioferm GmbH, ten Brummeler 2000, Vandevivere ym. 2003).



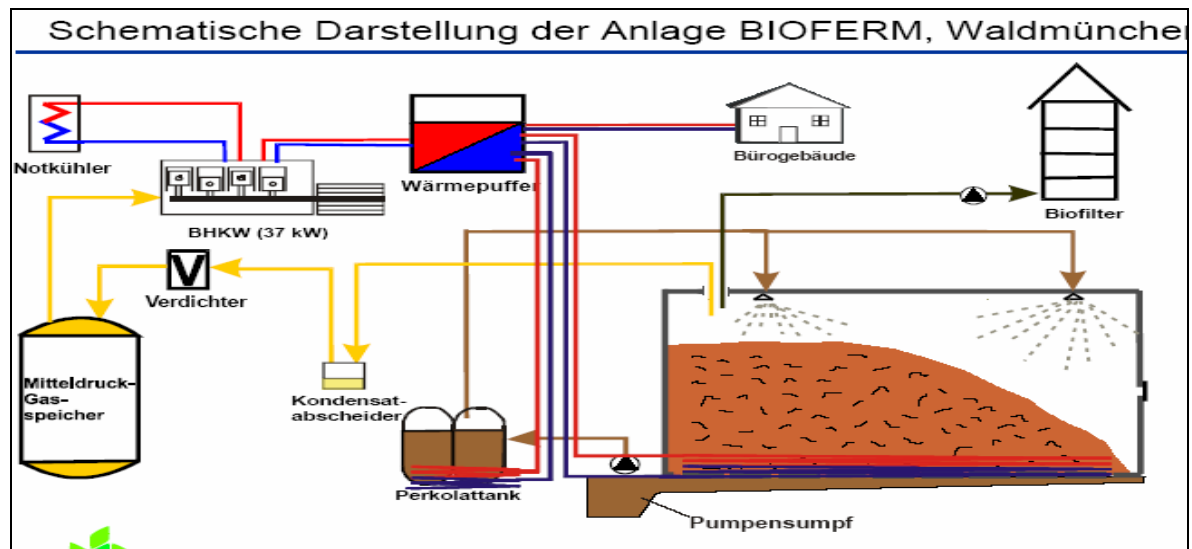
Kuva 4. Bekon- prosessin toimintaperiaate (Lutz 2005)

Autotallisysteemejä voidaan soveltaa myös maatalousjätteiden anaerobiseen käsittelyyn. Bioferm- pilotlaitoksen toimintaa on tutkittu ruohon ja maiseman hoidon viherjätteiden sekä karjan lannan käsittelyssä. Tutkimuksessa syötettävät materiaalit oli esikäsitelty aerobisella kompostoinnilla neljän päivän ajan lämmön nostamiseksi ja selluloosapitoisen materiaalin hajoamisen alkamiseksi (Kaiser ym. 2003).

Standardi Bioferm-laitos sisältää neljä kammiota sisältävän reaktorin, kaasusäiliön, kontrollilaitteistokontin, lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitteiston ja biosuodattimen. Reakto-

rissa on lattialämmitys. Prosessi ei tarvitse ulkopuolista veden lisäystä. Kuvassa 5 on Moosdorf/Waldmunchenin Bioferm- demonstraatiolaitoksen prosessikaavio (Matzel 2006).

Autotalityyppisen Bioferm-laitoksen investointikustannusten on arvioitu olevan saksalaisissa olosuhteissa 4 000 €/kW. Tällöin esimerkiksi 100 kW:n laitos maksaisi noin 400 000 €. Fermentaatioyksikön ulkomitat ovat pituus 30 m, leveys 6 m ja korkeus 4 m eli 720 m<sup>3</sup> (Matxel 2006).



Kuva 5. Waldmunchenin Bioferm- laitoksen toimintaperiaate (Mitterleitner 2004), kuvassa biofilter = biosuodatin, pumpensumpf = pumppausallas, perkolattank = perkolaatioasäiliö, kondensatabscheide = kondensioveden erotus, verdichter = kompressori, mitteldruckgasspeicher = kaasuvarastosäiliö, BHKW = CHP, wärmepuffe = lämmönvaihdin, notkühler = jäähdytin

Autotalityyppisten laitosten haju- ja kaasupäästöjä kontrolloidaan. Esimerkiksi Biocel-laitoksen haju- ja kaasupäästöjä kontrolloidaan reaktoria avattaessa ja suljettaessa. Reaktorin yläosan kaasutila (noin 100 m<sup>3</sup>) täytetään 21 % hapella reaktorin sulkemisen jälkeen. Fakultatiiviset anaerobiset mikro-organismit käyttävät hapen hajottaessaan orgaanista aineesta. Hapen toimiminen inhibiittorina estetään huuhtomalla kaasutila CO<sub>2</sub>-rikastetulla kaasulla lämpö-sähkö generaattoriyksiköstä. Huuhtelusysteemin kapasiteetti on 300 m<sup>3</sup>/h. Ennen reaktorin avaamista hajotusprosessin jälkeen, huuhdotaan kaasutilaa uudestaan CO<sub>2</sub>-rikastetulla kaasulla kunnes räjähdystaso (LEL) on alle 5 % (ten Brummeler 2000). Myös Bekon- laitos on varustettu turvallisuuslaitteilla estämään räjähtävän ilmaseoksen syntyminen reaktoria avattaessa ja tyhjennettäessä (Lutz 2005). Bioferm-laitoksessa on happi- ja metaanisensorit, jotka estävät reaktorin ovien aukaisun ennen kuin metaani on poistunut reaktorista. Laitoksessa on myös biosuodatin. Maatalouden jätteiden tutkimuksessa prosessin alussa biokaasua on päästetty biosuodattimen kautta ilmaan, kunnes 35 % metaanipitoisuus on saavutettu (Anonyymi 2003, Kaiser ym 2003, Mitterleitner 2004).

Lelystadin Biocel- laitoksen biokaasun tuotto on ollut noin 40 % pienempi kuin jatkuva-toimisessa yksivaiheisessa prosessissa samantyyppisestä jätteestä. Tämän on arveltu johtuvan siitä, ettei kierrätettävää suodattuvaa nestelietettä saada leviämään tasaisesti jätemaasaan vaan se kanavoituu (Vandevivere ym. 2003). Bekon- laitoksen biokaasun tuotto niit-

tyruohosta oli 100 m<sup>3</sup>/t ja maissijätteestä 180 m<sup>3</sup>/t. Biofermin biokaasun tuotto ruohojätteestä oli 191 l/kg VS, maiseman hoidon viherjätteestä 188 l/kg VS ja karjan lannasta 218 l/kg VS (Kaiser ym. 2003, Lutz 2005).

Biocel-laitoksessa on esiintynyt tukoksia biojätteen tukkiessa reaktorin pohjan rei'ityksen (Vandevivere ym. 2003). Ongelma on ratkaistu rajoittamalla jätekerroksen paksuus 4 metriin, mikä rajoittaa tiivistymistä sekä sekoittamalla raakajätettä tukimateriaalin sekaan, mikä samalla laimentaa jätettä. Sekoitussuhde on 1 tonni käsiteltyä lietettä ja 0,1 t puulastuja raakajätetonna kohti (Anonyymi 2000, Vandevivere ym. 2003).

Autotaltiyypiseen jatkuvaan biokaasun tuotantoon tarvitaan vähintään kolme reaktoria. Turvallisuussyistä tarvitaan paineventtiili tai -luukku reaktorin katolle. Reaktoreiden sisäpuoliset seinät on käsitelty kipinän estomaalilla (Kottner 2002).

#### 4.1.2 Sarjapanosprosessin esimerkki

Laboratoriomittakaavassa on tutkittu sarjapanosprosessin toimintaa, mutta täysimittakaavaista laitosta ei tiettävästi vielä ole (Anonyymi 2002). SEBAC- prosessilla on tehty laboratorio- ja pilotkokeita Floridan yliopistossa yli kuuden vuoden ajan. Materiaaleina on ollut orgaanista yhdyskuntajätettä (OFMSW), puutarha- ja panimojätteitä sekä puutarhajätteitä (Chynoweth 2003).

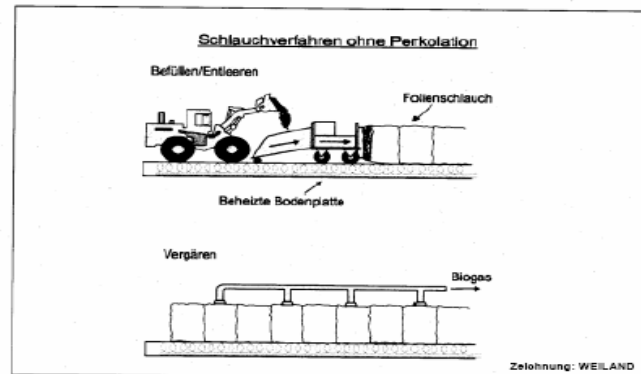
Floridan pilotlaitos koostuu kolmesta (a' 800 l) reaktorista, pumppaus-, lämmitys-, kuor- maus-, purkamis-, kaasun käsittely- ja keräyssysteemeistä. Termofiilisen prosessi käynnistämässä ympinä käytetään mesofiilisen anaerobisen prosessin käsittelyjäännöstä. Nestettä kierrätetään noin tunti uuden panosreaktorin yläpähän, jonka aikana reaktorin sisältö kostuu ravinteiden kera. Ensimmäisen viikon aikana päivittäisessä nestekierrossa (noin 15 - 30 min) VFA poistuvat kypsyneeseen reaktoriin, jossa ne muuntuivat metaaniksi ja hiili- dioksidiksi. Joitakin raaka-aineita käsiteltäessä joudutaan lisäämään lisävetä. Prosessi kestää 42 tai 21 päivää (14 tai 7 päivää/vaihe) riippuen syötettävästä materiaalista ja operointi- lämpötilasta. Metaanin tuotto on keskimäärin 0,2 l/g VS (Anonyymi 2000, Anonyymi 2000a, Chynoweth ym. 2003).

#### 4.1.3 Panosprosesseja maatalouden orgaanisille materiaaleille

Maatalouden orgaanisille materiaaleille on kehitetty ja kokeiltu erilaisia sovelluksia, kuten Ag-Bag prosessia ja nestekiertoprosesseja.

##### 4.1.3.1 Ag-Bag prosessi

Ag-Bagin prosessissa syötettävät raaka-aineet syötetään esim. trukeilla tai kauhakuormaajilla suppiloon (ns. AG Bagger) ja työnnetään työntölaitteilla polyetyleni Ag- Bag muovisäkkeihin (kuva 6). Muovipussien halkaisija on 1,50 m:sta 3,60 metriin, pituus 30 m:sta 150 metriin. Muodostuva biokaasu otetaan talteen. Prosessi on tarkoitettu maatalouden kuiville orgaanisille jätteille (20 - 40 % TS). Prosessin viipymä on pitkä, Keski-Euroopassa ainakin 18 kk (Anonyymi 2003, Bag Budissa Agroservice GmbH).



Kuva 6. Ag-bagin toimintaperiaate (Mitterleitner 2004)

#### 4.1.3.2 Nestekierto- ja upotusprosessi maataloudessa

Maatalouden jätteiden käsittelyä panosprosessissa on tutkittu ns. nestekierto- ja upotusprosesseihin. Nestekierto- ja upotusprosesseissa suodattuvaa nestettä kierrätetään koko anaerobisen prosessin ajan. Upotusprosessissa kiintoainemassa peitetään kokonaan nesteellä käsiteltynä ajaksi (Kusch 2005).

Neste- ja upotusprosesseja on tehty viherjätteellä laboratoriossa. Viherjätteen ja ympin (karjan lannan ja viherjätteen mädätysjäännös, 25 til-%) kokeissa metaanin tuotto oli noin 75 - 90 l CH<sub>4</sub>/kg VS noin 35 °C:ssa. Samoilla materiaaleilla on tehty tutkimuksia täysmittakaavanlaitoksella. Laitos koostui neljästä reaktorista (a' 130 m<sup>3</sup>), joissa oli lattialämmitys ja suodattuvan nesteen lämmitys lämmönvaihtimella. Nestekierto oli kerran tai kahdesti päivässä muutamia minuutteja. Metaanin tuotto täysmittakaavanlaitoksessa oli noin 50 l CH<sub>4</sub>/kg VS kuudessa viikossa. Täysmittakaavan laitoksen pienemmän metaanintuoton on arveltu johtuvan siitä, ettei pelkkä lattialämmitys ollut riittävä prosessin 35 °C lämpötilan säätämiseksi ja ylläpitämiseksi (Kusch 2005).

## 4.2 Jatkuvat toimiset yksivaiheiset prosessit

Jatkuvatoimisissa yksivaiheisissa prosesseissa anaerobisen hajoamisen kaikki vaiheet tapahtuvat samassa reaktorissa. Syötettävää materiaalia vastaava määrä käsittelyjäännöstä poistetaan reaktorista jatkuvasti.

Jatkuvatoimisissa reaktoreissa massa liikkuu tulppavirtauksena. Tulppavirtauksen etuna on ettei reaktorin sisällä tarvita mekaanisia laitteita (Anonyymi 2000). Kuitenkin on tärkeää varmistaa jätteen homogeenisuus sekä riittävä ympin määrä, minkä takia käsiteltävää materiaalia yleensä kierrätetään reaktorissa (Mace ym. 2005).

Kolme yleisintä jatkuvatoimista kuivaprosessia teollisuusmittakaavassa ovat Dranco, Kompogas ja Valorga. Vuoden 2004 lopussa Euroopassa oli 19 Kompogas- laitosta, 6 Dranco- laitosta ja 11 Valorga- laitosta. Lisäksi 8 Kompogas-, 7 Dranco- ja 3 Valorga- laitosta oli suunnitteilla. Lähes kaikki täydenmittakaavan laitokset ovat termofiilisiä lukuun ottamatta muutamaa Valorgan mesofiilistä laitosta (Anonyymi 2000, Anonyymi 2005a).

Jatkuvatoimisissa kuivaprosesseissa reaktoreiden sisällä ei ole liikkuvia osia ja prosessien tarvitsema lämpöenergia sekä veden tarve on vähäinen verrattuna märkäprosesseihin (taulukko 4) (Vandevivere ym. 2003).



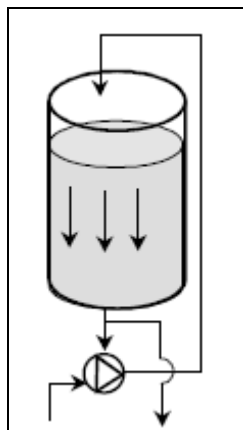
Taulukko 4. Yksivaiheisen jatkuvatoimisen kuivaprosessin edut ja haitat (Vandevivere ym. 2003)

<b>kriteerit</b>	<b>edut</b>	<b>haitat</b>
<b>tekninen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ei liikkuvia osia reaktorissa</li> <li>· muoveja ei tarvitse poistaa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· märkää jätettä (&lt; 20 % TS)</li> <li>ei voi käsitellä yksinään</li> </ul>
<b>biologinen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· vähäiset VS häviöt esikäsitelyssä</li> <li>· korkea kuormitus</li> <li>· inhibiittoreiden lyhytaikainen ja hajaantunut esiintyminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· inhibiittoreita ei voida laimentaa vedellä</li> </ul>
<b>taloudellinen ja ympäristö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· pienet reaktorit</li> <li>· täysin hygieeninen</li> <li>· vähäinen veden tarve</li> <li>· pieni lämmön tarve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· järeät ja kalliit jätteiden käsittelylaitteet</li> </ul>

Biokaasuprosessissa käsiteltäessä erittäin kuivia materiaaleja eri faasit saattavat kerrostua siten, että kelluva aines jää pinnalle ja raskaampi aines laskeutuu pohjalle vesipitoisen kerroksen jäädessä väliin. Esimerkiksi Dranco prosessissa kerrostuminen on estetty siten, että käsiteltävä materiaali liikkuu painovoiman avulla ylhäältä alas (Anonyymi3).

#### 4.2.1 Dranco- prosessi

Dranco prosessissa tuore käsiteltävä materiaali syötetään reaktorin yläosaan ja reaktorin pohjalta pumpataan sekaan jo käsiteltyä massaa (kuva 7). Seosten suhde on yksi osa tuoretta jätettä ja kuusi osaa käsiteltyä jätettä. Prosessiin syötettävän materiaalin (20 - 50 % TS) lämpötila nostetaan noin 50 °C:een ennen reaktoria höyryn avulla. Prosessin viipymä on 20 - 30 päivää ja biokaasun tuotto 80 - 120 m<sup>3</sup>/t syötetty. Käsitelyjäännös poistetaan reaktorin pohjalta kuivaukseen jonka jälkeen se kompostoidaan (Anonyymi 2005a, Anonyymi 2000, Vandevivere ym. 2003).



Kuva 7. Dranco prosessin toimintaperiaate (Vandevivere ym. 2003)

#### 4.2.1.1 Dranco-prosessin esimerkkilaitoksia

Dranco esimerkkilaitoksina tarkastellaan Aarbergin, Kaiserlautenin ja Brecht II laitoksia (taulukko 5). Aarbergin laitoksessa ja Sveitsin toisessakin Dranco- laitoksessa on ollut tukkeutumisongelmia. Tukkeutuminen näyttäisi olevan riski laitoksissa, joissa reaktorin halkaisija on suuri verrattuna sen korkeuteen (Edelmann & Engeli 2005).

Dranco-laitoksissa esikäsittelyä on syötettävän jättemateriaalin koon pienentäminen mekaanisesti, seulomalla tai murskaamalla, jonka jälkeen yleensä metallit erotetaan magneettierottimella. Materiaalin koko on alle 40 mm seulonnan jälkeen. Ennen kuin materiaali syötetään reaktoriin, se kuumennetaan höyryllä. Lisäksi Kaiserslautenin reaktoria lämmitetään vesikiertojärjestelmällä (Anonyymi3, Anonyymi 2005a, Euroopan komission energiasivut, Williams & Vincent 2004).

Brecht-laitoksen metaanintuotto puutarha-, bio- ja paperijätteistä (75 % puutarhajätettä) on 0,26 l/g VS ja syöttömateriaalin kuiva-ainepitoisuus on 40 % TS (Williams & Vincent 2004). Kaiserslautenin laitoksen biokaasun tuotto lajitellusta yhdyskuntajätteestä on 95 - 287 m<sup>3</sup>/t<sub>syötetty</sub>. (Euroopan komission energiasivut). Aarbergin laitoksen biokaasun tuotto biojätteestä on 80 - 150 m<sup>3</sup>/t (Anonyymi 2005a).

Laitosten käsittelyjäännöksestä erotetaan yleensä vesi esimerkiksi ruuvipuristimella. Ruuvipuristimen jälkeen materiaalin kuiva-ainepitoisuus on noin 50 % Kaiserlautenin laitoksessa. Ruuvipuristimella erotettu vesi sentrifugoidaan, haihdutetaan ja happopestään (Euroopan komission energiasivut). Aarbergin laitoksen käsittelyjäännös johdetaan puristimen jälkeen kuivaukseen (Anonyymi 2005a).

Taulukko 5. Dranco- laitosten tietoja (Anonyymi 2005a, Edelmann & Engeli 2005, Euroopan komission energiasivut, Williams & Vincent 2004)

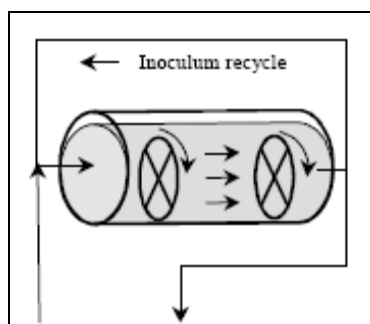
laitoksen sijainti	käynnistysvuosi	jäte	jättemäärä t/a	viipymä d	prosessi	biokaasun tuotto m <sup>3</sup> /t
Aarberg Sveitsi	1999	biojäte	785*	18 - 24	termofiilinen	80 - 150
			11000 kapasiteetti			
Kaiserslauten Saksa	1999	harmaa jäte	20 000	20 - 30	termofiilinen	95 - 287
Brecht II Belgia	2000	biojäte, paperijäte, puutarhajäte	55 000	20	termofiilinen	100 - 120

\* vuoden 2004 määrä, laitos osan aikaa pois käytöstä

#### 4.2.2 Kompogas- prosessi

Kompogas- prosessissa massan tulppavirtaus tapahtuu vaakatasossa sylinterimäisessä reaktorissa. Liikettä edistää hitaasti pyörivä propelli reaktorin sisällä, mikä samalla sekoittaa ja homogenisoi massaa (kuva 8). Prosessissa TS:n on oltava lähellä 23 %. Pienemmällä arvolla raskaat partikkelit kuten hiekka ja lasi laskeutuvat ja kertyvät reaktorin pohjaan, kun taas materiaalin suurempi TS aiheuttaa ylimääräisen virtausvastuksen. Syötettävä materiaali yleensä murskataan ja muovit, lasit sekä metallit poistetaan, jonka jälkeen materiaali

seulotaan. Osa käsitellystä materiaalista kierrätetään ympäriin tuoreen raakamateriaalin joukkoon. Syötettävä massa lämmitetään lämmönvaihtimella. Käsitteilyjäännös yleensä kuivataan ruuvipuristimella (Anonyymi 2005a, Edelmann & Engeli 2005, Vandevivere ym. 2003).



Kuva 8. Kompost reaktorin toimintaperiaate (Vandevivere ym. 2003)

#### 4.2.2.1 Kompost-prosessin esimerkkilaitoksia

Kompost esimerkklaitoksina tarkastellaan Sveitsissä sijaitsevia laitoksia, joita vuoden 2005 lopussa oli seitsemän. Vanhin laitos eli Rumlagenin laitos käynnistyi vuonna 1992. Kompost reaktoreista kolme on tehty betonista ja muut teräksestä. Aikaisemmin reaktorit sijaitsivat rakennuksissa. Nykyään reaktorit ovat ulkona ja esi- ja jälkikäsitteilylaitteet halleissa, jotka on varustettu biosuodattimella (Edelmann & Engeli 2005).

Reaktorin vaakasuoramalli näyttäisi estävän tukkeutumista ja laskeutumista. Biokaasun tuotanto on  $90 - 150 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{syötetty}}$  (taulukko 6). Kompost-laitoksen optimikuormitus on noin  $12 \text{ kg VS}/\text{m}^3 \text{ d}$ , kun TS on 30 %. (Edelmann & Engeli 2005). Keskimääräinen viipymä on 15 - 18 päivää (Anonyymi 2004).

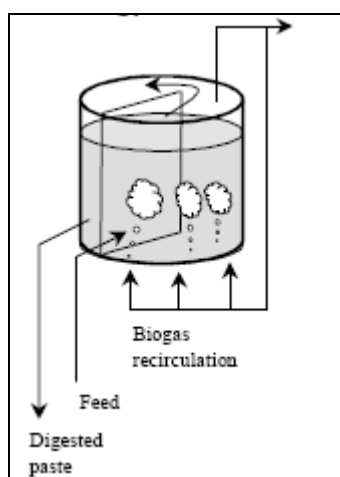
Käsitteilyjäännöksestä erotetaan neste, jonka jälkeen jäännös jälkikompostoidaan aerobisesti muutaman viikon ajan riippuen halutusta kompostilaadusta. Ravinnerikas nestejäte käytetään maan parannusaineena (Edelmann & Engeli 2005).

Taulukko 6. Sveitsin kolmen Kompost- laitoksen tietoja (Edelmann & Engeli 2005)

laitos	käynnistys- vuosi	jäte	jäte- määrä t/a	viipymä d	prosessi	kaasuntuotto $\text{m}^3/\text{a}$
Rumlag	1992	bio- ja puutar- hajäte	8 460	15 - 18	termo- fiilinen	123 831
Otelfingen	1996	biojäte	13 814	15 - 18	termo- fiilinen	1 639 904
Oetwil am See	2001	biojäte	10 366	15 - 18	termo- fiilinen	1 192 000

### 4.2.3 Valorga- prosessi

Valorga- prosessissa on betoninen sylinterimäinen reaktori, jossa materiaalin TS on noin 30 %. Reaktorin sisäseinä on 2/3 reaktorin halkaisijasta jakaen reaktorin kahteen osaan. Syötettävä materiaali lisätään reaktorin pohjalle sisäseinän toiselle puolelle ja materiaalin täytyy siirtyä seinän toiselle puolelle poistuakseen reaktorin pohjalta (kuva 9). Sisäseinä pakottaa käsiteltävän materiaalin liikkumaan ja samalla taataan, että materiaali viipyy vähintään 3 viikkoa reaktorissa. Prosessissa sekoitus tapahtuu johtamalla pneumaattista biokaasua injektiosuutinpohjaverkon kautta molemmiin puolin sisäseinää mikä aiheuttaa pysytysuuntaista sekoittumista. Sekoitus tapahtuu joka 15 minuutti. Kaasujektioilaitteisto saattaa tukkeutua. Suurin osa laitoksista on mesofiilisiä (Anonyymi 2004, Kottner 2002, Williams & Vincent 2004).



Kuva 9. Valorga- prosessin toimintaperiaate (Vandevivere ym. 2003)

#### 4.2.3.1 Valorga-prosessin esimerkkilaitoksia

Valorgan esimerkkilaitoksina tarkastellaan Genevan, Tilburgin, Amiensin ja Bassano del Gapan laitoksia. Ensimmäinen kuivafermentaatiolaitos kaupallisessa mittakaavassa oli Valorgan laitos Amiens (Singh 2002).

Valorgan laitoksissa käsitellään biojätteitä, muita orgaanisia yhdyskuntajätteitä (paperi ja kartonki), puutarhajätteitä sekä jätevesilietteitä (taulukko 7). Syötettävän materiaalin esikäsitteilyä on yleensä materiaalin seulonta, lajittelu ja murskaus riippuen laitoksesta. Syötettävä materiaali (40 - 60 % TS) laimennetaan vedellä noin 30 % TS:een ennen reaktoria. Käsitelyjäännöksestä erotetaan yleensä netse ja kiintoaines esim. ruuvipuristimella, jonka jälkeen kiintoaines jälkikompostoidaan aerobisesti. Laimennuksessa voidaan käyttää käsitelyjäännöksestä erotettua nestettä. Käsitelyjäännöksen nesteosa voidaan myös jatkokäsitellä. Esimerkiksi Tilburgin laitoksessa nestemäisestä osasta poistetaan hiekka hydrolyyk-

lonissa ja kiintoaines suodatusyksikössä, jonka jälkeen neste johdetaan jätevedenpuhdistamoon (Anonyymi 2004, Cecchi ym. 2005, Fruteau de Laclos 1997, Singh, 2002).

Laitosten biokaasuprosessien viipymät vaihtelevat 18 - 55 päivien välillä käsiteltävän jätteen laadun mukaan ja vuoden ajan mukaan. Esimerkiksi Tilburgin laitoksessa talvella syötettävä jäte on pääasiassa ruokajätettä ja kesällä puutarhajätettä (taulukko 7). Biokaasun tuotto bio- ja puutarhajätteestä on 80 - 90 m<sup>3</sup>/t, biojätteestä ja vähäisestä määrästä kartonkia 104 - 112 m<sup>3</sup>/a sekä bio- ja kartonkijätteestä 112 - 136 m<sup>3</sup>/t ja orgaanisesta yhdyskuntajätteestä 112 - 144 m<sup>3</sup>/t (Anonyymi 2005a, Fruteau de Laclos 1997).

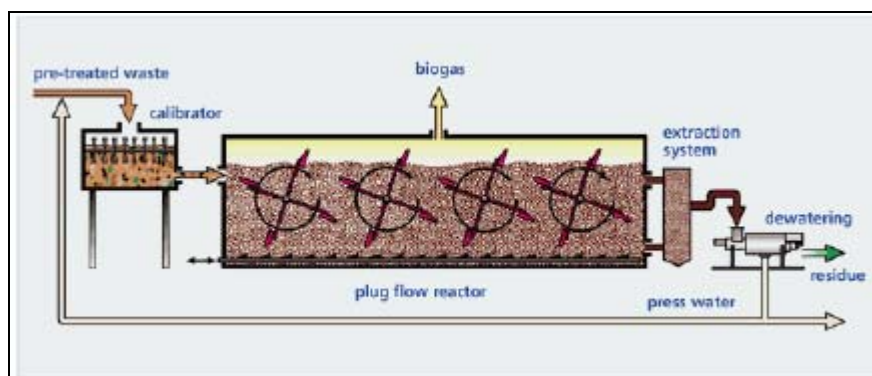
Taulukko 7. Valorga- laitosten tietoja (Anonyymi 2005a, Cecchi ym. 2005, Fruteau de Laclos 1997, Rajv, 2002)

laitos	käynnistysvuosi	jäte	jättemäärä t/a	viipymä d	prosessi	kaasuntuotto m <sup>3</sup> /t
Amiens, Ranska	1988	orgaaninen yhdyskuntajäte	85 000	18 - 22	mesofiilinen	125
Tilburg, Alankomaat	1994	bio- ja puutarhajäte	52 000	20 - 55	mesofiilinen	80 - 85
Geneva, Sveitsi	2000	bio- ja puutarhajäte	11 000 <sup>1</sup>	30	termofiilinen	110 - 120
Bassano del Gappa, Italia	2004	orgaaninen yhdyskunta- ja biojäte, jätevesiliete	52 000	33	mesofiilinen	129

<sup>1</sup> mitoitusarvo

#### 4.2.4 Linde- prosessi

Linde kuivaprosessissa käsitellään materiaalia jonka TS on 15 - 45 %. Prosessi soveltuu bio-, puutarha- ja paperijätteille. Reaktorissa sekoitus tapahtuu poikittaisilla siivillä sekä lattia on liikkuva. Prosessissa kierrätetään vain nestemäistä jaetta, jolloin tarvittavan ympin määrä on pienempi ja viipymä (HRT) vähän pidempi verrattuna muihin prosesseihin (kuva 10) (Anonyymi 2004, Anonyymi 2005a)



Kuva 10. Linde-prosessin periaate (Anonyymi 2004)

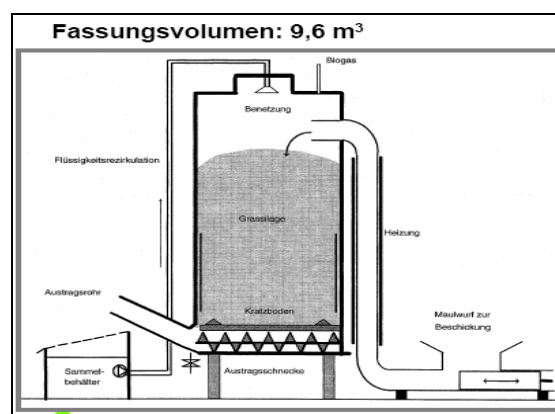
#### 4.2.4.1 Linde-prosessin esimerkkilaitos

Linde kuivaprosessilaitoksia on Euroopassa mm. Saksassa, Sveitsissä ja Espanjassa. Laitoksissa käsitellään bio-, puutarha- ja teollisuusjätteitä. Prosesseissa on sekä termofiilisiä että mesofiilisiä. Vuoden 2004 lopussa laitoksia oli 5 kappaletta ja suunnitteilla kaksi (Anonyymi 2004, Anonyymi 2005a).

Laitoksissa esikäsitteilyä voi olla esimerkiksi jätteen koon pienentäminen ruuvimyllyssä, kuten Lemgo- laitoksessa. Esikäsitteilyn aikana tapahtuu samalla anaerobista hydrolyysiä 2 - 4 päivän aikana. Kuivaprosessin viipymä on noin 21 päivää, jonka jälkeen käsittelyjännös (> 45 % TS) erotetaan nestejakeesta (20 % TS). Nestejakeetta kierrätetään laimentamaan tulevaa jätettä ja kostuttamaan kompostointimaata. Käsittelyjännös kompostoidaan noin 30 päivää. Kompostoitu käsittelyjännös voidaan käyttää maanparannukseen (Anonyymi 2004, Mace 2005).

#### 4.2.5 Anacom- prosessi

Anacom- prosessi on jatkuvatoiminen kuivaprosessi yli 15 % TS materiaaleille (Anonyymi 2003). Syötettävä materiaali syötetään mäntäpuristimella lämmitettyä putkea pitkin reaktoriin. Käsittely materiaali poistetaan reaktorin alaosasta ruuvikuljettimella (kuva 11).



Kuva 11. Anacom- prosessin periaate (Mitterleitner 2004)

### 4.3 Kaksi- ja monivaiheiset jatkuvatoimiset prosessit

Kaksi- tai monivaiheisessa kuivaprosessissa materiaali käsitellään kahdessa tai useammas- sa reaktorissa. Jokainen reaktori käsittelee jätettä tietyssä vaiheessa hajoamisprosessia. Euroopassa ainoa täysmittakaavan monivaiheinen laitos on ROM- prosessi Sveitsissä (Anonyymi 2004). ROM- laitos käsittelee yhden hydrolyysisäiliön ja kolme termofiilistä sarjaprosessireaktoria. Reaktorit on liitetty toisiinsa ympin kierrätyksellä. Hydrolyysivaiheen jälkeen tuore jäte pumpataan metanogeneesi reaktoreihin. Laitos pystyy käsittelemään nestemäisestä materiaalista aina 35 % TS:een (Edelmann & Engeli 2005).

Kaksivaiheisen jatkuvatoimisen kuivaprosessin ensimmäisessä vaiheessa optimoidaan olo- suhteet hydrolyysi- ja asidogeneesireaktioille, joita yleensä rajoittaa selluloosan hydrolyysi. Toisessa vaiheessa optimoidaan olosuhteet asetonogeneesille ja metanogeneesille, joita

rajoittaa mikrobien kasvu. Monivaiheisessa prosessissa on mahdollista kasvattaa hydrolyysin osuutta mikroaerofiilillä olosuhteilla. Tällöin sallitaan minimaalinen määrä ilmaa, jotta organismit saadaan hajottamaan ligniiniä, mikä tekee selluloosan hydrolyysivaiheessa saatavaksi (Williams & Vincent 2004).

Kaksivaiheisen kuivaprosessin suurin etu verrattuna yksivaiheiseen prosessiin on prosessin suurempi biologinen toimintavarmuus etenkin hyvin hajoaville jätteille, kuten vihanneksille ja hedelmille (taulukko 8). Toimintavarmuus saavutetaan mm. tulevan jätteen riittävällä sekoittamisella (Vandevivere ym. 2003).

Kaksivaiheiset kuivaprosessit jaetaan toisen vaiheen reaktorin biomassan mukaan BRV prosessiin ja bioperkolaatioprosessiin (Vandevivere ym. 2003).

Taulukko 8. Kaksivaiheisen jatkuvatoimisen kuivaprosessin etuja ja haittoja verrattuna yksivaiheiseen jatkuvatoimiseen kuivaprosessiin (Vandevivere ym. 2003).

<b>kriteerit</b>	<b>edut</b>	<b>haitat</b>
<b>tekninen</b>	· joustava suunnittelu	· monimutkainen
<b>biologinen</b>	· toimintavarmempi selluloosaa vähän sisältävälle keittiöjätteelle	· pienempi biokaasutuotto
<b>taloudellinen ja ympäristö</b>	· vähemmän raskasmetalleja tuotteessa (kiintoainetta ei käsitellä metaanivaiheessa)	· suuremmat investoinnit

### 4.3.1 BRV- prosessi

BRV- kuivaprosessissa on kaksi tulppavirtausreaktoria sarjassa. Kuivaprosessiin syötettävän syntypaikkalajitellun biojätteen (34 % TS) hydrolyysivaihe tapahtuu mikroaerofiilissä olosuhteissa ja kestää noin kaksi päivää, jonka jälkeen jäte pumpataan vaakasuoraan tulppavirtaus metaanireaktoriin. Metaanivaihe kestää 25 päivää lämpötilassa 55 °C (massa 22 % TS) (Vandevivere ym. 2003).

Prosessin etuina ovat kuivat olosuhteet, mikä pienentää reaktorin kokoa ja reaktorissa jätteen tulppavirtaustapa mahdollistaa tehokkaamman hygienisointumisen verrattuna perinteisiin märkäprosesseihin. Raskaiden materiaalien laskeutuminen pohjalle ja kuorikerroksen muodostuminen reaktorissa estetään lattiakaapimilla, jotka sekoittavat jätettä (Vandevivere ym. 2003).

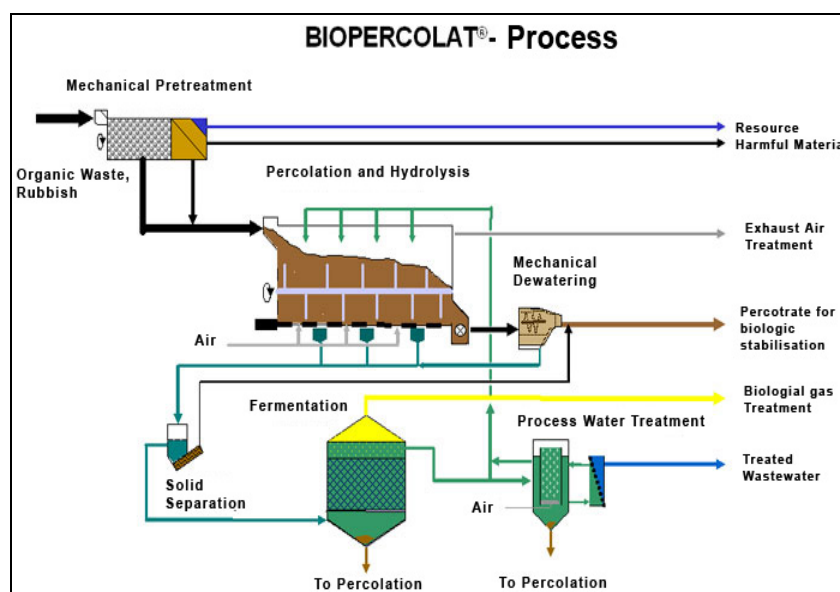
### 4.3.2 Bioperkolaatioprosessi

Bioperkolaatioprosessi on suunniteltu käsittelemään kaikkia yhdyskuntajätteitä eikä pelkästään syntypaikkalajiteltuja orgaanisia jätteitä. Bioperkolaatioprosessi on mekaanis-biologinen mesofiilinen prosessi, jossa prosessin alussa epäorgaaniset materiaalit erotetaan mekaanisesti. Orgaanisen jakeen hydrolyysivaihe tapahtuu perkolaattorissa osaksi aerobisissa olosuhteissa. Hydrolyysivaiheen viipymä on 2 - 3 päivää. Hydrolyysivaiheessa suodattava neste ja ruuvipuristimella erotettu nesteosa kiintoaineesta syötetään UASB- reaktoriin, jonka viipymä on 4 - 5 päivää. Erotettu kiintoaineseos kompostoidaan. Koko prosessin viipymä on noin seitsemän päivää (Anonyymi 2005a, Williams & Vincent 2004).

Prosessi toimii nopeammin verrattuna yksivaiheiseen tai kaksivaiheiseen jatkuvatoimiseen anaerobiseen märkäprosessiin. Aerobinen hydrolyysivaihe vähentää orgaanista hajoamis-aikaa huomattavasti. Prosessin viipymää lyhentää myös se, että vain nestemäinen jae käsitellään anaerobisesti (Anonyymi 2000).

#### 4.3.2.1 Bioperkolaation esimerkkilaitoksia

Kahlenburgin demonstraatiolaitoksen valmistaja on Wehrle Werk. Laitos käsittelee lajittelematonta kiinteää yhdyskuntajätettä, joka sisältää mm. bio- ja puutarhajätteitä, 20 000 tonnia vuodessa tuottaen biokaasua 70 - 80 m<sup>3</sup>/t<sub>syötetty</sub>. Metaaninpitoisuus on noin 70 % (kuva 12). Kahlenbergiin on suunnitteilla täysmittakaavanlaitos käsittelemään kaupungin kaikki yhdyskuntajätteet (Anonyymi 2005a).



Kuva 12. Bioperkolaation prosessikaavio (Anonyymi 2005a)

Toinen vastaavanlaisen mesofiilinen bioperkolaatioprosessin valmistaja on ISKA. Iskalla on Buchenin demonstraatiolaitos Saksassa, mikä käsittelee lajittelematonta yhdyskuntajätettä 30 000 t/a. Laitos tuottaa biokaasua 50 m<sup>3</sup>/t. Buchenin laitosta ollaan laajentamassa ja suunnitteilla on kaksi muuta laitosta (Anonyymi 2005a).

Demonstraatiolaitoksen esikäsittelynä on rumpuseula, joka poistaa syötettävästä materiaalista mm. muovit, paperit ja tekstiilit. Magneettierottimen jälkeen orgaanista jätettä syötetään jatkuvasti teräksestä valmistettuun vaakasuora sylinterimäiseen perkolaatioreaktoriin, jossa on hydraulinen kaavin (kuva 13). Käsiteltävä materiaali vuorotellen kastellaan lämpimällä vedellä, ilmastetaan ja jaksoittain sekoitetaan. Lämmin neste lisätään ylhäältä ja poistetaan seulojen läpi reaktorin pohjalta. Suodattuvasta nesteestä erotetaan hiekka ja hienoinen (Anonyymi 2005a ja Anonyymi 2004).





Kuva 13. Perkolaatioreaktori sisältä (Anonyymi 2004)

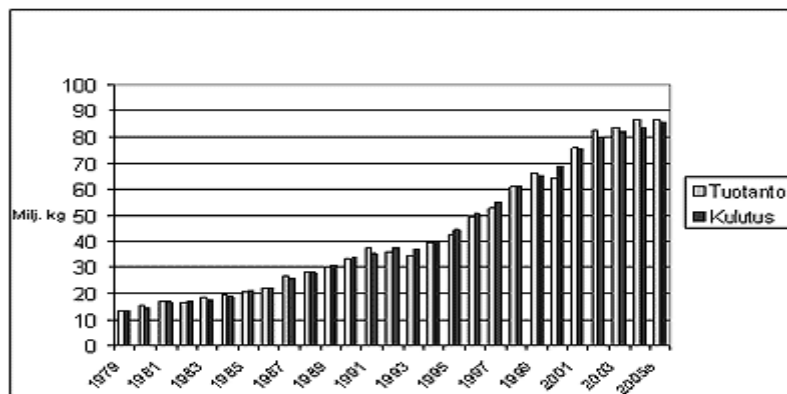
Hydrolyysivaihe perkolaatioreaktorissa kestää noin kaksi päivää. Perkolaatioreaktorissa syötetyn raakajätteen painon vähenemä on noin 70 %. Erotettu nestejäte johdetaan anaerobiseen yksikköön. Perkolaatioreaktorin jäännös kompostoidaan ruuvipuristimen jälkeen. Ruuvipuristimen jälkeen materiaali (60 % TS) on kuivempaa mitä alkuperäinen tuore jäteaines (50 % TS). Koko prosessin viipymä on viisi päivää ja tuotetun biokaasun määrä on samansuuruinen kuin kuivassa yksivaiheisessa 20 päivän viipymän prosessissa (Anonyymi 2005a ja Anonyymi 2004).

## 5 SIIPIKARJA JA SIIPIKARJAN LANTA

Siipikarja jaetaan broilereihin, kalkkunoihin, kanoihin ja muihin erikoislintuihin. Siipikarja ja siipikarjan lantaosassa käsitellään siipikarjan tuotantoa Suomessa, siipikarjan lannan ominaisuuksia, ammoniakki-inhibiotta siipikarjan lannan anaerobisessa käsittelyssä sekä siipikarjan lannan anaerobisia tutkimuksia.

### 5.1 Siipikarjan tuotanto Suomessa

Suomessa siipikarjanlihan tuotanto on lisääntynyt kasvaneen kysynnän myötä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana siipikarjanlihan tuotanto ja kulutus ovat kaksinkertaistuneet. (kuva 14) (Siipikarjaliitto 2000).



Kuva 14. Siipikarjanlihan tuotanto ja kulutus Suomessa vuosina 1979 - 2005 (Siipikarjaliitto 2000)

Vuonna 2004 broilerikasvattamoita oli 270 kappaletta, joista 48 % oli 20 000 - 59 999 yksikön tiloja (taulukko 9). Lintujen lukumäärä kasvattamossa määräytyy tilan, eläinten kasvatusajan ja vuodenajan mukaan (Siipikarjaliitto 2000).

Taulukko 9. Broilerikasvattamoiden kokojakauma vuonna 2004. (Siipikarjaliitto 2000)

	alle 20 000	20 000 - 59 999	60000 - 79 999	80 000-
tiloista, %	26	48	22	4
kasvatuspaikoista, %	9	44	35	12
tiloja, kpl	53	102	46	9
keskimääräinen eläinmäärä	14 877	35 807	62 457	110 322

Lihasiipikarjaa kasvatetaan kasvatushalleissa lattiakasvatuksena. Lattiakasvatuksessa lintu nukkuvat, kylpevät, syövät ja juovat omia tarpeitaan ja päivärytmiään noudattaen. Kasvattamoissa luonnollisen kuoleman osuus on 2 - 3 %, mikä on korkeimmillaan kahden ensimmäisen viikon aikana (Siipikarjaliitto 2000, Salminen & Rintala 2002). Kasvatushallin lattialla on turvetta tai kutterinlastua. Erityisesti broilereilla käytetään turvetta, jonka hyviä ominaisuuksia ovat hyvä vedenpidätyskyky ja alhainen pH. Alhainen pH estää bakteerien kasvua kuivikkeessa. Turvelajeista kuivikkeeksi soveltuu parhaiten vähän maaton turveturpe. Kutterin etuna on valoisuus (Siipikarjaliitto 2000).

Kuivike levitetään tasaisesti lattialle ennen untuvikkojen saapumista noin 2 - 5 cm:n kerros broilereille ja kalkkunoille noin 4 - 5 cm:n kerros. Kuiviketta hoidetaan kääntämällä ja lisäämällä sitä tarvittaessa. Kuivikkeen kastuessa se poistetaan ja korvataan uudella (Siipikarjaliitto 2000).

Siipikarjakasvattamoissa syntyvä lanta on kiinteää ja kuivaa. Lantaa säilytetään yleensä lantalassa, joka on mitoitettu vuoden lantamäärälle. Lannan käyttö, levitysmäärä sekä levitystapa on ohjeistettu. Yleensä lanta käytetään pellon orgaanisena lannoitteena tai se myydään jatkojalostukseen, esimerkiksi kasviravinnetuotantoon tai kukkamullan valmistukseen (Siipikarjaliitto 2000).

## 5.2 Siipikarjan lanta

Siipikarjan tuotanto tuottaa jätettä mikä sisältää mm. kuivalantaa, munankuoria sekä kuolleena syntyneitä ja kasvatuksen aikana kuolleita lintuja. Siipikarjan kuivalanta sisältää kuona-aineita, turvetta tai puulastuja. Lannantuotto on noin 2 kg/broileri. Viljavuuspalvelu Oy on koonnut suomalaisen kanan kuivalannan koostumuksen tutkimustuloksia vuosilta 2000 - 2004 (liite 1). Tulosten perusteella kokonaistypen pitoisuus tuoreessa lannassa on keskimäärin 16,8 kg/t. Lannan ominaisuudet voivat muuttua huomattavasti riippuen siitä miten kauan se viipyy lattialla tai varastotilassa. Siipikarjan lannan typpipitoisuus kasvaa kun lannan hajoaminen etenee. Esimerkiksi virtsahappo voi hajota ammoniakiksi ja haihtua kuivalannasta (Salminen & Rintala 2002).

Siipikarjan tuorelannan ja kuivalannan koostumus vaihtelevat kemiallisesti, johtuen mm. eri lintulajeista, lintujen kuolleisuudesta, ruokinnasta, kuivikemateriaalin koostumuksesta ja muista hoitoon liittyvistä tekijöistä. Esimerkiksi muualla kuin Suomessa jotkut kasvattajat kasvattavat yhtä laumaa kun taas toiset kasvattavat neljää tai useampaa broilerin laumaa ennen kuin ottavat käyttöön uutta kuivikemateriaalia (Adams ym. 2002). Suomessa pääasi-

allinen kuivikemateriaali on turve. Muissa maissa siipikarjan lannan kuivikkeena käytetään myös olkia, sahanpurua, puulastuja, revittyä paperia, maanpäähkinän tai riisin kantoja, kuoria/palkoja ja puukuoria (Kelleher ym. 2001).

Siipikarjan lanta sisältää vettä, hiiltä, typpeä, fosforia, klooria, kalsiumia, magnesiumia, natriumia, magnesiumia, rautaa, kuparia, sinkkiä ja arseenia. Lannalla on korkea lannoituksellinen arvo ja sitä käytetäänkin maanparannusaineena. Kuitenkin lannan liikakäyttö maanparannusaineena voi aiheuttaa mm. ravinteiden rikastumista, vesistöjen rehevöitymistä, patogeenien leviämistä, ilman saastumista ja kasvihuonekaasupäästöjä (Kelleher ym. 2001).

Siipikarjan kuivalanta sisältää suuremman määrän biohajoavaa orgaanista ainesta kuin minkään muun eläimen lanta. Siipikarjan lanta sisältää myös paljon orgaanista typpeä johdun korkeista proteiini- ja aminohappomääristä. Tuoreessa lannassa typpeä on 60 - 80 % orgaanisessa muodossa kuten ureana ja proteiineina. Riippuen vallitsevista ympäristöolosuhteista, iso osa orgaanisesta tpeestä (40 - 90 %) muuttuu ammoniakiksi vuoden kuluessa. Ammoniakki on joko kaasuna ( $\text{NH}_3$ ) tai ionisoituneena ammoniumina ( $\text{NH}_4^+$ ). Kaasumainen ammoniakki voi haihtua ilmakehään, kun taas  $\text{NH}_4^+$  voi muuttua mikro-organismien kautta nitraatiksi (nitrifikaatio) (Kelleher ym. 2001).

### 5.3 Ammoniakki-inhibitio siipikarjan lannan anaerobisessa käsittelyssä

Ammoniumtyypen pitoisuus kasvaa huomattavasti siipikarjan lannan anaerobisen käsittelyn aikana, kun osa orgaanisesta tpeestä muuttuu ammoniumtyypeksi. Osa anaerobisista mikro-organismeista voi käyttää ammoniumia hyväkseen, mutta ylimääräinen ammoniumtyyppi voi inhiboida orgaanisen aineen hajoamisessa haihtuvien rasvahappojen tuotantoa tai metanogeneesia. Lisäksi ammoniumtyyppi nostaa pH:ta johtaen käsittely-, varastointi- ja hajoamisongelmiin (Kelleher ym. 2001).

Ammoniakki-inhibition estämiseksi yksi vaihtoehto on laimentaa materiaali TS- pitoisuuteen 0,5 - 3,0 %, jolloin myös ammoniakkipitoisuus pienenee. Laimentaminen kasvattaa kuitenkin käsiteltävän materiaalin määrää ja voi tehdä toiminnan taloudellisesti kannattamattomaksi (Kelleher ym. 2001).

Toisena vaihtoehtona ammoniakki-inhibition estämisenä on tutkittu materiaalien anaerobista yhteiskäsittelyä. Anaerobisella yhteiskäsittelyllä voitaisiin alentaa pH:ta sekä tuotettaisiin enemmän biokaasua. Sian ja siipikarjan lantojen anaerobisessa yhteiskäsittelyssä prosessi oli toimintakykyinen (Kelleher ym. 2001). Karjan ja siipikarjan lannan anaerobisessa yhteiskäsittelyssä (7,5 % ja 15 % TS) oli merkkejä ammoniakkin inhibitiosta (Mata-Alvarez 2000).

### 5.4 Siipikarjan lannan anaerobinen käsittely

Siipikarjan lannan käsittelyä yksinään tai yhteiskäsittelynä toisen materiaalin kanssa anaerobisesti on tutkittu eri puolella maailmaa. Tutkimuksia on tehty eri TS-pitoisuuksissa pannonkokein mesofiilisessa märkäprosesseissa.

Jantrania ja White (1985) tutkivat siipikarjan lannan anaerobista käsittelyä laboratoriomittakaavassa kuiva-ainepitoisuudessa 30 - 35 %. Reaktoreissa muodostui rikkivetyä inhiboivalle tasolle aiheuttaen hajoamisen tehokkuuden vähenemistä ja viipymä oli pitkä. Mesofiilisessa märkäprosessissa siipikarjan lannan käsittelyn optimialueeksi on osoittautunut 4 - 6 % TS (Bujoczek 2001).

Siipikarjan lannan anaerobisen prosessin toimivuutta on tutkittu panoskokein tuoreella lannalla ja puoli vuotta anaerobisesti varastoidulla lannalla. Kokeiden kesto oli 17 viikkoa. Panoskokeet tehtiin kuiva-ainepitoisuudessa 5 - 21,7 % TS ympin kanssa ja ilman ymppeä (anaerobisesti mädätetty liete). Näytteissä joissa kuiva-ainepitoisuus oli yli 10 %, ei tuoteta lantaa laimennettu erikseen. Metaanintuotto väheni kun orgaanista kuormitusta reaktorissa kasvatettiin. Kun kuormitus oli yli 80 g VS/kg reaktorin sisältö, niin ammoniakkin ja haihtuvien rasvahappojen pitoisuudet rajoittivat metaanin tuotantoa. Anaerobinen käsittely onnistui vielä 10 % TS lannalla, mutta suuremmilla TS- pitoisuuksilla havaittiin ammoniakki- ja VFA-inhibiitiota (Bujoczek ym. 2000). Reaktorin suorituskykyä on myös yritetty parantaa mm. optimoimalla lämpötilaa, kiintoaineen pitoisuutta, viipymää sekä lisäämällä materiaaliin adsorbentteja ja pinta-aktiivisia aineita (Kelleher ym. 2001).

Kanan lannan mesofiilisista anaerobista yhteiskäsittelyä karjan lannan kanssa on tutkittu panoskokein 21 d viipymällä kuormituksella 3,9 - 5,01 kg VS/m<sup>3</sup>d. Kanan lannan osuuden lisääntyminen (korreloi kuormituksen kasvamista) syötettävässä seoksessa laski VS vähenemää ja metaanintuottoa. Myös inhibiitiota havaittiin. Kuitenkin kanan lanta on osoittautunut parhaaksi lannaksi anaerobiseen yhteiskäsittelyyn karjan lannan kanssa verrattuna muihin eläinlajien lantoihin (Callaghan ym. 2002).

Alankomaissa oli täysimittakaavainen biokaasulaitos tilalla, jossa yhteiskäsiteltiin vuodessa kananlantaa 1970 m<sup>3</sup>, sian lantaa 742 m<sup>3</sup>, liha- ja kalateollisuuden jätevetä 3 326 m<sup>3</sup>. Biokaasun tuotto oli keskimäärin 243 436 m<sup>3</sup>. Maan lainsäädäntö rajoitti lantojen kuljetusta, joten laitos ei tiettävästi ole toiminnassa (Caddet IEA 1994).

## 6 MENETELMÄT

Työn lähtökohtana oli että 60 000 yksikön tilalla muodostuva broilerin kuivalantamäärä käsitellään tilan biokaasulaitoksessa ja mahdollisesti käytetään myös lisämateriaalina joko olkea, heinää tai saostus- ja umpikaivolietettä. Teoreettisessa laskennassa tarkasteltiin biokaasulaitoksen kuivaprosessissa käsiteltävien materiaalien eri määrien vaikutusta syöttöseoksen ominaisuuksiin. Työn lähtöarvoina käytettiin kirjallisuudessa esitettyjä broilerin kuivalannan, oljen, heinän ja lietteen ominaisarvoja (taulukko 10).

Työssä tutkittiin ensin käsiteltävien syöttöseossuhteiden koostumuksia, määriä ja ominaisuuksia. Seossuhteiden ominaisuuksien tarkastelun jälkeen arvioitiin tilakohtaisen esimerkin avulla prosessikuvausta, kuivaprosessin syöttömateriaalien ja käsittelyjäännösten ominaisuuksia, laitoksen operointiparametreja ja taloudellista hyötyä.

### 6.1 Käsiteltävien materiaalien ominaisuudet

Broilerin kuivalanta sisältää 60 % turvetta ja 40 % lantaa (Kylämäki 2005). Broilerin kuivalannan tilavuuspainona käytettiin 550 kg/m<sup>3</sup>, TS- pitoisuutena 50 % ja orgaanisen aineen pitoisuutena 70 % TS- pitoisuudesta. Arvot perustuivat Viljavuuspalvelun tilastoihin ja Suomen Broileryhdistys ry:n tilakyselyihin. Biokaasuntuottopotentialina käytettiin 0,4 m<sup>3</sup>/kg VS, joka oli laboratoriokokeiden tulos (Marttinen ym. 2004) (taulukko 10). Kuivalannassa kokonaistyyppiä on 9,2 kg/m<sup>3</sup> (Viljavuuspalvelu Oy, liite 1), laskennallinen kokonaistyyppi tarkasteltavan tilakoon broilerin kuivalannassa oli noin 3,4 % TS. Kuivalannan C/N suhteena käytettiin 15 (Fry 1973) (taulukko 10).

Olki valittiin lisämateriaaliksi, koska vehnänviljelyn arvioidaan lisääntyvän broilertiloilla. Suorakylvön seurauksena olkimassa joudutaan poistamaan pelloilta, jolloin tila hyödyntää vehnänviljelyksen sivutuotteena syntyvän olkimassan tilan biokaasulaitoksessa. Oljen tilavuuspainona, TS-, VS- pitoisuutena sekä kokonaistyyppi- ja ammoniumtyyppipitoisuutena käytettiin kauran oljen arvoja, koska vastaavia arvoja vehnän oljelle ei ollut saatavilla. Eri viljalajien ominaisarvot ovat tiettävästi samaa suuruusluokkaa. Biokaasun tuotto ja hiilittypisuusuhde ovat vehnän oljen arvoja (taulukko 10). Olkisato on noin 2 t TS/ha (Lehtomäki ym. julkaisematon).

Heinä oli toisena peltoenergiakasvina. Heinää voidaan viljellä energiantuotantoa varten joko tilan viljelyspelloilla tai kesantopelloilla. Myös muuta ruohojätettä voidaan käyttää hyväksi. Heinän TS, VS, C/N, N ja NH<sub>4</sub>N- arvoina käytettiin tuoreen heinäseoksen arvoja (67,5 % timotei, 22,5 % nurminata ja 10 % punapila) Jyväskylän yliopiston kokeellisista tutkimuksista (taulukko 10). Heinäsato on 8 - 11 t TS/ha (Kangas ym 2006). Laskennassa heinäsatona käytettiin 9,5 t TS/ha. Heinän varastotilavuuspainona käytettiin heinäkuivurissa kuivatun eläinten (hevosten) ruoaksi tarkoitettun irttoheinän tilavuuspainoa.

Umpi- ja saostuskaivoliete otettiin tarkasteluun mukaan, koska haja-asutusalueen jäteveden käsittelymääräykset ovat tiukentuneet, jolloin jäteveden käsittelymenetelmänä voisi kysymykseen tulla myös biokaasulaitos. Umpi- ja saostuskaivolietteiden ominaisuusarvot perustuivat kirjallisuuteen (Henze & Ledin 2001) (taulukko 10).

Taulukko 10. Kuivalannan, oljen, heinä ja lietteen ominaisuudet

	kuivalanta	olki	heinä	liete
tilavuuspaino kg/m <sup>3</sup>	550 <sup>a</sup>	40 <sup>d</sup>	1000 <sup>i</sup> 70 <sup>i</sup>	1000 <sup>j</sup>
kuiva-aine TS %	50 <sup>a</sup>	89,6 <sup>e</sup>	25 <sup>e</sup>	1 - 4 % <sup>k</sup> ka 2,5
orgaanisen aineen pitoisuus, VS % / TS	70 % <sup>a</sup>	91 % <sup>e</sup>	93 % <sup>e</sup>	60 % <sup>j</sup>
biokaasun tuottopotentiaali m <sup>3</sup> /kg VS	0,4 <sup>a</sup>	0,44 - 0,48 <sup>f</sup> ka 0,46	0,57 <sup>e</sup>	0,44 <sup>j</sup>
C/N	15 <sup>b,h</sup>	90 <sup>g</sup> , 95 <sup>e</sup> , 150 <sup>h</sup> ka 112	26 <sup>e</sup>	10 <sup>h</sup>
kok. N % kuiva-aineesta	3,6 <sup>c</sup>	0,5 <sup>e</sup>	1,8 <sup>e</sup>	12 <sup>h</sup> virtsan ja ulosteen ka
saostuskaivolietekertymä m <sup>3</sup> /hlö/a				0,227 <sup>k</sup>
umpikaivolietekertymä m <sup>3</sup> /hlö/a				14,6 <sup>k</sup>
ammoniumtyppi % TS	1,76 <sup>c</sup>	0,008 <sup>e</sup>	0,028 <sup>e</sup>	0,4 <sup>k</sup>

<sup>a</sup> Satafood Kehittämisyhdistys ry, <sup>b</sup> laskennallinen arvo, <sup>c</sup> Guerra-Rodríguez ym. 2001, <sup>d</sup> Tuomisto 2005: alkuperäinen lähde Ahokas 1983: Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. Vakola, Tutkimuslaskelma nro 33, <sup>e</sup> Jyväskylän yliopiston tutkimustulos, (oljella kauran arvot), Lehtomäki ym. julkaisematon, <sup>f</sup> Kuusinen ja Valo 1987, <sup>g</sup> Gautam ym. 1996, <sup>h</sup> Fry ym 1979, <sup>i</sup> Lonka 2006, <sup>j</sup> Paavola 2005, <sup>k</sup> Henze ja Ledin 2001

Materiaalien biokaasun tuotot ovat kirjallisuudesta (taulukko 10). Biokaasun metaanipitoisuudeksi oletettiin 65 %. Heinän ja lietteen laskennallinen biokaasuntuotto on laskettu kirjallisuuden metaanin tuotosta. Biokaasun energiasisältöä laskettaessa käytettiin arvoa 6,5 kWh/m<sup>3</sup>. Kokemuseräisesti tiedetään, että todellinen biokaasuntuotto on noin 70 % teo-

reettisesta (Lehtomäki ym. 2005 ), tämä huomioitiin laskettaessa biokaasun (myös orgaanista ainetta kohti) sekä lämpö- ja sähköenergian määriä. Reaktorin lämmitykseen arvioitiin kuluvan noin 10 %, jota laskuissa ei huomioitu.

## 6.2 Käsiteltävien materiaalien määrät ja laskentaperusteet

Broilerin kuivalantaa muodostuu 60 000 yksikön tilalla noin 770 000 kg/a eli 1400 m<sup>3</sup>/a. Vuodessa kasvatuseriä on 6 - 7 kappaletta. Tilalla muodostuva broilerin kuivalanta on tarkoitettu käsitellä kokonaan kuivaprosessissa. Lisämateriaaleina tarkastellaan olkea, heinäseosta sekä saostus- ja umpikaivolietettä. Seossuhteina tarkasteltiin kuivalannan ja oljen, kuivalannan ja heinän sekä kuivalannan ja lietteen seoksia. Laskennallisessa tarkastelussa kuivalannan määrä seoksessa pysyi samana koko ajan ja seokseen lisättiin lisämateriaalia 10 - 80 % kuivalannan märkäpainosta. Tarvittava lisämateriaalin määrä (t) arvioitiin vastaamaan heinän ja oljen tuotannon peltopinta-alaa (ha) sekä lietemäärän osalta kotitalouksien määrää (taulukko 11).

Taulukko 11. Lisämateriaalien osuus kuivalannasta sekä tarvittava peltopinta-ala tai talouksien lukumäärä

lisämateriaalin määrä t	%-osuus kuivalannan painosta,	olki, peltopinta-ala, ha	heinä, peltopinta-ala, ha	talous, lietemäärä, kpl
77	10	35	2,0	1,8
154	20	70	4,1	3,5
231	30	105	6,1	5,3
308	40	140	8,1	7,0
385	50	175	10,1	8,8
462	60	210	12,2	10,5
539	70	245	14,2	12,3
616	80	280	16,2	14,1

Biokaasuprosessin syöttöseossuhteista laskettiin kuiva-aineen (TS %) ja orgaanisen aineen pitoisuus (VS), hiili-typpisuhde (C/N-suhde), kokonaistypen osuus seosmassan kuiva-aineesta (kok. N % TS), ammoniumtypenpitoisuus (NH<sub>4</sub>N) ja muodostuvan biokaasun määrä ja sen energiasisältö (liitteet 2 - 6). Tulokset esitettiin graafisesti ja tuloksia verrattiin pelkän kuivalannan vastaaviin arvoihin sekä energiasisältöjä tilan lämpö- ja sähköenergian tarpeeseen. Käynnistysvaiheessa tarvittavan ympin aiheuttamaa vaikutusta laskettiin ominaisuuksiin ei ole huomioitu, koska käynnistettäessä laitosta, ympin tuodaan laitokseen ulkopuolelta, mutta myöhemmin käsittelyjäännöstä voidaan käyttää käynnistämään prosessi.

Energiasisällöistä laskettiin lämpöenergian tuotto käyttäen 90 % hyötysuhdetta. CHP -yksikön lämmön ja sähkön yhteistuottoa arvioitiin hyötysuhteella 85 % (lämpö 50 % ja sähkö 35 %). Tuotettuja lämpö- ja sähköenergioita verrattiin tilan tarpeeseen.

## 6.3 Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitosesimerkin lähtötiedot

Tarkastelun kohteena oli kuivafermentaatioon perustuva biokaasulaitos, joka toteutettaisiin 60 000 yksikön broileritilalle. Työssä oli lähtökohtana se, että biokaasulaitoksessa käsitel-

lään vuodessa tilalla muodostuva kuivalantamäärä (1400 m<sup>3</sup>/a eli 770 000 kg/a) sekä lisämateriaalina joko olkea, heinää tai saostuskaivo- ja/tai umpikaivolietettä.

Tilan viljelypeltoalaksi on oletettu 35 hehtaaria, mikä vastaa keskimääräistä broilertilan peltoalaa (Kylämäki 2005) ja maatilojen viljelyksessä olevaa keskimääräistä peltoalaa (33,3 ha) (Tike 2006). Olkimääräksi valittiin 35 ha sato. Heinämääräksi valittiin 10 ha sato. Talouksien määräksi valittiin 10 kpl, koska se kuvaa pientä kyläaluetta ja silloin myös saostus- ja/tai umpikaivolietteen kuljetusmatkat ja -kustannukset ovat kohtuulliset. Jatkossa saostuskaivo- ja umpikaivolietteestä puhutaan lietteenä.

Tilojen lämpö- ja sähköenergian tarpeen laskelmissa käytettiin tilojen keskimääräisiä kuluksia, jotka on oletettu tasaiseksi läpi vuoden. 60 000 broileryksikön tilan keskimääräiseksi lämpöenergian tarpeeksi arvioitiin 840 000 kWh/a vuodessa ja sähköenergian tarpeeksi 176 000 kWh/a. Tiedot perustuvat Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen kirjanpilotilojen tietoihin (Marttinen ym. 2004).

Materiaalien yhteiskäsittelyllä vaikutetaan seoksen ominaisuuksiin, kuten kuivaainepitoisuuteen ja typpipitoisuuteen sekä tuotetun biokaasun määrään. Muodostuva biokaasu voidaan hyödyntää pelkästään tilan rakennusten ja laitteiden lämmön tuotantoon tai sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Käsittelyjäännös käytetään tilan omilla pelloilla ja lähitilojen pelloilla lannoitteena.

Tässä työssä tilalle valittiin kuivafermentaatiotekniikoista autotallityyppinen panosprosessi, jossa kierrätetään suodattuvaa nestettä (Bekon, Bioferm, Biocell tyyppiset laitokset). Autotallityyppinen panosprosessi valittiin, koska prosessiin syötettävän materiaalin kuivaainepitoisuus voi olla 60 TS % saakka, prosessi on yksinkertainen, helpoimpia toteuttaa tilalla, reaktorin täyttäminen ja tyhjentäminen voidaan suorittaa tilan laitteilla (traktoria) sekä prosessi vaikuttaa soveltuvan erilaisille materiaaleille.

Jatkuvatoimiseen biokaasun tuotantoon tarvitaan vähintään kolme autotallityyppistä panosprosessia. Jos kuivalantaa tai yhteisseoksia halutaan laimentaa vedellä esim. siten, että TS olisi 25 - 30 %, voisivat myös jatkuvatoimiset massan tai nesteen kierrätyksellä olevat prosessit tulla kysymykseen

### 6.3.1 Esimerkilaitoksen suunnittelun perusteet

Kuivalannan ja lisämateriaalien käsittelyjäännöksen laadusta kuivaprosessin jälkeen ei ole kokemusperäistä tietoa. Materiaalin hajoamiseen anaerobisessa olosuhteissa vaikuttavat mm. prosessin viipymä sekä materiaalin laatu. Arvioitiin että noin 30 % syötettävästä materiaalista hajoaisi anaerobisessa kuivaprosessissa. TS vähenemänä käytettiin 50 % ja VS 60 %. Materiaalien kokonaistypen määrä ei muutu kuivaprosessin aikana ja oletettiin että käsittelyjäännöksen kokonaistypestä on muuttunut 20 % ammoniumtypeksi (liite 2). Käsittelyjäännöksen laskennallista hiili-typpisuhdetta ei arvioitu.

Kuivaprosessin viipymäksi arvioitiin 30 päivää. Biokaasulaitoksen oletettiin toimivan 365 päivää vuodessa. Kaasuvaraston tilavuudeksi oletettiin kahden päivän laskennallinen biokaasun tuotto. Reaktorin tilavuuteen lisättiin 20 % kaasutilaa varten. Kuormitus laskettiin reaktorin koko tilavuutta kohti (liite 2). Jälkikaasuuntumisvarastossa jälkikaasun muodostus lasketaan kaasuväestön tilavuuteen mukaan. Tässä sitä ei huomioitu.

Biokaasulaitoksen tuottona laskettiin metaanin tuottoa vastaava säästyneen kevytpolttoöljyn määrän ostohinta käyttäen vuoden 2005 keskimääräistä kevyen polttoöljyn kuluttajahintaa. Kevyen polttoöljyn hinta oli 47,03 snt/l (ALV 0 %) kesälaatua asiakkaan säiliöön

toimitettuna (Öljy- ja kaasualan liitto). Vastaavasti laskettiin säästyneen sähkön hinta. Sähkön hintana käytettiin vuoden 2005 pienteollisuuden (150 MWh/a) keskipainotettua keskimääräistä hintaa 6,12 snt/kWh (ALV 0 %) (Energiateollisuus ry). Käsittelyjäännöksen tyyppipitoisuuden arvona käytettiin 1,8 €/kg TS (Svensson 2005).

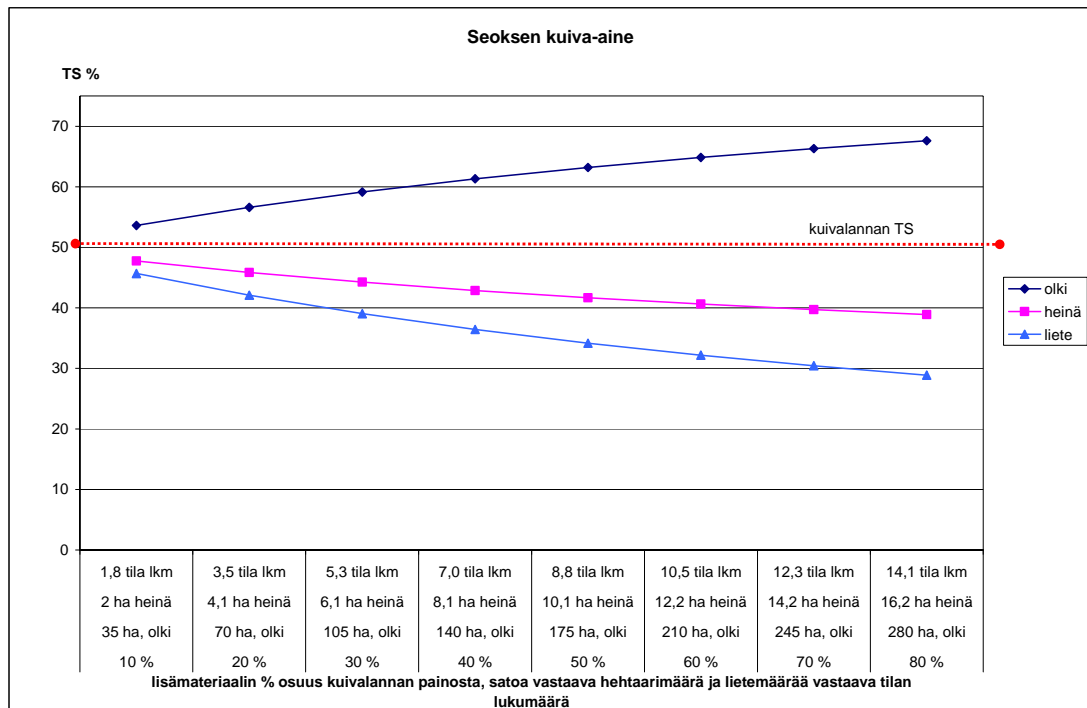
## 7 TULOKSET

Broilerin kuivalannan, oljen, heinän tai lietteen seossuhteiden vaikutusta tutkittiin teoreettisella laskennalla biokaasulaitoksen syöttöseoksen ominaisuuksiin (TS, C/N, kokonais-N, NH<sub>4</sub>N), biokaasun määrään sekä lämpö- ja sähköenergian tuottoon.

### 7.1 Seossuhteiden vaikutus kuiva-ainepitoisuuteen

Broilerin kuivalannan kuiva-ainepitoisuus on noin 50 TS % (kuva 15). Kun kuivalannan sekaan lisättiin heinää tai lietettä niin seoksen kuiva-ainepitoisuus pieneni heinän tai lietteen määrän kasvaessa syöttömateriaalissa. Mitä enemmän olkea lisättiin kuivalannan joukkoon, sitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus seoksessa oli (kuva 15, liite 3). Jos kuivalannan ja oljen seokseen lisättäisiin lietettä kolmantena materiaalina, niin seoksen kuiva-ainepitoisuus pienenesi (liite 6).

Toisaalta jos tarkastellaan prosessivaatimusten kannalta syöttöseoksen TS, niin tutkituissa Biofermin kuivafermentaatioprosessissa materiaalin kuiva-ainepitoisuuden rajana pidetään 60 TS %. Tämä raja-arvo alitettiin kaikilla kuivalannan ja heinän tai lietteen seossuhteilla sekä oljen 35 - 105 hehtaarien satomäärien (10 - 30 % lisämateriaalia kuivalannan painosta) lisäyksillä kuivalantaan (kuva 15, liitteet 4 ja 5).



Kuva 15. Olki-, heinä-, ja lietemäärien lisäysten vaikutukset seoksen kuiva-ainepitoisuuteen



## 7.2 Seossuhteiden vaikutus C/N suhteeseen

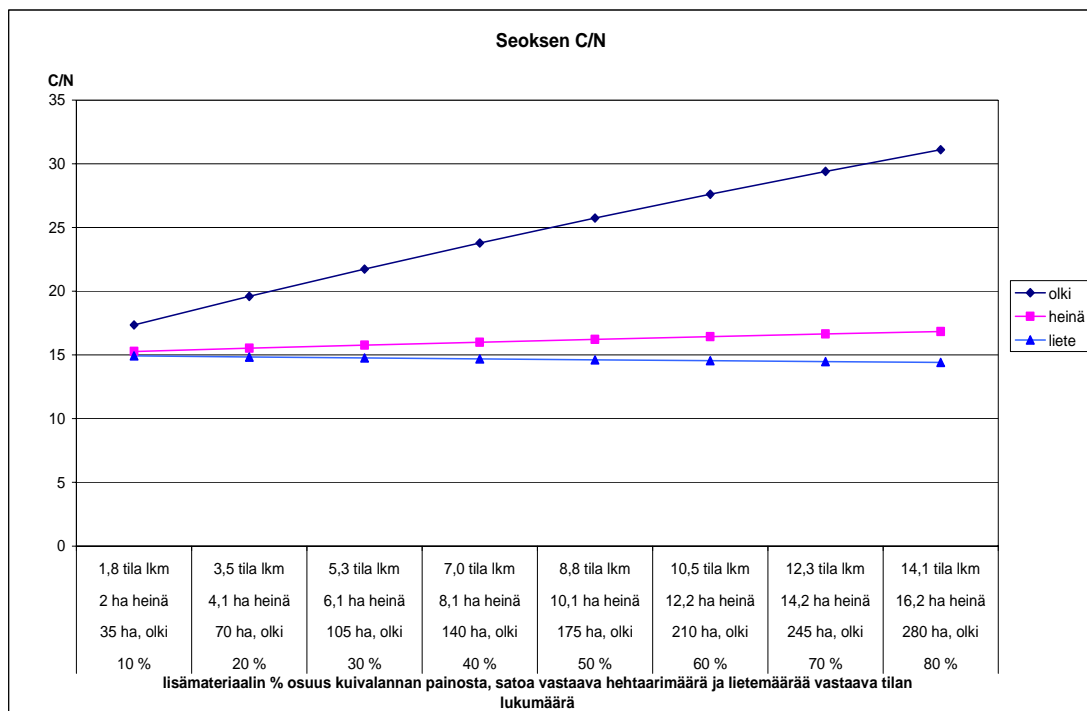
Oljen, heinän tai lietteen lisäysten vaikutusta kuivalannan ja lisämateriaalin seossuhteiden C/N-suhteeseen tutkittiin teoreettisella laskennalla. Broilerin kuivalannan C/N-suhteena käytettiin 15.

Heinän ja broilerin kuivalannan laskennallinen C/N suhde nousi hieman verrattuna pelkkään kuivalantaan. Olki sisältää vähän typpeä ja paljon hiiltä, joten broilerin kuivalannan ja oljen seoksissa laskennallinen C/N-suhde kasvoi sitä korkeammaksi mitä enemmän olkea oli mukana seoksessa. Kun olkea oli 105 hehtaarin satomäärä kuivalannan seassa, laskennallinen hiili-typin suhde oli 22.

Lietteen lisääminen broilerin kuivalantaan ei vaikuttanut laskennalliseen C/N suhteeseen. Liete sisältää enemmän typpeä kuin kuivalanta, mutta lietteen kuiva-ainepitoisuus on huomattavasti pienempi kuin kuivalannan, joten typen määrä kuiva-aineessa jää sen verran pieneksi ettei se nosta seoksen kokonaistypen osuutta kuiva-aineessa niin paljon että se vaikuttaisi hiili-typin suhteeseen (kuva 16, liite 5).

Anaerobiselle hajoamiselle optimi C/N suhde on alueella 20 - 30, joten broilerin kuivalannan C/N- suhde on liian alhainen anaerobisen prosessin optimiolosuhteisiin nähden. Jos prosessin olosuhteet haluttaisiin optimoida parhaaksi mahdolliseksi, niin hiili-typin suhteen osalta se onnistuisi lisäämällä olkea esimerkiksi 105 hehtaarin sadon verran kuivalannan joukkoon.

Kun kuivalannan ja heinän sekaan lisättiin kolmantena materiaalina lietettä, hiili-typin suhde pysyi hyvin samankaltaisena mitä ilman lietteen lisäystäkin, samoin kuivalannan, oljen ja lietteen seoksessa (liite 6).



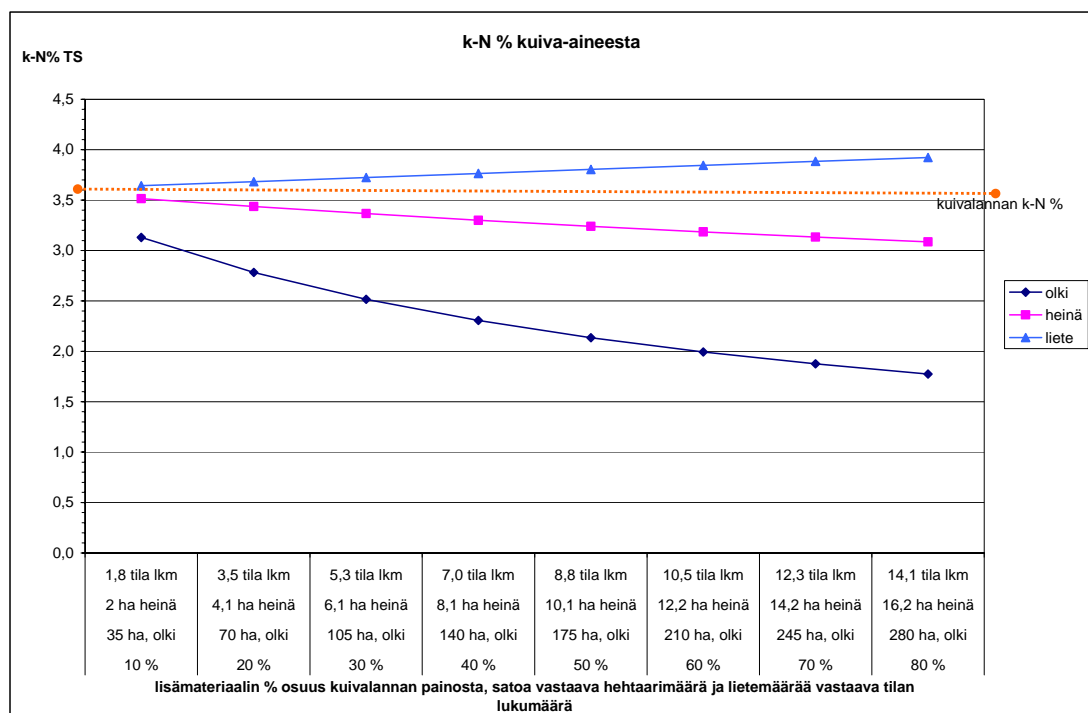
Kuva 16. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus seoksen C/N suhteeseen

### 7.3 Seossuhteiden vaikutus kokonaistypen osuuteen kuivapainosta ja ammoniumtyppipitoisuuteen

Broilerin kuivalannan, oljen, heinän tai lietteen seossuhteiden vaikutusta arvioitiin seossuhteiden kokonaistypen osuuteen kuiva-aineesta ja ammoniumtyppipitoisuuteen. Broilerin kuivalannan kokonaistypen osuutena kuiva-aineesta käytettiin 3,6 % (kuva 17, katkoviiva)

Tarkasteltavista materiaaleista liete sisältää eniten typpeä ja heinä vähiten. Heinä- ja olkimäärien lisääntyessä seossuhteessa kokonaistypen osuus kuiva-aineesta pieneni. Olki-lisäykset aiheuttivat pienemmät kokonaistypen arvot kuiva-aineesta. Esimerkiksi 210 hehtaarin olkimäärän (60 % kuivalannan painosta) ja kuivalanta seoksen laskennallinen kokonaistyyppi oli 2,0 % TS ja vastaavasti 12 hehtaarin heinä määrän ja kuivalanta seoksen kokonaistyyppi oli 3,2 % TS. Lietteen lisääminen broilerin kuivalantaan nosti seoksen kokonaistypen osuutta kuiva-aineesta korkeammaksi kuin pelkän kuivalannan (kuva 17, liitteet 3-5).

Kun kuivalannan ja oljen tai heinän seokseen lisättiin kolmantena materiaalina lietettä, niin kokonaistypen osuus seoksen kuiva-aineesta kasvoi hieman verrattuna ilman lietteen lisäämistä (liite 6).

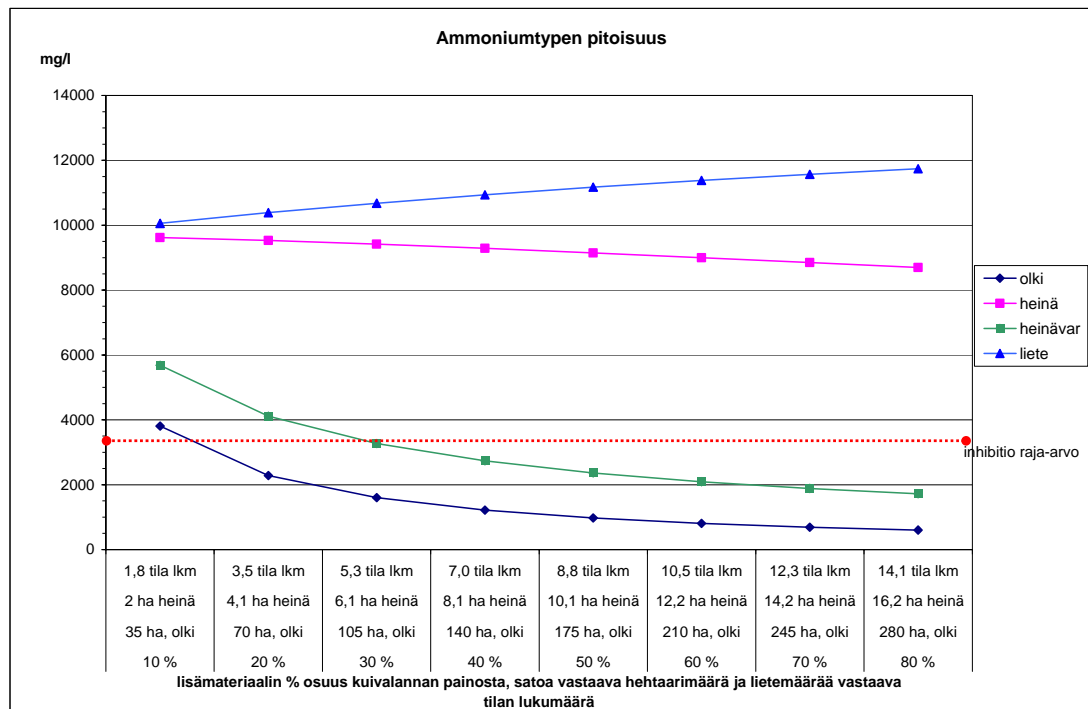


Kuva 17. Oljen, heinän ja lietteen eri seosten vaikutus kokonaistypen osuuteen kuivapainosta

Heinäseoksen ammoniumtyypen osuutena kuiva-aineesta käytettiin 0,028 % ja oljen 0,008 % TS sekä saostus- ja umpikaivolietteen ammoniumtyppipitoisuutena 0,4 % TS (taulukko 10). Kuivalannan ammoniumtyypen pitoisuutena käytettiin 1,76 % kuivapainosta (taulukko 10). Tätä arvoa käyttämällä 60 000 yksikön kuivalantamäärän laskennallinen ammonium-

typpipitoisuus oli 9 680 mg/l. Jos ammoniumtyypen inhibitio rajana pidetään 3 000 mg/l, niin todennäköistä on, että broiler kuivalannan yksinmädätyksessä inhibitiota tapahtuisi.

Laskennallisesti kaikilla tuoreen heinän (tilavuuspainona käytetty 1 000 kg/m<sup>3</sup>) sekä kaikilla lietemäärän lisäyksillä kuivalantaan ylitettiin ammoniumtyypen inhibitorajana pidetty 3 000 mg/l (kuva 18). Inhibitorajan alapuolelle jäätin oljen 70 ha - 280 hehtaarin (20 % - 80 % kuivalannan painosta) satomäärien lisäyksillä kuivalannan joukkoon. Kuivalannan ja varastoidun irtuheinän (tilavuuspainona käytetty 70 kg/m<sup>3</sup>) 8 ha - 16 hehtaarin satomäärien seoksilla jäätin myös alle ammoniumtyypen inhibitio raja-arvon (kuva 18, liitteet 3-5).



Kuva 18. Oljen, heinän ja lietteen eri seosten vaikutus ammoniumtyypen pitoisuuteen

Kun kuivalannan ja oljen tai heinän seokseen lisättiin kolmantena materiaalina lietettä, niin seoksen laskennallinen ammoniumtyppipitoisuus kasvoi verrattuna ilman lietelisyästä ja ylitti inhibitio raja-arvona pidetyn 3000 mg/l. Lietteen lisääminen kolmantena materiaalina aiheutti seoksen ammoniumtyypen pitoisuuden kasvamisen, koska lietteessä on korkeampi ammoniumtyppipitoisuus kuin heinässä ja oljessa ja toisaalta seoksen tilavuus ei kasva kovinkaan paljon lietteen lisäyksen seurauksena (liite 6).

## 7.4 Seossuhteiden vaikutus biokaasun tuottoon

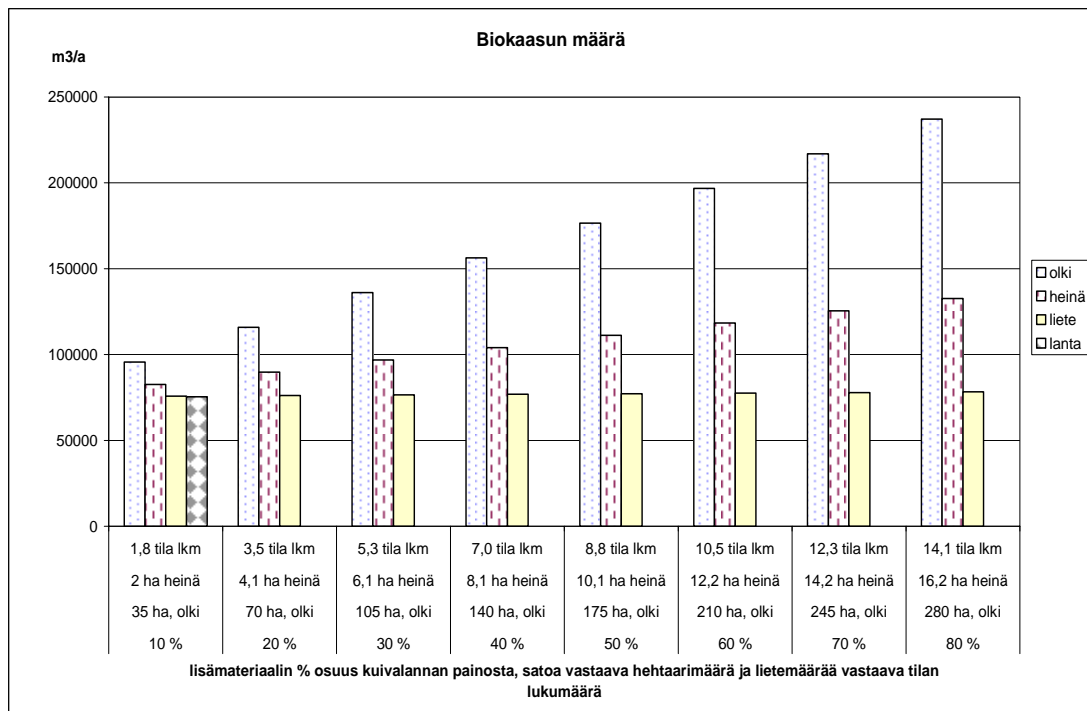
Vuodessa 60 000 yksikön broilerin kuivalantamäärän laskennallinen biokaasun tuotto oli 75 460 m<sup>3</sup> (kuva 19)

Heinän lisääminen kuivalantaan lisäsi laskennallista biokaasun tuottoa verrattuna broilerin kuivalannan biokaasuntuottoon. Kahden hehtaarin heinä määrän lisäys tuotti lähes 10 % enemmän biokaasua verrattuna pelkän kuivalannan biokaasuntuottoon (liitteet 3-5). Lisä-

materiaalina 10 hehtaarin heinäsadon määrä (50 % kuivalannan painosta) kuivalannan seassa lisäsi biokaasun tuottoa lähes 1,5 -kertaiseksi broilerin kuivalannan biokaasun tuottoon verrattuna. Kuitenkaan biokaasun tuoton lisäys ei ole niin suuri kuin oljen lisääminen kuivalantaan aiheuttaa. Oljen aiheuttama suurempi biokaasun tuoton lisäys kuivalannan seassa johtui siitä kun oljen kuiva-ainepitoisuus on huomattavasti suurempi kuin heinän, jolloin samalla lisämateriaalin prosenttiosuudella kuivalannan painosta olkimäärä sisältää määrällisesti myös enemmän orgaanista ainetta kuin heinä (kuva 19).

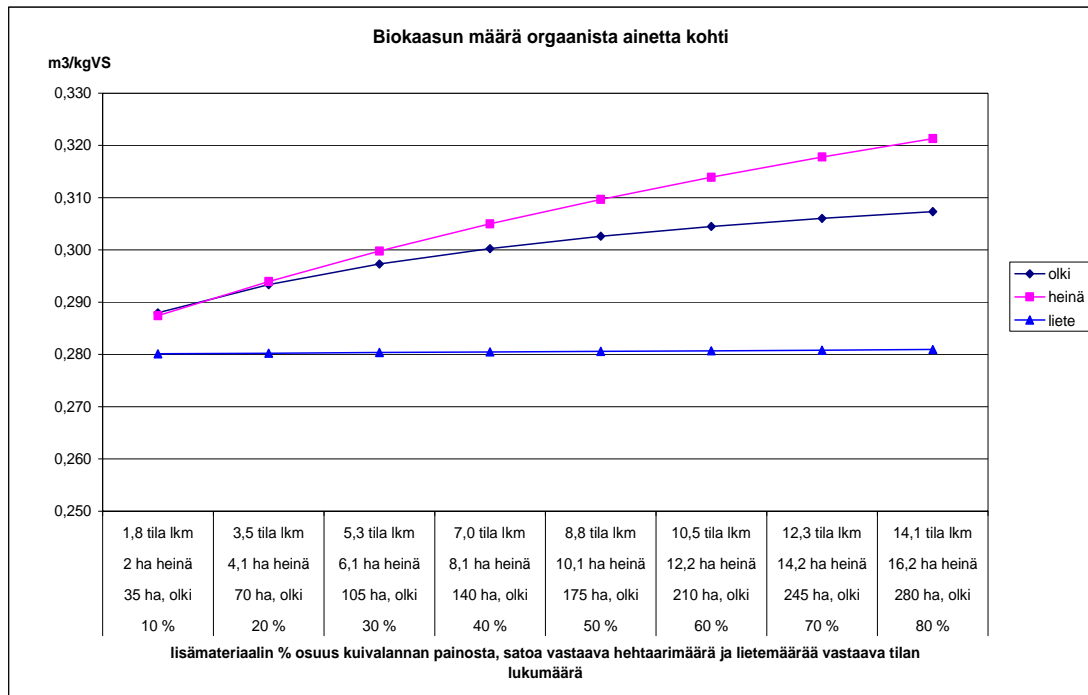
Oljen lisääminen kuivalantaan nosti laskennallista biokaasun tuottoa sitä korkeammaksi mitä enemmän olkea lisättiin. Jos olkea olisi käytettävissä 140 hehtaarin sato (40 % kuivalannan painosta), niin biokaasun tuotto olisi yli kaksinkertainen verrattuna pelkän kuivalannan biokaasun tuottoon. Kolminkertaiseen biokaasun tuottoon päästäisiin 280 hehtaarin olkisadon (80 % kuivalannan painosta) lisäyksellä (kuva 19, liite 3).

Lietteen lisääminen kuivalantaan ei merkittävästi lisännyt biokaasun määrää verrattuna pelkän kuivalannan biokaasun tuottoon (kuva 19). Lietteen kuiva-ainepitoisuus on matala, joten myös lisättävän orgaanisen aineen määrä on pieni, jolloin myös biokaasun lisäyksen määrä on pieni. Kun oljen tai heinän ja kuivalannan sekaan lisättiin lietettä kolmantena materiaalina, tuotettiin vähän enemmän biokaasua kuin ilman lietteen lisäystä (liite 6).



Kuva 19. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus seosten biokaasun tuottoon

Kun tarkasteltiin laskennallisesti biokaasun tuottoa orgaanista ainetta kohti, suurimmat arvot olivat heinän lisäyksillä ja pienimmät pelkän lietteen lisäyksillä (viittaus 6.2). Pelkän kuivalannan biokaasun tuotoksi on arvioitu  $0,4 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ , heinän ja oljen lisäyksellä kasvatettiin tuottoa, mutta lietteen lisäyksellä ei ole paljoakaan merkitystä (kuva 20).



Kuva 20. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus biokaasun tuoton orgaanista ainetta kohti, 70 % teoreettisesta

## 7.5 Seossuhteiden vaikutus energian tuottoon

Seossuhteiden vaikutus energian tuottoon tutkittiin lämmön tuottoa kaasukattilassa sekä sähkön ja lämmön tuottoa CHP- yksikössä.

### 7.5.1 Pelkkä lämmön tuotto

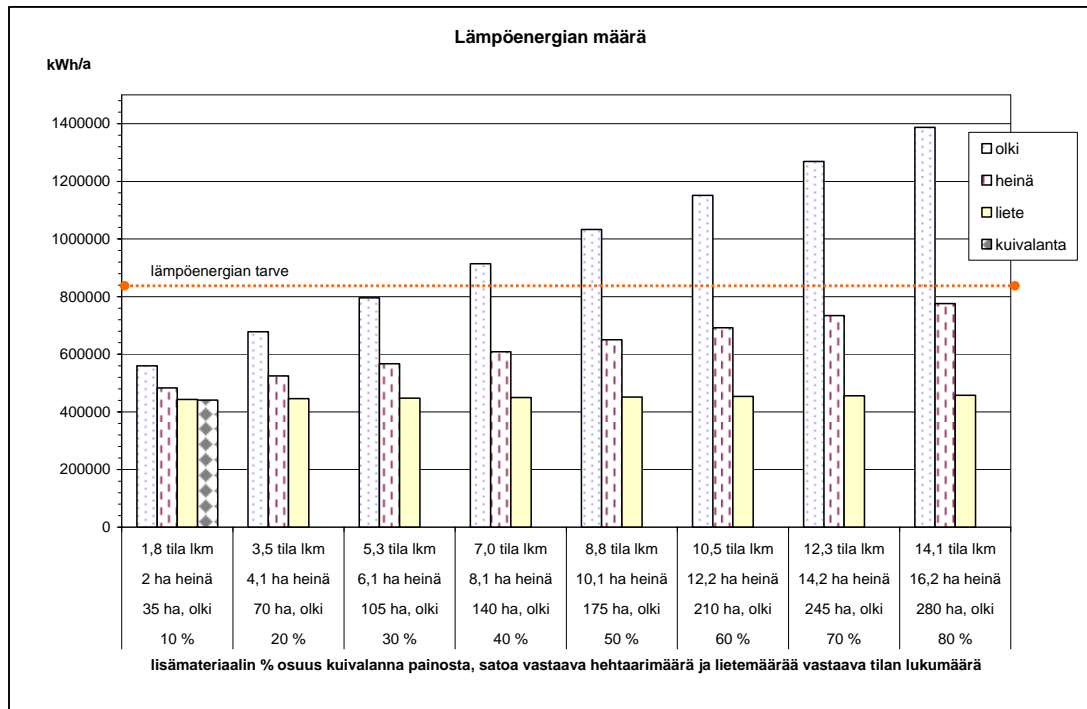
60 000 yksikön broileritilan lämmön tarpeeksi oli arvioitu 840 000 kWh/a (kuva 21). Tila-kohtaisessa biokaasulaitoksessa kuivalantaa käsiteltäessä katettiin noin puolet (53 %) tilan lämmöntarpeesta (kuva 21).

Heinän 2 hehtaarin sadon lisäys kuivalannan ja heinän seossuhteissa kasvatti lämpöenergian omavaraisuutta noin 5 % yksikköä verrattuna edelliseen seossuhteeseen. Tilan lämpöenergiasta katettiin yli 75 % heinän 10 hehtaarin sadon ja kuivalannan seossuhteella. Jos heinää lisättäisiin 14 hehtaarin sadon verran (80 % kuivalannan painosta) kuivalantaan, niin tilalla päästäisiin noin 92 % lämpöenergian omavaraisuuteen.

Oljen 35 hehtaarin satomäärän lisäys kuivalannan ja oljen seossuhteissa kasvatti lämpöenergian omavaraisuutta 14 % yksikköä verrattuna edelliseen seossuhteeseen. Jos olkea olisi käytettävissä 140 hehtaarin sadon verran, tilalla päästäisiin lämpöenergian suhteen omavaraiseksi (kuva 21, liite 3).

Lietteen lisäämisellä broilerin kuivalannan joukkoon ei saatu merkittävää lisäystä lämpöenergian suhteen verrattuna pelkän kuivalannan tuottaman biokaasun lämpöenergian mää-

rään. Merkittävää lisähyötyä ei myöskään saatu lietteen lisäämisellä kolmantena materiaalina seokseen (liite 6).

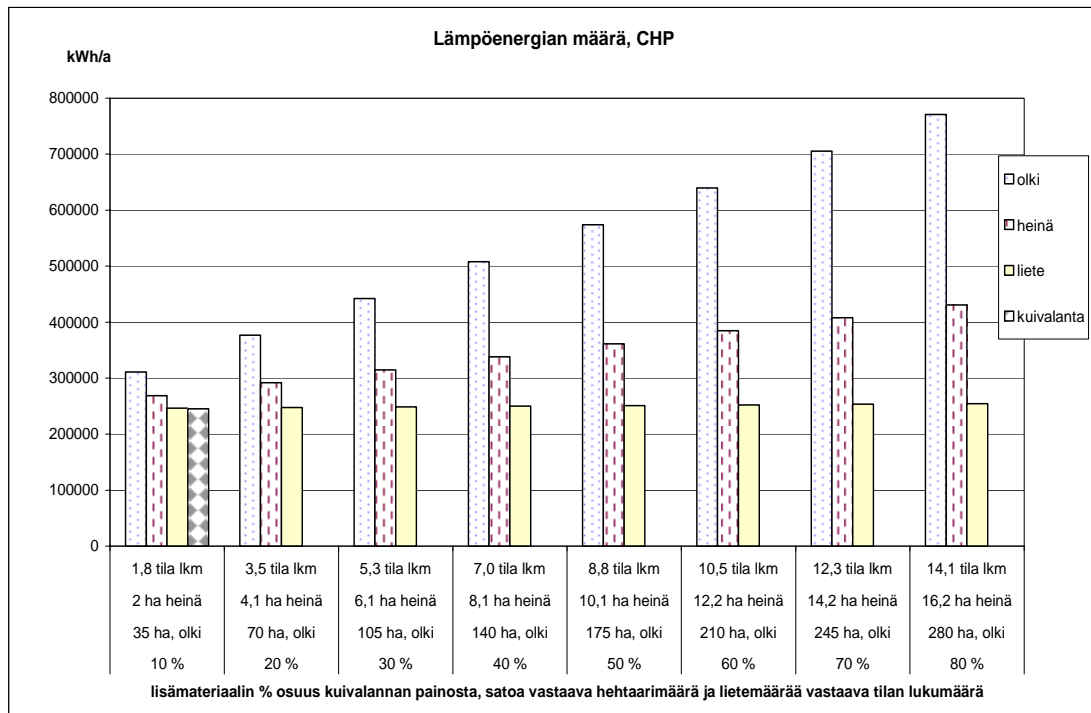


Kuva 21. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus lämpöenergian tuottoon

### 7.5.2 Lämmön ja sähkön yhteistuotanto CHP -yksikössä

Anaerobisessa prosessissa kuivalannasta tuotetulla lämpöenergialla CHP- yksikössä katettiin laskennallisesti lähes kolmannes 60 000 yksikön tilan tarvitsemasta lämpöenergiasta. Tilan lämpöenergian tarpeesta katettiin noin puolet 105 ha olkimäärällä tai 14 ha heinä määrällä lisättynä broilerin kuivalantaan (kuva 22, liitteet 3 ja 4).

Lietteen ja kuivalannan tuottama lämpöenergian määrä ei ollut merkittävästi suurempi verrattuna pelkän kuivalannan tuottamaan lämpöenergiamäärään. Myöskään lietteen mukana olemisen kolmantena materiaalina ei lisännyt merkittävästi lämpöenergian määrää verrattuna kuivalannan ja oljen/heinän biokaasun tuoton lämpöenergiamäärään (liite 6).

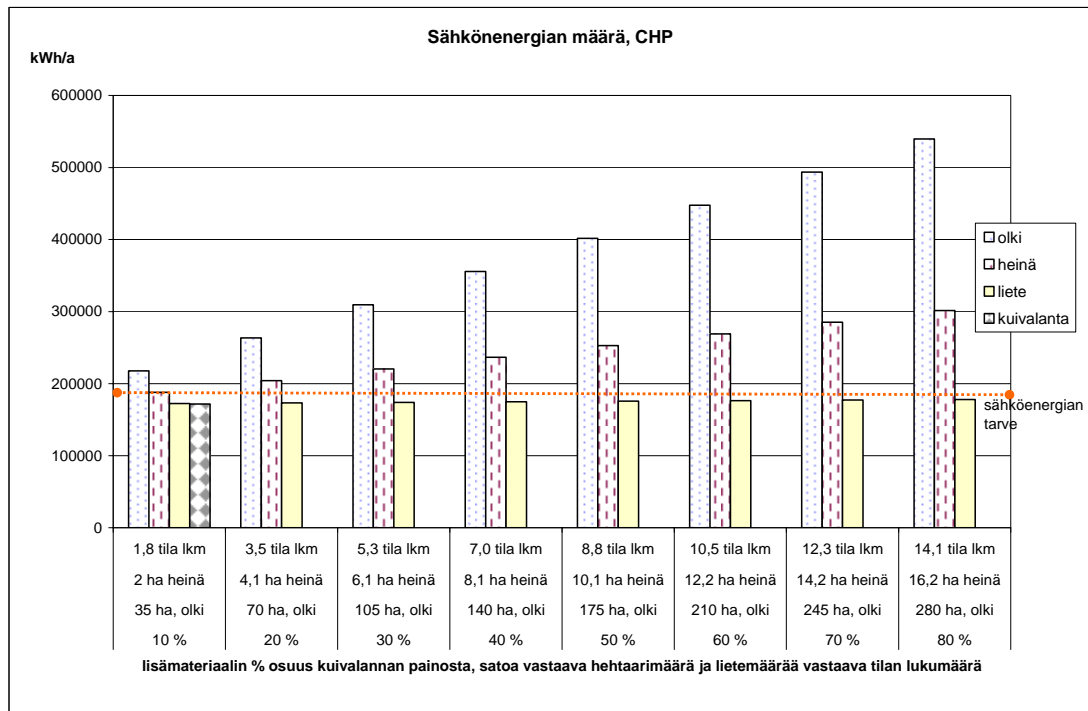


Kuva 22. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus lämpöenergian määrään CHP-yksikössä

Tila oli laskennallisesti lähes omavarainen sähköenergian suhteen kun sähköenergia tuotettiin 60 000 broilerin kuivalannasta biokaasulaitoksen CHP- yksikössä (kuva 23).

Heinän 2 ha sadon (10 % kuivalannan painosta) lisäyksellä kuivalantaan katettiin tilan sähköenergian tarve kokonaan. Heinän 4 - 16 ha satomäärillä laskennallisesti tuotettiin sähköenergiaa CHP -yksikössä enemmän kuin tilan keskimääräinen sähköenergian kulutus oli (kuva 23, liitteet 3 ja 4).

Tilalla päästiin biokaasulaitoksella sähköenergian omavaraisuuteen kuivalannan ja 35 ha olkimäärän (10 % kuivalannan painosta) seoksella. Kun olkea lisättiin prosessiin 140 ha satomäärä, sähköenergiaa tuotettiin kaksinkertainen määrä verrattuna tilan tarpeeseen ja kolminkertainen määrä, kun 280 ha olkimäärä lisättiin kuivalantaan. Tilan sähköenergian tarve katettiin laskennallisesti kuivalannan ja noin 10 talouden lietemäärillä (kuva 23, liitteet 3 ja 5).



Kuva 23. Oljen, heinän ja lietteen lisäysten vaikutus sähköenergian tuottoon CHP-yksikössä

## 7.6 Tilakohtainen kuivafermentaatiolaitos esimerkki

Tämän työn tilakohtaisessa kuivafermentaatiolaitoksen esimerkissä tutkittiin broilertilalle toteuttavan tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitoksen syöttömateriaalien ominaisuuksia, arvioitiin käsittelyjäännöksen ominaisuuksia, biokaasulaitoksen lämpö- ja sähköenergian tuottoa, biokaasulaitoksen operointiparametreja ja biokaasulaitoksen taloudellisia hyötyjä. Biokaasulaitoksien energiantuotantoa verrattiin tilan energiantarpeeseen. Taloudellisessa tarkastelussa verrattiin laitoksesta saatuja tuottoja säästyneen sähkön ja kevyen polttoöljyn oston kautta.

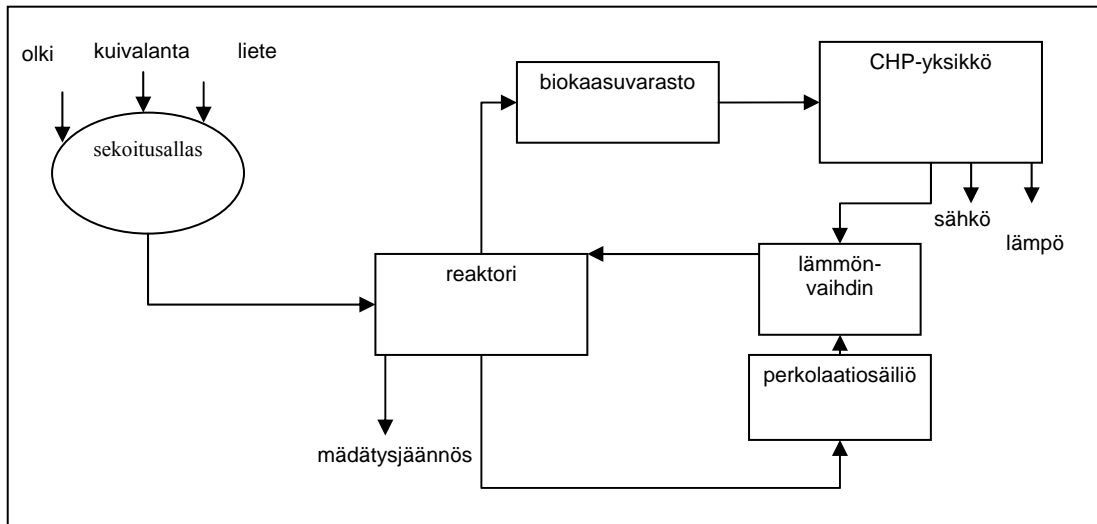
Maatilalle rakennettavan biokaasulaitoksen tulee olla yksinkertainen ja helppokäyttöinen sekä tilan olemassa olevia laitteita, välineitä, rakennuksia ja säiliöitä mahdollisuuksien mukaan hyödyntävä, jolloin laitoksen investointikustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi. Kustannuksia saadaan pienennettyä myös tekemällä rakennustöitä itse.

Tilakohtaisen autotallityyppisen kuivafermentaatiolaitoksen toteuttamisen lähtökohtana oli 60 000 yksikön broilertila, jossa kuivalannan määrä on 1400 m<sup>3</sup>/a eli 770 t/a. Tilakohtaisen biokaasukuivaprosessin vaihtoehtoina oli käsitellä joko pelkkää kuivalantaa tai yhteiskäsitellä kuivalantaa ja lisämateriaaleja. Lisämateriaaleiksi valittiin 35 ha olkimäärä (77 t), 10 ha heinämäärä (385 t) tai 10 talouden (462 t) saostus- ja umpikaivomäärä (taulukko 11).



### 7.6.1 Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitoksen prosessikuvaus

Tilakohtaiseen biokaasulaitokseen tarvitaan syötettävien materiaalien varastointitilat, sekoitusallas, reaktori, kierrätettävän nesteen säiliö (perkolaatiosäiliö), lämmönvaihdin, biokaasuvarasto, sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos eli CHP -yksikkö sekä käsittelyjäätynöksen varastointitila (kuva 24). Prosessi on termofiilinen autotalityyppinen kuivapanosprosessi, jossa samassa reaktorissa tapahtuvat kaikki anaerobisen hajoamisen vaiheet.



Kuva 24. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen yksinkertainen prosessikaavio

Broilerin kuivalantaa muodostuu 60 000 yksikön tilalla yhtä kasvatuserää kohti noin 200 m<sup>3</sup>. Kasvatuserä on tilalla noin 7 - 8 viikkoa. Muodostunut kuivalanta siirretään biokaasureaktoriin tai sitä voidaan varastoida tilan katetussa lantalassa.

Heinäseos ja olki varastoidaan joko irtotavarana tai paalattuna tilan olemassa olevissa varastoissa. Heinä ja olki on hyvä silputa pienempään kokoon esim. puutarhasilppurilla, jolloin lisätään käsiteltävän aineen ja mikrobien välistä kontaktipinta-alaa.

Saostuskaivo- tai umpikaivolietettä ei varastoida tilalla, vaan se tuodaan tilalle tarpeen mukaan säiliöautossa ja tyhjenetään suoraan sekoitussäiliöön. Jos jostain syystä lietettä joudutaan varastoimaan, se tapahtuu lyhytaikaisesti säiliöautossa.

Käsiteltävät kiinteät materiaalit sekoitetaan keskenään sekoitusaltaassa tasalaatuisemman syöttömateriaalin varmistamiseksi. Sekoittaminen voidaan tehdä esim. tilalla olevassa kuivalantalassa tai muussa tilassa käyttämällä esim. traktorin kauhakuormajaa tai kaapimia. Tasalaatuinen kiinteä syöttömateriaali siirretään reaktoriin esim. traktorin kauhakuormajalla, hihnakuljettimilla tai ruuvikuljettimella, mikä samalla sekoittaa ja hienontaa massaa.

Reaktorin täytön ja ovien sulkemisen jälkeen reaktorista poistetaan happi räjähdysriskin eliminoinemiseksi. Happi poistetaan reaktorista syöttämällä happea syrjäyttävää kaasua esim. typpeä tai hiilidioksidia reaktorin kaasutilaan. Kuivalannan ja eri materiaalien yhteiskäsittelyssä anaerobisessa kuivaprosessissa kuormitus joudutaan pitämään todennäköisesti alhaisena korkean ammoniakkipitoisuuden takia sekä viipymä pitkänä jolloin prosessille annetaan aikaa sopeutua olosuhteisiin.

Autotallityyppisessä kuivafermentaatiossa biomassasta suodattuvaa nestettä (perkolaa- tioneste) kierrätetään jaksoittain kosteuden, ravinteiden ja bakteereiden tasaisen leviämisen takaamiseksi biomassaan. Neste kerätään reaktorin pohjalta (esim. reikälevy) nestesäiliöön ja kierrätetään takaisin reaktoriin ylhäällä olevien suuttimien avulla. Nestekierto voi toimia esim. kerran päivässä muutaman minuutin ajan. Nestesäiliötä lämmitetään lämmönvaihti- men avulla. Alussa voidaan lisätä vähän ulkopuolista vettä nesteen kiertojärjestelmään biomassan kostuttamiseksi. Myöhemmin suodattuvaa nestettä voidaan tarvittaessa laimen- taa poistamalla nestettä tai/ja lisäämällä puhdasta vettä tilalle.

Muodostuva biokaasu johdetaan reaktorin yläosasta kaasuputkea pitkin kaasuväaraan, josta se johdetaan vedenerotuksen kautta CHP -yksikköön, jossa tuotetaan sähköä tilan omaan käyttöön sekä lämpöä tilan rakennusten ja biokaasureaktorin lämmittämiseen. Vara- järjestelmänä on kaasun polttaminen soih tupolttimessa.

Anaerobisen käsittelyn jälkeen varmistetaan kaasutilan hapettomuus syrjäytyskaasun avul- la ennen ovien avaamista. Jälkikaasutus voi tapahtua myös reaktorissa kun viipymä pide- tään riittävän pitkänä, mutta käsitellylle jäännökselle tarvitaan kuitenkin jälkivarastointiti- la, koska jäännöstä ei voida levittää pellolle maan ollessa jäässä. Toisena vaihtoehtona on rakentaa tilalle jälkikaasutusallas, jossa käsittelyjäännös varastoidaan ja samalla otetaan talteen muodostuva kaasuseos, jolloin parannettaisiin biokaasunsaantoa sekä estettäisiin metaanipäästöt ilmakehään.

Anaerobisesti käsitelty materiaali siirretään reaktorista traktorin kauhakuormaajalla katet- tuun jälkivarastoon. Jälkivarastoinnin aikana muodostuva jälkikaasu otetaan talteen. Käsit- telyjäännöksen loppusijoituspaikkana ovat tilan pellot sekä lähialueen viljelijöiden pellot. Peltovetykseen käytettävän anaerobisen käsittelyjäännöksen tulee täyttää sille asetetut raskasmetallien ja mikrobien raja-arvot, jos laitoksessa käsitellään umpi- tai saostuskaivo- lietettä. Pelkkää kuivalantaa tai kuivalannan ja oljen tai heinän seosta käsittelevien laitos- ten käsittelyjäännökselle ei ko. raja-arvoja ole asetettu.

Biokaasun prosessinhallinta vaatii olosuhteiden seuranta. Tärkeimmät seurattavat suureet ovat pH, biokaasun tuotantomäärä, metaani/hiilidioksidisuhte ja haihtuvien happojen mää- rän muutokset reaktiossa. Seuranta tapahtuu suorilla mittauksilla ja laboratorioanalysoin- tien avulla.

### **7.6.2 Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin syöttömateriaalien ominaisuudet**

Syöttömateriaalin ominaisuuksista tutkittiin seoksen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuuksia, kokonaistypen osuutta kuiva-aineesta, ammoniumtyyppipitoisuutta, C/N- suhdetta sekä seosten määriä (taulukko 12).

Broilerin kuivalannan ja lisämateriaalien käyttäytymistä anaerobisessa kuivaprosessissa ei tiettävästi ole kokemusperäistä tietoa. Tilan käytettävissä oleva olkimäärä ei riitä anaerobi- sen prosessin optimiolosuhteiden tarvitsemaan olkimäärän lisäykseen. Prosessi toiminee optimiolosuhteiden ulkopuolellakin, mutta ei välttämättä niin hyvin mitä olisi mahdollista.

Kun olkea oli 35 ha satomäärä kuivalannan seassa, seoksen laskennallinen kuiva- ainepitoisuus nousi vähän verrattuna pelkkään kuivalantaan. Kuivalannan ja 35 ha olki- määrän seoksella ammoniumtyyppipitoisuus pieneni yli puolella, mutta jäi yli inhibitio raja- arvona pidetyn 3000 mg/l.

Heinän 10 ha sadon ja kuivalannan seoksen laskennallinen kuiva-ainepitoisuus oli 42 %. Heinän ja kuivalannan seoksen ammoniumtyyppipitoisuus alitti inhibitio raja-arvon käytet- täessä varastoheinän tilavuuspainoa (tuoreen heinän tilavuuspainolla raja-arvo ylittyi).

Kuivalannan ja 10 talouden lietemäärällä seoksen laskennallinen kuiva-ainepitoisuus jäi kaikkein pienimmäksi tarkasteltavissa vaihtoehdoissa. Kuivalannan ja lietteen seoksen ammoniumtyppipitoisuus kasvoi verrattuna pelkkään kuivalantaan. Pitoisuuden nousuun vaikutti se, että seoksen kuiva-ainepitoisuus oli pienempi kuin muissa seoksissa, jolloin seoksen märkääpainoa vastaava ammoniumtyypin pitoisuus oli vastaavasti suurempi ja kuitenkin seoksen tilavuus oli pienempi kuin muiden seosten (taulukko 12).

Taulukko 12. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen syöttömateriaalin ominaisuudet

	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä* 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10 taloutta
TS %	50	54	42	32
VS %	35	39	31	22
k-N % TS	3,6	3,1	3,2	3,8
NH <sub>4</sub> N mg/l	9680	3805	2 095*	11383
C/N	15	17	16	15
seoksen määrä m <sup>3</sup> /a	1 400	3 325	6900	1 862
seoksen määrä t/a	770	847	1 155	1 232

\*) tilavuuspainona käytetty varastoheinän

### 7.6.3 Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin käsittelyjäännöksen ominaisuudet

Käsittelyjäännösteosten laskennalliset kuiva-ainepitoisuudet olivat 23 - 38 % TS. Laskennan perusteella käsittelyjäännöstä muodostuisi 980 - 4 830 m<sup>3</sup>/a riippuen lisämateriaalin määrästä. Heinän ja kuivalannan seoksella käsittelyjäännöstä muodostui eniten (taulukko 13).

Nitraattiasetuksen mukaan hehtaarille saa levittää typpipitoista lannoitetta keskimäärin 170 kg/ha/vuosi. Laskennallinen levityspinta-ala laskettiin laskennallisen käsittelyjäännöksen kokonaistypen perusteella (taulukko 13).

Taulukko 13. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen käsittelyjäännöksen ominaisuudet ja peltolevityspinta-ala

	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä* 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10 taloutta
TS %	35,7	38,3	29,8	23
VS %	20,0	22,4	17,7	12,8
k-N % TS	3,6	3,1	3,2	3,8
NH <sub>4</sub> N mg/l	13 645	5370	3 430	17 142
käsittelyjäännös m <sup>3</sup> /a	980	2 328	4 830	1 303
käsittelyjäännös t/a	539	n. 593	n. 809	n. 862
tarvittava levityspinta-ala, ha	114	108	152	193

### 7.6.4 Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin lämpö- ja sähköenergian tuotto

Biokaasulaitoksen laskennallisessa energiantarkastelussa kaikilla vaihtoehdoilla katettiin kaasukattilalla tilan lämpöenergian tarpeesta yli puolet ja kuivalannan ja heinän 10 hehtaarin satomäärällä katettiin yli 75 % tilan lämpöenergian tarpeesta (taulukko 14).

Taulukko 14. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen biokaasu- ja lämpöenergiämäärät

	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10 taloutta
hyödynnettävissä oleva biokaasun määrä, m <sup>3</sup> /a	75 460	95 676	111 175	77 594
hyödynnettävissä oleva metaanin määrä, m <sup>3</sup> /a	49 049	62 189	72 264	50 436
kaasukattila lämpöenergian tuotto, kWh/a	441 441	559 705	650 377	453 927
lämpöenergian tarve, kWh/a	840 000	840 000	840 000	840 000
lämpöenergian omavaraisuus, %	53	67	77	54
lämpöteho, kW	50	64	74	52

Lämpökattila voidaan korvata tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa CHP -yksiköllä, jolla tuotetaan tilalle lämpö- ja sähköenergiaa. Kuivalannan anaerobisella kuivakäsittelyllä laskennallisesti tilan sähköenergian tarpeesta katettiin 98 %. Sähköenergian suhteen tila oli omavarainen 10 talouden lietteen lisäyksellä kuivalantaan. Kuivalannan ja oljen 35 ha satomäärällä tai heinän 10 ha sadolla sähköenergiaa tuotettiin laskennallisesti enemmän mitä tilan keskimääräinen sähköenergian tarve on. CHP -yksikössä tuotetulla lämpöenergialla tilan lämpöenergian tarpeesta katettiin ainakin kolmannes jokaisella biokaasulaitosvaihtoehdolla (taulukko 15).

Taulukko 15. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen CHP -yksikön lämpö- ja sähköenergiämäärät

CHP- yksikkö	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10 taloutta
lämpöenergian tuotto, kWh/a	245 245	310 947	361 320	252 182
lämpöenergian tarve, kWh/a	840 000	840 000	840 000	840 000
lämpöenergian omavaraisuus, %	29	37	43	30
lämpöteho, kW	28	35	41	29
sähköenergian tuotto, kWh/a	171 676	217 663	252 924	176 527
sähköenergian tarve, kWh/a	176 000	176 000	176 000	176 000
sähköenergian omavaraisuus, %	98	124	144	100
sähköteho, kW	20	25	29	20

### 7.6.5 Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin operointiparametrit

Anaerobisessa yhteiskäsittelyssä reaktoreiden laskennalliset tilavuudet kasvoivat, joten kuivalannan ja oljen tai heinän yhteiskäsittelyssä reaktoreita ajateltiin olevan enemmän kuin yksi. Kuivalannan laskennallinen kuormitus oli korkea verrattaessa kirjallisuuden kuormituslukuihin kanan lannan anaerobisessa käsittelyssä. Lisämateriaalien avulla prosessin laskennallinen kuormitus pieneni, mutta samalla myös jälkivarastoinnin tilavuuden tarve suureni (taulukko 16).

Esivarastointia ja materiaalien sekoittamista varten tilalla tarvitaan varastointitilat tai sekoitustila. Koska broilerin kuivalantaa muodostuu noin seitsemän viikon välein, on esivarastointitilan oltava vähintään yhtä suuri mitä biokaasulaitokseen syötettävän materiaalien määrä yhtä panosta kohti. Tässä työssä oletettiin, että tilalla on olemassa asianmukainen lantala, jota käytetään esivarastointi ja -sekoitustilana. Jälkivarastoinnin koko määräytyy vuodessa muodostuvan käsittelyjännösmäärän mukaan. Tilalla voi olla myös vanhoja lantasaaliioita joita voidaan käyttää jälkivarastointiin, jos niissä on riittävästi kapasiteettia.

Taulukko 16. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen operointiparametrit

	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10 taloutta
muodostuva syöte määrä, m <sup>3</sup> /d	3,84	9,11	18,9	5,1
orgaaninen aine, kg VS/d	739	906	981	756
biokaasun määrä m <sup>3</sup> /d	207	262	305	212
kuormitus, kg VS/m <sup>3</sup> d	5,4	2,76	1,44	4,11
reaktorin koko, m <sup>3</sup>	138	328	680	184
reaktorin mitat: korkeus, pituus, leveys, m	3* 11,5 *4	3,42*12*4 (2 kpl a'164 m <sup>3</sup> )	3,42*4,15*12 (4 kpl a'170 m <sup>3</sup> )	3,6*4*12,8
jälkivaraston tilavuus, m <sup>3</sup>	980	2 328	4 830	1 303
kaasuvastaston tilavuus, m <sup>3</sup>	414	524	610	424

### 7.6.6 Tilakohtaisen biokaasulaitosesimerkin taloudellinen hyöty

Tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa tuotettu ja hyödynnettävissä oleva metaanimäärä (m<sup>3</sup>/a) muutettiin vastaamaan kevyen polttoöljyn määrää (l/a). Kevyen polttoöljyn hintana käytettiin 47,03 snt/l (ALV 0 %). Laskennallisesti tilalla säästettiin noin 23 000 - 34 000 €/a korvaamalla kevyt polttoöljy tilakohtaisella biokaasulaitoksen kaasukattilassa tuotetulla lämpöenergialla.

Tarkastelun kohteena olevan tilan keskimääräinen vuosisähköenergian tarve on 176 000 kWh, jonka maksaa tilalle noin 10 771 €/a. Sähkön hintana käytettiin 6,12 snt/kWh (ALV 0 %). Lähes kaikilla tilakohtaisilla biokaasulaitosvaihtoehdoilla säästettiin ostosähkön hinta vuodessa (taulukko 17).

Käsittelyjännöstuote korvaa oman tilan pelloille ostettavan lannoitemäärän sekä mahdollisesti käsittelyjännöksen myynnistä saataisiin lisätuloja. Käsittelyjännöksen typpipitoisuudelle annettiin arvoksi 1,8 €/kg TS.

Taulukko 17. Broilertilan kuivafermentaatiolaitoksen taloudellinen hyöty

	kuivalanta	kuivalanta ja olki 35 ha sato	kuivalanta ja heinä 10 ha sato	kuivalanta ja liete 10,5 taloutta
kaasukattila (säästetty öljyn osto) €/a	23 068	29 248	33 986	23 720
CHP, lämpö (säästetty öljyn osto) €/a	11 534	14 624	16 993	11 860
CHP sähkö, (säästetty sähkö- n hinta) €/a	10 507	13 321	15 479	10 804
tuotetun ja tarvitun sähkö- n hintaero	- 264	2 550	4 708	33
CHP yksikön tuotot yhteensä €/a	22 041	27 945	32 472	22 664
käsittelyjäännöksen ty- penarvo €/kg	12 474	12 666	13 870	13 567

## 8 TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1 Seossuhteiden laskennalliset ominaisuudet

Lisämateriaalin lisäyksillä kuivalantaan vaikutettiin seosten ominaisuuksiin ja tuotetun biokaasun määrään ja energiantuottoon. Oljen lisääminen kuivalantaan nosti seoksen kuiva-ainepitoisuutta ja C/N-suhdetta ja seoksen kokonaistypen osuus kuiva-aineesta ja ammoniumtyyppipitoisuus pienenevät. Heinän käyttö lisämateriaalina kuivalannan seassa pienensi kuiva-ainepitoisuutta, kokonaistypen ja ammoniumtyypin pitoisuuksia ja nosti hieman C/N-suhdetta. Lietteen lisäyksellä seoksen kuiva-ainepitoisuus ja C/N-suhde pieneni ja seoksen kokonaistyyppi- ja ammoniumtyyppipitoisuus suurenevat. Oljen ja heinän lisäyksillä kuivalantaan tuotettiin biokaasua enemmän mitä kuivalannalla yksinään.

Lietteen lisäyksellä kuivalantaan lisättiin tuotetun biokaasun määrää vähän verrattuna pelkkään kuivalantaan. Jos saostus- tai umpikaivolietteen kuiva-ainepitoisuutta pystyttäisiin nostamaan esimerkiksi WC- vesien kuivauksella tai toisenlaisella sanitaattoratkaisulla (virtsan ja ulosteiden erilliskeräys), niin käsiteltävän orgaanisen aineen määrä ja biokaasun tuotto lietteestä olisivat suuremmat mitä perinteisessä sanitaattoratkaisussa (Otterpohl 2001).

Broilerin kuivalannan materiaalin ominaisuuksia ei tässä työssä tutkittu vaan käytettiin kirjallisuuden arvoja. Kirjallisuudesta ei välttämättä selvinnyt mikä siipikarjan lintulajin lanta oli tutkimuksen kohteena eikä myöskään kuivikemateriaalin laatu. Broilerin kuivalannan materiaalien ominaisuuksiin vaikuttavat mm. lintulaji, ruokinta ja kuivikemateriaali (Adams ym. 2002). Esimerkiksi siipikarjan tutkimuksissa (Guerra-Rodríguez ym. 2001) kuivalannan kokonaistypen osuus oli 3,6 % kun kuivikkeena oli mäntylastu. Tässä työssä

tarkasteltavan tilakoon broilerin kuivalannan laskennalliseksi kokonaistypen osuudeksi saatiin 3,4 %, mikä on samaa suuruusluokkaa mitä Guerra-Rodríguezin tutkimuksen tulos (Guerra-Rodríguez ym. 2001). Kuivalannan C/N-suhteesta ei ollut kokemusperäistä tietoa, joten laskennallinen hiili-typisuhde arvioitiin käyttäen kanan lannan kokonaistypen osuutena kuivapainosta 6,3 % ja hiilen määränä 15 kertaa typen määrä (Fry 1973) sekä turpeen osalta kokonaistypen osuutena 1,8 % ja hiilen 27 % kuiva-aineesta (Alakangas 2000). Laskennallinen C/N suhde oli 15, mikä on verrattavissa kirjallisuuden kanan lannan C/N suhteeseen 10-15 (Fry 1973, Gautam ym. 1996).

Ammoniumtyppipitoisuuden arvioiminen syötettävässä seossuhteessa oli hankalaa, koska ammoniumtyppipitoisuuteen vaikuttavat mm. seosmateriaalin koostumuksen vaihtelevuus, tuoreen heinän ja varastoheinän tilavuuspainoerot, käytettävä kasvibiomassalaji ja kuivikkeessa oleva ammoniumtypen määrä. Myöskään tietoa ei ole materiaalien yhdessä käyttäytymisestä anaerobisessa prosessissa ja prosessin aikana muodostuvan ammoniumtypen määrästä materiaaliseoksista tai seoksen osista. Työssä käytettiin kuivalannan ammoniumtypen osuutena kuivapainosta 1,76 % ja tarkasteltavan tilakoon kuivalantamäärän laskennallinen ammoniumtyppipitoisuus oli 9 680 mg/l. Kuivalannan laskennallinen ammoniumtyppipitoisuus oli verrattavissa kirjallisuuden arvoihin. Kanan lannan tutkimuksissa ammoniumtyppipitoisuus on ollut 6 000 - 6 600 mg/l (Bujoczek ym. 2001) ja 12 800 mg/l (Callaghanin ym. 1999).

Kuivalannan, jossa kuivikkeena on turve, käyttäytymistä anaerobisessa kuivaprosessissa ei tietyvästi ole tutkittu. Kuivikemateriaaleista turpeen on todettu sitovan ammoniakkia tehokkaammin kuin sahanpuru tai olki. Kemppaisen (1987) tutkimuksen mukaan turpeen laatu vaikuttaa ammoniakkin sitomiskykyyn ja ammoniakkin sitomiskyvyllä on vain vähän vaikutusta turpeen hajoamisprosessissa.

Kuivalannan biokaasuntuottopotentiaaliksi arvioitiin 0,4 m<sup>3</sup>/kg VS ja metaanipitoisuudeksi 65 %. Arvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin kirjallisuudessa, jossa kanan lannan biokaasun tuotto oli 0,35 - 0,60 m<sup>3</sup>/kg VS ja metaanipitoisuus 60 - 80 % (Schomaker ym. 2000).

Laskennallisiin tuloksiin epävarmuutta aiheuttavat myös oljen ja heinän materiaalien ominaisuudet. Materiaalien ominaisuuksiin vaikuttavat mm. käytetty lajike ja satomäärät ja varastointi. Satomäärät vaihtelevat vuosittain ja viljelyalueittain. Heinäsatoa on arvioitu hehtaarilta saatavan 8 - 11 t kuiva-aineena (Kangas ym. 2006). Tässä työssä käytettiin keskimäärin 9,5 t<sub>ka</sub> hehtaaria kohti. Varastointitapa ja -olosuhteet vaikuttavat heinän ominaisuuksiin ja syötettävän seossuhteen ominaisuuksiin. Jyväskylän yliopiston tutkimuksissa heinän metaanintuottopotentiaali väheni varastoinnin aikana noin 17 - 39 %. Varastointitapana oli säiliörehun menetelmä ilman muurahaishappo lisäystä (Lehtomäki ym. 2005). Tässä työssä ei otettu kantaa siihen miten varastointi vaikuttaa heinän tai oljen ominaisuuksiin.

Laskennallisten tulosten avulla saadaan suuntaa antavaa tietoa siitä miten lisämateriaaleilla voidaan vaikuttaa seossuhteiden eri ominaisuuksiin sekä millä seossuhteilla prosessissa olisi optimaaliset olosuhteet.

## 8.2 Syötettävän seosmateriaalin valinta anaerobisen prosessin optimiolo-suhteissa

Autotallityyppisen kuivafermentaatiopanosprosessin kuiva-ainepitoisuuden raja-arvoksi määriteltiin 60 % TS (Bioferm GmbH), alarajaa kuiva-ainepitoisuudelle ei ole ilmoitettu. Kuivaprosessien alarajana pidetään yleensä 20 % TS (Vandevivere 2003). Kuiva-ainepitoisuuden raja-arvojen asettamat vaatimukset täyttyivät tässä työssä pelkän kuivalannan tai heinän 2 - 16 ha ja oljen 35 - 105 ha satomäärien sekä 1 - 14 talouden lietemäärän lisäyksillä kuivalantaan. Kuiva-ainepitoisuuden raja-arvo alitettiin myös 35 - 105 ha olkimäärän lisäyksellä siipikarjan kuivalannan seassa (taulukko 18). Seosten kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttaa myös käytettävän ympin kuiva-ainepitoisuus. Tässä työssä ei ympin lisäyksen aiheuttamaa vaikutusta seoksen kuiva-ainepitoisuuteen ole laskennallisesti huomioitu.

Anaerobisen hajoamisprosessin kannalta optimi C/N-suhde on 20 - 30 (Monnet 2003). Broilerin kuivalannan laskennallinen C/N jäi optimialueen ulkopuolelle. Kuivalannan ja heinän tai lietteen seossuhteiden laskennalliset C/N-suhteet jäivät myös optimialueen alapuolella. C/N-suhteen perusteella prosessin optimi hajoamisolosuhteet saavutettaisiin lisäämällä olkea 70 - 245 ha satomäärä broilerin kuivalannan joukkoon. Kun olkea lisättiin enemmän kuin 245 ha satomäärä, niin laskennallinen C/N-suhde ylitti optimialueen. Todennäköistä on, että kuivaprosessi toimisi vaikka syötettävien materiaalien C/N-suhde ei olisikaan optimi, mutta biokaasuntuottopotentiaali saattaisi olla pienempi mitä optimiolo-suhteissa.

Ammoniumtyyppipitoisuuden inhibitio raja-arvoksi arvioitiin 3 000 mg/l (Tada ym. 2005). Kuivalannan laskennallinen ammoniumtyyppipitoisuus ylitti tämän raja-arvon. Kuivalannan ja tuoreen heinän tai lietteen seossuhteilla raja-arvo ylitettiin. Tuoreen heinän tilavuuspaino on eri mitä varastoheinän, tällä on vaikutusta myös seoksen laskennalliseen ammoniumtyyppipitoisuuteen. Kuivalannan ja oljen 70 - 280 ha satomäärän ja varastoheinän 7 - 14 ha sadon seossuhteilla jäätettiin ammoniumtyyppipitoisuuden raja-arvon alapuolelle (taulukko 18).

Anaerobisen hajoamisen optimiolosuhteet autotallityyppisessä kuivafermentaatiossa toteutuivat kuiva-ainepitoisuuden, hiili-typpi suhteen ja ammoniakkitypen suhteen 70 - 105 ha olkimäärän ja broilerin kuivalannan seoksessa (taulukko 18). Optimiolosuhteisiin tarvittava olkimäärä saataisiin 2 - 3 tilalta, jos tiloilla viljanviljelyn peltopinta-ala olisi 35 hehtaaria.

Taulukko 18. Broilerin kuivalannan ja oljen seossuhteet anaerobisen hajoamisen optimiolo-suhteissa

olki (suluissa t)	TS % (raja 60)	C/N (20 - 30 optimi)	ammoniumtyppi mg/l (raja 3000)	kok. typen osuus % TS	biokaasua m <sup>3</sup> /kg VS
20 %, 70 ha (154)	57	20	2 284	2,8	0,293
30 %, 105 ha (231)	59	22	1 601	2,5	0,297



### 8.3 Tilakohtaisen kuivafermentaatiolaitos esimerkin tarkastelu

Tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa käsitellään joko pelkkää kuivalantaa tai kuivalantaa ja 35 ha olkimäärän seosta tai 10 ha heinämäärän tai 10 talouden lietemäärän seoksia. Biokaasulaitos on termofiilinen kuivapanosprosessi, jolloin jätevesilietettä ei tämän hetkisen lainsäädännön mukaan tarvitse erikseen hygienisoida. Nykyisen lainsäädännön mukaan käsittelyjäännös jouduttaisiin biokaasukäsittelyn jälkeen vielä kompostoimaan, jotta käsittelyjäännös olisi lannoitelain laatuvaatimukset täyttävä tuote. Tässä työssä jälkikompostoinnin aiheuttamat lisävaatimukset jätettiin tarkastelusta pois.

Tilakohtaisella biokaasulaitoksella katettiin laskennallisesti tilan keskimääräinen sähköenergian tarve ja tilan tarvitsemasta lämpöenergiastakin katettiin kolmanneksen. Lisäksi tilalla säästettiin mineraalilannoitteiden ostohinta käyttämällä käsittelyjäännöstä peltojen maanparannusaineena.

Kuivalannan laskennallinen kuormitus oli 5,4 kg VS/m<sup>3</sup> d. Laskennallinen kuivalannan kuormitus oli korkea verrattuna kirjallisuuteen. Kanan lannan mesofiilisessa märkäprosessissa kuormitus oli 1,95 kg VS/m<sup>3</sup> d (Safley ym.1987) ja autotalityyppisen Biocel-kuivaprosessin kuormitus oli 3,6 kg VS/m<sup>3</sup> d (ten Brummeler 2001). Kanan kuivalannan laskennallinen ammoniumtyppipitoisuus 9680 mg/l ylitti inhibitorajana pidetyn 3000 mg/l (Tada ym. 2005), joten todennäköistä on, että kuivalantaa yksin käsiteltäessä kuivaprosessissa tarvitaan pitkä viipymä ja kuormituksen tulisi olla pienempi, jotta prosessilla olisi aikaa sopeutua olosuhteisiin.

Anaerobisessa prosessissa materiaalien yhteiskäsittelyllä vaikutetaan syötettävän materiaalin ominaisuuksiin (Mata-Alvarez 2000). Kuivalannan anaerobisella yhteiskäsittelyllä oljen, heinän tai lietteen kanssa vaikutettiin eniten syötettävän materiaalin laskennalliseen kuiva-ainepitoisuuteen sekä kokonaistypen ja ammoniumtypen pitoisuuksiin. Yhteiskäsittelyn haittapuolena olivat syötettävän materiaalin määrän lisääntyminen, lisämateriaalien varastointitilojen järjestäminen ja oljen tai heinän korjuukustannukset.

Lisämateriaaleilla vaikutettiin myös laskennallisen kuormituksen pienentymiseen välille 1,44 - 4,11 kg VS/m<sup>3</sup> d, mikä on pienempi mitä kanan lannan ja karjan lannan yhteiskäsittelyssä (3,19 - 4,74 kg VS/m<sup>3</sup> d) mesofiilisessa märkäprosessissa (Callaghan ym. 2001).

Tilakohtaisen biokaasuprosessin ja käsittelyjäännöksen tulee täyttää lainsäädännölliset vaatimukset. Biokaasuprosessille on annettu lainsäädännöllisiä rajoituksia sivutuoteasetuksessa. Asetuksessa (2002/1774/EY) määritellään biokaasulaitoksissa käsiteltäväksi soveltuvat materiaalit, käsittelyvaatimukset ja lopputuotteen hygieeniset laatuvaatimukset ja käyttökohteet. Käsittelyjäännöksen käyttöön peltojen maanparannusaineena vaikuttavat myös VNp 282/1994 puhdistamolietteen (johon umpi- ja saostuskaivoliete verrataan) käytöstä maataloudessa ja VNa 931/2000 maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta.

Tilakohtaisella biokaasulaitoksella tulee olla riittävästi esi- ja jälkivarastointikapasiteettia. Kuivalannan varastointitilan koko määritellään VNa 931/2000 mukaan siten että lannan varastointitilan tulee olla niin suuri että siihen voidaan varastoida 12 kuukauden aikana kertynyt lanta. Poikkeamia sallitaan jos lantaa luovutetaan hyödyntäjälle tai toiselle viljelijälle.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Tilakohtaisella biokaasulaitoksella on laskennallisesti mahdollisuuksia 60 000 yksikön broilertiloilla. Kuivalannan teoreettinen metaanintuottopotentiaali on hyvä ja laskennallisesti tilan sähköenergian tarve katettiin melkein kokonaan ja lämpöenergiastakin kolmannes. Anaerobisella yhteiskäsittelyllä laskennallisesti tuotetun energian määrää voitiin lisätä, jolloin tila saatiin sähköenergian suhteen omavaraiseksi.

Biokaasulaitoksessa tuotetun energian lisäksi muodostuu lannoiterikasta käsittelyjäännöstä, jota voitaisiin käyttää tilan pelloilla mineraalilannoitteiden sijasta. Lisätuloja tila saisi ylimääräisen käsittelyjäännöksen myymisestä lähitilojen peltujen lannoitteeksi.

Kuivalannan kuiva-ainepitoisuus on korkea ja se sisältää paljon kokonaistyyppiä. Korkea ammoniumtyypen pitoisuus aiheuttaa inhibiota anaerobisessa prosessissa. Toisaalta kuivalannassa on turvetta 60 % ja turpeen käyttäytymistä kuivalannan anaerobisessa kuivaprosessissa ei tietävästi tiedetä. Todennäköistä on, että yksin kuivalantaa käsiteltäessä tarvitaan pienempi kuormitus kuin muuta orgaanista materiaalia käsiteltäessä ja viipymän tulisi olla riittävän pitkä, jotta prosessilla olisi aikaa sopeutua olosuhteisiin.

Broilerin kuivalannan ja oljen, heinän tai saostuskaivo- ja/ tai umpikaivolietteen anaerobisella yhteiskäsittelyllä vaikutetaan seoksen kuiva-aine- ja kokonaistyyppien pitoisuuteen ja biokaasun määrään. Heinän ja lietteen lisäyksellä kuivalantaan pienennetään seoksen kuiva-ainepitoisuutta. Vastaavasti kokonaistyyppien pitoisuus pienenee oljen ja heinän lisäyksillä kuivalantaan. Lisäksi oljen ja heinän lisäyksillä kuivalantaan seoksen biokaasun tuottoa kasvatetaan merkittävästi. Lietteen kuiva-ainepitoisuus on matala, joten orgaanisen aineen määrä on pieni, jolloin myös biokaasun lisätuotto on pienempi kuin oljen tai heinän lisäyksellä. Saostus- ja umpikaivolietteen anaerobinen yhteiskäsittely kuivalannan kanssa palvelisi haja-asutusaluetta lietteen käsittelymenetelmänä.

Tilakohtaisella biokaasulaitoksella on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Lannan käsittelystä aiheutuneet haitalliset ympäristövaikutukset vähenevät ja biokaasu korvaa fossiilisia polttoaineita uusiutuvana energiana. Peltujen pitäminen viljelyksessä vaikuttaa mm. peltoluonnon lajiston säilymiseen ja maisemakuvaan.

Biokaasun tuottamiseen liittyvää lainsäädäntöä ollaan uusimassa mm. lannoitelakia ja sivutuoteasetusta. Perustettavan biokaasulaitoksen on täytettävä lakien asettamat velvoitteet.

Työ perustui kirjallisuudesta saatuihin aineistoihin ja teoreettiseen laskentaan, koska kokemuseräistä tietoa ei ollut saatavilla. Laskennallisessa tarkastelussa käytettiin myös oletuksia. Laskennalliset tarkastelut voidaan tehdä eri tavalla riippuen laskijasta, menetelmistä ja lähtötiedoista, joten käytännössä todellista biokaasun tuottoa tai muitakaan tarkasteltuja materiaalin ominaisuuksia ei voida pitää varmoina vaan suuntaa antavina. Käytännössä kuivalannan ominaisuudet vaihtelevat mm. broilerin ruokinnasta tai turpeen laadusta johtuen. Heinän ja oljen satomäärät vaihtelevat lajeittain ja vuosittain. Peltobiomassojen varastointitapa vaikuttaa materiaalien ominaisuuksiin. Lietteen määrä ja koostumus riippuvat mm. käyttäjien lukumäärästä ja jätevesien käsittelymenetelmästä.

Ennen tilakohtaisen biokaasulaitoksen toteuttamista olisi tärkeää tehdä laboratoriotutkimuksia broilerin kuivalannalla sekä lisämateriaalien ja kuivalannan yhteiskäsittelytutkimuksia eri seossuhteilla anaerobisen kuivaprosessin olosuhteissa, jotta saataisiin tietoa todellisesta biokaasun tuotosta ja materiaalien käyttäytymisestä anaerobisessa kuivaprosessissa. Laboratoriotutkimusten perusteella saataisiin myös tietoa siitä miten mahdollista tilakohtaista pilotlaitosta kannattaisi prosessoida.

## LÄHDELUETTELO

- Adams, T.T., Eiteman, M.A. ja Hanel, B.M. 2002: Solid state fermentation of broiler litter for production of biocontrol agents. *Bioresource Technology* 82:33-41
- Alakangas, E. 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedote 2045. Otamedia Oy, Espoo. 196 s.
- Angelidaki, I. ja Ahring, B.K. 1993: Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: effect of ammonia. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 38 ss. 560-564
- Anonyymi 2003: Biogasstrategiekonzept Streische Gas-Wärme GmbH  
<http://www.energie.steiermarki.at> luettu 15.11.2005.
- Anonyymi3. Brecht II Dranco – Anaerobic digestion facility -  
[http://www.lacity.org/council/cd12/pdf/Landfilling\\_Resources\\_OWS\\_Brecht\\_II\\_Dranco.pdf](http://www.lacity.org/council/cd12/pdf/Landfilling_Resources_OWS_Brecht_II_Dranco.pdf) luettu 12.10.2005.
- Anonyymi 2004: Final report anaerobic digestion feasibility study for the Bluestem Solid Waste Agency and Iowa Department of Natural resources -  
<http://www.iowadnr.com/waste/policy/files/bluestem.pdf> luettu 15.10.2005.
- Anonyymi 2005a: Feasibility of generating green power through anaerobic digestion of garden refuse from the Sacramento Area, Final report. RIS International Ltd. 31 s. -  
[http://www.recyclenow.org/Report\\_SMUD\\_RIS\\_Final\\_Report\\_3.4MB.pdf](http://www.recyclenow.org/Report_SMUD_RIS_Final_Report_3.4MB.pdf) luettu 16.1.2006.
- Anonyymi 2000: Feasibility study concerning anaerobic digestion in Northern Ireland. Final Report for Bryson House, ARENA Network and NI2000. -  
<http://www.eunomia.co.uk/NI%20AD%20final%20report.pdf> luettu 18.10.2005.
- Anonyymi 2002: Generating biogas from source separated organic waste for energy production, Final report. 229 s. sähköisesti [http://www.toronto.ca/eia/pdf/anaerobic\\_fulldoc.pdf](http://www.toronto.ca/eia/pdf/anaerobic_fulldoc.pdf) luettu 8.1.2006.
- Anonyymi 2005. International Waste News -  
[http://www.iswa.org/downloads/IAN\\_2\\_UK\\_iswa.pdf](http://www.iswa.org/downloads/IAN_2_UK_iswa.pdf) luettu 4.11.2005.
- Anonyymi 2000a: Sequential Batch Anaerobic Composting. University of CHIAPAS Mexico Conference - [http://www.agen.ufl.edu/~chyn/download/Mexico/11\\_sebac.doc](http://www.agen.ufl.edu/~chyn/download/Mexico/11_sebac.doc) luettu 11.10.2005.
- Anonyymi. Viljelijä ja ilmastonmuutos - mitä minä voin tehdä omalla tilallani? -  
[http://www.agronet.fi/ilmastonmuutos/MTT\\_Ilmastonmuutos\\_SUO.pdf](http://www.agronet.fi/ilmastonmuutos/MTT_Ilmastonmuutos_SUO.pdf) luettu 2.2.2006
- BAG Budissa Agroservice GmbH kotisivu - [http://www.ag-bag.de/htm\\_engl/frame.html](http://www.ag-bag.de/htm_engl/frame.html) luettu 9.11.2005
- BIOFerm GmbH kotisivut. Concept of the project dry-fermentation, -  
<http://www.bioferm.de/PDF/Info%20GB.pdf> luettu 4.11.2005.
- Björnsson, L., Mattiasson, B. ja Henrysson, T. 1997: Effects of support material on the pattern of volatile fatty acids accumulation at overload in anaerobic digestion of semi-solid waste. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 47:640-644.

- Bujoczek, G. 2001: Influence of ammonia and other abiotic factors on microbial activity and pathogen inactivation during processing of high-solid residues. *Manitoban yliopisto*
- Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R. ja Cenkowski, S. 2000: High solid anaerobic digestion of chicken manure. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 76: 51-60.
- Caddet IEA OECD 1994: Manure digestion in a poultry farm in the Netherlands. Technical Brochure No2. <http://www.caddet.org/public/uploads/pdfs/Brochure/no2.pdf> luettu 4.11.2005
- Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K. ja Forster, C.F. 2002: Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass and Bioenergy* 27:71-77.
- Callaghan, F.J., Wase, D.A.A., Thayanithy, K. ja Forster, C.F. 1999: Co-digestion of waste organic solids: batch studies. *Bioresource and Technology* 67:117-122
- Cecchi, F., Panfill, G., Filippini, B. ja Piersante, A. 2005: Start-up of full scale mesophilic digesters adopting the Valorga process at Bassano del Grappa waste treatment plant – Italy. Teoksessa: Ahring, B.K. & Hartmann, H. (toim.): *Proceedings of Fourth International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, August 31 –September 2:183 -187.*
- Chynoweth, D.P. 2003: Sequential batch anaerobic composting of municipal and space mission wastes and bioenergy crops (Presented at ORBIT Conference, Perth Australia) <http://www.agen.ufl.edu/~chyn/download/SebacORBIT.doc> luettu 12.10.2005.
- Colleran, E. 1999: Hygienic and sanitation requirements in biogas plants treating animal manures on mixtures of manures and other organic wastes. National Research Unit of Ireland. [www.adnett.org](http://www.adnett.org) luettu 12.5.2006
- De Baere, L. 2005: Will anaerobic digestion of solid waste survive in the future? Teoksessa: Ahring, B.K. & Hartmann, H. (toim.): *Proceedings of Fourth International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, August 31 –September 2. vol. 1, ss. 72 - 81.*
- Edelmann, W. ja Engeli, H. 2005: More than 12 years of experience with commercial anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid wastes in Switzerland. Teoksessa: Ahring, B.K. & Hartmann, H. (toim.): *Proceedings of Fourth International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, August 31 –September 2, vol 1. ss 19-33.*
- Energiatoteellisuus ry:n kotisivut. Sähköön kokonaishinta. - <http://www.energia.fi/page.asp?Section=2724> luettu 27.1.2006.
- Erickson, L.E., Fayet, E., Kakumanu, B.L. ja Davis, L.C. 2004: Anaerobic Digestion, Chapter 7. National Agricultural Biosecurity Center Consortium USDA APHIS Cooperative Agreement Project Carcass Disposal Working Group - <http://fss.k-state.edu/research/books/carcassdispfiles/PDF%20Files/CH%207%20-%20Anaerobic%20Digestion.pdf> luettu 1.11.2005.
- Euroopan komission Energia kotisivut, anaerobic digestion: Biogas production of source separated household refuse, Full Scale Dranco 2001: Anaerobic Digestion of Municipal Wastes at the city of Kaiserslauten – sähköisesti [http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/anaerobic\\_digestion\\_biogas/07bm\\_073\\_93.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/anaerobic_digestion_biogas/07bm_073_93.pdf) luettu 13.10.2005.

- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1774/2002 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveysäännöistä
- Fruteau de Laclos, H., Desbois, S. ja Saint-Joly, C. 1997: Anaerobic digestion of municipal solid organic waste: Valorga full-scale plant in Tilburg, the Netherlands. *Water Science and Technology* 36 (6-7):457-462.
- Fry, L.J. 1973: Methane digesters for fuel gas and fertilizer with complete instructions for two working models – [http://journeytoforever.org/biofuel\\_library/MethaneDigesters/MD2.html](http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MD2.html) luettu 17.10.2005
- Gautam, K.M., Karki, K. ja Kadel, G.P. 1996: A system approach to biogas technology. *Biogas technology: a training manual for extension*. Food and Agriculture Organization/Consolidated Management Services, Kathmandu. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/sustdev/Egdirect/Egre0022.htm> luettu 22.11.2005.
- Guerra-Rodríguez, E., Diaz-Ravina, M. ja Vázquez, M. 2001: Co-Composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure. *Bioresource Technology* 78 ss. 107-109.
- Hansen, K.H, Angelidaki, I. ja Ahring, B. K. 1998: Anaerobic digestion of swine manure inhibition by ammonia. *Water Research* 32 (1): 5 - 12.
- Henze, M. ja Ledin A. 2001: Types, characteristics and quantities of classic combined domestic wastewaters. *Teoksessa: Decentralised Sanitation and Reuse Concepts, system and implementation*. IWA. Lontoo. ss. 57-72.
- Hobson, P. N. ja Wheatley, A, D. 1993: *Anaerobic digestion modern theory and practice*. Elsevier Science Publishers Ltd. 261 s.
- Kaiser, F., Aschmann, V., Effenberger, M. ja Gronauer, A. 2003: Dry fermentation of agricultural substrates. *Teoksessa: Proceeding of 9<sup>th</sup> Symposium on animal agricultural and food processing wastes, 12-15 October* ss. 325-332.
- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. ja Nikander Hannele 2006: *Virallisten lajikoekien tulokset 1998-2005*. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen selvitys 105. 210 s.
- Kauppa- ja Teollisuusministeriön Työryhmä- ja toimintaraportti 5/2003: *Uusiutuvan Energian edistämishjelma 2003-2006*.
- Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'Dwyer, T.F., Sutton, D. ja Leahy, M.J. 2002: *Advances in poultry litter disposal technology – a review*. *Bioresource technology* 83:27-36.
- Kemppainen, E. 1987: Ammonia binding capacity of peat, straw, sawdust and cutter shavings. *Annales agriculturae Fenniae* vol. 26:89-94.
- Klinger, B. 1999: *Environmental Aspects of Biogas Technology*. <http://www.adnett.org> luettu 20.1.2006.
- Kottner, M. 2002: Biogas and fertilizer production from solid waste and biomass through dry fermentation in batch method. *Bio Energy News* vol 6, No. 4. - <http://www.undp.org.in/programme/GEF/dec%2002/dec02/article-1.htm> luettu 18.10.2005.
- Kuusinen, K. & Valo, R. 1987: *Maatalousjätteiden kuivafermentaatio*. DN-Bioprocessing oy. 37 s.
- Kusch, S. 2005: *Biogas production with agricultural substrates in simple solid-phase batch digestion systems*. MTT seminaari 14.2.2005.

Kylämäki, J. 2005: suullinen tiedonanto 1.12.2005.

Lantz, M. Svensson, M., Björnsson, L. ja Börjesson, P. 2005: The Prospects of an expansion of biogas system in Sweden- Incentives, barriers and potentials. Väitöskirja Svenssons, M: The Technology and Economy of Farm-Scale, High-Solids Anaerobic Digestion of Plant Biomass. University of Lund

Lehtomäki, A. ja Rintala, J. Biokaasun tuotanto peltokasveista. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Julkaisematon.

Lehtomäki, A., Ronkainen, O.M. ja Rintala J.A. 2005: Developing storage methods for optimised methane production from energy crops in northern conditions. Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste 31.8.-2.9.2005, Copenhagen, Denmark, ss. 101-108.

Lehtomäki, A., Viinikainen, T.A ja Rintala, J.A. Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. Jyväskylän Yliopisto. Julkaisematon.

Lonka, T., 2006: Suullinen tiedonanto 27.1.2006.

Lutz, P., 2005: New Bekon Biogas technology for dry fermentation in batch method. - <http://www.bekon-energy.de/english/BEKON-Processdescription.pdf>, luettu 5.11.2005.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä sekä maatalouden ympäristötuen koulutukseen liittyvästä tuesta, 646/2000.

Maa- ja Metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Tike 2006: Tiedote sähköisesti: [http://www.mmmtike.fi/fi/index7tiedotteet/2006/060315\\_mareennakkotiedot\\_11.html](http://www.mmmtike.fi/fi/index7tiedotteet/2006/060315_mareennakkotiedot_11.html)

Mace, S., Dosta, J., Bolzonella, D. ja Mata-Alvarez, J. 2005: Full scale implementation of AD technology to treat the organic fraction of municipal solid waste in Spain. Teoksessa: Ahring, B.K. & Hartmann, H. (toim.): Proceedings of Fourth International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, August 31 –September 2, vol 1. ss. 409-422.

Marttinen, S. ja Maaranen, K. 2004: Esiselvitys biokaasun tuottamisesta broilerin kuivalannasta. Satafood Kehittämisyhdistys ry. 14 s.

Mata-Alvarez, J., Mace, S. ja Llabres, P. 2000: Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource Technology 74:3-16.

Matzel, V. Energy generating Composting System. BIOFerm GmbH. Henkilökohtainen sähköposti, liitetiedosto 18.1.2005.

Mattila, I., Harmaa, K. ja Stenroos, A. 1985: Biokaasun käytön soveltuvuus maatalon energiahuollossa. Maatalouskeskusten Liitto, Suunnitteluosaston sarja D2. Satakunnan painotalo Oy. 56 s.

Mitterleitner, H. 2004: Steigerung der Vergütung nach EEG durch Einsatz innovativer Technologien, Einsatz der Trockenvergärung zur Biogasgewinnung – ein Verfahrensvergleich. Leipziger Biogas fachgespräche - <http://www.energetik-leipzig.de/veranstaltungen/Biogas/downloads/Mitterleitner%201.12.04.pdf> luettu 4.1.2006.

Monnet, F. 2003: An Introduction to anaerobic digestion of organic wastes final report - [http://www.remade.org.uk/Organics/organics\\_documents/IntroAnaerobicDigestion.pdf](http://www.remade.org.uk/Organics/organics_documents/IntroAnaerobicDigestion.pdf) luettu 10.10.2005.

- Otterpohl, R. 2001: Design of highly efficient source control sanitation and practical experiences. Teoksessa: Decentralised Sanitation and Reuse Concepts, system and implementation. IWA. Lontoo. ss. 164-179.
- Paavola, T. 2005: Henkilökohtainen tiedonanto
- Paustian, K., Cole, V. ja Sauerbeck, D. 1998: CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: an overview. *Climatic Change* 40:135-162.
- Rintala, J., Lampinen, A., Luostarinen, S. ja Lehtomäki, A. 2002: Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden osasto. - <http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasukirjanen.pdf> luettu 12.10.2005.
- Safley, Jr L.M., Vetter, R.L ja Smith, D. 1987: Operating a full-scale poultry manure anaerobic digester. *Biological Wastes* 19:79-90.
- Salminen, E. ja Rintala, J. 2002: Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Bioresource Technology* 83:13-26.
- Schomaker, A.H.H.M., Boerboom, A.A.M., Visser, A. ja Pfeifer, A.E. 2000: Anaerobic digestion of agro-industrial wastes: information networks, technical summary on gas treatment - <http://www.adnett.org/> luettu 12.1.2006.
- Siipikarjaliiton kotisivu 2000: - <http://www.siipi.net/> luettu 5.10.2005.
- Singh, R. 2002: the 1,5 million ton success-biomethanation of MSW by the Valorga process. *Bio Energy News* 6 (4). - <http://www.undp.org.in/programme/GEF/dec%2002/dec02/article-3.htm> luettu 1.12.2005.
- Steffen, R., Szolar, O. ja Braun, R. 1998: Feedstocks for anaerobic digestion. Institute for Agriobiotechnology Tulln. University of Agricultural Sciences Vienna. <http://www.adnett.org/> luettu 23.3.2006
- Suomi, U., Rautanen, J. ja Aho, I. 2004: Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003-2006 –toteustustilanne ja näkymät. Motiva Oy, Helsinki 42 s.
- Svensson, M. 2005: The Technology and Economy of Farm-scale, High-Solids Anaerobic Digestion of Plant Biomass. Väitöskirja. Lundin yliopisto.
- Svensson, L.M, Christensson, K. ja Björnsson, L. 2005: Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden? *Bioprocess and Biosystem Engineering* 28:139:148.
- Taavitsainen, T., Kapuinen, P. ja Survo, K. 2002: MaLLa- hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus. 194 s.
- Tada, C., Yang, Yingnan., Hanaoka, T., Sonoda, A., Ooi, K. ja Sawayama, S. 2005: Effect of natural zeolite on methane production for anaerobic digestion of ammonium rich organic sludge. *Bioresource Technology* 96:459-464.
- ten Brummeler, E. 2000: Full scale experience with the BIOCEL process. *Water Science and Technology* 40 (3): 299-304.
- Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta, 931/2000.
- Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä, 282/1994.
- Vandevivere, P., De Baere, L. ja Verstraete, W. 2003: Types of anaerobic digesters for solid wastes - <http://www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/pvdy.pdf> luettu 5.10.2005

Viljavuuspalvelu Oy:n kotisivut: <http://www.viljavuuspalvelu.fi> luettu 10.10.2005

Wellinger, A. 1999: Process design of agricultural digesters - <http://www.adnett.org/> luettu 6.1.2006.

Williams, R. ja Vincent, B. 2004: Task 1.1.1 Draft final report - [http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD\\_SMUD\\_DRAFT\\_FINAL.pdf](http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD_SMUD_DRAFT_FINAL.pdf) luettu 20.10.2005

Öljy- ja Kaasualan keskusliitto, Kuluttajahintaseuranta. - <http://www.oil-gas.fi/upload/Tilastot/kuluttajahinta.PDF> luettu 27.1.2006

Ørtenblad, H. 1999: The use of digested slurry within agriculture. <http://www.adnett.org> luettu 10.1.2006.



## Liite 1. Viljavuuspalvelun tutkimukset kanan lannasta

### Kana; kuivikelanta

Yhteenveto; Koko maa 2000-2004

#### Pitoisuus tuoreesta lannasta

	kg/t				g/t								
	N-Liuk	N-tot	P	K	Mg	Ca	Na	B	Cu	Mn	Zn	Ka%	T-paino
Keskiarvo	7.1	16.8	8.0	10.2	3.1	23.6	1.9	11.1	27.3	168.1	174.5	48.0	621.5
Keskihajonta	3.2	7.8	3.8	5.8	1.5	18.0	1.1	7.4	16.0	95.2	89.8	19.8	282.0
Minimi	0.5	2.2	0.5	0.9	0.7	2.8	0.4	1.4	4.4	47.0	36.0	2.8	160.0
Maksimi	15.6	38.0	24.0	25.0	6.6	120.0	4.3	32.0	64.0	420.0	390.0	92.6	1100.0
Lukumäärä	339	342	327	327	68	68	69	68	68	68	68	341	342

#### Pitoisuus tuoreesta lannasta

	kg/m <sup>3</sup>				g/m <sup>3</sup>								
	N-Liuk	N-tot	P	K	Mg	Ca	Na	B	Cu	Mn	Zn		
Keskiarvo	4.4	9.2	4.4	5.2	1.7	14.9	1.0	5.8	14.8	94.2	98.9		
Keskihajonta	3.0	4.1	2.0	2.3	0.8	11.6	0.5	2.9	6.7	45.8	48.2		
Minimi	0.1	1.7	0.2	0.2	0.7	2.9	0.3	1.5	4.7	42.0	39.0		
Maksimi	16.0	23.0	14.0	15.0	5.2	62.0	2.5	16.0	34.0	260.0	260.0		
Lukumäärä	338	342	327	327	68	68	69	68	68	68	68		

## Liite 2

### Ammoniumtyyppipitoisuuden laskeminen seoksessa

Esimerkkinä 10 % olkea kuivalannan painosta, tällöin olkea on 77000 kg ja seoksen yhteismäärä on 847000 kg. Seoksen kuiva-ainepitoisuus on 53,6 % TS. Kuivalannassa on oletettu olevan ammoniumtyyppiä 1,76 % kuivapainosta ja oljessa 0,008 % kuivapainosta, jolloin ammoniumtyypin määrä kuiva-aineena on 6782 kg. Ammoniumin kokonaismäärä syötettävässä seoksessa on 12653 kg ja kun seoksen kokonaistilavuus on 3325 m<sup>3</sup>, saadaan ammoniumpitoisuudeksi 3,8 kg/m<sup>3</sup>.

### Ammoniumtyyppipitoisuuden laskeminen käsittelyjäännöksessä:

Oletus jäännöksestä jää jäljelle 70 %, kuiva-ainereduktio 50 %, kuivalannan TS 50 %, oletettu että kokonaistypestä muuttuu ammoniumtyypeksi 20 % ja ammoniumtyypin pitoisuus pysyy muutoin samana mitä lähtöaineissa

Esimerkkinä 10 % olkea kuivalannan painosta, tällöin seoksen yhteismäärä on 847000 kg ja 3325 m<sup>3</sup>, josta anaerobisen käsittelyn jälkeen jäljelle jää 592900 kg, 38,3 % TS ja 2328 m<sup>3</sup>. Seoksen kokonaistypen osuus on 3,1 % TS eli 7040 kg TS josta 20 % muuttuu ammoniumtyypeksi prosessin aikana eli 1408 kg TS. Seoksessa ammoniumtyyppiä oli 1,49 % TS eli jäännöksessä on 3386 kg TS eli yhteensä 4794 kg kuiva-aineena eli 5,37 kg/m<sup>3</sup>.

### Operointiparametrien laskeminen

Esimerkkinä kuivalanta:

Vuodessa muodostuu 1400 m<sup>3</sup> kuivalantaa eli päivää kohti 3,84 m<sup>3</sup>/d (oletus 365 d) eli 2112 kg/d. Kuivalannan VS on 35 % eli syötettävä orgaaninen määrä 739,2 kgVS/d.

Viipymän oletettu olevan 30 päivää. Reaktorin koko 3,84 m<sup>3</sup>/d \* 30 d = 115 m<sup>3</sup>. Lisäksi lisätään 20 % kaasutilaa eli yhteensä noin 138 m<sup>3</sup>.

Tällöin OLR on 739,2 kgVS/d / 138 m<sup>3</sup> = 5,35 kg VS/m<sup>3</sup>d.

Liite 3. Oljen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

lisä- materiaali t	%-osuus kuivalannan painosta	seoksen koko- naismäärä t/a	seok- sen TS %	seoksen VS %	k-N % TS	biokaasua m <sup>3</sup> /a *	energia- sisältö kWh/a**	m <sup>3</sup> /kgVS **	C/N	NH <sub>4</sub> N mg/l	ammoni- umtyppi % TS
77	10	847	53,6	39,2	3,1	95676	621894	0,288	17,4	3805	1,49
154	20	924	56,6	42,8	2,8	115892	753298	0,293	19,6	2284	1,30
231	30	1001	59,1	45,7	2,5	136108	884703	0,297	21,7	1601	1,15
308	40	1078	61,3	48,3	2,3	156324	1016107	0,300	23,8	1218	1,03
385	50	1155	63,2	50,5	2,1	176540	1147511	0,303	25,7	976	0,93
462	60	1232	64,9	52,5	2,0	196756	1278915	0,304	27,6	811	0,85
539	70	1309	66,3	54,2	1,9	216972	1410320	0,306	29,4	691	0,79
616	80	1386	67,6	55,7	1,8	237188	1541724	0,307	31,1	601	0,73

\* 70 % käytettävissä oleva määrä

\*\* 70 % käytettävissä olevasta biokaasumäärästä, 65 % metaanipitoisuudella

Liite 4. Heinän ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

lisä- materiaali t	%-osuus kuivalannan painosta	seoksen koko- nais määrä t/a	seok- sen TS %	seoksen VS %	k-N % TS	biokaasu m <sup>3</sup> /a *	energia- sisältö kWh/a **	m <sup>3</sup> /kgVS **	C/N	NH <sub>4</sub> N mg/l	ammonium- typpi % TS	NH <sub>4</sub> N varasto kg/m <sup>3</sup>
77	10	847	47,7	33,9	3,5	82603	536920	0,287	15	9620	1,68	5683
154	20	924	45,8	33,0	3,4	89746	583350	0,294	16	9529	1,60	4113
231	30	1001	44,2	32,3	3,4	96889	629780	0,300	16	9415	1,53	3267
308	40	1078	42,9	31,6	3,3	104032	676211	0,305	16	9286	1,47	2735
385	50	1155	41,7	31,1	3,2	111175	722641	0,310	16	9147	1,41	2366
462	60	1232	40,6	30,6	3,2	118319	769071	0,314	16	9001	1,35	2095
539	70	1309	39,7	30,2	3,1	125462	815501	0,318	17	8850	1,30	1886
616	80	1386	38,9	29,8	3,1	132605	861931	0,321	17	8698	1,26	1719

\* 70 % käytettävissä oleva määrä

\*\* 70 % käytettävissä olevasta biokaasumäärästä, 65 % metaanipitoisuudella

Liite 5. Lietteen ja kuivalannan laskennalliset tulokset

lisä- materiaali t	%-osuus kuivalan- nan pai- nosta	seoksen kokonais- määrä t/a	TS %	VS %	k-N % TS	biokaasu m <sup>3</sup> /a *	energia- sisältö kWh/a **	m <sup>3</sup> /kgVS **	C/N	NH <sub>4</sub> N mg/l	ammonium- typen % TS
77	10	847	45,7	32,0	3,6	75816	492802	0,280	15	10054	1,77
154	20	924	42,1	29,4	3,7	76171	495115	0,280	15	10385	1,78
231	30	1001	39,0	27,3	3,7	76527	497427	0,280	15	10678	1,79
308	40	1078	36,4	25,4	3,8	76883	499739	0,280	15	10940	1,80
385	50	1155	34,2	23,8	3,8	77239	502052	0,281	15	11174	1,81
462	60	1232	32,2	22,4	3,8	77594	504364	0,281	15	11383	1,83
539	70	1309	30,4	21,2	3,9	77950	506676	0,281	14	11571	1,84
616	80	1386	28,9	20,1	3,9	78306	508988	0,281	14	11740	1,85

\* 70 % käytettävissä oleva määrä

\*\* 70 % käytettävissä olevasta biokaasumäärästä, 65 % metaanipitoisuudella

Liite 6. Oljen/heinän, lietteen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

kuivalanta, olki ja liete

suhde	olki, t	liete t	seoksen kokonais määrä t/a	TS %	VS%	biokaasu m <sup>3</sup> /a *	energiasis kWh/a *	m <sup>3</sup> /kg VS *	C/N	k-N % TS	NH <sub>4</sub> -N mg/l
10:10	77	77	924	49,34	36,09	96032	624207	0,288	17,2	3,2	4045
10:20	77	154	1001	45,74	33,43	96388	626519	0,288	17,1	3,2	4271
10:40	77	308	1155	39,97	29,17	97099	631143	0,288	16,9	3,3	4691
10:50	77	385	1232	37,63	27,44	97455	633456	0,288	16,8	3,3	4885
10:60	77	462	1309	35,6	25,9	97810	635768	0,288	16,7	3,3	5069
20:10	154	77	1001	52,44	39,58	115892	753298	0,292	19,4	2,8	2432
20:20	154	154	1078	48,87	36,86	116604	757923	0,293	19,3	2,8	2576
20:40	154	308	1232	43,08	32,44	117315	762548	0,294	19,0	2,9	2848
20:50	154	385	1309	40,69	30,62	117671	764860	0,294	18,9	2,9	2977
30:10	231	77	1078	55,09	42,58	136464	887015	0,297	21,6	2,5	1702
30:20	231	154	1155	51,59	39,84	136820	889327	0,297	21,4	2,6	1801
30:30	231	231	1232	48,52	37,44	137175	891640	0,297	21,2	2,6	1897
30:50	231	385	1386	43,41	33,45	137887	896264	0,297	20,9	2,7	2082
40:10	308	77	1155	57,39	45,18	156680	1018419	0,300	23,6	2,3	1292
40:20	308	154	1232	53,96	42,45	157036	1020732	0,300	23,4	2,4	1364
40:40	308	308	1386	48,24	37,90	157747	1025356	0,300	23,0	2,4	1505
40:50	308	385	1463	45,84	35,98	158103	1027668	0,300	22,8	2,4	1572
50:10	385	77	1232	59,41	47,45	176896	1149823	0,303	25,5	2,2	1033
50:20	385	154	1309	56,06	44,75	177252	1152136	0,303	25,3	2,2	1088
50:30	385	231	1386	53,08	42,34	177607	1154448	0,303	25,1	2,2	1143
50:40	385	308	1463	50,42	40,19	177963	1156760	0,303	24,9	2,2	1196
50:50	385	385	1540	48,03	38,26	178319	1159073	0,303	24,6	2,3	1249
60:10	462	77	1309	61,18	49,45	197112	1281228	0,304	27,4	2,0	855
60:20	462	154	1386	57,92	46,79	197468	1283540	0,304	27,1	2,0	899
60:30	462	231	1463	55,01	44,41	197823	1285852	0,305	26,9	2,1	942
60:40	462	308	1540	52,38	42,26	198179	1288165	0,305	26,6	2,1	985
60:50	462	385	1617	50,00	40,32	198535	1290477	0,305	26,4	2,1	1027

\* 70 % käytettävissä oleva määrä, 65 % metaanipitoisuus

Liite 6. Oljen/heinän, lietteen ja kuivalannan seosten laskennalliset tulokset

suhde	heinä, t	liete t	seoksen kokonaismäärä t/a	TS %	VS %	biokaasu m <sup>3</sup> /a *	energiasis. kWh/a *	m <sup>3</sup> /kg VS *	C/N	k-N % TS	NH <sub>4</sub> N mg/l (varastoheinä)
10;10	77	77	924	43,96	31,23	82959	539232	0,287	15,2	3,6	5993
10;20	77	154	1001	40,77	28,94	83315	541545	0,288	15,1	3,6	6302
10;40	77	308	1155	35,67	25,28	84026	546169	0,288	14,9	3,7	6823
10;50	77	385	1232	33,59	23,80	84382	548482	0,288	14,9	3,7	7059
20;10	154	77	1001	42,50	30,62	90102	585663	0,294	15,4	3,5	4348
20;20	154	154	1078	39,64	28,54	90458	587975	0,294	15,4	3,5	4571
20;40	154	308	1232	35,00	25,16	91169	592600	0,294	15,2	3,6	4984
20;50	154	385	1309	33,09	23,76	91525	594912	0,294	15,1	3,6	5176
30;10	231	77	1078	41,25	30,09	97245	632093	0,300	15,7	3,4	3451
30;20	231	154	1155	38,67	28,18	97601	634405	0,300	15,6	3,4	3627
30;30	231	231	1232	36,41	26,52	97957	636717	0,300	15,5	3,5	3796
30;50	231	385	1386	32,64	23,74	98668	641342	0,300	15,4	3,5	4116
40;10	308	77	1155	40,17	29,63	104388	678523	0,305	15,9	3,3	2883
40;20	308	154	1232	37,81	27,88	104744	680835	0,305	15,8	3,4	3026
40;40	308	308	1386	33,89	24,94	105455	685460	0,305	15,7	3,4	3299
40;50	308	385	1463	32,24	23,71	105811	687772	0,305	15,6	3,5	3429
50;10	385	77	1232	39,22	29,23	111531	724953	0,310	16,1	3,3	2489
50;20	385	154	1309	37,06	27,60	111887	727265	0,310	16,0	3,3	2608
50;30	385	231	1386	35,14	26,15	112243	729578	0,310	16,0	3,3	2724
50;40	385	308	1463	33,42	24,86	112598	731890	0,310	15,9	3,4	2837
50;50	385	385	1540	31,88	23,69	112954	734202	0,310	15,8	3,4	2946
50;60	385	462	1617	30,5	22,6	113310	736515	0,310	15,7	3,4	3053
60;10	462	77	1309	38,38	28,88	118674	771383	0,314	16,3	3,2	2199
60;20	462	154	1386	36,39	27,36	119030	773695	0,314	16,3	3,3	2300
60;30	462	231	1463	34,61	26,00	119386	776008	0,314	16,2	3,3	2398
60;40	462	308	1540	33,00	24,78	119742	778320	0,314	16,1	3,3	2495
60;50	462	385	1617	31,55	23,67	120097	780632	0,314	16,0	3,4	2588

\* 70 % käytettävissä oleva määrä, 65 % metaanipitoisuus